

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil.

**Diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales
tipo especial de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo
Facio.**

Informe Final del Proyecto de Graduación

Para Obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Rebeca Tenorio Piedra

Directora:


Ingeniera Paola Vidal Rivera

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

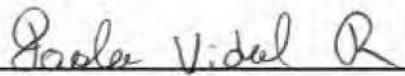
Abril, 2013

Estudiante



Rebeca Tenorio Piedra

Tribunal de graduación



Directora: Ing. Paola Vidal Rivera.



Asesora: Ing. Nidia Cruz Zúñiga.



Asesor: Ing. Luis Zamora González.

2013, Abril, 23

La suscrita, Rebeca Tenorio Piedra, cédula 1-1369-0358, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné A76460, manifiesta que es autor del proyecto Final de Graduación **Diseño sanitario del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio**, bajo la dirección de la Ingeniera Paola Vidal Rivera, quien en su consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Así mismo, hago traspaso de los derechos de la utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: de acuerdo con la Ley de derechos de Autor y Derechos conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 2 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

“-¡De Nazareth!- replicó Natanael- **¿Acaso de allí puede salir algo bueno?**” (refiriéndose a Jesús).

Así como alguien pudo creer eso de Jesús antes de que iniciara con su trabajo, muchos creyeron eso de mí también. Por eso, le quiero dedicar cada una de mis alegrías, triunfos, lágrimas y esfuerzo al único que creyó ciegamente en que lo iba a lograr desde que nací, a Dios.

A pesar de las miles de veces que tiré la toalla, Él siempre la tomaba para secar mis lágrimas, hacerme sonreír y continuar.

¡Gracias Dios, esto es para ti!

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, pero en especial a mi mamá, mi razón de seguir adelante, la mujer que más admiro en todo el mundo, desde un inicio me impulsó a estudiar ingeniería civil, sabiendo que lo iba a lograr; también por las interminables veces en que le preguntaba si lo iba a **lograr y me contestaba un "sí" fuerte y alto. A ella le agradezco, porque si no, no lo** hubiera logrado. A mi papá, porque me inspiró a ser diferente y mejor todos los días.

A Rafa Alfaro, que desde meca 1 estuvo conmigo, compartió conmigo 6 semestres de carrera, le agradezco desde la vez que me regaló chocolates por el 95 en el final de ecua hasta la vez que fuimos a comer porque terminamos la tesis. Sin usted no lo hubiera logrado, gracias por ser parte importante de mi vida. <3

Al comité asesor, porque de una u otra forma en el último semestre de carrera me ayudaron a ser mejor persona, y sus exigencias con mi trabajo me formaron como mejor ingeniera. Quiero agradecer en especial a Paola Vidal, la mejor directora de tesis que pude encontrar, muchas gracias por orientarme y darme las largas horas de consulta.

Y a todos los amigos, que durante estos cinco años de carrera permanecieron y me dieron ánimos. A los compañeros de clase, que me ayudaron a hacer estos tiempos más llevaderos, a los que trabajaron conmigo y a los que solamente me hicieron reír.

CONTENIDO

Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice de Figuras	ix
Índice de Cuadros	xii
Simbología	xvi
Resumen	xviii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Justificación.....	1
1.1.1 El problema.....	1
1.1.2 Importancia	3
1.1.3 Antecedentes al problema	5
1.2 Objetivos.....	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Delimitación del tema.....	9
1.3.1 Alcances	9
1.3.2 Limitaciones	10
1.3.3 Metodología	11
1.4 Marco teórico.....	15
1.4.1 Definición de aguas residuales	15
1.4.2 Tratamiento de aguas residuales.....	21
1.4.3 Disposición final de agua residuales.....	22
1.4.4 Alcantarillado sanitario	23

1.4.5	Alcantarillado pluvial	24
1.4.6	Normas vigentes.....	25
Capítulo 2.	Caracterización de la zona de estudio.....	26
2.1	Ubicación geográfica	26
2.2	Distribución de los edificios del Campus	27
2.3	Topografía.....	32
2.3.1	Elevaciones y pendientes.....	32
2.3.2	Áreas silvestres protegidas	34
2.4	Sistemas de alcantarillado y salidas de agua residual de los edificios de Finca 1	35
2.4.1	Alcantarillado sanitario	35
2.4.2	Salidas de aguas residuales	37
2.5	Áreas disponibles en Finca 1 UCR.....	39
Capítulo 3.	Definición de parámetros de diseño	44
3.1	Población de diseño y crecimiento demográfico.	44
3.2	Caudales de diseño	46
3.2.1	Curvas de consumo de agua potable	49
3.3	Límites máximos permisibles para los parámetros de las aguas residuales	55
3.4	Análisis de los resultados de las pruebas de laboratorio.....	57
3.5	Muestreo de la facultad de odontología.....	64
3.5.1	Resultados del muestreo en la facultad de Odontología.....	65
3.6	Parámetros de diseño.....	65
3.6.1	Actividades en los edificios	67
3.6.2	Cargas físicas, químicas y biológicas para los edificios identificados basados en parámetros teóricos.....	71
3.6.3	Comparación de los parámetros teóricos y la reglamentación vigente.....	74

3.7	Medidas de mejoramiento de las aguas residuales	75
Capítulo 4. Diseño del sistema de tratamiento para las aguas residuales tipo especial de la UCR 78		
4.1	Pretratamientos requeridos	80
4.2	Aducciones	87
4.2.1	Pozos de registro	92
4.2.2	Diseño de aducción antes del tanque regulador	94
4.2.3	Diseño de aducción después del tanque regulador	97
4.2.4	Sistema de mezcla	101
4.3	Balance de masas	101
4.4	Tanque regulador	102
4.4.1	Diseño del tanque regulador grupo 2 y 6	105
4.4.2	Diseño del tanque regulador grupo 1, 3 y 4	107
4.5	Estabilización de pH	111
4.6	Tratamiento biológico: biodisco	111
4.6.1	Dimensionamiento del biodisco grupos 1, 3 y 4	118
4.6.2	Dimensionamiento del biodisco grupos 2 y 6	130
4.6.3	Generación y disposición de lodos	137
4.7	Ubicación de unidades de tratamiento	147
4.8	Disposición final	158
4.8.1	Reuso de aguas residuales	158
4.8.2	Vertido al sistema de alcantarillado sanitario	162
Capítulo 5. Consideraciones finales		
5.1	Mantenimiento del sistema de tratamiento	164
5.2	Análisis de costos	166

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones	170
6.1 Conclusiones	170
6.2 Recomendaciones	173
Referencias.....	177
Libros.....	177
Reglamentos.....	177
Trabajos finales de graduación	178
Sitios de internet.....	179
Otros	181
Anexos.....	183
Anexo A. "Lecturas de los hidrómetros de los edificios de Finca 1, sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica"	A-1
Anexo B. "Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_0/n variable)"	B-1
Anexo C. "Ejemplos de cálculo"	C-1
C1. Diseño de aducciones antes del tanque regulador	C-2
C2. Diseño de aducciones después del tanque regulador	C-4
C3. Balance de masas.....	C-7
C4. Tratamiento biológico: biodisco	C-9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Población universitaria en la UCR al año 2011.....	4
Figura 2. Metodología empleada en la elaboración del proyecto.	14
Figura 3. Clasificación de los sólidos.	16
Figura 4. Ciclo del nitrógeno.....	20
Figura 5. Distribución de la Sede Rodrigo Facio.....	27
Figura 6. Distribución de edificios en finca 1 en la Sede Rodrigo Facio.	31
Figura 7. Curvas de nivel de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica	33
Figura 8. Ubicación de los subcolectores Negritos y Saprissa.....	36
Figura 9. Puntos de muestreo de aguas residuales.	38
Figura 10. Elección de zonas disponibles para los sistemas de tratamientos.	41
Figura 11. Fotografías de la Zona 1 para la ubicación de un sistema de tratamiento.....	42
Figura 12. Fotografías de la Zona 2 para la ubicación de un sistema de tratamiento.....	43
Figura 13. Distribución de subproyectos según proyecto de mejoramiento de la educación superior (PMES) en la sede Rodrigo Facio.....	46
Figura 14. Gráfico de la curva de consumo horario de la Facultad de Odontología.....	52
Figura 15. Gráfico de la curva de consumo horario de la Escuela de Química.....	53
Figura 16. Gráfico de la curva de consumo diario de la Facultad de Odontología y la Escuela de Química.	55
Figura 17. Ubicación de los pretratamientos sugeridos.....	86
Figura 18. Ubicación de los tanques reguladores de caudal, de los puntos de reunión y de las aducciones.	89
Figura 19. Perfil de terreno para las aducciones de los grupos 1, 3 y 4.	90
Figura 20. Perfil de terreno para las aducciones de los grupos 2 y 6.	91

Figura 21. Localización de los pozos de registro principales en el sistema.....	93
Figura 22. Mezclador estático para insercion en el tubo.	101
Figura 23. Detallado de los tanques reguladores de caudal	110
Figura 24. Esquema de un biodisco.....	113
Figura 25. Detalles de un biodisco.	114
Figura 26. Esquema del proceso de recirculación en el Biodisco.	116
Figura 27. Área sumergida del biodisco para tratamiento grupo 1, 3 y 4.	123
Figura 28. Detallado del biodisco del grupo 1, 3 y 4.	128
Figura 29. Vista en planta de los biodiscos grupo 1, 3 y 4.....	129
Figura 30. Área sumergida del biodisco para tratamiento grupo 2 y 6.	132
Figura 31. Detallado del biodisco del grupo 2 y 6.	135
Figura 32. Vista en planta de los biodiscos del grupo 2 y 6.	136
Figura 33. Decantador estático cilíndrico-cónico, figura con fines ilustrativos que no corresponde a la propuesta final.....	138
Figura 34. Espaciamiento de agujeros en la placa del decantador.....	140
Figura 35. Detallado del decantador de ambos sistemas.	142
Figura 36. Detallado de las eras de secado de ambos sistemas.	146
Figura 37. Vista en planta del sistema de tratamiento de aguas residuales de los grupos 1, 3 y 4.....	149
Figura 38. Detalle de tuberías PVC de entrada y salida del tanque regulador de caudal para grupos 1, 3 y 4	150
Figura 39. Detalle de tuberías PVC de salida a los biodiscos para sistema de grupos 1, 3 y 4	151
Figura 40. Vista transversal de las elevaciones del sistema de tratamiento para grupos 1, 3 y 4.....	152

Figura 41. Vista en planta del sistema de tratamiento de aguas residuales de los grupos 2 y 6.....	153
Figura 42. Detalle de tuberías PVC de entrada y salida del tanque regulador de caudal grupos 2 y 6.....	154
Figura 43. Detalle de tuberías PVC de salida a los biodiscos para sistema de grupos 1, 3 y 4	155
Figura 44. Vista transversal de las elevaciones del sistema de tratamiento para grupos 2 y 6	156
Figura 45. Detalles de accesos y bodegas para ambos sistemas	157
Figura 46. Detallado de los tanques de captación.....	161
Figura 47. Elementos geométricos de una sección circular.	B-3

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación numérica de las variables según la metodología empleada	2
Cuadro 2. Resultados calidad de agua de los efluentes obtenidos en la investigación	2
Cuadro 3. Normas utilizadas en el proyecto	25
Cuadro 4. Descripción breve de las fincas que componen la Sede Central de la Universidad de Costa Rica.....	26
Cuadro 5. Clasificación de las aguas residuales muestreadas Finca 1, sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.....	28
Cuadro 6. Grupos de edificios para el tratamiento de aguas residuales tipo especial de la Universidad de Costa Rica sede Rodrigo Facio	29
Cuadro 7. Retiros según Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.	40
Cuadro 8. Caudal de consumo de agua potable de la Oficina de Servicios Generales	47
Cuadro 9. Proyección de caudales a las ampliaciones propuestas	48
Cuadro 10. Caudales de diseño de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica sede Rodrigo Facio.....	49
Cuadro 11. Consumo horario en la Facultad de Odontología.	51
Cuadro 12. Consumo horario en la Escuela de Química.....	52
Cuadro 13. Consumo diario en la Facultad de Odontología.....	54
Cuadro 14. Consumo diario en la Facultad de Química.....	54
Cuadro 15. Límites máximos permisibles para los parámetros de las aguas residuales según el RVRAR de Costa Rica	56
Cuadro 16. Límites máximos de los parámetros de vertidos de normas internacionales ...	57
Cuadro 17. Estudio de aguas residuales en unidades académicas de Finca 1 de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica	59

Cuadro 18. Resultados de medición de caudal y análisis obligatorio físico químico y microbiológico de las aguas residuales en finca 1 Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica	60
Cuadro 19. Parámetros que no cumplen con los máximos establecidos para vertido a alcantarillado sanitario según el RVRAR de Costa Rica	61
Cuadro 20. Parámetros que no cumplen con los máximos establecidos para vertido a un cuerpo receptor según el RVRAR de Costa Rica.....	62
Cuadro 21. Resultado del muestreo de la Facultad de Odontología.	65
Cuadro 22. Simbología de colores de los cambios en los parámetros de diseño.....	72
Cuadro 23. Parámetros teóricos de diseño.....	73
Cuadro 24. Parámetros que no cumplen con las concentraciones máximas establecidos para vertido al alcantarillado sanitario según normativa nacional e internacional.....	74
Cuadro 25. Cumplimiento de los parámetros de vertidos de las sodas de la UCR.....	77
Cuadro 26. Biodegradabilidad del efluente.....	78
Cuadro 27. Selección del tipo de tratamiento por grupos de edificios	79
Cuadro 28. Cantidad máxima de inhibidores en un sistema biológico	81
Cuadro 29. Resumen de los pretratamientos requeridos	85
Cuadro 30. Condiciones que establece AyA (2007) para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario.....	92
Cuadro 31. Características de diseño de las aducciones antes del tanque	95
Cuadro 32. Determinación de las condiciones a tubo lleno	96
Cuadro 33. Determinación de las condiciones de diseño	96
Cuadro 34. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones a tanque lleno por medio de la ecuación de Darcy-Weisbach.....	98
Cuadro 35. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones a tanque vacío por medio de la ecuación de Manning.....	99

Cuadro 36. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones sin tanque por medio de la ecuación de Manning.....	99
Cuadro 37. Calculo de los efectos golpe de ariete en las tuberías	100
Cuadro 38. Balance de masas para el diseño del sistema colectivo	102
Cuadro 39. Cálculo del volumen horario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Odontología	105
Cuadro 40. Cálculo del volumen diario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Odontología	106
Cuadro 41. Variaciones de diámetro respecto a la altura.....	107
Cuadro 42. Cálculo del volumen horario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Química.....	108
Cuadro 43. Cálculo del volumen diario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Química.....	109
Cuadro 44. Comparación de dimensionamiento de unidades para tratamiento grupo 1, 3 y 4	120
Cuadro 45. Comparación de dimensionamiento de unidades tratamiento grupo 1, 3 y 4	122
Cuadro 46. Longitudes equivalentes para perdidas locales en tuberías de 200 mm	125
Cuadro 47. Energía requerida para el bombeo del biodisco para el tratamiento de los grupos 1, 3 y 4	125
Cuadro 48. Comparación de dimensionamiento de unidades para tratamiento grupo 2 y 6	130
Cuadro 49. Comparación de dimensionamiento de unidades tratamiento los grupos 2 y 6	131
Cuadro 50. Energía requerida para el bombeo del biodisco para el tratamiento de los grupos 2 y 6.....	133
Cuadro 51. Cálculo del volumen horario requerido para ambos tanques de captación....	159
Cuadro 52. Cálculo del volumen diario requerido para ambos tanques de captación.....	160

Cuadro 53. Características de diseño de tubería de conexión al alcantarillado sanitario..	162
Cuadro 54. Determinación de las condiciones a tubo lleno de tubería de conexión al alcantarillado sanitario.....	163
Cuadro 55. Determinación de las condiciones de diseño de tubería de conexión al alcantarillado sanitario.....	163
Cuadro 56. Presupuesto preliminar del sistema de tratamiento grupo 1, 3 y 4	167
Cuadro 57. Presupuesto preliminar del sistema de tratamiento grupo 2 y 6Cuadro.....	168
Cuadro 58. Consumo en edificios de Finca 1, sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica (m ³).....	A-2
Cuadro 59. Variación en el área requerida para el biodisco según el porcentaje de recirculación	C-10

SIMBOLOGÍA

AyA: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

CICA: Centro de Investigación en Contaminación Ambiental.

DBO: Demanda bioquímica de oxígeno.

DQO: Demanda química de oxígeno.

EPA: Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*).

GAM: Gran Área Metropolitana.

GyA: grasas y aceites.

MINSA: Ministerio de Salud.

OD: Oxígeno disuelto.

OEPI: Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones.

pH: Potencial de hidrógeno.

PMES: Proyecto de Mejoramiento de la Educación Superior.

ProDUS: Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible.

ProGAI: Programa de Gestión Ambiental Institucional.

PTAR: Planta de tratamiento de aguas residuales.

PVC: Polycloruro de vinilo conocido por sus siglas en inglés *Polyvinyl chloride*.

RVRAR: Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales.

SAAM: Sustancias activas al azul de metileno.

SIGAI: Sistema de Gestión Ambiental Integral.

SSed: sólidos sedimentables.

SST: Sólidos suspendidos totales.

T: temperatura.

TRH: Tiempo de retención hidráulica.

UCR: Universidad de Costa Rica.

Tenorio Piedra, Rebeca.

Diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica, sede Rodrigo Facio.

Proyecto Final de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.

R. Tenorio P., 2013.

xviii, 189, [19];ils. col. - 58 refs.

RESUMEN

La Universidad de Costa Rica (UCR), debido a las actividades que se realizan en los edificios, genera aguas residuales tipo ordinarias y tipo especiales que se vierten en el sistema de alcantarillado sanitario del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Las aguas residuales tipo especial requieren un tratamiento previo antes de ingresar a los subcolectores del AyA, ya que por sí mismas, no cumplen con las características que la normativa nacional establece para los vertidos al sistema de alcantarillado. Este trabajo final de graduación se presenta una propuesta de solución a parte del problema, mediante el diseño sanitario del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial en Finca 1.

Se identificaron los edificios que vierten aguas residuales de tipo especial, posteriormente se realizó un análisis de la topografía de la Universidad así como de los espacios disponibles para colocar los sistemas de tratamiento, se respetó la normativa nacional e institucional. De este modo, se diseñaron dos sistemas de tratamiento biológicos, los cuales permiten reusar el agua que se trata en las unidades, o bien, verterla al alcantarillado sanitario. R.A.T.P.

PALABRAS CLAVE: AGUAS RESIDUALES, INGENIERÍA AMBIENTAL, SISTEMAS DE TRATAMIENTO, DEPURACIÓN.

Ing. Paola Vidal Rivera.

Escuela de Ingeniería Civil.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación

1.1.1 El problema

La Universidad de Costa Rica (UCR) fue fundada en el año 1940, y para esta época no existía ningún reglamento de control ambiental que regulara el manejo de las aguas residuales, por lo que durante su construcción no se tomó en cuenta ningún diseño de un sistema sanitario dentro del campus.

Para el análisis que se plantea, las aguas residuales se clasifican en dos tipos: las ordinarias y las especiales; las primeras las componen los vertidos de gran parte de los edificios de Finca 1 y podrían ingresar sin problemas al alcantarillado sanitario porque, por lo general, cumplen con las características establecidas por el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales (RVRAR); por otro lado, las aguas residuales especiales son las generadas por edificios cuyas actividades implican que los vertidos deben ser tratados para ingresar al alcantarillado sanitario y cumplir con el RVRAR.

Hasta la fecha la UCR no cuenta con un sistema planificado de tratamiento de aguas residuales; por lo que éstas, sin importar su clasificación o sus características físico-químicas, se vierten en el alcantarillado sanitario. Por otro lado, verter aguas residuales de cualquier tipo y sin un tratamiento previo a un cuerpo de agua, puede alterar de manera negativa los niveles de contaminación desde el momento de su vertido. En este caso, la quebrada Los Negritos desemboca en el río Torres, que pertenece a la cuenca del río Tárcoles. Los niveles de contaminación de esta cuenca han sido estudiados por años y se han aplicado medidas para reducir la contaminación, según Calvo y Mora (2007), la calidad del agua en diferentes ríos que componen la cuenca del río Tárcoles, varía durante el año y puede alcanzar niveles severos de contaminación, en su estudio se consideró la densidad de población en el análisis; y se presentaron los siguientes resultados:

Cuadro 1. Clasificación numérica de las variables según la metodología empleada			
Clase	Promedio de puntos	Código de color	Interpretación de calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4-6	Verde	Contaminación incipiente
3	7-9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10-12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13-15	Rojo	Contaminación muy severa

FUENTE: CALVO, G. MORA, J. 2007.

Cuadro 2. Resultados calidad de agua de los efluentes obtenidos en la investigación							
Río muestreados	Densidad poblacional	Mes					
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.
Tiribí-1	Alta	Verde	Anaranjado	Anaranjado	Amarillo	Amarillo	Verde
María Aguilar	Alta	Amarillo	Rojo	Rojo	Rojo	Anaranjado	Anaranjado
Tiribí-4	Alta	Anaranjado	Anaranjado	Anaranjado	Anaranjado	Rojo	Amarillo
Torres	Alta	Amarillo	Anaranjado	Rojo	Anaranjado	Rojo	Anaranjado
Virilla-3	Alta	Verde	Amarillo	Anaranjado	Rojo	Anaranjado	Verde
Virilla-1	Alta	Verde	Amarillo	Verde	Amarillo	Verde	Verde

ADAPTADO DE: CALVO, G. MORA, J. 2007.

Según la información anterior, se puede apreciar una contaminación de moderada a severa en el río Torres, por lo que la UCR no debería verter aguas residuales a la quebrada Los Negritos, ya que se está superando la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua.

Por otro lado, en la Universidad se ha tratado de eliminar las conexiones erradas al alcantarillado pluvial. La normativa nacional indica que este sistema de alcantarillado puede realizar sus vertidos en un cuerpo de agua sin tratamiento previo, y no se permiten sistemas de alcantarillados mixtos, es decir que conduzcan aguas pluviales y servidas por la misma tubería.

Actualmente, la UCR cuenta con el plan para la construcción y remodelación de diferentes edificios dentro de Finca 1, para ello se pidió un préstamo al Banco Mundial. Como requisito del préstamo, es necesario contar con el diseño no solo de los edificios y sus respectivas remodelaciones, sino también con el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

completo. Al no contar con un manejo planificado de las aguas residuales tipo ordinaria y especial en el campus, la UCR se expone a un posible rechazo del préstamo.

Paralelamente, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) contará con el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario que recolectará el agua residual que se vierte en el sistema sanitario del Gran Área Metropolitana (GAM); incluyendo las de la UCR. Actualmente hay edificios que tienen conexiones al alcantarillado sanitario que está dentro del campus, sin embargo, si no se tiene el adecuado control, esto podría generar grandes problemas en el funcionamiento del sistema de tratamiento, ya que el RVRAR establece límites máximos para el vertido al alcantarillado sanitario, y por lo que si ingresan concentraciones de contaminantes características del agua residual de tipo especial, podría afectar la eficiencia del sistema de tratamiento del GAM. Es importante dar un tratamiento a las aguas residuales tipo especial para poder incluirlas dentro de la clasificación de aguas residuales ordinarias y así facilitar la disposición final de las aguas residuales de la UCR.

Debido a los problemas de vertido de las aguas residuales ordinarias y especiales en la UCR, es necesaria una reestructuración del sistema de alcantarillado sanitario del campus. Parte de lo que se requiere es dar tratamiento a las aguas tipo especial, según las cargas físicas, químicas y biológicas que éstas presenten; para que los efluentes de estas aguas luego de tratadas puedan ingresar al sistema de alcantarillado sanitario como aguas residuales tipo ordinario.

1.1.2 Importancia

Las aguas residuales representan un riesgo importante en lo que respecta a la salud humana. El mal manejo de las aguas residuales puede desencadenar epidemias como cólera y diarrea, entre otras enfermedades. Por ello, es importante tener un manejo adecuado de las aguas que contengan contaminantes peligrosos para la salud y para la biodiversidad existente en la zona de vertido.

Los vertidos de aguas residuales de carácter especial que se generan en la UCR y se descargan en el sistema de alcantarillado sanitario. Estos vertidos no han sido controlados, por lo que se requiere el diseño de un sistema eficiente de tratamiento, además de darles la disposición final adecuada, según lo indica el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales.

La necesidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad de Costa Rica, es inminente, ya que actualmente en la sede Rodrigo Facio se tienen más de 30 000 estudiantes y 8 000 funcionarios. En la siguiente figura se puede apreciar el crecimiento de la población en el campus. Según lo indica el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), para ese número de personas se debe contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales para disminuir el impacto ambiental que éstas puedan generar.

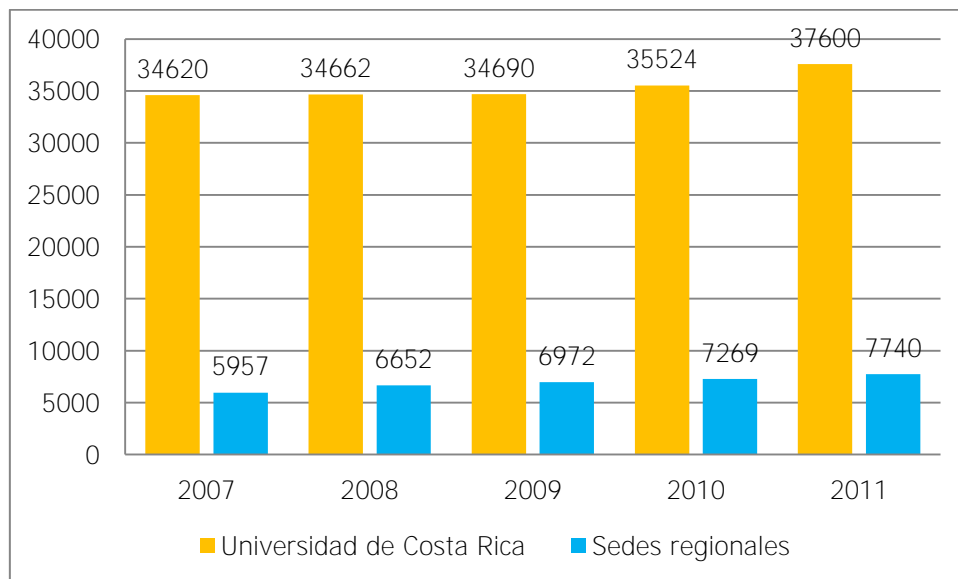


FIGURA 1. POBLACIÓN UNIVERSITARIA EN LA UCR AL AÑO 2011.

ADAPTADO DE: CÓRDOBA, 2011.

La operación del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial en el Campus, permitiría optar por la disposición final más adecuada, ya sea el ingreso de este tipo de

vertidos al sistema de alcantarillado sanitario, la posibilidad de verter directamente en la Quebrada Los Negritos, o el reuso de las aguas residuales tipo especial tratadas dentro de la Institución según su calidad final, para reducir el consumo de agua potable en actividades que no requieren agua de alta calidad. La manera de elegir el tratamiento y la disposición final de las aguas tratadas, dependerá básicamente del espacio disponible y la topografía de la Universidad. Primeramente se analiza la opción de vertido al sistema de alcantarillado sanitario; posteriormente se examina si el espacio disponible es capaz de albergar un sistema de tratamiento capaz de dar una mayor calidad al agua y priorizar el reuso antes del vertido a la quebrada.

El Ministerio de Salud (MINSa) ha indicado en diversas ocasiones a las autoridades de la UCR su descontento con el manejo de aguas residuales, debido a que las descargas, de la mayoría de los edificios, no cumplen hasta la fecha con el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales (RVRAR). De este modo, se le exige a la Universidad realizar un adecuado control ambiental en las aguas servidas que genera, de modo que cumpla con la legislación.

Por este motivo, en la Universidad se colocaron hidrómetros en todos los edificios para medir el consumo de agua potable. Además se conformó una comisión compuesta por profesionales que permitan desarrollar un plan adecuado para manejo de aguas residuales dentro de la Institución. Se llegó al acuerdo de caracterizar las aguas residuales dentro de la Universidad para así determinar el adecuado manejo que se les debe brindar, y ligado a esto realizar programas que permitan controlar las actividades dentro de los edificios, de modo tal que se reduzcan las concentraciones de contaminantes en el agua. Para finalmente, poder concretar el sistema de tratamiento más adecuado.

Este trabajo final de graduación, en complemento a otros proyectos similares, espera dar un aporte al control sanitario requerido para las aguas residuales tipo especial.

1.1.3 Antecedentes al problema

Desde sus inicios, la Universidad de Costa Rica se ha preocupado por el bienestar social del país, lo que ha impulsado la creación de programas cuyo objetivo se enfoca en el

mejoramiento de calidad de vida de la población. Entre estos se puede mencionar el Programa de Gestión Ambiental Institucional (ProGAI), creado desde el 2005, este programa contribuye con la restitución del deterioro ambiental en la UCR y en el país; entre sus objetivos está fortalecer la capacidad organizativa de la Universidad, y generar tecnologías y prácticas para mejorar la gestión ambiental. ProGAI actualmente se encarga del proyecto de manejo integral de la Quebrada Los Negritos, con dicho proyecto se pretende minimizar los problemas asociados con el deterioro de la quebrada, promoviendo un mejor control sobre el vertido de aguas negras, jabonosas e industriales a la quebrada Los Negritos. Por otro lado, este mismo programa cuenta con Sistema de Gestión Ambiental Integral (SIGAI) aplicado a la sede Rodrigo Facio, éste se encarga del estudio de las principales causas del impacto ambiental e hidrológico que generan el vertido de aguas servidas a la Quebrada Los Negritos, tal como la identificación de conexiones ilícitas de descargas de los edificios de la UCR.

Otro programa importante dentro de la UCR es el Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (ProDUS). Una de sus funciones principales es velar por el bienestar ambiental del país y promover el desarrollo sostenible del país. Algunos de los proyectos realizados dan opciones del manejo de aguas servidas, así como los estudios necesarios que se deben realizar previo a un sistema de tratamiento de aguas residuales. También de manera conjunta con ProGAI, se ha creado un plan de regulación de aguas residuales para la UCR.

También, existe el Centro de Investigación de Contaminación Ambiental (CICA), que tiene como fin primordial realizar investigaciones en lo que respecta a grado de contaminación, métodos para analizar contaminantes, búsqueda de mejoras en manipulación de químicos, para la prevención y reducción de la contaminación del ambiente.

Actualmente, el Regente Químico de la Universidad de Costa Rica cuenta con un manual de almacenamiento, control y manejo de residuos químicos de los laboratorios, cuyo objetivo es velar por la seguridad humana y ambiental, tanto de la población universitaria como de las comunidades que habitan en los alrededores de la quebrada de Los Negritos. En este manual se estipula que en los laboratorios se deben etiquetar todos los reactivos según el peligro que representan para la salud, inflamabilidad y reactividad; de modo que la persona que los manipule tenga la información necesaria para identificar la sustancia o el residuo que maneja. Con las etiquetas de los reactivos sus residuos se pueden clasificar, y así de manera

segura. El regente químico, se encarga de velar porque dichos procedimientos se cumplan, y además de que la disposición final de los residuos químicos se dé de una forma controlada. Para ello recomienda la incineración, eliminación a través del sistema de alcantarillado, reciclado de sustancias, filtración o rellenos sanitarios, según sea el caso. Con la puesta en práctica de estos procedimientos por parte de los laboratorios de la UCR, se ha disminuido el vertido de sustancias. Sin embargo, no basta solamente cumplir con estas medidas para evadir la puesta en marcha de un sistema de tratamiento, ya que hay otras cargas físico-químicas que según las actividades de los edificios no se pueden eliminar sin un tratamiento al agua residual.

Por otra parte, el 4 de julio de 2008, inició el proyecto de los "Kioscos ambientales" que pretende concientizar a la sociedad costarricense acerca de la protección de mantos acuíferos y así reducir el riesgo de contaminación con un adecuado control de los desechos. Con ello, el 15 de diciembre del 2011 se firmó un acuerdo entre el alcalde de la municipalidad de Montes de Oca, Fernando Trejos, y la rectora de la UCR en ese momento, Dra. Yamileth González, para desarrollar proyectos **en paralelo a los "Kioscos ambientales"** que se enfoquen al manejo de desechos sólidos, y el saneamiento de cuencas y ríos en beneficio del cantón; básicamente brindan herramientas técnicas a las comunidades según los problemas socio-ambientales que enfrentan; el proyecto tiene tres ejes de trabajo con las comunidades: información y comunicación; asesoría legal y técnica, y acompañamiento organizativo.

En el 2009, se creó la Comisión de Agua y Saneamiento en la Universidad. Esta comisión está compuesta por profesionales de ProGAI, ProDUS, CICA, Escuela de Ingeniería Civil, Regente Ambiental, y la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (OEPI). Con ella, se pretende llevar a cabo un plan para el control adecuado de las aguas residuales de la Universidad.

En complemento, la Escuela de Ingeniería Civil ha desarrollado proyectos de graduación para el diseño de sistemas de tratamientos de aguas servidas tipo ordinario y especial en distintos sectores del país, que sirven de referencia para el diseño del sistema de tratamiento en el Campus. También se han desarrollado proyectos de graduación para el tratamiento de aguas residuales, en Finca 1 y Finca 2 de la sede Rodrigo Facio, y en otras sedes de la UCR. Además de eso, se han creado diversos Trabajos Comunes Universitarios, con el fin de mejorar la calidad de la quebrada Los Negritos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Realizar el diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales especiales para la Finca 1 en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, que permita una adecuada disposición final de este tipo de aguas servidas generadas en el campus.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar la situación actual de Finca 1 de la sede Rodrigo Facio en cuanto a la disposición de aguas residuales tipo especial.
- Estudiar los edificios a incluir en el diseño del sistema de tratamiento, así como sus caudales, salidas de aguas residuales y cargas físico-químicas, según sus actividades.
- Analizar los espacios disponibles para la ubicación de la(s) planta(s) de tratamiento de modo que cumplan con la normativa vigente.
- Seleccionar las tecnologías de saneamiento de aguas residuales tipo especial adecuadas para los edificios generadores de aguas residuales especiales ubicados en Finca 1 de la Universidad de Costa Rica.
- Proponer el sistema de alcantarillado necesario para conducir las aguas las aguas residuales tipo especial de Finca 1 de la Universidad de Costa Rica al sistema de tratamiento propuesto.
- Considerar la posibilidad del reuso de los efluentes ya tratados de Finca 1 dentro de la Universidad de Costa Rica.

1.3 Delimitación del tema

1.3.1 Alcances

El alcance de este proyecto se basa en la necesidad del diseño y ubicación de un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial para la Finca 1 en la Universidad de Costa Rica (UCR) y la disposición final de las aguas tratadas, de modo tal que cumpla con las normas establecidas hasta la fecha de elaboración de este trabajo.

Se busca el diseño más económico y factible ambientalmente, que sea efectivo y eficiente, basado también en el espacio disponible al año 2012 dentro de la misma Finca 1 de la UCR.

Este sistema se diseña solo para tratar las aguas residuales tipo especial según la clasificación de la Comisión Aguas y Saneamiento de la UCR, por lo que no se deberá incluir caudales adicionales de otras fuentes en el sistema de tratamiento propuesto, ya que podría reducirse su eficiencia. La Comisión, ha estudiado las actividades de cada uno de los edificios de la Universidad y ha logrado clasificar los vertidos en ordinarios y especiales, por lo que se respeta dicho criterio como punto de partida. Por otro lado, las aguas residuales tipo ordinarias, deben ser analizadas de manera individual para finalmente disponerlas de la manera más conveniente.

Adicionalmente se contemplan sólo los cambios en la distribución de los edificios dentro del campus planificado hasta el año 2011. Cualquier variación en las actividades dentro de cada edificio, que afecte las cargas químicas, físicas y/o biológicas de las aguas residuales tomadas para el diseño, se deberá estudiar por separado para verificar que no perjudique el sistema de tratamiento.

Este estudio es un modelo para el control de las aguas residuales tipo especial para el lugar indicado, de modo que no justificaría el uso del mismo diseño en otras sedes o fincas.

1.3.2 Limitaciones

El diseño utiliza el alcantarillado sanitario ya existente, para brindar una propuesta más económica; por este motivo no se realizan modificaciones significativas dicha tubería, sólo se consideran aquellas que sean necesarias para lograr las conexiones del sistema de tratamiento al sistema de alcantarillado.

El espacio físico para el diseño del sistema de tratamiento es la principal limitante, junto con la topografía y la ubicación respecto a la Quebrada los Negritos; ya que en primera instancia es necesario priorizar el transporte del agua mediante gravedad, para reducir los costos por compra, instalación y mantenimiento de sistemas de bombeo, lo que se dificulta por la falta de espacio y la baja diferencia de niveles. El terreno seleccionado también es una de las restricciones para seleccionar el tipo de tratamiento que se le dará a las aguas residuales, ya que se debe cumplir con el retiro en los alrededores de la planta, según lo establecido en las normas vigentes.

El diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales no contempla aspectos estructurales ni estudios geotécnicos, solamente incluye el dimensionamiento de las fases de tratamiento según las características del agua a tratar.

Se trabaja con datos y análisis de la calidad de las aguas ya existentes, realizados por la empresa Agrotec, tomados en el año 2011. Estos datos fueron generados a partir de una consultoría pagada por la UCR. Al tratarse muestras puntuales de una hora, se requiere complementarlos con parámetros teóricos según las actividades realizadas en cada uno de los edificios, en caso de no tener valores representativos.

No se cuentan con lecturas de consumo de agua potable después de las 5:00 p.m. ni los fines de semana. Por lo tanto, se trabaja con supuestos para construir las curvas de consumo de agua potable.

1.3.3 Metodología

La metodología a seguir se muestra en la Figura 2 y se detalla de la siguiente manera:

1.3.3.1 Recolección de información preliminar

La primera etapa corresponde a la recolección de información de las aguas residuales de tipo especial, necesaria para el diseño del sistema de tratamiento sanitario de Finca 1. Primero se investiga el contexto legal que afecta de manera directa el diseño, como lo son los parámetros fisicoquímicos permitidos para el vertido a un cuerpo de agua, para el vertido al alcantarillado sanitario o para el reuso del agua tratada.

También con la información brindada por Agrotec en el 2011, se logra determinar las características de las aguas residuales de tipo especial que deben ser tratadas según la reglamentación vigente.

Para el diseño es fundamental contar con la información topográfica de Finca 1, en la que se analizan pendientes del terreno, para priorizar el transporte del agua residual por gravedad, además se estudian los espacios libres en el campus para cumplir con este objetivo y que además contemplen los retiros estipulados por la normativa vigente.

Lo que respecta al contexto de la Universidad de Costa Rica (UCR), es importante contar con planos del sistema de alcantarillado sanitario según AyA, para determinar la disposición final del agua tratada. Adicionalmente se contemplan los cambios a futuro en Finca 1 de los edificios existentes, para determinar las posibles variaciones en los caudales de diseño.

1.3.3.2 Análisis de información preliminar

Con los datos encontrados en la fase anterior, se analiza la información en conjunto. Primero se estudian los datos obtenidos para las cargas de diseño, y se verifican que los datos sean coherentes con las actividades realizadas en cada edificio, o dado caso que falten datos, se procede a la modificación de éstos, ya sea por medios experimentales o con valores teóricos; con los datos completos se determinan los edificios que generan aguas residuales especiales cuyos vertidos no cumplen con lo estipulado en el RVRAR; y en conjunto con este análisis se toman las áreas netas disponibles para la ubicación de unidades considerando los retiros para todos los sistemas de tratamiento posibles a utilizar; también se analiza la ubicación de los edificios respecto a la quebrada Los Negritos, al alcantarillado sanitario y algún espacio disponible para el reuso del agua tratada, esto con el fin de determinar posibles disposiciones finales que condicionan el tren de tratamiento.

1.3.3.3 Agrupación de edificios para tratamiento

Con base en estos tres pasos anteriores, se realiza un agrupamiento de edificios respecto a su ubicación, esto con el fin de tener la menor cantidad de plantas de tratamiento y transportar el agua por gravedad como se menciona anteriormente. La clasificación de los edificios por grupos permite tratar el agua residual por sectores, ya que no se cuenta con el suficiente espacio para tratar todos los caudales en un solo punto, además las descargas poseen diferentes características que no necesariamente requieren el mismo dimensionamiento, por lo que al dimensionar el sistema de tratamiento para un caudal mayor implicaría un sobrediseño del sistema. Es importante que para cada grupo de caudales, se establezcan cuáles son los posibles sistemas unitarios de tratamiento que se pueden diseñar y verificar si cumplen con el retiro reglamentado. En caso que el caudal total de diseño para un subgrupo no cumpla con el retiro normado, se debe cambiar la configuración de los agrupamientos o de los sistemas de tratamiento hasta que cumpla con la normativa vigente, de modo que no se comprometa la salud de la población universitaria, ya que se expondrían a enfermedades debido a cualquier contacto con el agua residual sin el equipo de seguridad adecuado.

1.3.3.4 Diseño del tren de tratamiento

Ya con los caudales y las características de diseño de las aguas residuales, se selecciona el sistema de tratamiento más adecuado para cada grupo, posterior a esto, se realiza el dimensionamiento final de cada operación unitaria, la ubicación definitiva en Finca 1. Para la disposición final de las aguas residuales tratadas, se consideran dos escenarios, el reuso mediante la recolección del agua tratada en un tanque de captación y el vertido al alcantarillado sanitario.

FIGURA 2. METODOLOGÍA EMPLEADA EN LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 2.pdf)

1.4 Marco teórico

1.4.1 Definición de aguas residuales

El agua residual se define como “la combinación de líquidos y sólidos acarreados por agua, cuya calidad ha sido degradada por la incorporación de agentes contaminantes” (MINAE, 2005, p.2) en otras palabras, es el agua que es modificada por el ser humano, incorporando agentes que cambian sus características físicas, químicas y biológicas, las cuales se deben disponer de manera adecuada. El no disponer de estas aguas de una manera adecuada pueden generar pérdida de vida silvestre, tanto fauna como flora. Se clasifican en dos tipos, según sus características: aguas residuales ordinarias y aguas residuales especiales.

Las aguas residuales tipo ordinario son las generadas por actividades domésticas, mientras que las aguas residuales tipo especial, difieren de éstas en uno o varios parámetros, es decir, que se encuentran concentraciones más altas de los valores típicos de un hogar. Generalmente las aguas residuales tipo ordinario requieren análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), potencial de hidrógeno (pH), grasas y aceites (GyA), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), temperatura (T). Mientras que las aguas residuales tipo especial, además de los ensayos requeridos para aguas residuales ordinarias, precisan análisis de metales pesados, hidrocarburos, entre otros. En el caso de la UCR, las aguas residuales tipo especial provienen de edificios con laboratorios de investigación, por esta razón requieren análisis adicionales a los mencionados anteriormente.

1.4.1.1 Parámetros característicos de las aguas residuales

1.4.1.1.1 Parámetros físicos

Sólidos

Son impurezas contenidas en el agua, pueden ser orgánicas e inorgánicas, que después de ser sometidas a temperaturas entre los 103°C y 105°C no se evaporan (Henry, G., & Heinke, G., 1996). Estas partículas afectan directamente la calidad del agua y se clasifican según el tamaño de partículas o por su origen.

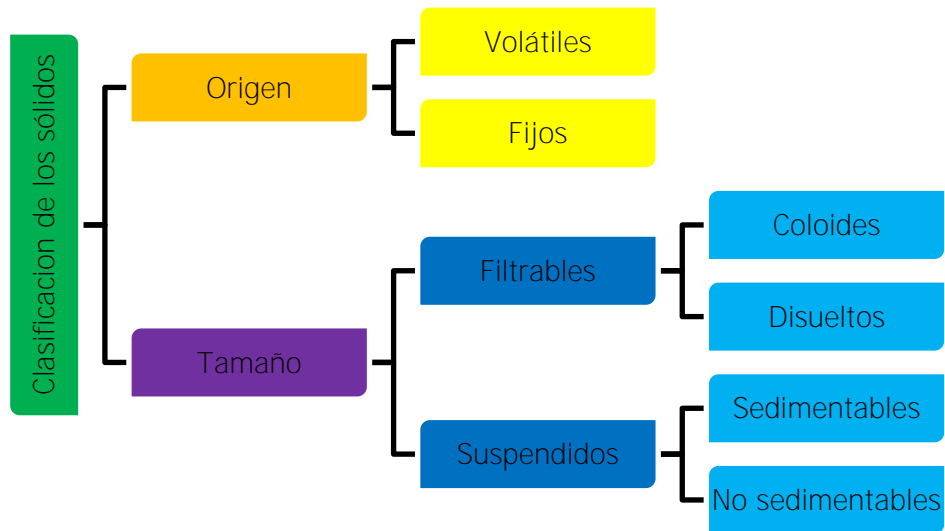


FIGURA 3. CLASIFICACIÓN DE LOS SÓLIDOS.

Según su tamaño se clasifican en dos grandes grupos: las filtrables y las no filtrables, la diferencia entre ambos grupos se basa en que las primeras pasan a través de un filtro de papel. Por otra parte se pueden clasificar según su origen en volátiles y fijos, los primeros se relacionan con la cantidad de materia orgánica presente en el agua, se determinan

sometiendo la muestra a 550°C durante 15 minutos, los residuos que quedan después de esta prueba se clasifican como inorgánicos.

Para el diseño del sistema de tratamiento se consideran los sólidos sedimentables, porque pueden reducir la eficiencia de sistemas de coagulación y floculación y saturar más rápido los sistemas de filtros, y también los sólidos suspendidos totales para la aplicación de sistemas de floculación y coagulación.

Color

El color es la característica que está directamente ligada con apariencia de agua y a la cantidad de sólidos disueltos de origen orgánico y materiales suspendidos (Reynolds y Richards, 1996). Se mide en UPC, Platino Cobalto, este parámetro permite determinar las dosis de reactivos químicos para un tratamiento de aguas residuales, y también indican si hay necesidad de incluir filtros en el tratamiento. El color se clasifica en dos grupos, el color aparente debido a la presencia de partículas en suspensión; color verdadero que es debido a extractos coloidales.

Turbiedad

Se refiere a la resistencia de un fluido a permitir el paso de la luz a través de él. Se relaciona directamente con la materia en suspensión en el agua (Reynolds y Richards, 1996).

Olor

Es un parámetro que permite determinar la presencia de microorganismos y materia orgánica, ya que estos liberan gases en el proceso de descomposición. (Reynolds y Richards, 1996).

Temperatura

Esta característica está ligada a los procesos químicos y biológicos que se dan en el agua. La temperatura tiene influencia directa con el desarrollo de la vida acuática; se puede afirmar que al aumentar la temperatura se provoca un aumento en las reacciones químicas y biológicas, así como de la velocidad de reacción; y una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

1.4.1.1.2 Parámetros químicos

Potencial hidrógeno (pH)

Es la concentración de iones de hidrógeno, H^+ , medida a 25°C de temperatura; varía desde 1 hasta 14 en escala logarítmica, cuando el potencial de hidrógeno es inferior a 7 indica una muestra ácida, si es 7 indica una muestra neutra y si es mayor a 7 indica que es una muestra básica. El potencial de pH puede afectar directamente el rendimiento de una planta de tratamiento, ya que en un sistema biológico, las bacterias requieren aguas con pH neutro, si se dan cambios pronunciados en el pH del agua, podría reducir drásticamente la eficiencia del sistema, ya que se perdería la biomasa (Hernández, 1996).

Alcalinidad

Indica la capacidad del agua de neutralizar ácidos, permite evaluar y determinar el tratamiento químico del agua. Se debe principalmente a bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, se mide en mg de $CaCO_3$. Ésta es una propiedad importante, si se trabaja con sistemas biológicos, ya que el agua residual con una alcalinidad adecuada es capaz de neutralizar los ácidos y así no afectar el rendimiento.

Oxígeno disuelto (OD)

Es la cantidad de oxígeno gaseoso presente en el agua, afecta directamente la vida acuática, y el tratamiento biológico de las aguas residuales. Su unidad de medida es en mg/l. El OD es muy importante para los sistemas biológicos aeróbicos, ya que el contenido de oxígeno durante el sistema de tratamiento define la eficiencia del sistema.

Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Es un indicador de la cantidad de materia orgánica contenida en el agua y se define como la concentración de oxígeno en miligramos por litro, (mg/L) necesarios para degradar materia orgánica por medios biológicos.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Cuantifica la cantidad total de oxígeno que se necesita para degradar la materia orgánica por medios químicos y biológicos. La demanda química de oxígeno es mayor que la demanda biológica de oxígeno, ya que el DBO contempla la degradación de materia solamente por medios biológicos; y su relación determina el tiempo de tratamiento que podría darle a las aguas residuales.

Nutrientes

Los nutrientes son necesarios para preservar la vida de diversos organismos, en un cuerpo de agua el exceso de estos puede generar la eutrofización del agua, es decir, un alto crecimiento de plantas acuáticas, que impiden el ingreso de luz y oxígeno al agua, provocando que la calidad del agua se vea deteriorada. En el agua residual es importante porque puede afectar la eficiencia en los sistemas biológicos, o sea, el agua residual con pocos nutrientes disminuye la eficiencia del sistema, así como el agua residual con demasiados nutrientes.

Un ejemplo de un nutriente en el agua es el fósforo, un elemento esencial para el crecimiento de organismos como las cianobacterias. Los compuestos del fósforo, se pueden encontrar en detergentes (Mihelcic, 2001). Otro tipo de nutriente importante es el nitrógeno y sus compuestos, estos son utilizados como indicadores del tiempo de contaminación del agua, ya que el ciclo del nitrógeno que inicia con el nitrógeno orgánico que entra en un proceso de desaminación y continúa con la producción de amoníaco de la siguiente manera:

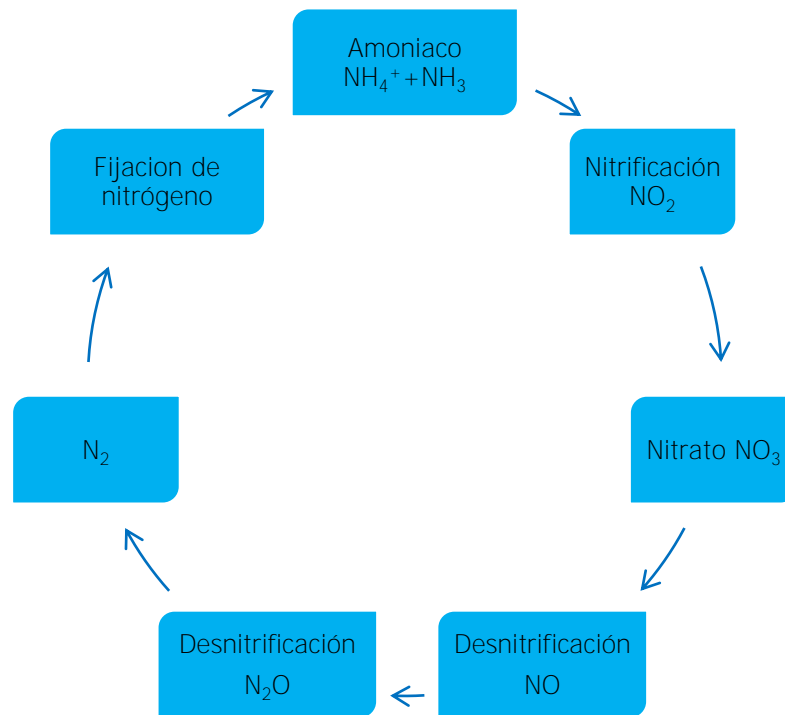


FIGURA 4. CICLO DEL NITRÓGENO.

ADAPTADO DE: MIHELICIC, J; 2001.

Aceites y grasas

Son sustancias insolubles en agua, que forman películas o capas en su superficie haciendo más viscosa la mezcla. Se deben remover en la etapa de pretratamiento. Se miden en mg/L de grasas y aceites.

1.4.2 Tratamiento de aguas residuales

Un sistema de tratamiento permite mejorar la calidad de las aguas residuales, y se compone por operaciones unitarias físicas, químicas y biológicas, éstas se escogen según las características físico químicas del agua antes mencionadas. La calidad que debe alcanzar el agua a la salida de un sistema de tratamiento está definida por el RVRAR; esta calidad está ligada al tipo de agua tratada y al modo de reuso según sus características. Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) permite disminuir el impacto ambiental que causa la contaminación de las aguas residuales crudas en los cuerpos de agua, y a dar un mejor provecho al agua tratada. En algunos países, el sistema de tratamiento de aguas residuales es tan riguroso, que se puede reusar el agua hasta que sea apta para el consumo humano.

Una PTAR cuenta con una secuencia de sistemas de tratamiento ordenada según el tipo de agua a tratar, consta principalmente de cuatro fases: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

Una unidad de operación física como pretratamiento remueve materia orgánica e inorgánica sin emplear energía, por ejemplo, se pueden remover las partículas con el principio de precipitación por gravedad según el tamaño de las partículas. Posterior a los sistemas de pretratamiento, se realiza el tratamiento primario y secundario, según las características del agua se emplean sistemas de tratamiento químicos o biológicos, estos últimos son más comunes en aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. Posterior a ello se puede dar un tratamiento terciario, para dar mayor calidad al agua tratada, sin embargo esta fase se puede no presentar y aun así cumplir con el RVRAR.

1.4.3 Disposición final de agua residuales

Como se menciona anteriormente, el agua residual se produce por una alteración en la calidad del agua debido a las actividades del hombre, éstas por lo general se canalizan y se disponen en tres maneras:

1. Se depositan en cuerpos de agua, o sea, ríos o lagos.
2. Se depositan en alcantarillados sanitarios, los cuales llevan el agua a una PTAR.
3. Se reutiliza el agua tratada según su calidad.

1. Vertidos a un cuerpo de agua

Para poder verter el agua tratada a un cuerpo de agua se debe cumplir con los requerimientos establecidos en el Reglamentos de vertido y reuso de aguas residuales. Aunque el RVRAR no considera la calidad del agua en un cuerpo de agua, el vertido de contaminantes no debe superar la capacidad limitada de autodepuración del cuerpo receptor, esto se refiere a que cuando ingresa cierta cantidad de contaminante a un río, éste debe tener la capacidad de recuperar la calidad del agua que tenía antes del vertido. Cuando se tienen aguas residuales con características físico-químicas que superan los máximos establecidos por el reglamento, se deben tratar de modo tal que cumpla con la norma para no producir una contaminación irreversible en los ríos. Si se vierten aguas industriales a los ríos sin tratamiento previo, estos ríos fácilmente pueden contaminar otras fuentes de agua, como por ejemplo contaminar las fuentes de abastecimiento de agua, generando así tratamientos más caros según su uso, como la potabilización.

2. Vertidos al alcantarillado sanitario

De manera similar que con el vertido a un cuerpo receptor, los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales deben cumplir con las concentraciones máximas permitidas que se establecen en el RVRAR. El alcantarillado sanitario permite recolectar aguas servidas y conducir las a un sistema de tratamiento, para finalmente disponerlas de manera adecuada.

Es importante que los parámetros de la calidad de las aguas residuales sean normados, ya que la PTAR se podría ver afectada por el ingreso de agua que sobrepasa los parámetros de diseño, lo que ocasionaría que se reduzca la eficiencia del sistema.

3. Reutilización de agua tratada

La reutilización del agua residual tratada permite la disminución del consumo de agua potable, ya que hay actividades humanas que no requieren agua potabilizada, sin embargo para el reuso de aguas residuales se deben cumplir con los criterios establecidos que contemplan los niveles máximos para los parámetros físicos, químicos y biológicos en el RVRAR, según se indican las condiciones de uso a las aguas tratadas. El Reglamento define ocho tipos de posibles reusos del agua tratada:

1. Reuso urbano: para riego de zonas verdes, contra incendios, lavado de automóviles, entre otros.
2. Riego con acceso restringido, donde el acceso al público está prohibido o restringido.
3. Reuso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta.
4. Reuso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta, donde se puedan destruir patógenos en su proceso de manipulación.
5. Reuso agrícola en cultivos no alimenticio
6. Reuso recreativo, como en pesca o lagos artificiales.
7. Reuso paisajístico, donde no haya acceso al público.
8. Reuso en la construcción, compactación de suelos por ejemplo.

1.4.4 Alcantarillado sanitario

Según el AyA (2007), el alcantarillado sanitario debe ser un sistema preparado para recolectar aguas residuales de tipo ordinario. Su diseño debe considerar los aportes por filtración de agua de lluvia según el material de la conducción; también permite el ingreso de

efluentes procedentes de aguas residuales de tipo especial, que deben ser tratadas previamente para que cumplan con ciertos máximos permitidos por el RVRAR.

El AyA cuenta con tres grandes sistemas de alcantarillado sanitario de la GAM: Metropolitano, Heredia y Alajuela. El cantón de Montes de Ocas se ubica dentro del sistema de la zona Metropolitana, el cual cuenta con cuatro colectores y cada uno se divide en subcolectores, mencionados a continuación:

1. Colector Rivera: Barreal, San Blás, Tibás, Zentillal y Los Colegios.
2. Colector Torres: Torres I, Torres II, Saprissa, Negritos, Cangrejos y Lantisco.
3. Colector María Aguilar: Purruses, Ocloro, Del Sur, Las Arias y Chile de Perro.
4. Colector Tiribí: Damas y Cucubres.

1.4.5 Alcantarillado pluvial

El sistema de alcantarillado pluvial permite recoger el agua de lluvia que no requiere ningún tipo de tratamiento. Estas aguas pueden ser vertidas directamente a un cuerpo receptor de aguas, o puede ser conducida a un tanque de captación para amortiguar la descarga al río, y evitar inundaciones aguas abajo durante un evento de precipitación. En Costa Rica no está permitido el diseño de alcantarillados mixtos, es decir que se vierten las aguas residuales y las pluviales en un mismo sistema, por lo que no se debe realizar vertidos de aguas residuales en este sistema de alcantarillado, ya que se alterarían las cargas físico-químicas del agua y no cumpliría con la reglamentación vigente.

1.4.6 Normas vigentes

Cuadro 3. Normas utilizadas en el proyecto	
Norma	Puntos relevantes
Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales (Decreto n° 33601-MINAE, año 2007).	Provee información de los límites máximos permisibles para los parámetros que caracterizan las aguas residuales vertidas en alcantarillados sanitarios y en cuerpos de agua. Además regula las condiciones de reuso de aguas residuales tratadas, contempla las características necesarias para la reutilización del agua
Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Decreto n° 31545- MINAE, año 2005).	Brinda los retiros mínimos a linderos de propiedad según el tipo de tratamiento que se utilice.
Reglamento técnico para el diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos (AyA, año 2007)	Indica las generalidades de diseño para un sistema de alcantarillado sanitario como: diámetro mínimo de tubería, límites de velocidades, tirante máximo, fuerza atractiva, profundidades de las tuberías respecto al nivel de terreno. Además indica las características de los pozos de registro, así como su ubicación. Sugiere los caudales de infiltración de agua a través de la tubería según el tipo de material.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Ubicación geográfica

La sede Rodrigo Facio, es la sede central de la Universidad de Costa Rica, ubicada en San Pedro de Montes de Oca, a 3 km al Este centro de la ciudad de San José. Cuenta con tres fincas ubicadas en los distritos de Sabanilla, San Pedro y Mercedes del Cantón de Montes de Oca, según se aprecia en Figura 5.

Cuadro 4. Descripción breve de las fincas que componen la Sede Central de la Universidad de Costa Rica		
	Descripción	Área total (hectáreas)
Finca 1	Cuenta con 200 000 m ² construidos, comprendidos entre edificios administrativos, laboratorios y centros de investigación. En medio de esta finca se encuentra la quebrada los Negritos.	31,5
Finca 2	Conocida también como Ciudad de la Investigación de la Universidad de Costa Rica cuenta en su mayoría con edificios dedicados a la investigación. Entre los proyectos a futuro de la Universidad de espera que la Facultad de Ingeniería se encuentre ubicada en finca 2.	21
Finca 3	Comprende las instalaciones deportivas de la Universidad.	25

ADAPTADO DE: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2012.

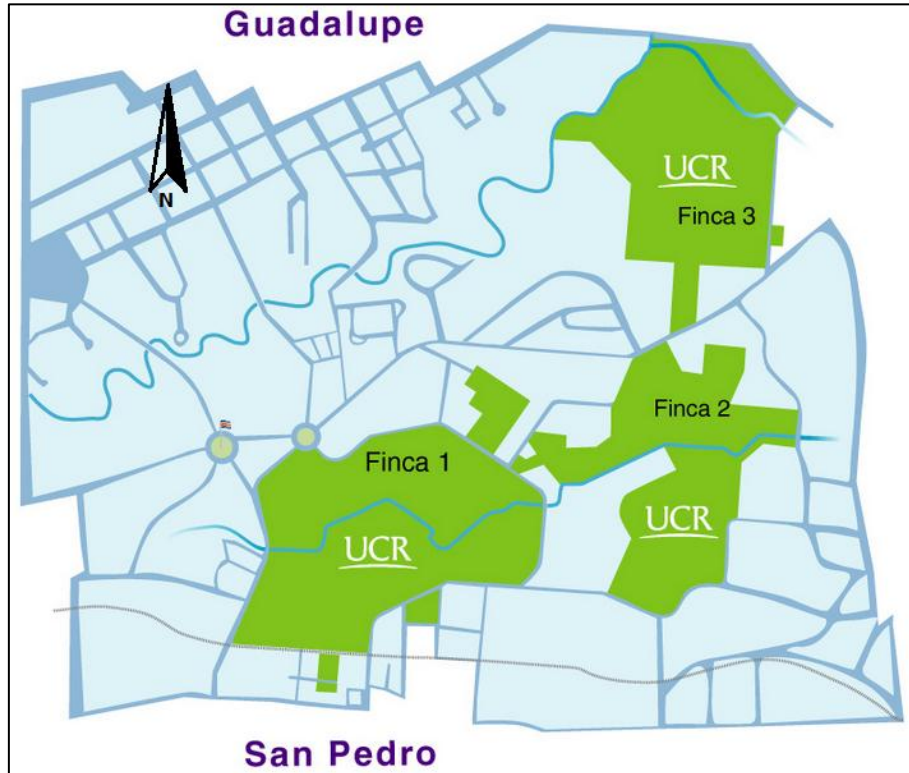


FIGURA 5. DISTRIBUCIÓN DE LA SEDE RODRIGO FACIO.

FUENTE: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2012.

2.2 Distribución de los edificios del Campus

Para cada edificio, según las actividades que realizan, se clasifican las salidas de agua residual en ordinarias o especiales, tal y como se muestra en el Cuadro 5. Los edificios resaltados en negrita en este cuadro son los edificios que se consideran en el diseño.

Cuadro 5. Clasificación de las aguas residuales muestreadas Finca 1, sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica

Unidad académica	Clasificación de agua residual
Agroalimentarias 1	Especial
Agroalimentarias 2	Especial
Arquitectura	Ordinaria
Artes Musicales	Ordinaria
Bellas Artes	Especial
Biblioteca Luis Demetrio Tinoco	Ordinaria
Bibliotecología	Ordinaria
Biología A	Especial
Biología B	Especial
CICA	Especial
Ciencias Económicas	Ordinaria
Ciencias Sociales	Ordinaria
Cigras (a)	Especial
CIGRAS (b)	Especial
CITA y Planta	Especial
Contraloría	Ordinaria
Derecho	Ordinaria
Edificio administrativo A y OEPI	Ordinaria
Edificios administrativos B y C	Ordinaria
Editorial UCR	Especial
Educación	Ordinaria
Estudios Generales	Ordinaria
Facultad de Ingeniería	Especial
Farmacia	Especial
Física	Ordinaria
FUNDEVI	Ordinaria
Geología 1	Ordinaria
Geología 2	Ordinaria
IIS	Ordinaria
Informática 1	Ordinaria
Informática 2	Ordinaria
Junta de Ahorro y Préstamo	Ordinaria
LEBI y Bioterios	Especial
Letras	Ordinaria
Medicina este	Especial
Medicina sur	Especial
Microbiología	Especial
Oficina de Salud	Especial
Prog. Recursos para Sordera	Ordinaria
Química	Especial
Radio u y Canal 15	Ordinaria
Semanario	Ordinaria
Servicios Generales	Especial
SINDEU	Ordinaria
Tecnología de Alimentos	Especial
Tecnologías en Salud	Especial

FUENTE: COMISIÓN DE AGUAS Y SANEAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, 2011.

En la Figura 6, se muestra la distribución de los edificios ubicados en Finca 1, que comprende el área de estudio de este proyecto, en contorno rojo se muestran los edificios considerados en el diseño. Se puede apreciar que los edificios ubicados en la zona 1, sector 1 cinco de ellos vierten agua residual tipo especial, en el sector 2 solamente uno vierten aguas tipo especial; por su parte la zona 2 cuenta con edificios en su mayoría vierten aguas residuales de tipo especial, solamente dos de ellos vierten aguas residuales tipo ordinario; la zona 3 cuenta con un edificio que genera aguas tipo especial en el sector 1 y dos edificios del mismo tipo en el sector 2; la zona 4 cuenta con un edificio generador de aguas residuales tipo especial. Al estar los edificios tan cercanos se pueden agrupar para contar con la menor cantidad de sistemas de tratamientos.

Como se menciona anteriormente, para transportar el agua por gravedad es necesario agrupar los edificios para conducir sus aguas a los sistemas de tratamiento que se diseñan, Por ubicación, cercanía y topografía se definen los siguientes grupos de edificios que vierten aguas tipo especial:

Cuadro 6. Grupos de edificios para el tratamiento de aguas residuales tipo especial de la Universidad de Costa Rica sede Rodrigo Facio	
GRUPO	Unidad Académica
1	Agroalimentarias
	Cigras
	Tecnología de Alimentos
2	CICA
	Farmacia
	LEBI
	Medicina
	Odontología
3	Biología
	Microbiología
	Química
4	Bellas Artes
	Editorial UCR
	Servicios Generales
5	Oficina de Salud
6	Tecnologías en salud

Con el afán de reducir la cantidad de tratamientos, se pueden concentrar los grupos 1, 3 y 4 en el mismo sector, y así solo habría necesidad de construir un sistema para estos grupos. Se requiere otro sistema de tratamiento para los grupos 2 y 6. Por otro lado, el grupo 5, es un caso particular al cual se le debe aplicar un tratamiento de manera individual, ya que se encuentra muy alejado de los demás edificios que generan aguas residuales tipo especial, e invertir en un sistema de tratamiento para este edificio sería poco factible, porque es el edificio con menor consumo de agua potable después de la Escuela de Tecnologías en Salud.

FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN DE EDIFICIOS EN FINCA 1 EN LA SEDE RODRIGO FACIO.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 6.pdf)

2.3 Topografía

2.3.1 Elevaciones y pendientes

Con el levantamiento topográfico de Finca 1, proporcionado por la Oficina Ejecutora del Programa de Inversiones (OEPI) y en complemento con el plano de los colectores brindado por AyA, se logra analizar las elevaciones y pendientes en diferentes sectores de la Universidad, y se evidencia que el terreno en general drena hacia la quebrada de Los Negritos. El punto más alto de la UCR, se encuentra por la Facultad de Agronomía, con una elevación de 1201,8 m.s.n.m. aproximadamente, y el punto más bajo cerca de la Facultad de Derecho con una elevación promedio de 1187,2 m.s.n.m., esto implica una diferencia de niveles de 14 metros entre el punto más alto y el más bajo del Campus Universitario, lo que indica pendientes y diferencias de elevaciones bajas entre puntos cercanos.

En la Figura 7, se muestran las curvas de nivel cada 2 metros en la Universidad. Asociado con la figura anterior, la zona 1 tiene entre sus lugares más altos en la Facultad de Farmacia y la Facultad de Letras, y entre los sitios más bajos está el Comedor Estudiantil. La zona 2 tiene como punto más alto la Escuela de Tecnología de Alimentos y sus lugares más bajos la Escuela de Química y la Escuela de Artes Musicales. Por su parte la zona 3 tiene el Edificio Saprissa como el punto más alto, y como puntos más bajos la Facultad de Ciencias Económicas y La Facultad de Bellas Artes. Por último, la zona 4 muestra su lugar más alto en la Contraloría Universitaria y su sitio más bajo la Facultad de Derecho.

Como era de esperar, las zonas más bajas en general se ubican cerca de la quebrada los Negritos como se menciona anteriormente, y que el agua de la quebrada drena de la Facultad de Bellas Artes hasta la Facultad de Derecho.

FIGURA 7. CURVAS DE NIVEL DE FIInca 1 de la UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 7.pdf)

2.3.2 Áreas silvestres protegidas

En la UCR existen dos zonas denominadas como áreas protegidas, las cuales clasifican como reservas, dedicadas al desarrollo de actividades docentes e investigación. Como lo estipula El plan de reordenamiento de áreas verdes de la UCR, (Vicerrectoría de administración Universidad de Costa Rica, 2008), no se permite cambio en su uso de suelo ni alrededor de una franja de 10 metros a ambos lados de la quebrada Los Negritos, por lo que no se incluyen estas áreas para colocar unidades de tratamiento y se conservan los retiros de los sistemas de tratamiento en caso de colocarlas cerca de alguna de las reservas.

2.3.2.1 Jardín Botánico Leonel Oviedo

Está ubicado en el centro del campus de la Universidad, cuenta con 20 000 m², y está bajo la administración de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica. Tiene características de bosque Premontano Húmedo y alberga a más de 70 especies de árboles. El único acceso a la reserva es mediante un sendero rústico de 400 m. Limita al Norte con la Facultades de Medicina y Odontología, al Este con la Escuela de Biología, al Sur con El edificio de Estudios generales y la Facultad de Ciencias Sociales y al Oeste con la Facultad de Ciencias Económicas.

2.3.2.2 Jardín Botánico José María Orozco

Se encuentra en las cercanías de Radio Universidad, cuenta con un área de 4 500 m², en las que existen 450 especies de plantas aproximadamente. También se encuentra bajo la administración de la Escuela de Biología. Este jardín se ubica detrás de Radio Universidad.

2.4 Sistemas de alcantarillado y salidas de agua residual de los edificios de Finca 1

Es importante ubicar las salidas de las aguas residuales de los edificios para determinar las longitudes de las aducciones a las zonas de tratamiento seleccionadas, además de ello se estudian cuáles las zonas disponibles, se encuentran cercanas a los colectores del AyA.

Para eso se dispone de información proporcionada por el AyA y por Agrotec.

2.4.1 Alcantarillado sanitario

El área de la Universidad de Costa Rica, desagua al colector Torres, que es alimentado por dos subcolectores: el Negritos y el Saprissa. El primero de los subcolectores continua paralelo a la quebrada Los Negritos hasta descargar en el colector Torres en las cercanías del puente “Los Incurables”; el subcolector Saprissa inicia al sureste de Vargas Araya, en San Pedro, hasta unirse con el subcolector Negritos en la Universidad de Costa Rica (ProDUS, 2001). La figura siguiente muestra, la ubicación exacta de los dos subcolectores, ambos son de concreto y tienen diámetros entre 250 mm y 375 mm.

Según la ubicación de las zonas disponibles para la colocación de los sistemas de tratamiento y por las condiciones topográficas, se opta por verter todas las aguas tratadas al subcolector Negritos.

FIGURA 8. UBICACIÓN DE LOS SUBCOLECTORES NEGRITOS Y SAPRISSA.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 8.pdf)

2.4.2 Salidas de aguas residuales

Las salidas de aguas residuales se indican en la Figura 9. Cabe recalcar que algunos edificios cuentan con más de una salida, y en el caso particular de la Facultad de Odontología no se cuenta con una salida ubicada. A pesar de esto, la Universidad ha hecho un esfuerzo por reducir el número de salidas de las descargas a una por edificio.

Es importante identificar las salidas de las aguas residuales de cada edificio para ubicar los pretratamientos, éstos son necesario ya que las características de las aguas residuales tipo especial varían en todos los edificios, y es más económico tratar ciertas características de las aguas servidas de manera individual que de manera colectiva, sin embargo este tema se aborda más adelante. Además con las salidas se pueden combinar aguas residuales en pozos de registro para reducir el número de tuberías que las conducirían a un tanque homogenizador de caudal.

FIGURA 9. PUNTOS DE MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 9.pdf)

2.5 Áreas disponibles en Finca 1 UCR

La disposición de zonas disponibles para la ubicación de las operaciones unitarias para el sistema de tratamiento de aguas residuales es limitada. El Plan de reordenamiento de áreas verdes en la sede Rodrigo Facio, impulsa la restauración y conservación del ambiente, debido a que las zonas verdes del Campus Universitario han disminuido con el pasar de los años; además pretende contribuir con una solución el caos ambiental del GAM, iniciando por la Universidad. Lo que indica el plan es la cantidad de áreas verdes mínimas que debe tener la sede y el tipo de cobertura que se debe mantener. Por esta razón, ninguna de las áreas verdes fue tomada como áreas disponibles en este proyecto.

Por otro lado, la UCR por medio de un fideicomiso logró fondos para ejecutar un proyecto para la construcción de tres edificios de parqueos, con el fin de ahorrar espacio. Los edificios se ubicarán en Finca 2, y tendrán capacidad para 500 vehículos cada uno (Consejo Universitario, 2012). Estas nuevas alternativas permiten contemplar la posibilidad de disponer de los parqueos de Finca 1, como opciones para el sistema respetando lo mencionado en el Plan de reordenamiento de áreas verdes.

Las áreas disponibles deben guardar los retiros, desde el sistema hasta los edificios cercanos, cuerpos de agua o reservas naturales, según se indican **en el "Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales"**.

Cuadro 7. Retiros según Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Tipo de Tratamiento	Retiro mínimo (m)	Tipo de Tratamiento	Retiro mínimo (m)
Lagunas Anaerobias	50	Floculación	10
Lagunas Facultativas, Aeróbicas y Aireadas	20	Lechos de secado	10
Lodos Activados	10	Digestores aeróbicos	10
Filtros Biológicos	20	Laguna de lodos	50
Reactores Abiertos	20	Digestores Abiertos	20
Anaerobios Cerrados	10	Anaeróbicos Cerrados	10
Sedimentadores Cerrados	10	Campos primarios y secundarios superficiales de infiltración	10
Tanques sépticos y sus Drenajes (Q 14,0 m ³ /día)	1	Sistemas de evaporación	10
Humedales artificiales	20	Cárcamos de bombeo	5
Sedimentadores con Digestores incorporados (Q 3,5 m ³ /día) Abiertos	20	Sedimentadores con Digestores incorporados (Q 3,5 m ³ /día) Cerrados	10
Plantas de tratamiento Químico	5	Tanques de homogeneización compensación	5

FUENTE: MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA, 2005.

Debido a la ubicación de los edificios que generan aguas residuales tipo especial se proponen dos zonas de tratamiento. En la siguiente figura se muestra en color amarillo la divisoria de la Finca 1 de la Sede Central de la UCR, y en color naranja los espacios sugeridos para la ubicación del sistema según la agrupación seleccionada. Para el primer caso, denominado como zona 1, utiliza un área de 802 m² detrás del comedor estudiantil, respetando 10 m de retiro. El segundo caso, se utiliza como área potencial para ubicar el sistema, el parqueo de la Facultad de Educación, denominado como zona 2, cuenta con 895 m², respetando 10 metros de retiro (ver Figura 10).

La diferencia de elevaciones en la Universidad no es suficiente para conducir el agua por gravedad sin realizar excavaciones en el terreno, estas dos zonas se ubican cerca de los edificios que se consideran en el diseño por lo que la ventaja de utilizar estos dos espacios, es que son de las zonas de parqueos amplias con más diferencia de elevaciones respecto a la

ubicación de los edificios. Al conducir las aguas a estas zonas no es necesario poner tuberías perpendiculares a la quebrada, lo que facilita el funcionamiento estructural de las mismas.

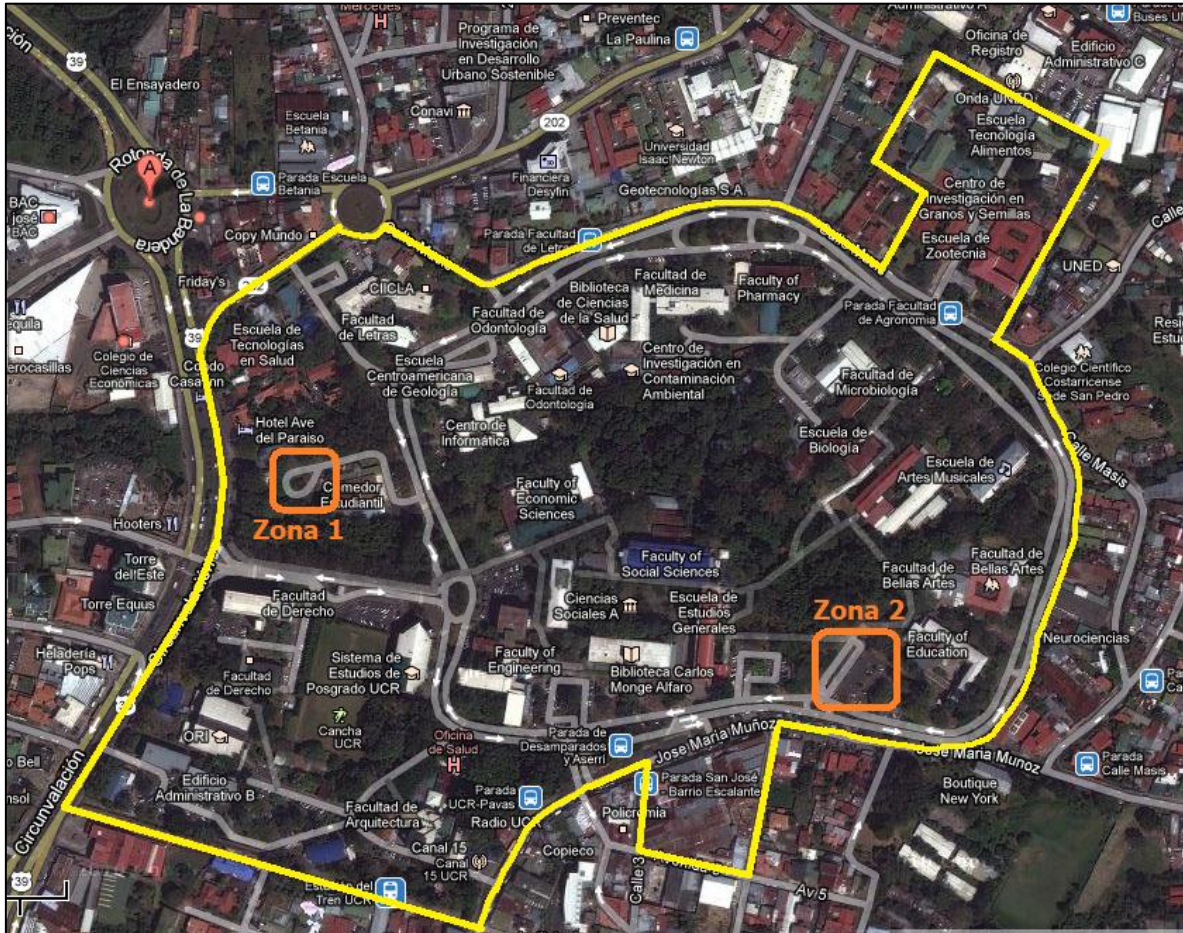


FIGURA 10. ELECCIÓN DE ZONAS DISPONIBLES PARA LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTOS.

ADAPTADO DE: GOOGLE MAPS, 2012.

En la Figura 11, se muestran la imagen de la zona 1 y en la Figura 12 se muestran cuatro fotografías desde distintos ángulos de la zona 2.



Vista de la zona este



Vista completa, desde la Zona Sur

FIGURA 11. FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA 1 PARA LA UBICACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO.



Zona Sur-Este



Zona Sur-Oeste



Zona Norte-Este



Zona Norte-Oeste

FIGURA 12. FOTOGRAFÍAS DE LA ZONA 2 PARA LA UBICACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO.

CAPÍTULO 3. DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

3.1 Población de diseño y crecimiento demográfico.

Como se menciona anteriormente en la distribución de edificios de Finca 1, a la fecha no se están desarrollando construcciones o remodelaciones de los edificios existentes y las actividades registradas en los edificios hasta el momento, no presentan cambios a corto plazo. Sin embargo la Universidad si cuenta con planes de inversión para desarrollar edificios nuevos, tanto en la Sede Central como en las sedes regionales, en el informe dado por el Consejo Nacional de Rectores (2012), se muestran los planes que se desarrollarán en Finca 1, en la Sede Central, con el préstamo solicitado al Banco Mundial, las ampliaciones contemplan:

- Construcción de Instituto de Investigaciones Farmacéuticas (INIFAR): Será de 2100 m², detrás de la Facultad de Farmacia; la ampliación contemplará: el Laboratorio de Análisis y Asesoría Farmacéutica (LAYAFA), Centro Nacional de Información de Medicamentos (CIMED), Laboratorio de Biofarmacia y Farmacocinética (LABIOFAR) y Laboratorio de Fitofarmacología (LAFITO). Se espera que esta nueva ampliación de la Facultad vierta aguas residuales de tipo especial similares a las vertidas actualmente.
- Ampliación de la Escuela de Biología: contempla el área trasera del edificio existente; e incluirá aulas, laboratorios y oficinas. Contará con de 5 niveles y 1500 m² de construcción. De manera similar al edificio actual, verterá aguas residuales de características semejantes, dentro de la clasificación de aguas residuales de tipo especial.
- Anexo a la Facultad de Tecnología de Alimentos: que constará de un edificio de 5 niveles y 1700 m² de construcción, para laboratorios y oficinas del CITA y de la Facultad.
- Edificio de Tecnologías en Salud: se ubicará dónde está actualmente la Escuela de Tecnologías en Salud, y será un edificio de 3000 m² distribuidos en 5 niveles con oficinas, aulas y laboratorios de cómputo.

- Centro de Investigaciones en Contaminación Ambiental: tendrá un nuevo edificio en Finca 2, sin embargo no se indica el uso a futuro del edificio existente en Finca 1, por lo que se incluirá en el diseño.

Además, de acuerdo con el MBA. Eduardo Rojas Gómez, director de la Unidad de Megaproyectos de la Vicerrectoría de Administración, los proyectos que se realizarán dentro de la Sede Central de la Universidad de Costa Rica son:

- La Facultad de Ciencias Sociales: Tendrá un nuevo edificio en Finca 2, cuyos movimientos de tierra iniciaron en el 2011. Actualmente se desconoce el uso futuro del edificio existente.
- Ciudad de las Ingenierías: Ubicado en Finca 2, por lo que el edificio de la facultad de ingeniería de Finca 1, será de uso meramente administrativo. Por lo tanto no se contemplará en el diseño el edificio de Ingeniería como un emisor de aguas residuales de tipo especial.
- Clínicas de la Facultad de Odontología: Se ubicará justo en el parqueo frente a la biblioteca de salud y constará de 5 pisos. Sin embargo, este edificio contará con su propio sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que no se contemplará en el diseño.
- Edificio para la Facultad de Derecho, ubicado en Finca 2. Y se ubicará el Centro de las Artes en el edificio existente de Derecho, sin embargo será enfocado a un centro de exposiciones y no a talleres, por lo que el agua vertida en este edificio será de tipo ordinaria.
- Se ampliarán las residencias estudiantiles dentro de la Universidad, que generarán aguas residuales de tipo ordinario.

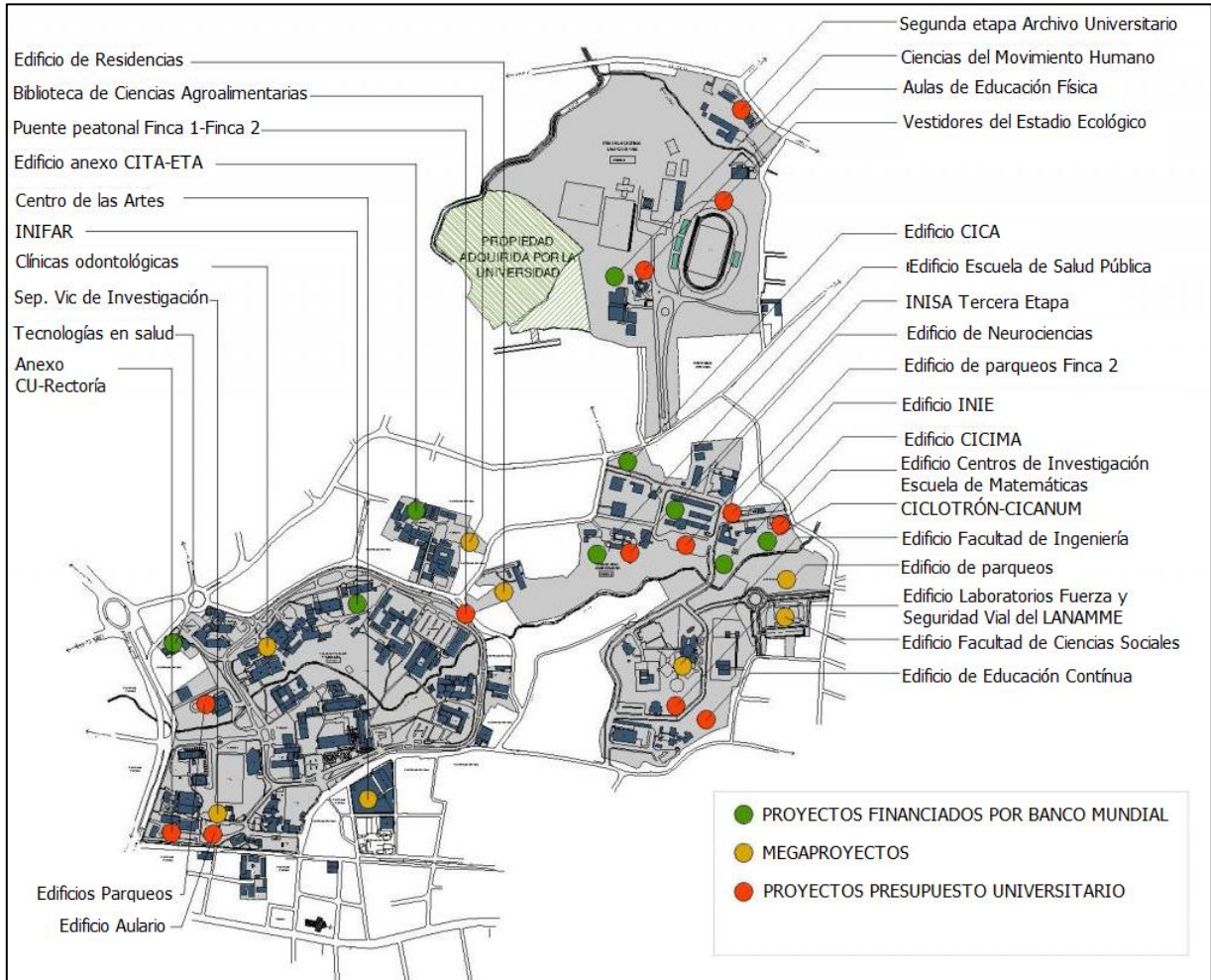


FIGURA 13. DISTRIBUCIÓN DE SUBPROYECTOS SEGÚN PROYECTO DE MEJORAMIENTO DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR (PMES) EN LA SEDE RODRIGO FACIO.

ADAPTADO DE: CONSEJO NACIONAL DE RECTORES, 2011.

3.2 Caudales de diseño

Los caudales de consumo se obtienen del reporte de operación que brindó Agrotec, las mediciones se hicieron en el mes de junio del 2011 durante dos semanas, de lunes a viernes. Se utiliza el valor de 0,9 como factor de retorno, según lo indica la Comisión de aguas de la Universidad de Costa Rica; los caudales se muestran en el Anexo A. "Lecturas de los hidrómetros de los edificios de Finca 1, sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica". Sin

embargo como se puede apreciar que no se realizaron las mediciones en el edificio de la Oficina de Servicios Generales, por lo que fue necesario realizar una medición diaria en el hidrómetro del edificio, desde el 4 de octubre del 2012 hasta el 12 de octubre del 2012. Los datos se muestran a continuación:

Cuadro 8. Caudal de consumo de agua potable de la Oficina de Servicios Generales				
Día	Fecha	Hora	Lectura	Consumo (m³)
Jueves	4 de octubre de 2012	08:25	12435,75	0
Viernes	5 de octubre de 2012	09:00	12464,28	28,53
Lunes	8 de octubre de 2012	08:30	12499,65	35,37
Martes	9 de octubre de 2012	09:00	12528,24	28,59
Miércoles	10 de octubre de 2012	09:00	12553,54	25,3
Jueves	11 de octubre de 2012	09:00	12587,37	33,83
Viernes	12 de octubre de 2012	09:00	12615,82	28,45
			Promedio	25,7
			Máximo	35,37

Se consideran en el diseño los consumos máximos como los consumos de diseño, a pesar que parte de ese caudal se pierde en fugas, se prefiere optar por el caudal máximo y no por el caudal promedio, por razones sencillas: El primer ciclo lectivo de la Universidad, por lo general da inicio a principios de marzo y finaliza a finales de junio, el muestreo se realizó en el mes de junio, lo que no garantiza que los laboratorios siguieran haciendo prácticas durante ese periodo. Además, el mes de marzo, es en promedio el mes más seco, y está demostrado que al aumentar la temperatura, suele aumentar el consumo de agua (López, 2010). Por otra parte, no se tiene un historial de consumo de agua potable, que sea representativo para tomar un valor diferente al máximo.

Para considerar los proyectos a futuro de los edificios antes mencionados, y determinar cuánto caudal consumirán es ideal tener información del número de personas que permanecen actualmente en cada edificio y de la población que habrá en el nuevo edificio. Al no contar con dicha información, ya que la cantidad de personas en un edificio universitario varía durante el día y no se conoce exactamente cuántas que se ubicarán en las respectivas ampliaciones, se debe utilizar algún método alternativo.

Por lo tanto, para determinar el caudal a futuro de cada uno de los edificios, se determina el área aproximada de los laboratorios y baños (principales generadores de aguas servidas), y se divide el caudal consumido por metro cuadrado, para así obtener una tasa de caudal por unidad de área de consumo. Al no tener exactitud del área a futuro correspondiente para laboratorios, se decide tomar el área total de las ampliaciones y multiplicarla por la tasa obtenida anteriormente.

Cabe recalcar, que no sería conservador, tomar toda el área de los edificios existentes, que incluyen las oficinas y las aulas, porque no se garantiza que posean la misma distribución de espacios en el futuro. Tal es el caso de la Facultad de Farmacia, cuya ampliación será destinada, en su totalidad, a laboratorios de investigación, y se estaría subestimando el caudal generado a futuro si se considera una tasa de caudal por metro cuadrado de construcción del edificio actual.

Los resultados de los caudales proyectados se muestran a continuación:

Cuadro 9. Proyección de caudales a las ampliaciones propuestas					
Edificio	Área aproximada de laboratorios (m²)	Caudal diario (m³/d)	Caudal por área (m³/d/m²)	Área adicional (m²)	Caudal diario proyectado total (m³/d)
Facultad de Farmacia	1440,204	36,95	0,02565	2100	90,82
Escuela de Biología	1902,55	10,67	0,00561	1500	19,09
Tecnología de Alimentos	942	6,44	0,00684	1700	18,08
Tecnologías en Salud	457,48	0,39	0,00084	3000	2,92

Cuadro 10. Caudales de diseño de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica sede Rodrigo Facio			
Unidad Académica	Caudal máximo de consumo (m³/d)	Factor de retorno	Caudal de diseño (m³/d)
Agroalimentarias	30,00	0,9	27,00**
CIGRAS	23,10	0,9	20,80
Tecnología de Alimentos	7,16	0,9	18,08**
CICA	7,40	0,9	6,70
Farmacia	41,05	0,9	90,82
Tecnologías en Salud	0,43	0,9	2,92**
LEBI	4,63	0,9	4,20
Medicina	95,95	0,9	86,40
Odontología	167,07	0,9	150,40
Biología	11,86	0,9	19,09**
Microbiología	17,20	0,9	15,50
Química	67,00	0,9	60,00
Bellas Artes	83,00	0,9	74,80
Editorial UCR	16,17	0,9	14,60
Servicios Generales	35,37*	0,9	31,83
Oficina de Salud	3,14	0,9	2,9

*Valor máximo tomado por la autora.

**Valores corregidos por aplicaciones a futuro.

ADAPTADO DE: AGROTEC, 2011.

3.2.1 Curvas de consumo de agua potable

Como se explica en el capítulo anterior, los edificios que generan aguas residuales tipo especial se agrupan dos sistemas de tratamiento. No se cuenta con las curvas características del consumo de agua potable de los edificios de la Universidad; estas curvas son importantes ya que se deben amortiguar los picos de caudal que se vierten durante del día antes de su ingreso al sistema de tratamiento.

Por lo tanto, se debe contar con al menos una curva de caudal horaria y diaria por sistema. Para hacer el análisis se escogen las dos edificios por los siguientes motivos: La Facultad de Odontología este edificio cuenta con laboratorios, aulas, comedor y un servicio de EBAS; y la Escuela de Química, por el número de laboratorios que tiene y la cantidad de estudiantes que

realizan sus prácticas ahí. La ventaja de escoger estos edificios es que tienen un consumo muy alto respecto a los demás, la Facultad de Odontología muestra el consumo más alto de toda la Universidad, además de que no solo cuenta con estudiantes sino también con pacientes, por su parte la Escuela de Química es una de los edificios con consumo de agua potable más alto en el sector, además de esto, alberga estudiantes de distintas carreras durante toda la semana.

La curva de consumo diario de agua potable se realiza con los valores medidos por Agrotec, mientras que la curva de consumo horaria se debe medir en lapsos de una hora o menos, los consumos en los edificios de Odontología y Química, de 7:00 a.m. a 5:00 p.m.; partiendo del supuesto que el consumo durante la noche es despreciable.

La lectura en la Facultad de Odontología se realizó el jueves 4 de octubre del 2012, y el 31 de octubre del 2012 se hizo la lectura en el edificio de la Escuela de Química. Cabe recalcar que estas curvas no son representativas de todos los edificios ya que cada edificio consume agua potable de manera diferente durante el día, e inclusive durante toda la semana. Sin embargo, éstas son las curvas que se van a utilizar para el diseño.

En esta sección se muestra el análisis durante las 24 horas del día y otro durante los siete días de la semana para determinar cuál es el volumen de agua diario que debe regularse en cada sistema. A continuación, se muestran los valores medidos de los dos edificios y sus respectivas curvas de consumo.

Cuadro 11. Consumo horario en la Facultad de Odontología.			
Hora	Lectura	Consumo (m³)	Consumo acumulado (m³)
06:40	29734,75	0	0
07:45	29737,9	3,15	3,15
08:00	29739,38	1,48	4,63
08:30	29741,3	1,92	6,55
09:00	29743,42	2,12	8,67
09:30	29745,52	2,1	10,77
10:00	29748,55	3,03	13,8
10:30	29751,13	2,58	16,38
11:00	29753,76	2,63	19,01
11:30	29756,72	2,96	21,97
12:00	29759,83	3,11	25,08
12:30	29762,38	2,55	27,63
13:00	29765,06	2,68	30,31
13:30	29768,15	3,09	33,4
14:00	29770,33	2,18	35,58
14:30	29772,34	2,01	37,59
15:00	29774,9	2,56	40,15
15:30	29777,41	2,51	42,66
16:00	29780,23	2,82	45,48
16:30	29781,6	1,37	46,85
17:00	29783,09	1,49	48,34
08:55*	29796,48	13,39	61,73
Caudal acumulado			Σ 53,06

*Valor tomado el día 5 de octubre del 2012.

Cuadro 12. Consumo horario en la Escuela de Química.			
Hora	Lectura	Consumo (m³)	Consumo acumulado (m³)
06:50	23575,11	0	0
08:00	23576,88	1,77	1,77
09:00	23577,86	0,98	2,75
10:00	23578,19	0,33	3,08
10:50	23579,41	1,22	4,3
12:10	23581,61	2,2	6,5
13:00	23582,8	1,19	7,69
14:00	23583,02	0,22	7,91
15:00	23584,2	1,18	9,09
16:00	23585,21	1,01	10,1
17:00	23586,48	1,27	11,37

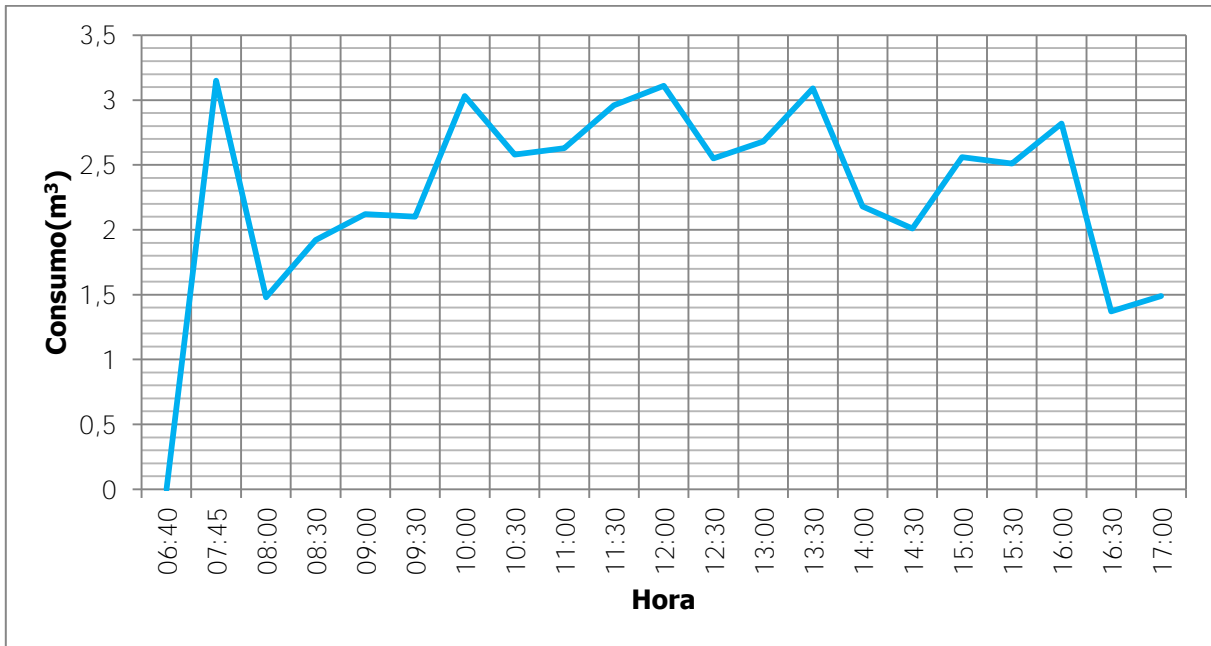


FIGURA 14. GRÁFICO DE LA CURVA DE CONSUMO HORARIO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

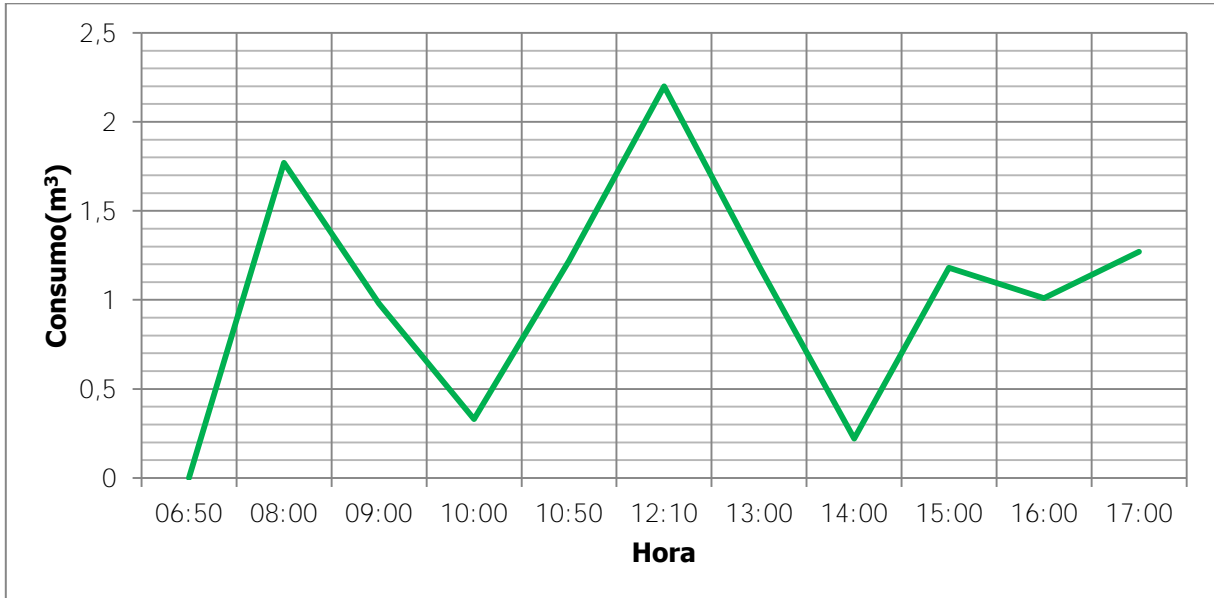


FIGURA 15. GRÁFICO DE LA CURVA DE CONSUMO HORARIO DE LA ESCUELA DE QUÍMICA.

En la curva de consumo horario de la Escuela de Química, se puede observar que el caudal de consumo a las 17:00 no disminuye. Al no contar con información de consumo en las noches, se supone que después de esta hora se reduce significativamente el caudal de agua potable.

También es importante considerar la curva de consumo semanal para ambas facultades, con base en los resultados presentados por Agrotec, tomando los valores para cada día de la semana como el promedio de los días muestreados. También se considera que los consumos los sábados y domingos son despreciables, debido a que una de las limitantes es no contar con lecturas los fines de semana.

Cuadro 13. Consumo diario en la Facultad de Odontología.		
Día	Consumo (m³)	Consumo acumulado (m³)
Lunes	69,85	69,85
Martes	84,95	154,79
Miércoles	77,32	232,11
Jueves	69,84	301,95
Viernes	161,28	463,23
Sábado	-	463,23
Domingo	-	463,23

ADAPTADO DE: AGROTEC, 2011.

Cuadro 14. Consumo diario en la Facultad de Química.		
Día	Consumo (m³)	Consumo acumulado (m³)
Lunes	41,18	41,2
Martes	38,01	79,2
Miércoles	42,30	121,5
Jueves	42,30	163,8
Viernes	61,84	225,6
Sábado	-	225,6
Domingo	-	225,6

ADAPTADO DE: AGROTEC, 2011.

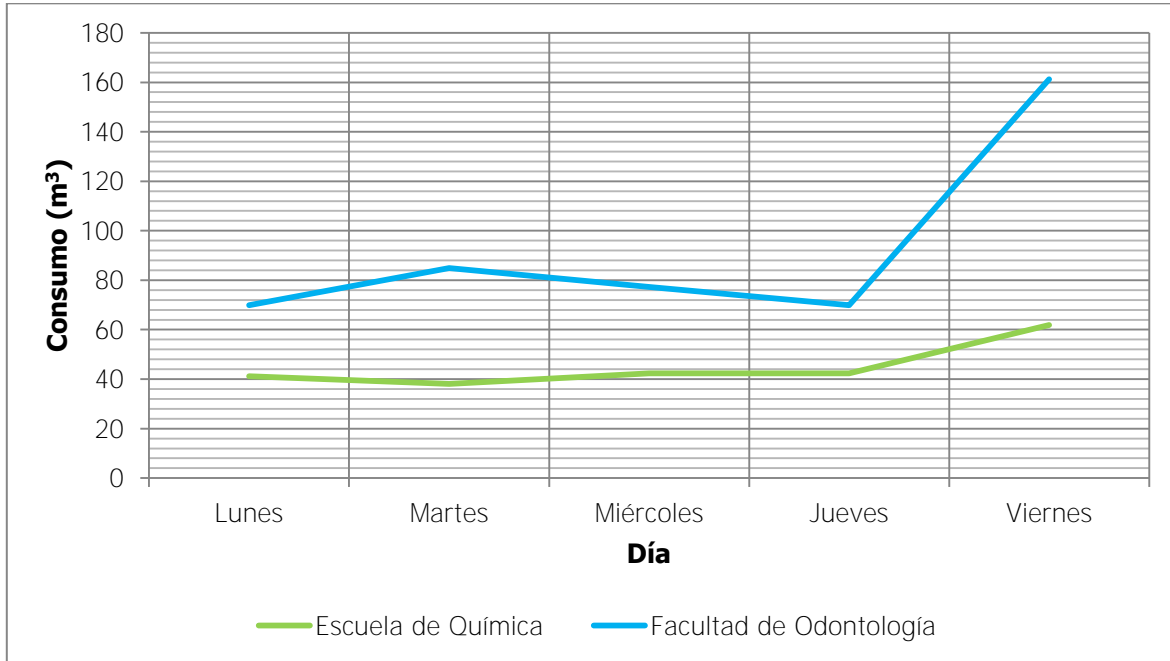


FIGURA 16. GRÁFICO DE LA CURVA DE CONSUMO DIARIO DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA Y LA ESCUELA DE QUÍMICA.

Se puede notar que en la figura anterior se observan las curvas de consumo durante la semana y son similares ya que tiene su pico de consumo el día viernes según los datos brindados por Agrotec.

3.3 Límites máximos permisibles para los parámetros de las aguas residuales

En primera instancia las características de las aguas residuales se comparan con los límites máximos mostrados en el Cuadro 15, priorizando los parámetros reglamentados en Costa Rica, sin embargo el reglamento no determina los límites máximos para todas las características analizadas, por lo que se buscan en las normas internacionales y se toman los límites de vertido más estrictos en relación a los criterios consultados:

Cuadro 15. Límites máximos permisibles para los parámetros de las aguas residuales según el RVRAR de Costa Rica

Parámetro	Para vertidos en alcantarillado sanitario	Para vertidos en cuerpos de agua	
DBO_{5,20}	300	50	mg/L
DQO	750	150	mg/L
Sólidos suspendidos	300	50	mg/L
Sólidos sedimentables	5	1	mg/L
Grasas/aceites	50	30	mg/L
pH	6,0-9,0	5,0-9,0	
Temperatura	15-40	15-40	°C
Sustancias activas al azul de metileno	5	5	mg/L
Mercurio	0,01	0,01	mg/L
Aluminio	-	5	mg/L
Arsénico	0,5	0,1	mg/L
Cadmio	0,1	0,1	mg/L
Cloro residual	1	1	mg/L
Cromo	2,5	1,5	mg/L
Cianuro	2	1	mg/L
Cobre	2	0,5	mg/L
Plomo	0,5	0,5	mg/L
Fenoles y cresoles	5	1	mg/L
Estaño	-	2	mg/L
Níquel	2	1	mg/L
Zinc	10	5	mg/L
Plata	3	1	mg/L
Selenio	0,2	0,05	mg/L
Boro	3	3	mg/L
Sulfatos	500	-	mg/L
Fluoruros	10	10	mg/L
Cloruros	500	-	mg/L
Color	15	15	%
Fosfatos	25	-	mg/L
Nitrógeno total	50	-	mg/L
Sulfitos	1	1	mg/L
Sulfuros	25	25	mg/L
Hidrocarburos	20	10	mg/L
Sumatoria de compuestos organofosforados	0,1	0,1	mg/L
Sumatoria de los carbamatos	0,1	0,1	mg/L
Sumatoria de los compuestos organoclorados	0,05	0,05	mg/L

FUENTE: N° 33601-MINAE-S, 2007.

Cuadro 16. Límites máximos de los parámetros de vertidos de normas internacionales		
Ley de aguas, Reglamento de dominio público, España (1986)		
Parámetro	Límite máximo	
Hierro	2	mg/L
Manganeso	2	mg/L
<i>A review of water quality criteria in australian reclaimed water guidelines and sewage effluent discharge licences (Revisión de los criterios de calidad del agua en las directrices australianas agua reciclada y licencias de descarga de efluentes de aguas residuales), Australia (2003)</i>		
Parámetro	Límite máximo	
Antimonio	0,5	mg/L
<i>Allowable limits for trade effluent discharge to sewer/watercourse/controlled watercourse (Límites permitidos para la descarga de aguas residuales a alcantarillado y cursos de agua), NEA (Agencia Nacional del Ambiente) en Singapur (2002)</i>		
Parámetro	Límite máximo	
Magnesio	150	mg/L

3.4 Análisis de los resultados de las pruebas de laboratorio

En el Cuadro 17 se muestran los parámetros analizados en cada edificio. Todos los edificios cuentan con un análisis obligatorio que consta: DBO, DQO, pH, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas al azul de metileno y la temperatura. En este mismo cuadro se resaltan en negrita los análisis realizados a los edificios que generan aguas residuales tipo especial.

Los resultados de los muestreos realizados por Agrotec, se muestran en el Cuadro 18. Estos son el resultado de los análisis realizados a las aguas residuales de cada edificio mediante un cultivo de una hora de muestreo en cada punto. En este mismo cuadro se encuentran las mediciones de los caudales de consumo de agua potable de cada uno de los edificios. Para definir el caudal de agua residual tipo especial se utiliza un factor de retorno de 0,9 para los edificios; esto se debe a que estos cuentan solamente con sanitarios, laboratorios y sodas en algunos casos, y al ser enfocados al desarrollo de prácticas de laboratorio, se considera que

el agua utilizada en su mayoría está destinada para uso de laboratorio o prácticas docentes y no para consumo humano ordinario.

Tomando como base los criterios del RVRAR, se comparan los parámetros de cada edificio, y determinan los que estaban fuera del rango permisible, tanto para vertido al alcantarillado sanitario como para el vertido a la Quebrada Los Negritos, esto se puede observar en el Cuadro 19 y el Cuadro 20, respectivamente.

Cuadro 17. Estudio de aguas residuales en unidades académicas de Finca 1 de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica

Unidad	Análisis
Agronomía	Análisis obligatorio, Nitrógeno total, Fosfatos
Antiguo Enfermería	Análisis obligatorio
Arquitectura	Análisis obligatorio
Artes Musicales	Análisis obligatorio
Bellas Artes	Análisis obligatorio, Metales pesados, color
Biblioteca Luis Demetrio Tinoco –Vicerrectoría de Investigación	Análisis obligatorio
Biología	Análisis obligatorio
Bioterios	Análisis obligatorio, Nitrógeno total, Fosfatos
Canal 15	Análisis obligatorio
Central Telefónica	Análisis obligatorio
CICA	Análisis obligatorio, Plaguicidas, metales pesados
Ciencias Económicas	Análisis obligatorio
Ciencias Sociales	Análisis obligatorio, metales pesados
CIGRAS	Análisis obligatorio, Plaguicidas, metales pesados
CITA	Análisis obligatorio, Plaguicidas, metales pesados
Comedor Universitario	Análisis obligatorio
Contraloría-INIE	Análisis obligatorio
Derecho	Análisis obligatorio
Edificio Administrativo A	Análisis obligatorio
Educación	Análisis obligatorio
Estudios Generales	Análisis obligatorio
Faculta de Ingeniería	Análisis obligatorio, metales pesados
Facultad de Letras	Análisis obligatorio
Farmacia	Análisis obligatorio, coliformes Fecales, Color, Fenoles, Metales Pesados
Física y Matemática	Análisis obligatorio
Geología	Análisis obligatorio, Metales pesados (*)
Informática-Ciencias de la Computación	Análisis obligatorio
Instituto de Investigaciones Sociales	Análisis obligatorio
Junta de Ahorro y Préstamo	Análisis obligatorio
LEBI	Análisis obligatorio, Nitrógeno total, Fosfatos, Coliformes, Fecales, Color, Fenoles, Metales Pesados
Medicina	Análisis obligatorio, coliformes Fecales, Color, Fenoles, Metales Pesados
Microbiología	Análisis obligatorio, coliformes Fecales, Color, Fenoles, Metales Pesados
OEPI y vestidores	Análisis obligatorio
Oficina de Salud	Análisis obligatorio, Coliformes Fecales, Color, Fenoles, Metales Pesados
Programa Recursos para la Sordera	Análisis obligatorio
Química	Análisis obligatorio, Metales pesados, hidrocarburos
Semanario Universidad-Artes Dramáticas	Análisis obligatorio, metales pesados, color
Servicios Generales (Edificio Saprissa)	Análisis obligatorio, color metales pesados
SINDEU	Análisis obligatorio
Tecnología de Alimentos	Análisis obligatorio, metales pesados
Tecnologías en Salud	Análisis obligatorio, metales pesados
Viveros	Análisis obligatorio, Plaguicidas

FUENTE: CICA, 2012.

CUADRO 18. RESULTADOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL Y ANÁLISIS OBLIGATORIO FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN FINCA 1 RODRIGO FACIO DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

(Este cuadro se encuentra en este CD, bajo el nombre de Cuadro 18.pdf)

Cuadro 19. Parámetros que no cumplen con los máximos establecidos para vertido a alcantarillado sanitario según el RVRAR de Costa Rica

Unidad Académica	Parámetros que no cumplen con el RVRAR
Bellas Artes	pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales.
Biblioteca Luis Demetrio Tinoco	Grasas y aceites, sólidos sedimentables.
Bibliotecología	Sustancias activas azul metileno.
Biología	Sólidos sedimentables.
Ciencias Económicas	Sólidos sedimentables.
Cigras (a)	Sumatoria organofosforados.
Edificios administrativos B y C	Sustancias activas azul metileno.
Estudios Generales	DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno.
LEBI y Bioterios	Sustancias activas azul Metileno.
Radio u y Canal 15	Sólidos sedimentables, sustancias activas azul metileno.
Servicios Generales	Sólidos sedimentables, sustancias activas azul metileno.
Tecnologías en Salud	DBO, DQO, grasas y aceites.

ADAPTADO DE: AGROTEC, 2011.

Cuadro 20. Parámetros que no cumplen con los máximos establecidos para vertido a un cuerpo receptor según el RVRAR de Costa Rica

Unidad Académica	Parámetros que no cumplen con el RVRAR
Agroalimentarias 1	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Arquitectura	DBO, DQO
Artes Musicales	DBO, sólidos suspendidos totales
Bellas Artes	DBO, DQO, pH, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Biblioteca Luis Demetrio Tinoco	DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Bibliotecología	DBO, DQO, grasas y aceites, sustancias activas azul metileno
Biología A	DBO, DQO
Biología B	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
CICA	DBO, DQO, sólidos sedimentables
Ciencias Económicas	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Cigras (a)	Sólidos sedimentables, sumatoria organofosforados
Derecho	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales
Edificios administrativos B y C	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno
Educación	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Estudios Generales	DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno
Facultad de Ingeniería	DBO, sólidos suspendidos totales
Farmacia	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Física	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno
Informática 1	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Informática 2	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Junta de Ahorro y Préstamo	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
LEBI y Bioterios	DBO, sólidos sedimentables, sustancias activas azul metileno
Medicina este	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales
Medicina sur	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales
Microbiología	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales
Oficina de Salud	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales
Química	DBO, DQO, sólidos sedimentables
Radio u y Canal 15	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno
Semanario	DBO, DQO
Servicios Generales	DBO, DQO, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, sustancias activas azul metileno
Tecnologías en Salud	DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales

ADAPATADO DE: AGROTEC, 2011.

La información expuesta en el Cuadro 19 indica que son solamente 12 edificios los que no podrían ingresar las aguas al alcantarillado sanitario porque no cumplen con las concentraciones establecidas por el RVRAR, de los cuales el 50% de estos edificios generan aguas residuales de tipo ordinario. El principal problema observado es que el 50% de los edificios vierten concentraciones no permitidas de sólidos sedimentables y sustancias activas al azul de metileno. Las sustancias activas al azul de metileno lo incumplen en su mayoría los edificios que generan aguas residuales tipo ordinario. Solamente dos edificios presentan problemas con concentraciones de DBO y DQO, uno es un edificio de tipo especial y otro es de tipo ordinario. Solamente un edificio presenta problemas con el pH, y es el edificio de la Facultad de Bellas Artes.

Por otro lado, en el Cuadro 20, se muestran 29 edificios que no cumplen con las concentraciones máximas de vertido a un cuerpo de agua según lo indica el RVRAR, de los cuales solamente 14 son edificios que generan aguas tipo especial. De los cuales 28 edificios presentan problemas con la concentración de DBO, solamente el edificio de CIGRAS cumple con este parámetro. El 70% de los edificios, es decir 20 edificios, presentan altas concentraciones de sólidos sedimentables, 22 edificios no cumplen con la concentración máxima establecida para los sólidos suspendidos totales. Solamente 7 edificios presentan problemas con las concentraciones de sustancias activas al azul de metileno.

Se puede notar que las exigencias del RVRAR son mayores en cuenta a la calidad de los vertidos para su ingreso a los cuerpos de agua. Sin embargo no contemplan la contaminación aguas arriba de la quebrada, y a pesar que los vertidos sean diseñados para cumplir el RVRAR, puede que la quebrada no tenga capacidad de autodepuración con la contaminación que recibe antes de su paso por la Universidad, por lo tanto, para dar una solución más efectiva desde el punto de vista ambiental se deben evitar vertidos a la quebrada.

Por otro lado, el muestreo realizado por Agrotec solamente contempla una hora de vertido en un día, lo cual resulta poco representativo, ya que durante un año se tienen variaciones de las actividades dentro de los edificios. Lo ideal es contar con una serie histórica que permita determinar el comportamiento de los vertidos a lo largo del tiempo, para así tener parámetros de diseño más representativos. A pesar de esto, la Universidad debe iniciar un control de vertidos de aguas residuales, no solamente en los edificios de tipo especial sino

también en los edificios de tipo ordinario, ya como se muestra anteriormente los vertidos algunos edificios no son aptos para su ingreso al sistema de alcantarillado.

Además de esto, dentro del muestreo no se encuentra la Facultad de Odontología, ya que no se encontró la(s) salida(s) de agua residual. Este edificio es de suma importancia, ya que cuenta con un centro de atención de pacientes, clínicas, laboratorios y es el edificio con mayor consumo de agua potable.

Para los edificios que vierten aguas residuales de tipo ordinario es necesario realizar más muestreos que confirmen los resultados acá expuestos. De ser necesario, se deben estudiar las actividades dentro de dichos edificios para determinar que causa que el agua residual ordinaria sobre pase los límites establecidos por el RVRAR para su descarga en el alcantarillado sanitario. Con base en ello, se debe decidir si se requiere un tratamiento previo para su vertido.

3.5 Muestreo de la facultad de odontología

Se visitó la parte posterior de la Facultad de Odontología y se encontró una salida en las cercanías de la Quebrada Los Negritos, y se tomaron muestras el 9 de agosto del 2011 durante una hora y se ensayaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental, de la Escuela de Ingeniería Civil; los ensayos fueron limitados a las capacidades del laboratorio.

Al igual que los análisis realizados por Agrotec, el muestreo no es representativo, ya que se hizo en una hora también, y no se muestrearon todas las salidas de aguas residuales de la Facultad, ya que no se tiene su localización exacta.

3.5.1 Resultados del muestreo en la facultad de Odontología

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio. En el caso del ensayo de Fosfatos y Nitrógeno amoniacal, se requirió diluir la muestra ya que el colorímetro detectaba que estaba fuera de rango, por lo que para ambos casos se diluyó con 24 mL de agua destilada con 1 mL de muestra; de allí provienen los factores de ajuste.

Cuadro 21. Resultado del muestreo de la Facultad de Odontología.			
	Lectura (mg/L)	Factor de ajuste	Total (mg/L)
Fosfatos	0,2	25	5
Nitrato	0,44	1	0,44
Nitrito	0,225	1	0,225
Nitrógeno amoniacal	0,25	25	6,25
Hierro	0,42	1	0,42
Cobre	0,1	1	0,1
pH	5,243	1	5,243
DBO	>100	1	100
DQO	266	1	266

3.6 Parámetros de diseño

Debido a que los resultados experimentales no son representativos, como se explica anteriormente, se debe recurrir a parámetros de teóricos diseño, tomando como base todos los datos obtenidos en los laboratorios, ya que permiten determinar el límite mínimo respecto a los parámetros teóricos.

Se complementan con fuentes teóricas, solamente los parámetros que pertenecen a los 16 edificios que generan aguas residuales tipo especial, indicados nuevamente a continuación:

1. Agroalimentarias.
2. Facultad de Bellas Artes.

3. Escuela de Biología.
4. CICA.
5. CIGRAS.
6. Editorial UCR.
7. Facultad de Farmacia.
8. LEBI.
9. Facultad de Medicina.
10. Facultad de Microbiología.
11. Facultad de Odontología.
12. Oficina de Salud.
13. Escuela de Química.
14. Oficina de Servicios Generales.
15. Escuela de Tecnología de Alimentos.
16. Escuela de Tecnologías en salud.

Para obtener valores teóricos confiables y representativos para cada edificio, se investigan las actividades de cada uno de los edificios. Esto se realiza mediante visitas en los edificios y en las páginas de internet de cada facultad, con el fin de determinar las actividades de los estudiantes en los edificios.

Posteriormente se buscan fuentes de información que brindaran valores típicos de aguas residuales industriales, y así adaptarlos a los edificios en la UCR. Entre las fuentes encontradas están:

Trabajos finales de graduación

- Alejandro Rodríguez en el 2002, cuenta con tres muestreos en días diferentes en la lavandería, la cocina, rayos X, y laboratorio clínico en el Hospital Monseñor Sanabria.
- Jeancarlo Gutiérrez en el 2007, realizó muestreos en la Facultad de Microbiología, la Facultad de Medicina, la Escuela de Química, la Escuela Artes Plásticas y la Facultad de Educación. Hizo dos muestreos en días diferentes para cada edificio.
- Ana Hernández, en 1999, realizó muestreos en el hospital México de manera similar a la de Alejandro Rodríguez (2002).

- Gabriel Odio (2003). Realizó un diseño preliminar de la planta de tratamiento en el Hospital México, sus valores fueron comparados con las demás fuentes teóricas y no se usaron debido a que no eran los más conservadores.

Libros de textos

- Henry, G., & Heinke, G. (1999), muestra una tabla con valores representativos para industrias de alimentos como fábricas enlatadores de encurtidos, betabeles, tomates y peras; industrias de carnes especialmente de aves que vierten estiércol y sangre; industria de recubrimiento de metales que trabajan con residuos ácidos, alcalinos; e industrias textiles, que trabajen con fibras de algodón.
- Crites (1998), muestra los parámetros típicos de vertidos domésticos.

Documentos científicos

- Restrepo (julio de 1997), en el que muestra valores teóricos típicos de diferentes tipos de industrias dentro de las que están: la industria de pinturas, tintes, colorantes y lacas, la industria fotográfica que realizan operaciones a gran escala de revelado e impresión; la industria de las drogas o producción de fármacos; la industria de la metalurgia que comprenden refinación, laminación y acabados de los metales; plantas de producción y acabado de textiles.
- Paz, y otros, (2004), muestran estudios en los vertidos del Centro Hospitalario de Buenos Aires.

El modo en que se emplea la información de las fuentes teóricas se muestra en un código de colores expuesto en el Cuadro 22.

3.6.1 Actividades en los edificios

Como se menciona anteriormente, para utilizar adecuadamente los parámetros teóricos se investigan las actividades en cada edificio. Se presenta a continuación una síntesis de las principales actividades a continuación:

Agroalimentarias: cuentan con laboratorios de investigación dentro de los que destacan: Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos (CIPROC), quienes se concentran en las áreas de Acarología, Entomología, Fitopatología, Arvenses, Nematología, Plagas Vertebradas y Técnicas Moleculares. Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), cuenta con tres laboratorios: química, microbiología y análisis sensorial; con los que dan servicios analíticos relacionados con alimentos. Este edificio realiza estudios con agroquímicos y sensibilidad a los fungicidas y antibióticos del tejido vegetal, por ejemplo. Se va a relacionar con vertidos de industrias alimentarias, fabricantes de fertilizantes, además como cuenta con la Escuela de Zootecnia, se va a relacionar con vertidos similares a los de la Facultad de Medicina.

Facultad de Bellas Artes: en este edificio usan técnicas decorativas para dar acabados; grabado en metal, xilografía, litografía y serigrafía; técnicas como esculpir en piedra, soldar en metal, tallar en madera y fundir en bronce. También realizan trabajos en pintura acrílica, óleo, acuarela, cerámica, fotografía, entre otros. Cuentan con los siguientes talleres: maderas, plástico y vidrio, metales, textiles y papel, piedra, pigmentos y arcilla. Se buscan vertidos similares a los de una empresa de serigrafía, fotografía, industrias de pinturas e industrias de metalurgia. Se esperan altos contenidos de sólidos sedimentables y altas concentraciones de metales pesados.

Escuela de Biología: cuenta con un Museo de Zoología, donde mantienen cuerpos de animales preservados. Además la Escuela tiene diferentes tipos de laboratorios, dedicados a investigación genética de plantas y animales, por lo que se esperan vertidos con altos contenidos de materia orgánica y de químicos preservantes.

CICA (Centro de Investigación de Contaminación Ambiental), cuenta con unidades de muestreo y con laboratorios para el estudio de calidad de aguas y análisis de residuos peligrosos como plaguicidas. En este caso se esperan contenidos químicos elevados respecto a los orgánicos. Por lo que es probable que sus vertidos se caractericen por el contenido de reactivos que no se pueden recuperar después del proceso de análisis de laboratorio.

CIGRAS (Centro de Investigación en Granos y Semillas), donde se hacen análisis de la calidad de las semillas y los granos mediante laboratorios. En este caso se espera una relación entre la carga química y biológica alta.

Editorial UCR: Brinda servicios de impresión y fotomecánica. De igual manera que la Facultad de Bellas Artes, se va a relacionar la calidad de los vertidos con industrias relacionadas con trabajos de fotografía, y con la industria papelera.

Facultad de Farmacia: esta Facultad cuenta con una soda, centros de investigación y laboratorios que se enfocan en la aplicación de tecnologías farmacéuticas. Además cuenta con laboratorios encargados de análisis de drogas y medicamentos, por lo que sus vertidos se relacionan con la industria farmacéutica principalmente, y la soda no influirá de manera directa en la elección de los parámetros teóricos, porque se tienen los reportes operacionales de las aguas residuales y sus vertidos cumplen con lo estipulado en el RVRAR.

LEBI (Laboratorio de Ensayos Biológicos): este edificio tiene proyectos de investigación, análisis, pruebas biológicas y conductuales con animales de laboratorio, especialmente ratas, ratones y conejos. Además, se dedican a producir animales tanto para el mismo laboratorio y para venta. Se va a ligar con la industria de carnes, a pesar que no trabajan como productores de carnes, sus vertidos se relacionan a altos contenidos orgánicos, ya que realizan pruebas biológicas en seis tipos de animales. Las características de la industria de carne, incluye vertidos de estiércol y sangre en el agua residual.

Facultad de Medicina: esta Facultad tiene una morgue y diversos laboratorios para el uso estudiantil, se esperan alto contenido orgánico en los vertidos y pH bajo, esto debido a los reactivos que utilizan durante sus prácticas en los laboratorios. Se compara con los vertidos realizados en hospitales y laboratorios clínicos, ya que se realizan prácticas similares.

Facultad de Microbiología: esta Facultad se enfoca en el estudio de microorganismos, cuenta con centros de investigación y laboratorios como: Centro de Investigación de Enfermedades Tropicales (CIET), donde hacen investigaciones en el agua y los alimentos; Centro de Investigación en Hemoglobinas Anormales y Trastornos Afines (CIHATA), donde estudian enfermedades que afectan los glóbulos rojos, entre otros. Los vertidos serían similares a los de un laboratorio clínico, con alto contenido orgánico y pH bajo debido a los reactivos que se utilizan en las prácticas de laboratorio.

Facultad de Odontología: este edificio recibe estudiantes y pacientes, cuenta con un soda, Clínica PAIS-UCR-CCSS, y diversos laboratorios dentro de los que destacan: laboratorio de acrílicos, laboratorio de cromocobalto, rayos x, exodoncia y cirugía, entre otros. Sus vertidos serían similares a los de la Facultad de Medicina y a los de un laboratorio clínico, con contenido de metales pesados.

Oficina de salud: es el centro de atención médica de la UCR, allí se atienden pacientes en los departamentos de odontología, ginecología, medicina general y laboratorio clínico. Es comparable con los vertidos de los laboratorios clínicos de los hospitales.

Escuela de Química: cuentan con laboratorios como: laboratorio de físico química, laboratorio de química analítica, laboratorio de química industrial, laboratorio de química inorgánica, laboratorio de química orgánica, laboratorio de servicios analíticos y laboratorio de química general. Sus contenidos químicos serían superiores a los biológicos. Se referenciará a los muestreos realizados anteriormente en este edificio.

Oficina de Servicios generales: son los que brindan mantenimiento a la UCR. Cuenta con departamentos de ebanistería, soldadura, fumigación y limpieza. Por lo que sus vertidos químicos serían superiores respecto a los biológicos.

Escuela de Tecnología alimentos: cuenta con laboratorios que se encargan de estudiar los alimentos desde el ámbito químico y microbiológico, por lo que sus vertidos serían comparables con industrias de alimentos y conservas.

Escuela de Tecnologías en salud: se espera que en un futuro sus prácticas estudiantiles se realicen en la Universidad. La Escuela de Tecnologías en Salud comprende áreas de investigación como citotecnología, salud ambiental, terapia física, emergencias médicas, imagenología diagnóstica y terapéutica, histotecnología, por lo que se esperan vertidos similares a los obtenidos en la Facultad de Medicina.

3.6.2 Cargas físicas, químicas y biológicas para los edificios identificados basados en parámetros teóricos

Como se menciona anteriormente, las concentraciones de los parámetros físicos, químicos y biológicos brindados por Agrotec, no son representativos, sin embargo no se descartan los resultados. Con base en los valores datos por Agrotec se cambiaron algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos con fuentes teóricas cuyas prácticas fueran similares a las actividades dentro de cada edificio.

Los parámetros de vertido de diseño se muestran a continuación. En el Cuadro 22, se muestran un código de colores para cada una las fuentes teóricas utilizadas, durante el proceso de selección de parámetros teóricos, diferentes referencias y se utilizan los valores más conservadores en comparación a todos los encontrados. Se resalta que en color blanco se muestran los valores brindados por Agrotec.

En el Cuadro 23, se muestran los parámetros de diseño de cada uno de los edificios, en cinco partes. La primera parte se muestran los parámetros de análisis obligatorio. En la segunda parte de muestran las concentraciones de sustancias activas al azul de metileno, hidrocarburos, nutrientes, fenoles, sulfuros y color. En la tercera y cuarta parte se indican las concentraciones de metales pesados. Y en la quinta parte se concluyen las concentraciones

de metales pesados, y se muestran las concentraciones de la sumatorio de organoclorados y organofosforados. El Cuadro 23, en todas sus partes, muestra los límites máximos permisibles en las concentraciones de todos los parámetros, donde también se hace una comparación con el RVRAR de Costa Rica, y con normas internacionales para los parámetros que no se contemplan en la norma nacional. La normativa utilizada se detalla más adelante.

Cuadro 22. Simbología de colores de los cambios en los parámetros de diseño	
Tesis: Alejandro Rodríguez, 2002, "Caracterización preliminar de la descarga líquida del hospital Monseñor Sanabria"	Muestreo Rayos X
	Muestreo Laboratorio clínico
Tesis: Jeancarlo Gutiérrez, 2007, "Diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales para la descarga del efluente crítico de varias facultadas del campus universitario Rodrigo Facio"	Microbiología
	Artes plásticas
	Medicina
	Química
Tesis: Ana Hernández, "Caracterización preliminar de la descarga líquida del Hospital México"	Morgue
Libro: Henry, G., & Heinke, G., "Ingeniería ambiental"	Industrias alimentos
	Industria de carnes
	Industria textil
Restrepo, "Guía para la apreciación de la contaminación hídrica"	Industria floricultura
	Industrias de fertilizantes
	Industria de drogas
	Industria metalurgia
	Industria papelera
	Industria fotografía
	Industria de conservas de alimentos
Universidad de Buenos Aires, Aguas residuales de un Centro Hospitalario de Buenos Aires, Argentina: Características químicas, biológicas y toxicológicas	Hospitales
Reporte operacional de aguas Agrotec	Valores de Agrotec

CUADRO 23. PARÁMETROS TEÓRICOS DE DISEÑO

(Este cuadro se encuentra en este CD, bajo el nombre de Cuadro 23.pdf)

3.6.3 Comparación de los parámetros teóricos y la reglamentación vigente

Con base en los límites expuestos en el Cuadro 15 y el Cuadro 16 se analizan los parámetros de diseño. En el Cuadro 24, se muestran los parámetros que no cumplen con las normas antes indicadas, por lo tanto son los parámetros que se deben tratar en el diseño.

Cuadro 24. Parámetros que no cumplen con las concentraciones máximas establecidos para vertido al alcantarillado sanitario según normativa nacional e internacional	
Agroalimentarias	DBO, DQO, pH, nitrógeno total, cromo, sumatoria organoclorados, zinc.
Bellas Artes	DBO, DQO, pH, Grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, cromo, hierro, zinc, estaño.
Biología	DBO, sólidos sedimentables, sustancias activas al azul de metileno.
CIGRAS	Sumatoria organofosforados.
Editorial UCR	Grasas y aceites, sólidos suspendidos totales.
Farmacia	DBO, DQO, sólidos suspendidos totales, aluminio.
LEBI	DBO, Sustancias activas al azul de metileno.
Medicina	DBO, DQO, pH, sólidos sedimentables, nitrógeno total, aluminio.
Microbiología	DBO, DQO, pH, grasas y aceites, nitrógeno total.
Odontología	DBO, DQO, pH, grasas y aceites, nitrógeno total.
Oficina de Salud	DQO, pH, grasas y aceites, nitrógeno total.
Química	DBO, DQO, hidrocarburos.
Servicios Generales	Sólidos sedimentables, sustancias activas al azul de metileno.
Tecnología de Alimentos	DBO, DQO, pH, grasas y aceites, sólidos suspendidos totales.
Tecnología en salud	DBO, DQO, grasas y aceites, hierro.

3.7 Medidas de mejoramiento de las aguas residuales

Con el fin de mejorar la calidad de los efluentes de aguas residuales en general, es preciso iniciar un plan de buenas prácticas para disminuir las concentraciones de contaminantes en el agua. Por ejemplo, con el contenido de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) se debe incentivar la disolución de detergentes, y no usar productos muy concentrados en limpieza. Se debe iniciar controlando la cantidad de detergente consumida, e indicar a los encargados de limpieza de cada edificio cuál es la manera correcta de manipular los productos.

Para el caso de edificio de la Oficina de Bienestar y Salud se propone estudiar la posibilidad de reducir las concentraciones de contaminantes mediante buenas prácticas dentro del edificio. En caso de ser necesario, basándose en la información del Cuadro 23, se deben colocar trampas de grasa a la salida de las aguas residuales, y posterior a éste un tratamiento primario químico que reduzca los niveles de la DQO, para este sistema de tratamiento es necesario determinar la remoción de otros contaminantes.

Con los edificios que generan aguas residuales tipo ordinario, se recomienda conducir sus aguas al alcantarillado sanitario, de este modo no se debe invertir en un sistema de tratamiento que permita descargar las aguas a la quebrada Los Negritos. Es necesario realizar análisis a las aguas residuales ordinarias, de modo que se verifique que su calidad es óptima según el RVRAR, y de ser necesario se deben colocar unidades a la salida de las aguas residuales de los edificios. Aunque las aguas residuales ordinarias cumplan con las características de calidad para descargas a un cuerpo de agua, es mejor ingresarlas al alcantarillado sanitario, para disminuir el impacto ambiental que genera la Universidad.

Las sodas de la Universidad son una fuente de contaminación alta en DBO y grasas y aceites. Éstas no son administradas por la Universidad, sino que son parte de una concesión, por este motivo se realizan muestreos periódicos a los vertidos que se realizan, con el fin de controlar la contaminación que generan. Los reportes operacionales de las sodas, de manera general, indican que cumplen hasta el momento con los parámetros del RVRAR, sin embargo es necesario continuar con el control de los vertidos de las sodas ya que podría dar características diferentes al agua residual, y entorpecer el sistema de tratamiento diseñado. Según ProGAI y CICA (2006), que para el control de los vertidos de las sodas del Campus

Universitario se deben hacer muestreos de las aguas y elaborar reportes operacionales dos veces al año; además de capacitación al personal con técnicas para la realización de limpieza y lavado en seco, así como reducción en grasas. Ninguna soda cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales propio.

En el Cuadro 25 se puede observar que los vertidos de las sodas de la Facultad de Ciencias Económicas, la Facultad de Odontología y la Facultad de Educación cumplen con todos los parámetros establecidos en el RVRAR. El Comedor estudiantil presenta problemas solamente con la concentración de grasas y aceites. Por su parte la soda de la Facultad de Ciencias Sociales, en el 2007 no cumplía con los parámetros, pero en los dos últimos reportes ha habido mejoras en las concentraciones de contaminantes, lo mismo ocurre con la soda de la Escuela de Estudios Generales. Sin embargo, esto no sucede con la soda de la Facultad de Agronomía donde se dan altas concentraciones de contaminantes; es necesario que se estudie las razones por las cuales es la única soda que hasta el momento no cumple con los parámetros máximos y de este modo aplicar las medidas necesarias para lograr el cumplimiento. En general, el parámetro que más problemas presenta es el de grasas y aceites, en caso de que no se logre bajar las concentraciones para que cumpla con el reglamento se debe incluir una trampa de grasa. Se deben continuar con los controles y medidas que hasta el momento se están implementando.

A continuación se muestra un resumen de los reportes realizados en las sodas. En color rojo se resaltan los parámetros que no cumplen con el RVRAR para la descarga en alcantarillado sanitario. Se muestran también reportes de diferentes fechas, de modo que es más sencillo apreciar el historial de la calidad del agua en los vertidos.

CUADRO 25. CUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE VERTIDOS DE LAS SODAS DE LA UCR

(Este cuadro se encuentra en este CD, bajo el nombre de Cuadro 25.pdf)

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES TIPO ESPECIAL DE LA UCR

Se prioriza el uso de sistemas de tratamiento biológicos, ya que requieren mantenimientos más sencillos. Es importante recalcar que no se harán vertidos a la quebrada Los Negritos, como se menciona en la sección 3.4 de este documento. Y se considera primeramente el reuso de las aguas tratadas dentro de la Universidad.

Se diseña, como bien se menciona anteriormente, el sistema de tratamiento de los edificios que generan aguas residuales tipo especial, usando los datos dados por Agrotec, complementados con los parámetros teóricos mostrados en el capítulo anterior. Se identifican seis grupos de edificios importantes, que permitirán optimizar el diseño de modo que se traten las aguas en la menor cantidad de PTAR.

El siguiente cuadro muestra los tipos de tratamiento que se recomiendan de acuerdo a la relación de concentraciones de DBO y DQO. Con base en esta información, se decide cual sistema de tratamiento principal es más conveniente para las aguas que se incluyen en el diseño.

Cuadro 26. Biodegradabilidad del efluente	
DBO/DQO	TIPO DE TRATAMIENTO
>0,4	Tratamiento biológico: Fangos activados o lechos bacterianos
$0,2 \leq \text{DBO/DQO} < 0,4$	Tratamiento biológico: Lechos bacterianos
<0,2	Tratamiento químico.

FUENTE: HERNÁNDEZ, A, 1996.

En el caso de los vertidos de la Universidad, se realiza un balance de masas con el caudal diario, y con base en la información del cuadro anterior, se muestran los siguientes resultados:

Cuadro 27. Selección del tipo de tratamiento por grupos de edificios		
Grupo de tratamiento	DBO/DQO	Tratamiento según la biodegradabilidad del efluente
1	0,508	Fangos activos o lechos bacteriano
2 y 6	0,326	Lechos bacteriano
3	0,369	Lechos bacteriano
4	0,503	Fangos activos o lechos bacteriano

En el cuadro anterior se muestra que es factible utilizar sistemas biológicos para el tratamiento de las aguas residuales de tipo especial. De manera general, se transportan las aguas de los edificios de cada grupo por tuberías que trabajen a superficie libre, se conducen a un sistema de mezcla; posteriormente a un tanque regulador de caudal, que permita estabilizar el pH si es necesario. El agua se conduce al sistema de tratamiento principal; y como última etapa se verterá al alcantarillado sanitario o al tanque de captación para su reuso.

Por lo tanto, el tren de tratamiento de aguas residuales tipo especial sugerido contempla las siguientes unidades:

1. Pretratamientos: Estas unidades deben ser capaces de tratar características del agua de los edificios de manera individual.
2. Aducciones: incluye el transporte del agua desde los puntos de reunión de las aguas hasta el sistema de tratamiento.
3. Sistema de mezcla: se encarga de mezclar las aguas generadas por los edificios antes del ingreso al sistema de tratamiento.
4. Tanques reguladores de caudal: se encargaran de amortiguar los picos de reflejados en las curvas de consumo y garantizan que el caudal suministrado al sistema de tratamiento sea constante.
5. Sistema de tratamiento biológico: éste será el sistema de tratamiento principal que se encarga de depurar el agua residual.
6. Tratamiento de lodos: todos los sistemas de tratamiento biológico generan lodos, para eliminar los lodos del agua, se opta por el diseño de decantadores. Los lodos recolectados en estas unidades pasan a las eras de secado para que pierdan la humedad y sean dispuestos de la manera más conveniente.

7. Tanque de captación: se encarga de almacenar el agua tratada para ser reusada.

4.1 Pretratamientos requeridos

Se debe realizar pretratamiento a las aguas residuales antes de ingresar a la PTAR, ya que podrían afectar la eficiencia del sistema propuesto más adelante. Se presenta a continuación los pretratamientos requeridos por edificio, los cuales buscan reducir las concentraciones de ciertos parámetros para cumplir prioritariamente con los valores máximos permisibles por el RVRAR, y posterior a su construcción se debe revisar que las características del agua a la salida de los pretratamientos indicados no afecte el sistema de tratamiento propuesto; para ello se deben monitorear las concentraciones permisibles definidas en la sección de tratamiento biológico.

Cantidad máxima de inhibidores

A pesar que el RVRAR, define la concentración máxima de metales pesados que puede contener el agua para ser vertida al alcantarillado sanitario. Un sistema de tratamiento biológico permite concentraciones mayores de contaminantes en el agua residual, sin embargo se debe procurar que no interfieran con los procesos biológicos de los microorganismos encargados de depurar las aguas residuales. Todos los pretratamientos indicados deben cumplir con el RVRAR, sin embargo se debe confirmar que sus concentraciones no afectan la eficiencia del sistema de tratamiento biológico. A continuación se muestran los valores máximos que no deben sobrepasar.

Cuadro 28. Cantidad máxima de inhibidores en un sistema biológico	
Contaminante	Concentración límite (mg/L)
Aluminio	15 a 16
Amoniaco	480
Arsénico	0,1
Boro	0,05 a 100
Cadmio	10 a 100
Calcio	2500
Cromo hexavalente	1 a 10
Cromo trivalente	50
Cobre	1
Cianuro	0,1 a 5
Hierro	1000
Plomo	0,1
Manganeso	10
Magnesio	1 a 10
Mercurio	0,1 a 0,5
Níquel	0,1 a 2,5
Plata	5
Zinc	0,08 a 1
Aceites minerales	50
Fenol	200

FUENTE: HERNÁNDEZ, A. 1996.

En su mayoría, las concentraciones permisibles para el ingreso del aguas residual a un sistema de depuración biológica con mayores que las estipuladas por la normativa nacional e internacional para vertido. Por lo tanto, respetando las concentraciones del Cuadro 15 y el Cuadro 16, los pretratamientos requeridos son los siguientes:

Agroalimentarias: Referente al nivel de cromo en el agua, si bien es cierto sobrepasa el limite indicado por el RVRAR, sin embargo su carga química es permisible para un tratamiento biológico, sin embargo es necesario removerlo hasta la concentración de 1,5 mg/L para permitir el reuso del agua mediante un sistema de precipitación y luego filtrado. Este procedimiento de precipitación y filtrado consiste en adicionar un agente precipitante que logre formar compuestos con los metales pesados, generalmente son hidróxidos, para así aumentar su tamaño y peso, posteriormente se pasa por un medio filtrante que impida que estas partículas pasen, y de este modo se disminuye la concentración de metales pesados en el agua. Por su parte, el zinc se debe optar por un sistema de tratamiento similar

para tratar el cromo, y su concentración debe ser de 5 mg/L. Posteriormente se debe tomar la lectura del pH, ya que puede verse reducido por este proceso, por lo que se debe estabilizar de ser necesario. Para reducir la concentración de compuestos organoclorados en el agua se puede optar por una unidad de tratamiento con carbón activado, que actúa bajo el principio de absorción; si se desea optar por este sistema, se deben realizar pruebas de laboratorio para determinar la eficiencia del carbón activado para la remoción de compuestos organoclorados y así dimensionar la unidad de pretratamiento, la concentración de salida debe ser menor a 0,05 mg/L. Se puede estudiar la posibilidad de sustituir el sistema de precipitación y filtrado por la unidad de carbón activado para eliminar los metales pesados, y así solo disponer de una unidad de tratamiento.

Bellas artes: Antes del tratamiento de cualquier parámetro de las aguas residuales de este edificio es necesario colocar una trampa de grasas y aceites, para ello se recomienda la trampa de grasas Kramer, estas cámaras aprovechan la densidad de las grasas respecto a la del agua, y mediante la reducción de la velocidad del agua a la entrada, y hacen que el agua fluya por la parte inferior de la cámara y la grasa quede atrapada en la parte superior de la trampa. La ventaja de este tipo de cámaras es que tiene un porcentaje de remoción de grasas y materia en suspensión entre 50-70% (Hernández, 1996), esto evita la saturación en el sistema biológico y la pérdida de eficiencia, se requiere que la concentración máxima sea de 30 mg/L para permitir el reuso del agua tratada. Para el caso de los sólidos suspendidos totales, se requiere un proceso de floculación-coagulación se recomienda sulfato ferroso, con adiciones de cal entre 1 a 5 mg/L (sin sobrepasar este rango), porque el agua de este edificio es básica (Arboleda, 2000). Una vez cumplido el proceso de floculación-coagulación se dirige el agua a un sedimentador, la concentración máxima de sólidos suspendidos totales debe ser de 50 mg/L. Los sólidos sedimentables se pueden remover con un sedimentador, para no afectar la eficiencia del sistema, se debe tomar en cuenta el tamaño, densidad de partícula y viscosidad del agua residual por medio de pruebas de laboratorio, y su concentración no debe ser mayor a 1 mg/L. En cuanto a los metales pesados como el cromo, el hierro, el zinc y el estaño se deben remover con precipitación y luego filtrado. En cuanto a las concentraciones que se deben mantener, el cromo no debe sobrepasar los 1,5 mg/L, el hierro debe mantenerse por debajo de los 2 mg/L, el zinc no debe sobrepasar los 5 mg/L y el estaño debe ser interior a 2 mg/L.. El pH puede verse reducido por los pretratamientos sugeridos, por lo que se debe estabilizar de ser necesario, ya que para el sistema biológico

deben introducirse aguas con pH cercano a 7. Todos los precipitados deben ser enviados a un sistema de tratamiento de sólidos según indica la legislación.

Biología: Se deben evitar los vertidos de SAAM, se puede reducir con un adecuado manejo de los productos de limpieza, no requiere pretratamiento. Las concentraciones de SAAM deben monitorearse mientras se construye y se opera el sistema de tratamiento y no deben ser superiores a 5 mg/L.

Farmacia: Se deben pretratar los sólidos suspendidos totales con un proceso de floculación-coagulación, añadiendo sulfato de aluminio ya que cuenta con un pH neutro para este rango es ideal está coagulante (Reynolds & Richards, 1996), además de que es un coagulante común en el país. Posterior al proceso de floculación-coagulación se debe conducir el agua a un sedimentador. Para el caso del aluminio, la concentración presente en el agua no reduce la eficiencia del sistema biológico, pero se debe remover con un sistema de precipitación y filtrado, y su concentración debe ser inferior a 5 mg/L.

Editorial: Su pretratamiento debe iniciar con una trampa de grasas Kramer. Para remover los sólidos suspendidos totales se debe aplicar al agua residual un proceso de floculación-coagulación y posteriormente se deben realizar pruebas de pH en el agua para determinar el floculante que sea más eficiente, se recomienda utilizar sulfato de aluminio, ya que se tiene pH neutro similar al de Farmacia.

LEBI: Este edificio debe controlar las concentraciones de SAAM, se puede reducir con un adecuado manejo de los productos de limpieza, no requiere pretratamiento, de manera similar al edificio de Biología. Éstas no deben sobrepasar los 5 mg/L.

Medicina: Para eliminar los sólidos sedimentables se requiere un sedimentador, de modo que no saturen el sistema biológico, y la concentración de éstos no debe sobrepasar 1 mg/L. La concentración de aluminio debe estar por debajo de los 5 mg/L, y se debe reducir con un sistema de precipitación y filtrado.

Microbiología: Su pretratamiento consiste solamente en una trampa de grasas Kramer. La concentración de grasas y aceites no debe ser superior a 30 mg/L.

Odontología: A la salida de las aguas residuales se debe colocar una trampa de grasas Kramer. Para obtener una concentración de grasas y aceites inferior a 30 mg/L.

Oficina de servicios generales: Este edificio presenta problemas con las concentraciones de SAAM, al igual que el edificio de Biología, se requiere un uso racional de los productos de limpieza y una adecuada disposición, y su concentración máxima es de 5 mg/L; por otro lado, los sólidos sedimentables se pueden eliminar mediante un sedimentador, de modo que las partículas no interfieran en la eficiencia del sistema de tratamiento colectivo, la concentración de sólidos sedimentables no debe ser mayor a 1 mg/L.

Tecnología alimentos: Se debe colocar una trampa de grasas Kramer para conseguir una concentración de grasas y aceites menor a 30 mg/L. Luego se debe realizar un proceso de floculación-coagulación para eliminar los sólidos suspendidos en el agua residual. Al tener un pH tan bajo, se debe estabilizar antes de añadir el floculante, sulfato de aluminio, ya que éste actúa con un rango de pH entre 4,5 y 8 (Reynolds & Richards, 1996); no se debe adicionar sulfato de aluminio fuera de este rango, ya que el agua se vuelve muy corrosiva y la coagulación no se hace de manera eficiente. Otra alternativa es el uso de sulfato férrico, que actúa para un rango de pH de 3,5 a 11, posteriormente se conduce el agua a un sedimentador para eliminar los flóculos. La concentración máxima de sólidos suspendidos no debe ser mayor a 50 mg/L.

Tecnologías en salud: Se debe colocar una trampa de grasas Kramer, para obtener una concentración menor a 30 mg/L de grasas y aceites. La concentración de hierro se debe reducir hasta un valor de 2 mg/L, por medio de un sistema de precipitación y luego filtrado, se debe procurar que el pH de la salida tenga un valor cercano a 7.

A continuación se muestra el resumen de los pretratamientos requeridos:

Cuadro 29. Resumen de los pretratamientos requeridos	
Edificio	Pretratamientos
Agroalimentarias	Precipitación y filtrado para remover el cromo y el zinc
Bellas Artes	Trampa de grasas Kramer
	Floculación y coagulación
	Sedimentador Cerrado
	Precipitación y filtrado para remover el cromo, hierro, estaño y el zinc
Farmacia	Floculación y coagulación
	Precipitación y filtrado para remover el aluminio
Editorial UCR	Trampa de grasas Kramer
Medicina	Sedimentador Cerrado
	Precipitación y filtrado para remover el aluminio
Microbiología	Trampa de grasas Kramer
Odontología	Trampa de grasas Kramer
Oficina de Servicios Generales	Sedimentador Cerrado
Tecnología Alimentos	Trampa de grasas Kramer
	Floculación y coagulación
Tecnologías en salud	Trampa de grasas Kramer
	Precipitación y filtrado para remover el hierro

Los edificios que precisan de una trampa de grasas pueden ubicarla a la salida de las aguas residuales, no requieren mucho espacio. En la Figura 17 se muestra la ubicación sugerida para los pretratamientos que requieren espacios mayores, es importante mencionar que los pretratamientos indicados para el edificios de Agronomía y el de Tecnologías de alimentos se pueden ubicar en el mismo lugares. En esta misma figura, se indican las áreas disponibles respectando los retiros mencionados en el Cuadro 7.

FIGURA 17. UBICACIÓN DE LOS PRETRATAMIENTOS SUGERIDOS

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 17.pdf)

4.2 Aducciones

Para el transporte del agua residual se diseñan aducciones a superficie libre, es importante determinar el tipo de conductos a utilizar. Se escoge el modelo de Manning para el diseño (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2007).

Ecuación 1
$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{N}$$

Dónde:

Q: caudal a transportar (m³/s).

A: Área mojada (m²).

S: pendiente de energía (m/m), en este caso es igual a la pendiente de fondo de la aducción.

R: radio hidráulico (m), en función del perímetro mojado y el área mojada.

Ecuación 2
$$R = A/P$$

n: coeficiente de rugosidad de Manning. El material recomendado es PVC, por lo que el coeficiente de rugosidad a usar es 0,01, según el AyA (2007). Los catálogos de los fabricantes indican que el coeficiente de rugosidad está entre 0,009 y 0,01, es más conservador optar por el valor mayor.

Para los grupos mencionados anteriormente, se necesita realizar una regulación diaria del caudal generado, al no contar con mediciones los fines de semana se considera que la generación de aguas residuales los fines de semana es despreciable, esto implica diseños diferentes para las aducciones antes del tanque y después del tanque, porque manejan caudales diferentes. En la Figura 18 se muestra un esquema preliminar de los puntos de reunión de cada uno de los grupos, donde cada punto de reunión debe diseñarse como un pozo de registro. El punto de reunión del grupo 1 se ubica al frente a la Facultad de Agronomía a una elevación de 1200,5 m.s.n.m. de modo que la tubería quede enterrada 1,3 m. Es necesario cumplir con las profundidades establecidas por el AyA (2007), ya que se

debe cruzar una calle. El punto de reunión del grupo 2, sin contemplar el edificio de Tecnologías en Salud, se ubica detrás de la Facultad de Odontología, cerca de la quebrada Los Negritos y tendrá una elevación de 1193,4 m.s.n.m. El punto de reunión del grupo 3 se encuentra detrás del edificio de Química y está a 1197,5 m.s.n.m. El grupo 4 no requiere de un punto común ya que los edificios que componen este grupo pueden hacer su ingreso directamente al punto de reunión final de grupo 1, 3 y 4.

El tanque regulador para los grupos 1, 3 y 4 se ubica en el actual parqueo de la Facultad de Educación, tendrá una elevación de 1196,9 m.s.n.m. El punto de reunión de todas las aguas dirigidas a este tanque se ubican a 3 metros del tanque, a una altura de 1197 m.s.n.m. Mientras que el tanque regulador del grupo 2, ubicado detrás del Comedor Estudiantil, tendrá una elevación de 1189,7 m.s.n.m. El punto de reunión de todas las aguas dirigidas a este tanque se ubica a 3 metros del tanque a una altura de 1189,6 m.s.n.m.

El punto de reunión de las aguas del grupo 1 puede unirse al punto de reunión de las aguas del grupo 3, al distancia entre estos dos puntos es de 216,97 m y se cuenta con una diferencia de niveles que permite que el agua pueda conducirse por gravedad sin problemas; del punto de reunión del grupo 3 debe dirigirse al tanque regulador con una distancia de 125,91 m. Si se compara con las curvas de nivel de la Universidad, presenta problemas de elevación para el sistema de tratamiento ya que el agua debe ingresar por la parte superior del tanque regulador por lo que se propone excavar el terreno al menos 7 metros de profundidad para evitar el bombeo y conducir el agua por gravedad. Por otro lado, el terreno para el tratamiento del grupo 2 y 6 debe excavarse al menos 7 metros para evitar el bombeo a la parte superior del tanque. Es importante mencionar que las aducciones de la salida de cada edificio al punto de reunión de cada grupo no se diseñan en este proyecto.

El detalle de la ubicación de la tubería se muestra más adelante, en el apartado Ubicación de unidades de tratamiento.

En la siguiente figura se muestran las aducciones en color rojo y los pozos de registro en color amarillo.

FIGURA 18. UBICACIÓN DE LOS TANQUES REGULADORES DE CAUDAL, DE LOS PUNTOS DE REUNIÓN Y DE LAS ADUCCIONES.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 18.pdf)

Así mismo se tienen los perfiles del terreno y de las tuberías, según el levantamiento topográfico brindado por Oficina de Ejecutora del Programa de Inversión (2012).

En la Figura 19, se muestra que la tubería que conduce aguas residuales generadas por los grupos 1, 3 y 4 se encuentra por debajo de las carreras por mas de 1,3 m que establece como mínimo AyA (2007). Solamente en un tramo esta tubería se expone pero en esa área no hay edificaciones ni calles que afecten la integridad de la tubería.

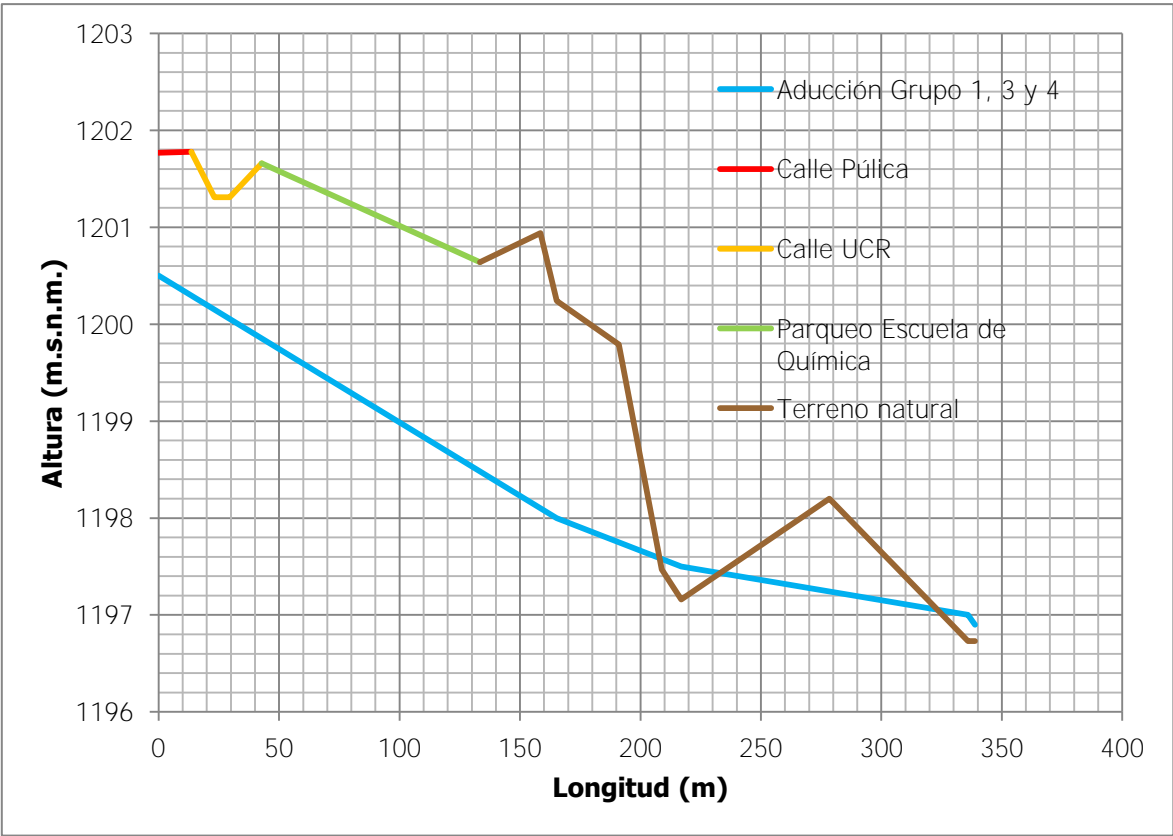


FIGURA 19. PERFIL DE TERRENO PARA LAS ADUCCIONES DE LOS GRUPOS 1, 3 Y 4.

En la Figura 20 la tubería se muestra enterrada en su totalidad, solamente al final se expone para su conexión al sistema de tratamiento. Se puede observar que se respeta la profundidad mínima en carreteras de 1,3 m según AyA (2007).

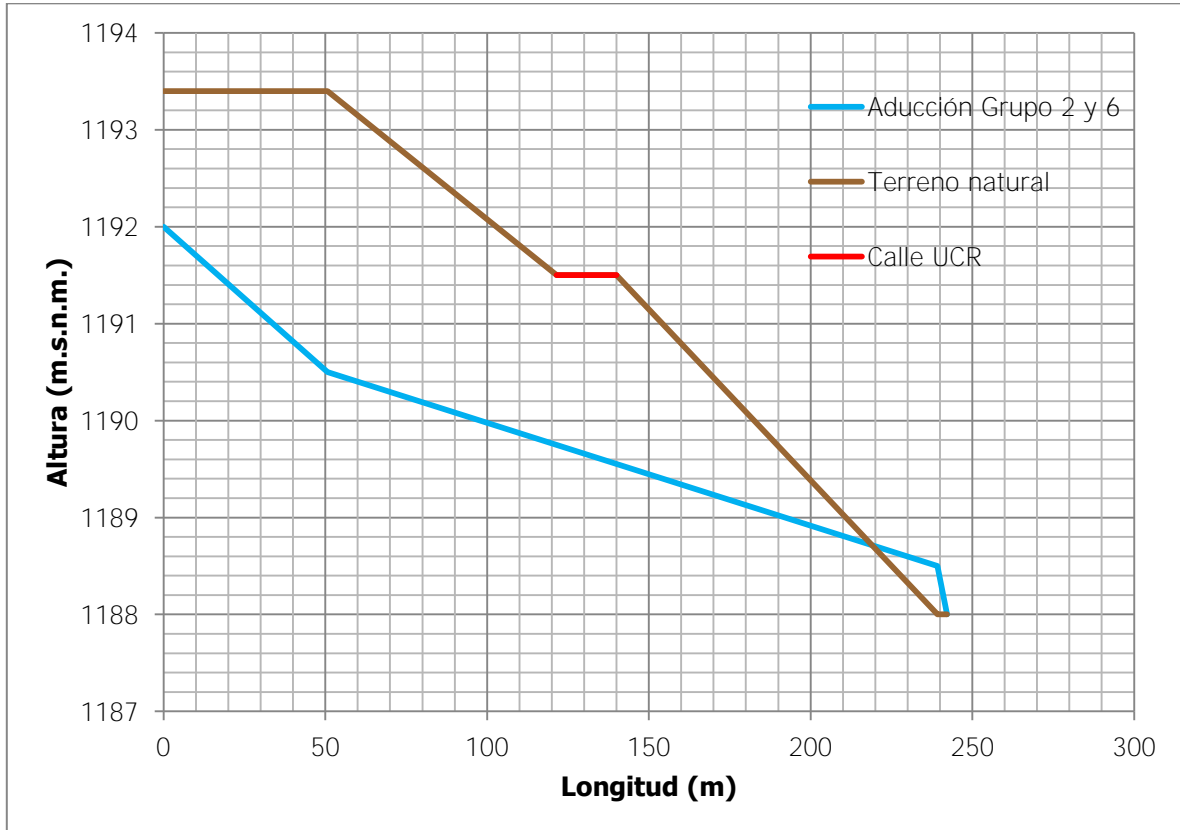


FIGURA 20. PERFIL DE TERRENO PARA LAS ADUCCIONES DE LOS GRUPOS 2 Y 6.

Según el “Reglamento técnico para el diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos” del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2007), para el diseño de cualquier sistema de alcantarillado sanitario se debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Cuadro 30. Condiciones que establece AyA (2007) para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario	
Diámetro mínimo de tubería	El diámetro nominal no debe ser menor a 150 mm.
Tipo de tubería	SDR 41, ya que el sistema no debe trabajar a presión.
Velocidad mínima	No debe producir una fuerza tractiva menor a 0,1 kg/m ² .
Velocidad a tubo lleno	Debe ser menor a 5 m/s.
Pendientes	Deben ser mayores a 0,60%.
Tirante hidráulico	Debe ser menor al 75 % de la capacidad total de la tubería, esto para permitir la ventilación ya que los gases que se pueden formar son peligrosos.
Sección transversal de la tubería	Debe ser circular, y su diámetro a lo largo de los tramos no debe ser reducido.
Profundidad de la tubería en carreteras	Debe estar entre 1,3 m y 3,85 m, medidos desde la rasante del terreno hasta la parte superior del tubo.
Caudal añadido por infiltración	Para tubería PVC el caudal por infiltración es de 0,25 L/s/Km.
Distancia mínima de pozos	No debe ser mayor a 80 m.
Profundidad máxima de pozos	Se establece 4 m como máximo.
Diámetro mínimo de pozos	Es de 1,2 m.

FUENTE: INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS., 2007.

4.2.1 Pozos de registro

Se ubican siete pozos de registro principales, uno en cada punto de reunión, los demás en los cambios de dirección. En la siguiente figura se muestra la ubicación de los pozos de registro principales.



FIGURA 21. LOCALIZACIÓN DE LOS POZOS DE REGISTRO PRINCIPALES EN EL SISTEMA.

Pozo de registro 1. Punto de reunión de las aguas residuales del grupo 1, ubicado frente a la Facultad de Agronomía, a una elevación de 1200,5 m.s.n.m.

Pozo de registro 2. A 165,2 metros del pozo de registro del punto de reunión de las aguas residuales del grupo 1, en la elevación 1198m.s.n.m.; ubicado entre la Escuela de Química y la quebrada Los Negritos, como se muestra en la Figura 18.

Pozo de registro 3. El punto de reunión del grupo 1 y 3, a 1197,5 m.s.n.m.

Pozo de registro 4. A 3 metros del tanque regulador del grupo 1, 3 y 4 donde se reúnen todas las aguas a tratar, este tanque está a 1197 m.s.n.m.

Pozo de registro 5. Punto de reunión de las aguas residuales del grupo 2, cuya elevación es de 1194,3 m.s.n.m.

Pozo de registro 6. Otro ubicado a 50,63 metros del punto de reunión del grupo 2, entre la quebrada Los Negritos y el Edificio de Computación e Informática; a una elevación de 1190,7 m.s.n.m., para garantizar que cuando atraviere la carretera frente al comedor estudiantil la tubería se entierre 1,3 metros como mínimo.

Pozo de registro 7. A 3 metros del tanque regulador del grupo 2 y 6 se ubica un pozo de registro con una elevación de 1189,7 m.s.n.m.

4.2.2 Diseño de aducción antes del tanque regulador

El consumo de agua potable no es constante todos los días de la semana, ni es constante a cada hora, por lo que se toman las cantidades máximas de volumen de agua consumida en un día para cada edificio según los datos reportados por Agrotec. Por lo tanto, el caudal de diseño de la aducción antes del tanque corresponde al caudal máximo registrado en un día de cada uno de los edificios que conforman un grupo, como solamente se reúnen las aguas de los grupos 1, 2 y 3, y los demás se conducirán de manera individual; se tiene que para el

grupo 1 el caudal de diseño de aguas residuales será de 65,88 m³/día, para el grupo 2 se cuenta con 341,44 m³/día y para el grupo 3 se tiene 94,59 m³/día.

Para el diseño de las aducciones se utiliza tubería PVC, ya que no presenta problemas de corrosión como el hierro, y sus diámetros nominales son menores que los de concreto. Para la aplicación de la Ecuación 1 se usa "n" igual a 0,01, ya que ese es el valor que aplica para PVC.

Con el procedimiento expresado en la memoria de cálculo, y se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 31. Características de diseño de las aducciones antes del tanque						
Aducción	Caudal de diseño (L/s)	Elevación inicial (m.s.n.m.)	Elevación final (m.s.n.m.)	Longitud recorrida (m)	S_o	Diámetro requerido (mm)
Punto del grupo 1 al pozo de registro 1	0,80	1200,5	1198	165,2	0,0151	41,73
Del pozo de registro 1 a grupo 3	0,82	1198	1197,5	51,77	0,0097	45,67
Grupo 3 a punto reunión final	1,94	1197,5	1197	118,91	0,0042	73,85
Punto reunión final grupo 1, 3 y 4 al tanque	3,35	1197	1196,9	3	0,0333	61,43
Punto Grupo 2 a pozo de registro	3,93	1193,4	1190,7	50,63	0,0296	66,72
Pozo de registro a punto reunión final	3,98	1190,7	1189,7	176,9	0,0106	81,25
Punto reunión final grupo 2 al tanque	4,01	1189,7	1189,6	3	0,1667	48,64

Se utiliza, según la norma, un diámetro nominal de 150 mm, SDR 41, cuyo diámetro interno es de 160,8 mm. Es claro que el diámetro calculado es menor siempre que el diámetro interno de las tuberías comerciales de PVC. Para ello se determina la velocidad y el radio hidráulico para el caudal de diseño, esto con ayuda de las condiciones a tubo lleno de la forma indicada en la memoria de cálculo a continuación se muestran los resultados:

Cuadro 32. Determinación de las condiciones a tubo lleno						
Aducción	Condiciones a tubo lleno			Q/Q_o	R/R_o	V/V_o
	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Radio hidráulico (mm)			
Punto del grupo 1 al pozo de registro 1	0,0293	1,445	40,2	0,03	0,37	0,4
Del pozo de registro 1 a grupo 3	0,0234	1,154	40,2	0,03	0,37	0,4
Grupo 3 a punto reunión final	0,0155	0,762	40,2	0,12	0,63	0,57
Punto reunión final grupo 1, 3 y 4 al tanque	0,0436	2,145	40,2	0,07	0,51	0,492
Punto Grupo 2 a pozo de registro	0,0411	2,022	40,2	0,10	0,586	0,54
Pozo de registro a punto reunión final	0,0246	1,210	40,2	0,16	0,704	0,613
Punto reunión final grupo 2 al tanque	0,0974	4,796	40,2	0,04	0,41	0,427

Para las condiciones calculadas anteriormente se revisa la velocidad y la fuerza tractiva y se obtienen los siguientes resultados para cada tramo:

Cuadro 33. Determinación de las condiciones de diseño			
Aducción	Radio hidráulico (mm)	Velocidad (m/s)	Fuerza tractiva (kg/m²)
Punto del grupo 1 al pozo de registro 1	14,9	0,58	225,09
Del pozo de registro 1 a grupo 3	14,9	0,46	143,65
Grupo 3 a punto reunión final	25,3	0,43	106,49
Punto reunión final grupo 1, 3 y 4 al tanque	20,5	1,06	683,40
Punto Grupo 2 a pozo de registro	23,6	1,09	697,92
Pozo de registro a punto reunión final	28,3	0,74	300,19
Punto reunión final grupo 2 al tanque	16,5	2,05	2747,00

La revisión de la velocidad máxima se hace con la condición en la que la tubería está en su máxima capacidad y la velocidad mínima se verifica con el caudal de diseño, se puede ver que para estas condiciones cumple con el reglamento.

4.2.3 Diseño de aducción después del tanque regulador

La tubería para conducir el agua del tanque regulador al sistema de tratamiento, trabaja a presión, sin embargo, el caudal que transporta es variable durante la semana, ya que la carga del tanque es variable, se debe colocar una válvula de compuerta en el sistema de tuberías, después del tanque, para emergencias y para dar mantenimiento al tanque.

El método de cálculo utilizado es con la fórmula de Darcy-Weisbach que se muestra a continuación:

Ecuación 3
$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

Dónde:

h_f : son las pérdidas de energía por fricción (m).

L: Longitud de la tubería (m).

D: Es el diámetro requerido (m).

V: es la velocidad media (m/s).

f: es el factor de fricción de la tubería. Este parámetro es función del número de Reynolds (Re), y de la rugosidad absoluta de la tubería (k_s), para PVC k_s equivale a 0,0015 mm (López, 2010, p. 218).

El detalle del procedimiento de cálculo se muestra en el anexo C.

Se tienen dos escenarios diferentes, ya que cuando el tanque está lleno se tiene una carga de energía diferente a la condición cuando el tanque está vacío, por lo que se determina el

diámetro mínimo necesario para conducir el agua al sistema de tratamiento, pero éste debe ser complementado con una válvula reguladora de caudal.

Para los dos tanques reguladores se tiene una altura de agua de 2,5 m para el tanque regular del grupo 1, 3 y 4; y se cuenta con 2,5 m para el tanque del grupo 2 y 6, como se detalla más adelante. El caudal por infiltración es de 0,25 L/s/km, como lo indica el reglamento técnico de AyA. Además se tiene una diferencia de alturas de la salida del tanque a la entrada del sistema de tratamiento de 0,1 m, y la distancia del tanque al sistema de tratamiento principal es de 3 m para ambos sistemas, sin embargo se le deben adicionar las longitudes equivalentes de las pérdidas locales de energía. Para este caso se contemplan tres pérdidas locales: la entrada del agua al tubo, la salida del agua del tubo y la válvula de compuerta, estas longitudes dependen del diámetro de la tubería y se toman de la referencia de López (2010).

Para el diseño de las tuberías se tienen dos criterios, el primero es cuando la tubería que conduce al sistema de tratamiento trabaja a presión y la otra cuando el tanque no está en operación, y la aducción del pozo colocado antes del tanque conduce el agua al biodisco directamente.

Se obtienen los siguientes resultados para las tres condiciones de operación, de donde se determina la condición que rige el diseño de la tubería.

Cuadro 34. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones a tanque lleno por medio de la ecuación de Darcy-Weisbach								
Aducción	Q_D (L/s)	Longitudes equivalentes				Re	f	D_{req.} (mm)
		Salida (m)	Entrada (m)	Válvula Compuerta (m)	Total (m)			
Grupo 2 Y 6	1,48	0,7	0,7	0,2	4,6	82427,4	0,019	22,77
Grupo 1, 3 y 4	1,45	0,7	0,7	0,2	4,6	81329,8	0,019	22,56

Cuadro 35. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones a tanque vacío por medio de la ecuación de Manning

Aducción	Q_D (L/s)	Longitud recorrida (m)	Diferencia de alturas (m)	S_o	D_{requerido} (mm)
Grupo 2 Y 6	1,48	3	0,1	0,0333	45,29
Grupo 1, 3 y 4	1,45	3	0,1	0,0333	44,91

Cuadro 36. Cálculo del diámetro requerido para las condiciones sin tanque por medio de la ecuación de Manning

Aducción	Q_D (L/s)	Longitud recorrida máxima (m)	Diferencia de alturas (m)	S_o	D_{requerido} (mm)
Grupo 2 Y 6	1,48	7,5	2,2	0,2933	30,12
Grupo 1, 3 y 4	1,45	10	2,7	0,2700	30,34

Se puede observar que la condición que rige el diámetro de la tubería de conexión al sistema de tratamiento principal es cuando opera con el tanque vacío, ya que se requiere un diámetro nominal de 50 mm y diámetro interno medio de 56,63 mm para SDR 32,5. Para determinar si el esfuerzo de trabajo al que estará sometida la tubería no supera el admisible por la tubería tipo SDR 32,5 se debe analizar la condición más crítica de trabajo, en términos de presión interna. Ésta se da cuando el tanque lleno esté en operación, y se induce el golpe de ariete al cierre o abertura de la válvula de compuerta.

Para el cálculo de la carga adicional por golpe de ariete se utiliza la fórmula de Joukowsky que se muestra a continuación:

Ecuación 4
$$h = \frac{CV_o}{g}$$

Dónde:

h: Carga adicional por golpe de ariete en cierre rápido (m).

C: Celeridad (m/s) se obtiene de la Ecuación 28.

V_0 : Velocidad del fluido antes del cierre.

g: Aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$).

El detalle del procedimiento utilizado se muestra en la memoria de cálculo en el anexo C. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 37. Calculo de los efectos golpe de ariete en las tuberías							
Aducción	K	Diámetro del tubo (mm)	e (mm)	C (m/s)	T (s)	V_0 (m/s)	h (m)
Grupo 2 y 6	18	56,63	1,85	404,4	0,015	0,588	24,3
Grupo 1, 3 y 4	18	56,63	1,85	404,4	0,015	0,576	27,7

De acuerdo con los resultados, la carga de presión a la que estará sometida la tubería es menor a 70 metros de columna de agua, por lo que la tubería de SDR 32,5 es la adecuada.

Como se menciona anteriormente, se requiere la colocación de una válvula reguladora de caudal bajo los siguientes requerimientos de operación:

- Cuando todas las unidades de tratamiento estén trabajando, las dos tuberías de salida del tanque deben conducir la mitad del caudal cada una.
- Cuando hay una unidad en mantenimiento, el caudal que pasa por la tubería de la unidad en operación debe ser el total de salida.

Además, se deben colocar dos tuberías idénticas de salida del tanque para cada unidad de tratamiento, ya que en caso de tener una unidad fuera de servicio, la tubería que conduce el agua a la unidad en operación deberá tener la capacidad de transportar el caudal total.

4.2.4 Sistema de mezcla

Existen diferentes métodos de mezcla para las aguas residuales, se opta por la inserción de un mezclador estático conformado por elementos de formas variadas de acero inoxidable o porcelana, resistentes a la corrosión, con el objetivo de generar cambios de gradientes, debido al choque entre las líneas de flujo. Las ventajas de este sistema de mezclado es que se requiere poco mantenimiento en comparación a un sistema de mezclado mecánico y además añade oxígeno a la mezcla.

El mezclador estático se debe colocar antes de la entrada del agua al tanque y después que todas las aguas que se dirigen al tanque se unan.

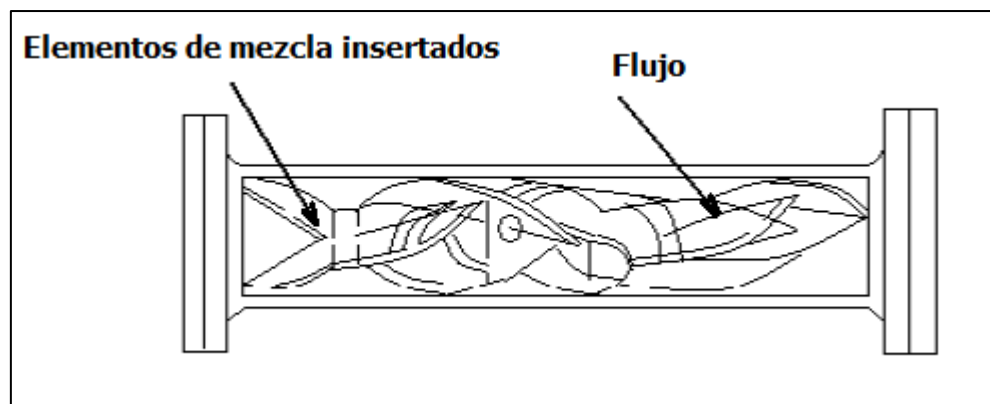


FIGURA 22. MEZCLADOR ESTÁTICO PARA INSERCIÓN EN EL TUBO.

ADAPTADO DE: ARBOLEDA, J., 2000.

4.3 Balance de masas

Para obtener las concentraciones de mezcla de las aguas residuales de los grupos es necesario realizar un balance de masas, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación 5

$$C_c = \frac{Q_a C_a + Q_b C_b}{Q_a + Q_b}$$

El procedimiento de cálculo se detalla en la memoria de cálculo del anexo C. Con base en, la ecuación anterior se toman los caudales máximos medidos por Agrotec en el 2011, y se les aplica un balance de masas por cada grupo mencionado anteriormente. Y se obtienen los siguientes resultados:

Cuadro 38. Balance de masas para el diseño del sistema colectivo								
Grupo	Caudal (m³/s)	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	pH	Temperatura (°C)	Fosfato (mg/l)	Nitrógeno total (mg/l)	Sumatoria órgano-fosforados (mg/l)
Límites		(300 mg/l)	(750 mg/l)	6 < pH < 9	15 °C a 50 °C	25 mg/l	50 mg/l	0,1 mg/l
1	65,88	571,25	1123,82	5,21	23,45	0,00	82,13	0,06
2 y 6	341,44	721,35	2216,03	4,91	24,40	0,29	77,69	0,00
3	94,59	736,59	1996,20	6,17	21,26	0,00	41,06	0,00
4	121,23	462,36	920,08	8,18	17,96	0,00	35,00	0,00

Se puede observar en el Cuadro 38, que aún después del balance de masas, los niveles de concentración de DBO y DQO se mantienen muy por encima de los niveles establecidos, en todos los grupos es necesario estabilizar el pH de la mezcla, para que no haya afectaciones en el sistema biológico principal. Los niveles de fósforo en el agua son nulos a muy bajos, esto indica un bajo nivel de nutrientes en la mezcla.

4.4 Tanque regulador

Este tanque cumplirá la función de compensar las variaciones de caudal durante el día y de esta manera permite suministrar caudal constante al sistema de tratamiento, ya que para los sistemas biológicos es fundamental se podría poner en riesgo la eficiencia, porque en

períodos de tiempo largos donde el sistema no reciba caudal el lecho biológico puede decrecer por falta de alimento.

Cuenta con los siguientes accesorios:

1. Tubería de entrada: ubicada en la parte superior del tanque para que su descarga sea por encima del nivel de agua y debe estar provista de una válvula de cierre.
2. Ventanilla de rebose: en caso de superar el volumen de diseño del tanque el excedente podría evacuarse por esta abertura.
3. Tubería de salida: debe colocarse en la parte inferior del tanque, el nivel lo indica el diseño estructural del tanque.
4. Tubería de "bypass": cuando el tanque se encuentran en mantenimiento, el agua pasará del pozo de registro directamente al sistema de tratamiento principal.
5. Tubería de purga: se sugiere una tubería de diámetro nominal 31 mm SDR 32,5, con una válvula de compuerta que permita evacuar el agua en caso de emergencia, cabe recalcar que para dar mantenimiento se debe retirar el agua mediante las tuberías que llevan al sistema de tratamiento principal. La limpieza o reparación del tanque se debe hacer el día en el que los tanques están con el nivel más bajo de agua, esto ocurre el domingo, tal y como se muestra en la regulación diaria de ambos tanques mostrados más adelante, por lo que se recomienda dar mantenimiento los días lunes en la mañana. Esta tubería se puede colocar en dos sitios: una opción es colocarla al lado de la envolvente del tanque el nivel inferior, respetando el nivel mínimo para no comprometer el servicio estructural del tanque, donde se requiere bombeo para evacuar toda el agua del tanque; y la otra opción es colocarla en el fondo del tanque, para ello el piso del tanque debe construirse con un desnivel de modo que el agua logre conducirse hasta la tubería.
6. Escalera de acceso: este accesorio permitirá dar mantenimiento de las láminas de techo.
7. "Manhole": se define como un accesorio para el ingreso de personas al tanque para brindar mantenimientos, básicamente es un orificio en la envolvente de 60 cm de diámetro.

La forma del tanque se sugiere circular, porque funciona mejor que un tanque cuadrado o rectangular desde un punto de vista estructural, ya que no habrían concentraciones de

esfuerzos en algunas secciones del tanque; el material del tanque se recomienda en acero, este material posee más capacidad por peso que el concreto, pero se le debe dar un mantenimiento más frecuente, debido a la calidad del agua. Se debe dar una sobre altura al tanque para evitar rebalses en caso de un sismo, esta sobre altura la define el diseño estructural del tanque.

Para realizar la regulación diaria se generan curvas de consumo horarias tomadas el 4 de octubre de 2012 en la Facultad de Odontología que representaría la regulación de grupo 2, y el 31 de octubre de 2012 en la Escuela de Química para la regulación del grupo 1, 3 y 4. Para el análisis de ambas curvas horarias, se supone un suministro de agua al tanque de solamente de 7:00 a.m. a 5:00 p.m. y un consumo agua del tanque durante las 24 horas del día. Se consideran como representativas, ya que la mayor cantidad de estudiantes y funcionarios se encuentran durante el día y por la noche se reducen las actividades. Por otro lado, para la regulación semanal de caudal, se considera que no hay consumo de agua potable, es decir suministro al sistema de tratamiento, los sábados y los domingos, y un consumo del sistema sanitario constante durante toda la semana.

El procedimiento del cálculo del volumen del tanque para ambos análisis fue el siguiente:

1. El consumo de agua residual del sistema se supone constante durante las 24 horas del día, o durante los 7 días de la semana.
2. El suministro de agua residual por parte de los edificios se hace con el consumo horario y luego semanal, como se menciona anteriormente.
3. Se calcula la diferencia entre el suministro y el consumo cada hora o cada día según fuera el caso.
4. Se calcula el déficit acumulado, es decir, la sumatoria de las diferencias de suministro y consumo.
5. Suponiendo un volumen igual a cero para el punto de máximo déficit, se resta el valor de déficit máximo al déficit acumulado de cada hora o cada día.

4.4.1 Diseño del tanque regulador grupo 2 y 6

Siguiendo los pasos enumerados anteriormente y con base en la curva de consumo de agua potable de la Facultad de Odontología expuesta en el capítulo 3, se obtiene el siguiente cuadro de resultados para la regulación de caudal durante un día:

Cuadro 39. Cálculo del volumen horario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Odontología							
Hora	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
07:00a.m.	4,167	4,167	6,516	6,52	2,35	2,35	2,35
08:00a.m.	4,167	8,333	11,419	17,94	7,25	9,60	9,60
09:00a.m.	4,167	12,500	10,612	28,55	6,45	16,05	16,05
10:00a.m.	4,167	16,667	10,778	39,33	6,61	22,66	22,66
11:00a.m.	4,167	20,833	12,557	51,88	8,39	31,05	31,05
12:00p.m.	4,167	25,000	10,819	62,70	6,65	37,70	37,70
01:00 p.m.	4,167	29,167	10,902	73,60	6,74	44,44	44,44
02:00p.m.	4,167	33,333	9,454	83,06	5,29	49,72	49,72
03:00p.m.	4,167	37,500	11,026	94,08	6,86	56,58	56,58
04:00p.m.	4,167	41,667	5,916	100,00	1,75	58,33	58,33
05:00p.m.	4,167	45,833	0	100,00	-4,17	54,17	54,17
06:00p.m.	4,167	50,000	0	100,00	-4,17	50,00	50,00
07:00p.m.	4,167	54,167	0	100,00	-4,17	45,83	45,83
08:00p.m.	4,167	58,333	0	100,00	-4,17	41,67	41,67
09:00p.m.	4,167	62,500	0	100,00	-4,17	37,50	37,50
10:00p.m.	4,167	66,667	0	100,00	-4,17	33,33	33,33
11:00p.m.	4,167	70,833	0	100,00	-4,17	29,17	29,17
12:00a.m.	4,167	75,000	0	100,00	-4,17	25,00	25,00
01:00a.m.	4,167	79,167	0	100,00	-4,17	20,83	20,83
02:00a.m.	4,167	83,333	0	100,00	-4,17	16,67	16,67
03:00a.m.	4,167	87,500	0	100,00	-4,17	12,50	12,50
04:00a.m.	4,167	91,667	0	100,00	-4,17	8,33	8,33
05:00a.m.	4,167	95,833	0	100,00	-4,17	4,17	4,17
06:00a.m.	4,167	100,000	0	100,00	-4,17	0,00	0,00
Volumen requerido (%)							58,33

En este caso, para el grupo 2 y 6 se tiene como volumen máximo vertido al día de 341,44 m³, por lo que se necesita un tanque que comprenda el 58,33% de ese volumen, o sea 199,2 m³. Considerando un tanque de base circular, para una altura de 3,5 m se tiene un área basal de 56,9 m², es decir un diámetro interno de 8,5 m.

Realizando el mismo análisis anterior, pero considerando una regulación de caudal durante una semana, con base en las curvas de consumo expuestas en el capítulo 3, se obtiene los siguientes resultados:

Cuadro 40. Cálculo del volumen diario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Odontología							
Día	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
Lunes	14,286	14,286	15,078	15,08	0,79	0,79	0,79
Martes	14,286	28,571	18,338	33,42	4,05	4,84	4,84
Miércoles	14,286	42,857	16,691	50,11	2,40	7,25	7,25
Jueves	14,286	57,143	15,077	65,18	0,79	8,04	8,04
Viernes	14,286	71,429	34,817	100,00	20,53	28,57	28,57
Sábado	14,286	85,714	0,000	100,00	-14,3	14,29	14,29
Domingo	14,286	100,000	0,000	100,00	-14,3	0,00	0,00
Volumen requerido (%)							28,57

Para el grupo 2 y 6 se tiene como volumen promedio generado por semana de 897,47 m³, el 28,57% de ese volumen es 256,4 m³. Con este resultado se expone que es necesario que el tanque sea de semanal, ya que necesita más volumen. Considerando un tanque de base circular, se muestra a continuación la variación del diámetro con la altura del tanque:

Cuadro 41. Variaciones de diámetro respecto a la altura				
Diámetro (m)	Diferencia al diámetro anterior (m)	Área basal (m²)	Diferencia al área anterior (m²)	Altura (m)
14,8	-	170,9	-	1,5
12,8	2,0	128,2	42,7	2
11,4	1,3	102,6	25,6	2,5
10,4	1,0	85,5	17,1	3
9,7	0,8	73,3	12,2	3,5

Se debe considerar que si el tanque es de mayor altura se debe realizar una excavación más profunda, el diámetro es inversamente proporcional a la altura por lo que si se disminuye esta última se reduce el espacio disponible. Se puede observar que usar una altura de 2 m el diámetro reduce el área basal en 42,7 m² respecto a la altura de 1,5. Si se usa 2,5 metros la diferencia en área es más de 24% respecto al tanque de 2 metros de altura. Se limita la altura del tanque a 2,5 m se tiene un área basal de 102,6 m², es decir un diámetro interno de 11,4 m. El caudal diario de consumo es de 128,21 m³/día.

4.4.2 Diseño del tanque regulador grupo 1, 3 y 4

De manera similar al diseño anterior, se utiliza la curva de consumo de la Escuela de Química, para analizar la regulación durante un día. Los resultados se muestran a continuación.

Cuadro 42. Cálculo del volumen horario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Química							
Hora	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
07:00a.m.	4,167	4,167	15,57	15,57	11,40	11,40	2,35
08:00a.m.	4,167	8,333	8,62	24,19	4,45	15,85	9,60
09:00a.m.	4,167	12,500	2,90	27,09	-1,26	14,59	16,05
10:00a.m.	4,167	16,667	10,73	37,82	6,56	21,15	22,66
11:00a.m.	4,167	20,833	19,35	57,17	15,18	36,33	31,05
12:00p.m.	4,167	25,000	10,47	67,63	6,30	42,63	37,70
01:00 p.m.	4,167	29,167	1,93	69,57	-2,23	40,40	44,44
02:00p.m.	4,167	33,333	10,38	79,95	6,21	46,61	49,72
03:00p.m.	4,167	37,500	8,88	88,83	4,72	51,33	56,58
04:00p.m.	4,167	41,667	11,17	100,00	7,00	58,33	58,33
05:00p.m.	4,167	45,833	0	100,00	-4,17	54,17	54,17
06:00p.m.	4,167	50,000	0	100,00	-4,17	50,00	50,00
07:00p.m.	4,167	54,167	0	100,00	-4,17	45,83	45,83
08:00p.m.	4,167	58,333	0	100,00	-4,17	41,67	41,67
09:00p.m.	4,167	62,500	0	100,00	-4,17	37,50	37,50
10:00p.m.	4,167	66,667	0	100,00	-4,17	33,33	33,33
11:00p.m.	4,167	70,833	0	100,00	-4,17	29,17	29,17
12:00a.m.	4,167	75,000	0	100,00	-4,17	25,00	25,00
01:00a.m.	4,167	79,167	0	100,00	-4,17	20,83	20,83
02:00a.m.	4,167	83,333	0	100,00	-4,17	16,67	16,67
03:00a.m.	4,167	87,500	0	100,00	-4,17	12,50	12,50
04:00a.m.	4,167	91,667	0	100,00	-4,17	8,33	8,33
05:00a.m.	4,167	95,833	0	100,00	-4,17	4,17	4,17
06:00a.m.	4,167	100,000	0	100,00	-4,17	0,00	0,00
Volumen requerido (%)							58,33

El porcentaje de regulación de caudal es el mismo, ya que lo que varía con la curva de consumo es el nivel en el tanque durante el día, sin embargo al basarse en los mismo supuestos de diseño lo que varía es el volumen almacenado. En este caso el grupo 1, 3 y 4 generan por día 281,7 m³, el 58,33% de ese volumen es 164,3 m³. Es decir se requiere un tanque con altura de 3,5 m y área basal de 47,0 m², es decir un diámetro interno de 7,7 m.

Los resultados de la regulación durante una semana se muestran a continuación:

Cuadro 43. Cálculo del volumen diario requerido para el tanque regulador según las mediciones en Química							
Día	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
Lunes	14,286	14,286	18,249	18,25	3,96	3,96	3,96
Martes	14,286	28,571	16,847	35,10	2,56	6,52	6,52
Miércoles	14,286	42,857	18,750	53,85	4,46	10,99	10,99
Jueves	14,286	57,143	18,747	72,59	4,46	15,45	15,45
Viernes	14,286	71,429	27,407	100,00	13,12	28,57	28,57
Sábado	14,286	85,714	0,000	100,00	-14,29	14,29	14,29
Domingo	14,286	100,000	0,000	100,00	-14,29	0,00	0,00
Volumen requerido (%)							28,57

De manera similar a la regulación requerida por el grupo 2, rige la regulación semanal para este caso. El grupo 1, 3 y 4 vierten por semana un volumen igual a $877,63 \text{ m}^3$, el 28,57% de ese volumen es $250,8 \text{ m}^3$. Al ser un volumen de agua similar se sugiere un taque con altura de 2,5 m y área basal de $100,3 \text{ m}^2$, es decir un diámetro interno de 11,3 m. El caudal diario de consumo es de $125,38 \text{ m}^3/\text{día}$.

FIGURA 23. DETALLADO DE LOS TANQUES REGULADORES DE CAUDAL

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 23.pdf)

4.5 Estabilización de pH

Los sistemas de tratamiento biológico en general soportan solamente pH cercano al neutro, es decir un pH igual a 7, por lo que el resultado del balance de masas indica que se debe estabilizar el pH las aguas de antes de ingresarlas al sistema. Se sabe que el pH es función logarítmica de la concentración de iones de hidrógeno:

Ecuación 6
$$\text{pH} = -\log \{H^+\}$$

Es necesario en todos los casos estabilizar el pH con carbonato de calcio (cal viva), para esto se deben realizar pruebas de laboratorio que permitan determinar la dosificación necesaria para aumentar el pH. Estas pruebas de laboratorio se deben realizar con la composición de todos los vertidos de los edificios antes de ingresar al tanque regulador. Es decir, tomar muestras a la salida de los edificios, combinar las aguas y realizar la medición del potencial de hidrogeno en el agua. Con el nivel de pH, se puede utilizar el estabilizador que se va a utilizar dependiendo si el agua es ácida o básica. Con los resultados obtenidos por los valores teóricos de diseño se sugiere utilizar carbonato de calcio como estabilizador. Cuando se determine la dosificación, se debe colocar el estabilizador justo antes del sistema de mezcla.

Es importante realizar estas pruebas, aun después de construido el sistema, se sugieren realizarlas una vez al mes, de modo que se compruebe que la dosificación que se está utilizando es la adecuada.

4.6 Tratamiento biológico: biodisco

Para la escogencia del sistema de tratamiento biológico se consideran algunas diferencias entre un sistema de lodos activados o lechos bacterianos, y un biodisco. Las diferencias de muestran a continuación:

1. En el biodisco se establece contacto entre la película biológica y las aguas residuales mediante el remojo, mientras que en un sistema de lodos activados se hace mediante choques en el reactor y en uno de lechos bacterianos se hace por percolación.
2. El sistema de rotación del biodisco ayuda en el proceso de aireación, mientras que en los lodos activados es necesaria la operación mecánica de un aireador, y en el caso de un lecho bacteriano se debe dar ventilación artificial.
3. En el biodisco la biomasa está fija mientras en los lodos activados está en suspensión.
4. En cuestión de energía, el biodisco solamente requiere la energía para rotar los tambores, mientras que los lodos activados requieren de uno o varios sistemas mecánicos de aireación además, por toda la laguna, y en un lecho bacteriano es indispensable un sistema de bombeo y aireación.
5. Los Biodiscos requieren menos área que un sistema de lodos activados.
6. Generan menos lodos que otros sistemas biológicos y tiene un tiempo de retención relativamente menor.

Los biodiscos al reflejar claras ventajas respecto a los demás sistemas de tratamiento se escoge como sistema principal de tratamiento. Éste cumplirá la función de remover la materia orgánica, y llevar a cabo procesos como nitrificación y desnitrificación. El sistema se compone básicamente de un disco rotatorio que se sumerge un 40% en las aguas residuales que se van a tratar (Hernández, 1996, p. 590), lo que permite un eficiente intercambio de oxígeno y un desprendimiento de los flóculos formados en el proceso que luego pueden ser removidos del agua tratada. Es un sistema de película biológica fija que oscila entre 0,2 a 3 mm de espesor.

Se debe evitar el ingreso de sustancias tóxicas al sistema ya que puede generar una pérdida de la biomasa fijada al disco, estas sustancias se mencionan en el Cuadro 28 y se debe monitorear que las concentraciones en los vertidos de los edificios, de modo que nunca sean mayores a las detalladas en ese cuadro. También, se debe prevenir el crecimiento de microorganismos que inhiban la eficiencia en la depuración, según Hernández (1996), estos microorganismos probablemente son *thiotrix* o *beggiatoa*, y se dan por la alta concentración de ácido sulfhídrico. Es importante controlar las variaciones de la temperatura, pH y caudal ya que pueden afectar el rendimiento del sistema, es necesario controlar la temperatura de los vertidos para que nunca disminuyan por debajo de los 10°C (Hernández, 1996, p. 594), ni

aumentan a más de 35 °C (Junqueira, Barbosa, Lopes, & Coimbra, 1997). El pH debe estar dentro de 6,5 y 8,5, pero lo ideal es mantener el pH en 8,5 ya que aumenta la eficiencia en el proceso de nitrificación. Por otro lado, es importante remover los sólidos mediante pretratamientos, como se menciona anteriormente, ya que puede bloquear el intercambio de oxígeno y generar condiciones anaeróbicas.



FIGURA 24. ESQUEMA DE UN BIODISCO.

ADAPTADO DE: [HTTP://WERABEREAGUASRESIDUALES.BLOGSPOT.COM/](http://werabereaguasresiduales.blogspot.com/), 2012.



FIGURA 25. DETALLES DE UN BIODISCO.

ADAPTADO DE: CORDERO ESPINOSA, C., GUERRERO BACULIMA, D., & SINCHE VALENCIA, P., 2010.

Para la operación de un tratamiento biológico es conveniente contar con dos sistemas en este caso biodiscos, que funcionen en paralelo, de modo tal que cuando una de las unidades esté en mantenimiento, la otra sea capaz de depurar el agua que entra al sistema. Cabe recalcar que es importante que las unidades funcionen en conjunto, ya que una unidad puede funcionar de manera individual por un plazo de tiempo corto, es decir mientras dura el mantenimiento de una unidad.

Para este caso en particular, se analizan los siguientes escenarios: el primero es determinar el área de los biodiscos tratando el agua residual hasta lograr la concentración de DBO de 300 mg/L que indica el RVRAR para el vertido al alcantarillado sanitario; y el segundo cuando se trata el agua para alcanzar concentraciones de DBO de 50 mg/L para el reuso de la misma.

Cuando se trate el agua con las dos unidades de biodiscos al mismo tiempo, se va a procurar verter el agua en un tanque de captación para su almacenamiento y su reuso, pero cuando se esté dando mantenimiento a una unidad, es fundamental desviar las aguas tratadas por el biodisco que está en operación al sistema de alcantarillado sanitario.

Para reducir el tamaño de los biodiscos, es importante recircular el agua del biodisco, es decir que parte del agua tratada ingresa al biodisco nuevamente. Para el diseño se opta por emplear un caudal de recirculación de 80%, ya que el caudal de recirculación no se recomienda menor al 50%, y mayores del 100% el aumento en la eficiencia no es significativo (Hernández, 1996). La obtención del porcentaje de recirculación se muestra en el Anexo C. **"Ejemplos de cálculo"**, específicamente en la sección C4.1 Porcentaje de recirculación.

Al ingresar al biodisco dos caudales diferentes con concentraciones diferentes, se debe hacer un balance de masas incluyendo el porcentaje de recirculación (%R). En la Figura 26 se **muestra un esquema del proceso de recirculación donde los valores con subíndices "i" son los valores de entrada, los subíndices "e" son los de salida y los subíndices "o" indican la mezcla entre las condiciones de entrada y las recirculadas.** De esta manera se ilustra el proceso de recirculación que tendrá el biodisco.

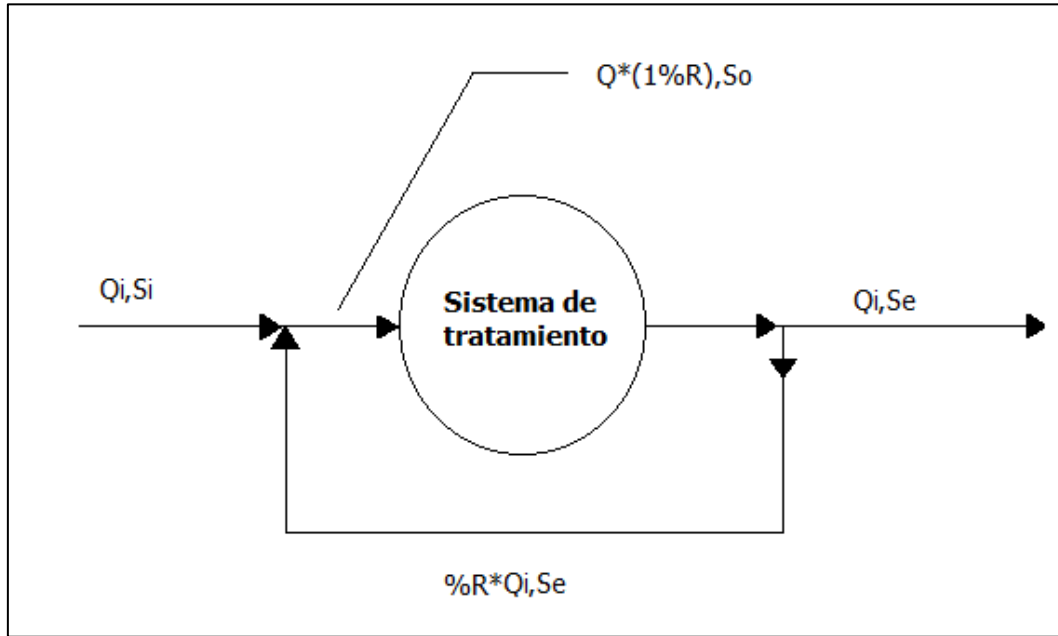


FIGURA 26. ESQUEMA DEL PROCESO DE RECIRCULACIÓN EN EL BIODISCO.

En la siguiente ecuación, representa la concentración del agua que ingresa al biodisco. Esta concentración se ve reducida a la original ya que el proceso de recirculación hace que se mezcle agua residual con agua tratada:

Ecuación 7
$$S_o = \frac{S_i + \%R S_e}{1 + \%R}$$

Dónde:

S_o : es la concentración de recirculación (mg/L).

S_i : es la concentración de entrada (mg/L).

S_e : es la concentración de salida (mg/L).

$\%R$: porcentaje de recirculación, en decimales.

Los resultados de esta ecuación se muestran más adelante en la etapa de dimensionamiento de los biodiscos.

Cantidad mínima de nutrientes

El agua residual en un sistema biológico debe cumplir las relaciones mínimas de nitrógeno y fósforo. En la siguiente ecuación se muestra la relación mínima que debe tener de la concentración de DBO respecto a la concentración de nitrógeno total en la mezcla:

Ecuación 8

$$\frac{\text{DBO}_5(\text{p.p.m.})}{\text{N}_{\text{total}}(\text{p.p.m.})} = \frac{100}{5}$$

Para la cantidad de DBO de mezcla de los grupos 1, 3 y 4 que corresponde a 557,57 mg/L, se requieren 27,87 mg/L de nitrógeno total en la mezcla, sin embargo se tienen 44,56 mg/L por lo que no se verá afectado el rendimiento del sistema biológico por el contenido de nitrógeno. Por su parte el grupo 2 y 6 tienen como concentración de DBO 699,97 mg/L, y se requiere 35,0 mg/L de nitrógeno total, y se tienen en mezcla 70,23 mg/L, por lo que tampoco se verá afectada la eficiencia por la cantidad de nutrientes.

Para el caso del fósforo, la relación ideal entre la concentración de DBO y a la concentración de fósforo en la mezcla es la siguiente:

Ecuación 9

$$\frac{\text{DBO}_5(\text{p.p.m.})}{\text{P}_{\text{total}}(\text{p.p.m.})} = \frac{100}{5}$$

De manera general, los niveles de fósforo son muy bajos o nulos para ambos sistemas, por lo que la eficiencia en el sistema se puede ver reducida por la falta de este nutriente. Según Borzacconi, L., et al. (1996), el fósforo es un nutriente limitante en un sistema de tratamiento biológico y sus requerimientos en un sistema aeróbico es mayor que en un sistema anaeróbico, su carencia se refleja problemas en las características de sedimentación del lodo en sistemas de biomasa suspendida, sin embargo se espera que las afectaciones no sean

significativas, de ser necesario se puede monitorear la calidad edel agua tratada en el sistema.

Por otro lado, un exceso de nutrientes puede ocasionar un crecimiento exponencial de la biomasa. Esto implica mayor mantenimiento en el sistema, ya que una película muy gruesa de biomasa en los discos evita la oxigenación adecuada de la misma. (Welter, A. B. et al, 2004).

Sin embargo, se espera que con la cantidad de nitrógeno en la mezcla se pueda compensar esta deficiencia. Es importante realizar análisis a la salida del sistema de tratamiento para determinar si realmente se reduce la eficiencia.

4.6.1 Dimensionamiento del biodisco grupos 1, 3 y 4

Para el dimensionamiento se debe tomar en cuenta dos variables, la remoción de DBO y la remoción de nitrógeno amoniacal; mostrados a continuación:

Dimensionamiento para remoción de DBO

Para el cálculo del área superficial requerida en el biodisco para remover concentraciones de DBO en la mezcla, se tiene la siguiente ecuación:

Ecuación 10
$$A = \frac{Q(S_0 - S) * T_c * P}{R_c}$$

Dónde:

A: superficie de los discos (m²).

Q: es el caudal de diseño (m³/d).

So: concentración de DBO de entrada (mg/L).

S: concentración de DBO de salida (mg/L).

P: parámetro de aireación de las aguas residuales, y toma valores de 1 para aguas que se pretratan aeróbicamente y 1,5 para aguas pretratadas anaeróbicamente. Para el diseño del sistema biológico se considera que el agua se trata aeróbicamente, ya que además se coloca un sistema de mezcla justo antes de ingresarla al biodisco, lo que aumenta el OD en el agua.

Tc: es el factor por temperatura que se puede considerar 1 cuando la temperatura del agua es superior a 12,7 °C o con la Ecuación 11 cuando las temperaturas de las aguas residuales son inferiores a 12,7°C. En este caso ninguna de las aguas tratadas en el Campus presenta valores inferiores a 12,7 °C.

Ecuación 11

$$T_c = 1,0537^{(12,7 - \text{Temperatura})}$$

R_c: substrato específico consumido (g/m² d). Se puede calcular mediante la ecuación de MONOD, mostrada en la Ecuación 12. Donde se toman valores típicos para aguas urbanas domésticas o similares, ya que al establecer pretratamientos al agua antes de ingresar al sistema, sus concentraciones a tratar son solamente de DBO, DQO, y nutrientes, además de que el pH debe ser cercano a 7 para el desarrollo adecuado de tratamiento biológico.

Ecuación 12

$$R_c = \frac{\mu_{\text{máx}} * S}{K_s + S}$$

Dónde:

μ_{máx}: Velocidad específica máxima de crecimiento [t⁻¹] y se toma un valor de 19,4 (Hernández, 1996).

K_s: la constante de saturación que para el diseño tendrá un valor de 15,1 (Hernández, 1996).

Para el uso de las ecuaciones anteriores se indica que para los grupos 1, 3 y 4 el caudal en la semana es de 877,63 m³/semana, para un consumo de 125,37 m³/día. La concentración de DBO en la entrada para la combinación de los grupos 1, 3 y 4 es 557,57mg/L. La concentración a la salida es de 50 mg/L, y para el reuso del agua tratada y 300 mg/L para el vertido al alcantarillado sanitario.

Comparando en el dimensionamiento para remoción de DBO para obtener una concentración final de 300 mg/L con otro que tenga una concentración final de 50 mg/L, se decide cuál es el más adecuado según las condiciones de espacio de la UCR. Para que ambos sistemas sean comparables deben tener características de diseño similares, por lo que se contemplan las siguientes condiciones:

1. Se usan dos unidades para ambos casos.
2. El caudal de recirculación será del 80%, para ambos escenarios.
3. El ancho de los biodiscos es de 1 cm, y la separación entre ellos de 2 cm.
4. Se toma el 40% del biodisco sumergido. (Hernández, 1996)

En el siguiente cuadro se muestra el caudal de ingreso al sistema, las concentraciones de entrada con la Ecuación 7, salida y recirculación, y las dimensiones requeridas según las concentraciones de salida.

Cuadro 44. Comparación de dimensionamiento de unidades para tratamiento grupo 1, 3 y 4		
Parámetro	Concentración de salida 300 mg/L	Concentración de salida 50 mg/L
Q_f (m₃/día/unidad)	62,687	62,687
Condición entrada S_f (mg/L)	557,57	557,57
Condición salida S_e(mg/L)	300	50
Condición diseño S_o(mg/L)	443,09	331,98
R_c	18,5	14,90
Área requerida (m²)	485,6	1186,30
Largo (m)	3,15	7,35
Diámetro (m)	3	3

Debido a que se cuenta con poco más de 895 m² de espacio disponible, es suficiente para albergar un sistema de tratamiento capaz de depurar el agua para reusarla, por lo tanto se seguirá trabajando solamente con esta opción.

Dimensionamiento para remoción de nitrógeno amoniacal

Se debe adicionar área al sistema antes dimensionado, de modo que se garantice la remoción de nitrógeno amoniacal, debido a la falta de información sobre el contenido de nitrógeno amoniacal en la muestra de aguas residuales, se supondrá de manera conservadora, que el contenido de nitrógeno total corresponde al contenido de nitrógeno amoniacal. Este valor debe ser revisando con un análisis más minucioso para el diseño final del sistema, sin embargo el área adicionada no afecta de manera negativa el diseño actual.

El área superficial adicional que requiere el biodisco para remover nitrógeno amoniacal, se puede determinar con la siguiente ecuación:

Ecuación 13

$$A_N = \frac{Q(S_0 - S) * T_N}{R_N}$$

Dónde:

A_N: área adicional requerida (m²).

Q: es el caudal de diseño (m³/d).

S₀: concentración de nitrógeno amoniacal de entrada NH₄⁺_E (mg/L).

S: concentración de nitrógeno amoniacal de salida NH₄⁺_S (mg/L).

R_N: sustrato específico consumido de nitrógeno amoniacal (g/m² d). Se puede calcular mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 14

$$R_N = \frac{(NH_4^+)_S \cdot (NH_4^+)_E}{(NH_4^+)_S + (NH_4^+)_E + 0,05[(NH_4^+)_S(NH_4^+)_E]}$$

T_N : es el factor por temperatura que se puede considerar 1 cuando la temperatura del agua es superior a 12,7 °C o con la Ecuación 15 cuando las temperaturas de las aguas residuales son inferiores a 12,7°C. En este caso ninguna de las aguas tratadas en el Campus presenta valores inferiores a 12,7 °C.

Ecuación 15

$$T_N = \frac{0,7 \text{ Temperatura}}{\text{Temperatura} - 4,13}$$

La concentración de nitrógeno total en la entrada para la combinación de los grupos 1, 3 y 4 es 44,56 mg/L. La concentración a la salida es de 15 mg/L (Real Decreto 849 / 1986, 1986). En el siguiente cuadro se muestra el caudal de ingreso al sistema, las concentraciones de entrada, salida y recirculación, y el área adicional.

Cuadro 45. Comparación de dimensionamiento de unidades tratamiento grupo 1, 3 y 4		
Parámetro	Área requerida para DBO_s 50 mg/L	Área requerida para NH₄⁺_s 15 mg/L
Q_f (m₃/día/unidad)	62,687	62,687
Condición entrada S_f (mg/L)	557,57	44,67
Condición salida S_e (mg/L)	50	15
Condición diseño S_o (mg/L)	331,98	31,48
R_c	14,90	-
R_N	-	6,7
Área requerida (m²)	1186,30	153,4

El área de diseño del disco sería de 1361,6 m², utilizando el mismo diámetro de 3 m, se requieren 240 discos, para un área efectiva de 1379,79 m², lo que implica un largo de 8,4 m.

La carga hidráulica de los dos biodiscos funcionando sería de 0,0454 m³/m²/día y para un solo biodisco funcionando sería de 0,0909 m³/m²/día. En ambos casos se estaría por debajo de la carga máxima teórica de 0,2 m³/m²/día (Hernández, 1996).

Como se indica el 40% del área transversal del biodisco está sumergida, resolviendo la ecuación según Chow (1994):

Ecuación 16

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \text{sen}(\theta))D^2$$

Se obtiene un ángulo θ igual a 2,82 radianes, por lo que se obtiene una profundidad sumergida de 1,27 metros, correspondiente al 40% del área sumergida.

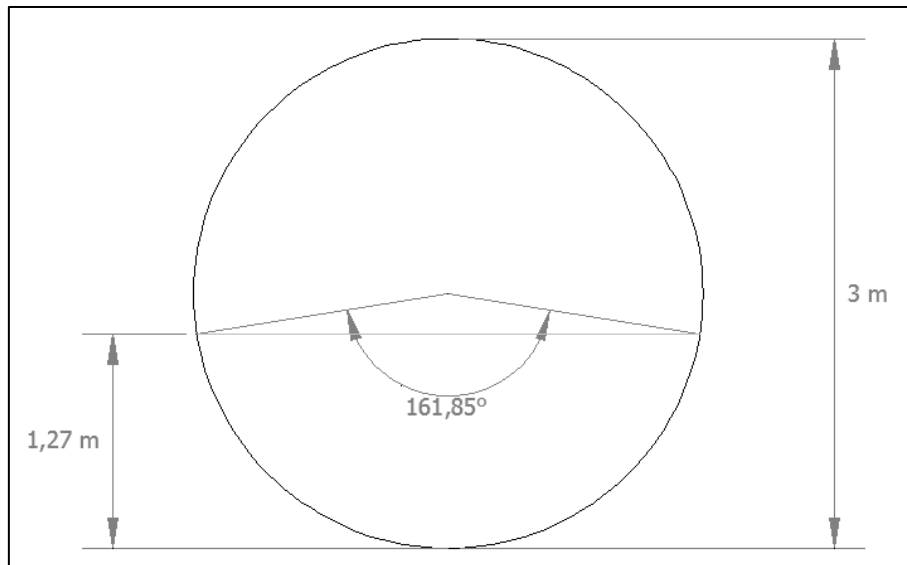


FIGURA 27. ÁREA SUMERGIDA DEL BIODISCO PARA TRATAMIENTO GRUPO 1, 3 Y 4.

Para el dimensionamiento del tanque que contiene el biodisco se toma en cuenta las siguientes observaciones, de modo tal que se le puedan brindar mantenimientos al tanque y al biodisco:

1. La distancia del fondo del tanque a la parte inferior del biodisco de 0,1 m, y un borde libre de 0,35 m sobre el agua dentro del tanque; por esto el tanque tiene una altura requerida total de 1,72 metros.
2. Se deja a lo largo una distancia de 0,3 m a la pantalla de quietamiento, de la pantalla al biodisco se dejan 0,2 m, y finalmente del biodisco al tanque se dejan 0,2 m.
3. A lo ancho una distancia libre de 0,1 metros a ambos lados distribuida.

Por lo que las dimensiones finales del tanque son de 9,1 m y 3,2 m. El área transversal requerida en planta es de 29,12 m².

Con esas dimensiones del tanque contenedor se tiene un volumen de agua de 39,9 m³, lo que equivale a un tiempo de retención hidráulica de 15,27 horas.

4.6.1.1 Bombeo del caudal de recirculación para tratamiento grupos 1, 3 y 4

Como se expone anteriormente, se bombea un 80% del caudal de entrada lo que equivale a 50,148 m³/día, es decir, 13,93 L/s. Para el cálculo del diámetro de la tubería de impulsión se utiliza la ecuación de Bresse que se presenta a continuación:

Ecuación 17 $D_i = 1,34 \cdot K \sqrt{Q}$

Dónde:

D_i: es el diámetro de la tubería de impulsión. (m)

Q: es el caudal de bombeo en m³/s

K: es un coeficiente que varía entre 0,7 y 1,6 para sistemas de operan de manera continua. En este caso de utiliza K=1,2 como valor promedio (López, 2010, p. 146).

Por lo que después de un proceso iterativo se obtiene un diámetro nominal de tubería PVC de 200 mm lo que equivale a 205,62 mm para SDR 32,5, para la tubería de impulsión y la de

succión. El fluido tendría una velocidad de 0,42 m/s. Para contabilizar las pérdidas de energía se determinan cuáles eran las pérdidas locales, y se obtienen las longitudes equivalentes para aplicar la Ecuación 3.

Cuadro 46. Longitudes equivalentes para perdidas locales en tuberías de 200 mm			
Tubería	Accesorio	Longitud equivalente	
2 en la tubería de impulsión, 1 en la tubería de succión	Codos de 90° de radio corto	6,4	m
1 en la tubería de succión	Válvula compuerta	1,4	m
1 en la tubería de succión	Entrada a la tubería	6	m
1 en la tubería de impulsión	Entrada al biodisco	6	m

FUENTE: LÓPEZ, A. 2010.

Sumando estas longitudes a las longitudes de tubería recta, se obtienen las longitudes totales equivalentes de las tuberías de succión e impulsión. Y aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach (Ecuación 3), se obtiene la pérdida por fricción, en ambas tuberías.

Cuadro 47. Energía requerida para el bombeo del biodisco para el tratamiento de los grupos 1, 3 y 4	
Altura de impulsión del fluido por la bomba	1,37 m
Pérdidas por fricción de la tubería de impulsión	0,0314 m
Carga velocidad del tubería de impulsión	0,0090 m
Pérdidas por fricción de la tubería de succión	0,0172 m
Carga que se debe suministrar al sistema	1,43 m

Utilizando el catálogo de bombas para aguas residuales de *Goulds Pumps* se muestran las siguientes configuraciones:

1. Utilizando 4 bombas en paralelo se debe bombear un caudal de 55,2 g.p.m, las bombas que cumplen este requerimiento son los modelos EP0511AC, de 0,5 HP de potencia y se encuentran en 115 voltios y 230 voltios; pueden bombear sólidos con

menos de ¾" de diámetro promedio. Para ese caudal alcanza una carga de 4,6 metros. Estas bombas tiene una capacidad de 60 g.p.m. y una carga máxima de 9 metros columna de agua. El costo de cada una de estas bombas es de 336 dólares, para un total de 1344 dólares.

2. Utilizando 3 bombas en paralelo se debe bombear un caudal de 73,6 g.p.m. Las bombas que cumplen este requerimiento son los modelos WW05 modelo 3872, de 0,5 HP de potencia y se encuentran en 115 voltios y 230 voltios; pueden bombear sólidos **con menos de 2" de diámetro promedio. Para ese caudal de diseño alcanza una carga** de 2,3 metros. Estas bombas tiene una capacidad máxima de 75 g.p.m. y una carga máxima de 5,2 metros columna de agua. El costo de cada una de estas bombas es de 480 dólares, para un total de 1438 dólares.

Se sugiere la opción de las cuatro bombas en paralelo, ya que tienen menor costo, con tienen mayor capacidad. Al tener el ingreso de agua a presión en el biodisco, se debe colocar una pantalla de aquietamiento para evitar que la presión del agua a la entrada del sistema dañe la capa biológica del biodisco; este detalle se muestra en la Figura 28.

4.6.1.2 Tubería de salida del sistema tratamiento grupo 1, 3 y 4

De manera similar a como se calculan los diámetros de tubería para las aducciones después del tanque regulador de caudal, se determina de la misma manera el diámetro de tubería requerido para la salida de los biodiscos, ya que la tubería se coloca en la parte inferior del biodisco para poder evacuar el agua en caso que se necesite dar mantenimiento. De igual manera se debe contar con una válvula reguladora de caudal para evitar que el agua descienda del nivel indicado en la Figura 28.

Las tuberías de salida de los biodiscos tienen pendientes diferentes, para evitar que las tuberías de purga de los decantadores se interrumpan. Una tubería tendrá una pendiente de 5% y la otra tubería una pendiente de 20%, lo que garantiza una diferencia de altura de 0,3 metros entre los decantadores. La longitud de las tuberías es de 2 metros. El caudal de diseño es de 0,73 L/s, considerando las infiltraciones que norma el reglamento del AyA. Entre

las pérdidas que se consideran están las pérdidas por la válvula de compuerta y por entrada y salida de la tubería. El diámetro requerido es de 20,13 mm, sin embargo se utiliza diámetro nominal de 50 mm de tubería PVC SDR 41 cuyo diámetro interno es de 57,45 mm.

FIGURA 28. DETALLADO DEL BIODISCO DEL GRUPO 1, 3 Y 4.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 28.pdf)

FIGURA 29. VISTA EN PLANTA DE LOS BIODISCOS GRUPO 1, 3 Y 4.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 29.pdf)

4.6.2 Dimensionamiento del biodisco grupos 2 y 6

El dimensionamiento se hace de manera similar al biodisco anterior, y las recomendaciones son similares también. El ejemplo del procedimiento de cálculo se encuentra en el Anexo C. "Ejemplos de cálculo", sección D4.

Dimensionamiento para remoción de DBO

De igual manera se utiliza la Ecuación 10, utilizando como caudal de diseño 897,47 m³/semana, para un consumo de 128,21 m³/día, como concentración de DBO de entrada 700 mg/L. Se muestran los dos escenarios, como se explica en el diseño anterior, para obtener una concentración de salida de 50 mg/L y otra de 300 mg/L. El porcentaje de recirculación es de 80%, el ancho de los biodiscos es de 1 cm separados por 2 cm, y se toma 40% del área del biodisco sumergida.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Cuadro 48. Comparación de dimensionamiento de unidades para tratamiento grupo 2 y 6		
Parámetro	Concentración de salida 300 mg/L	Concentración de salida 50 mg/L
Q_f (m₃/día/unidad)	64,105	64,105
Condición entrada S_f (mg/L)	699,97	699,97
Condición salida S_e(mg/L)	300	50
Condición diseño S_o(mg/L)	522,21	522,21
R_c	18,5	14,90
Área requerida (m²)	771,2	1553,5
Largo (m)	10,5	12,6
Diámetro (m)	2	2,6

Debido a que las condiciones de espacio, en el sitio escogido para la ubicación del sistema de tratamiento de estos grupos, los 802 m² disponibles son suficientes para albergar un sistema de tratamiento capaz de depurar el agua para reusarla, por lo tanto se seguirá trabajando solamente con esta opción.

Dimensionamiento para remoción de nitrógeno amoniacal

El diseño del nitrógeno amoniacal se hace de manera similar al diseño anterior. Se utiliza la Ecuación 13, con la concentración de nitrógeno amoniacal de entrada como es 70,23 mg/L.

Cuadro 49. Comparación de dimensionamiento de unidades tratamiento los grupos 2 y 6		
Parámetro	Área requerida para DBO_s 50 mg/L	Área requerida para NH₄⁺_s 15 mg/L
Q_f (m₃/día/unidad)	64,105	64,105
Condición entrada S_f (mg/L)	699,97	70,23
Condición salida S_e(mg/L)	50	15
Condición diseño S_o(mg/L)	522,21	45,68
R_c	14,90	-
R_N	-	7,2
Área requerida (m²)	1519,1	219,8

El área de diseño del disco sería de 1773,3 m², para un diámetro de 3,4 m, se contaría con 250 discos, para un área efectiva de 1842,54 m², lo que implica un largo de 8,75 m. la carga hidráulica de los dos biodiscos funcionando sería de 0,0340 m³/m²/día y para un solo biodisco funcionando sería de 0,0680 m³/m²/día, por debajo de la carga máxima teórica de 0,2 m³/m²/día.

De manera similar con la Ecuación 16, de obtiene una profundidad sumergida de 1,43 m.

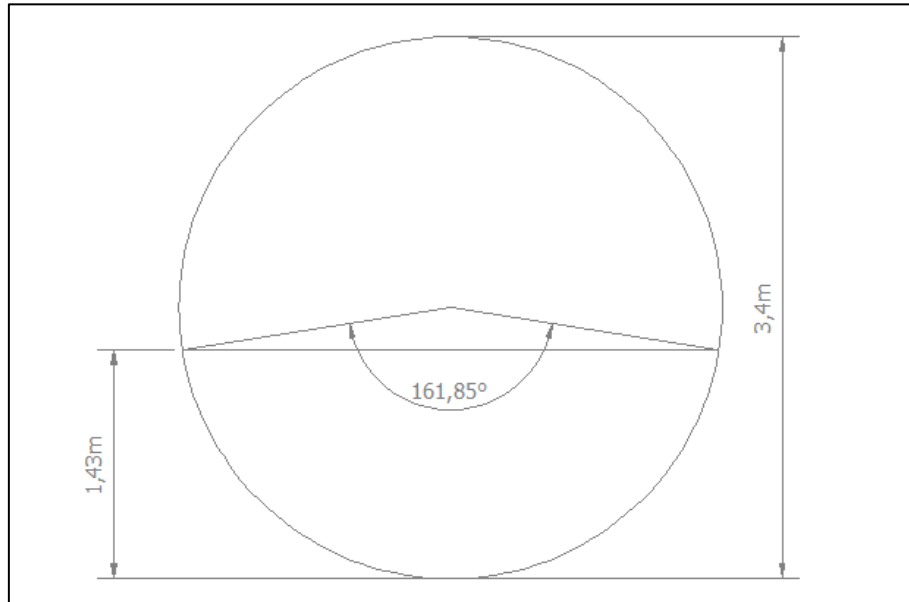


FIGURA 30. ÁREA SUMERGIDA DEL BIODISCO PARA TRATAMIENTO GRUPO 2 Y 6.

Para el dimensionamiento del tanque que contiene el biodisco se toman en cuenta las siguientes observaciones:

4. La distancia del fondo del tanque al biodisco es de 0,1 metros, y un borde libre de 0,35 m en la altura; por esto el tanque tiene una altura requerida de 1,88 metros.
5. Se deja a lo largo y a lo ancho una distancia libre de 0,7 metros y 0,1 metros respectivamente a ambos lados por lo que las dimensiones finales del tanque son de 8,8 m y 3,6 m. El área transversal requerida en planta es de 31,68 m².

Con esas dimensiones del tanque contenedor se tiene un volumen de agua de 48,5 m³, lo que equivale a un tiempo de retención hidráulica de 18,15 horas.

4.6.2.1 Bombeo del caudal de recirculación para tratamiento grupos 2 y 6

Como se expone anteriormente, se bombea un 80% del caudal de entrada lo que equivale a 51,28 m³/día, es decir, 14,25 L/s. Para el cálculo del diámetro de la tubería de impulsión se

utiliza la ecuación de Bresse mostrada en la Ecuación 17. Al tener caudales tan similares entre los dos tratamientos el sistema de bombeo es muy parecido y se requiere el mismo diámetro de tubería PVC de 200 mm lo que equivale a 205,62 mm para SDR 32,5, para la tubería de impulsión y la de succión. El fluido tendría una velocidad de 0,43 m/s. de igual forma se contabilizan las pérdidas locales, con los accesorios mencionados en el Cuadro 46, y se obtiene el siguiente resultado:

Cuadro 50. Energía requerida para el bombeo del biodisco para el tratamiento de los grupos 2 y 6	
Altura de impulsión del fluido por la bomba	1,53 m
Pérdidas por fricción de la tubería de impulsión	0,033 m
Carga velocidad del tubería de impulsión	0,009 m
Pérdidas por fricción de la tubería de succión	0,018 m
Carga que se debe suministrar al sistema	1,59 m

Se sugiere la opción de las cuatro bombas en paralelo del mismo modelo del tratamiento anterior, ya que se tiene una mayor eficiencia con menor costo. De manera similar al caso anterior, se coloca una pantalla de aquietamiento.

4.6.2.2 Tubería de salida del sistema tratamiento grupo 2 y 6

Esta tubería tiene una diferencia de alturas, medida desde la parte inferior del biodisco hasta la parte superior del decantador de 0,3 y 0,6 metros para la conducción a cada uno de los decantadores, esto para permitir que un decantador se encuentre más abajo que el otro y poder conducir los lodos decantados y localizarlos en un mismo lugar. La longitud es de 2 metros, 0,74 L/s es el caudal de diseño, considerando las infiltraciones que norma el reglamento del AyA. Con los mismos accesorios, el diámetro requerido es de 24,58 mm, de igual manera que con la tubería de salida del biodisco de los grupos 1, 3 y 4 se utiliza diámetro nominal de 50 mm de tubería PVC SDR 41 cuyo diámetro interno es de 57,45 mm

con una válvula reguladora de caudal, para mantener constante el nivel del agua en el biodisco

FIGURA 31. DETALLADO DEL BIODISCO DEL GRUPO 2 Y 6.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 31.pdf)

FIGURA 32. VISTA EN PLANTA DE LOS BIODISCOS DEL GRUPO 2 Y 6.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 32.pdf)

4.6.3 Generación y disposición de lodos

Según la metodología de Hernández (1996), la producción de lodos equivale a un 96% del DBO removido como se muestra a continuación:

Ecuación 18
$$\Delta_{SS} = 0,96(DBO_E - DBO_S)$$

Por lo tanto la generación de lodos por día para el tratamiento del grupo 1, 3 y 4 es de 487,27 mg/L y para el tratamiento del grupo 2 y 6 es de 623,97 mg/L; lo admisible para reuso es de 50 mg/L según el RVRAR, por lo que se requiere un decantador secundario que almacene los lodos. El agua en este decantador debe tener velocidades inferiores a la de la caída de los sólidos formados, de modo que se utiliza una velocidad de sedimentación a caudal de punta de 1,9 m³/m²/h como valor típico para la sedimentación de lodos (Hernández, 1996). La velocidad ascensional en el decantador será determinado por la ecuación:

Ecuación 19
$$V = V_i \frac{SS_s}{SS_s + 0,034SS_i} \text{ [m}^3\text{/m}^2\text{/h]}$$

Dónde:

SS_s: concentración de sólidos suspendidos totales de salida.

SS_i: concentración de sólidos suspendidos totales de entrada (mg/L), son los calculados anteriormente.

V_i: velocidad de sedimentación a caudal de punta (m³/m²/h).

En este caso la concentración de sólidos suspendidos totales de salida, para ambos sistemas, es de 50 mg/L, ya que el agua va a ser reusada. La velocidad ascensional en el decantador para el tratamiento del grupo 1, 3 y 4 es de 1,43 m³/m²/h, al multiplicarlo por el caudal en

m³/h, se tiene un área superficial mínima requerida de 1,86 m². Mientras que para el tratamiento del grupo 2 y 4 es de 1,33 m³/m²/h y el área superficial correspondiente es de 2 m².

Por otro lado, la cantidad de lodos producidos por día se puede calcular con la siguiente formula (Hernández, 1996):

Ecuación 20
$$P_x = \frac{QSS_i}{1000} \left(1 - \frac{0,034V}{1,9-V} \right)$$

El resultado obtenido es de 27,89 kg/día de lodos; 5954,75 kg/mes para el grupo 1, 3 y 4; y 36,79 kg/día lo que equivale a 7855,16 kg/mes para el grupo 2 y 6. Los cuales se dispondrán en dos unidades de decantadores, se escoge el decantador estático cilíndrico-cónico, para los dos sistemas de tratamiento, como se muestra en la siguiente figura:

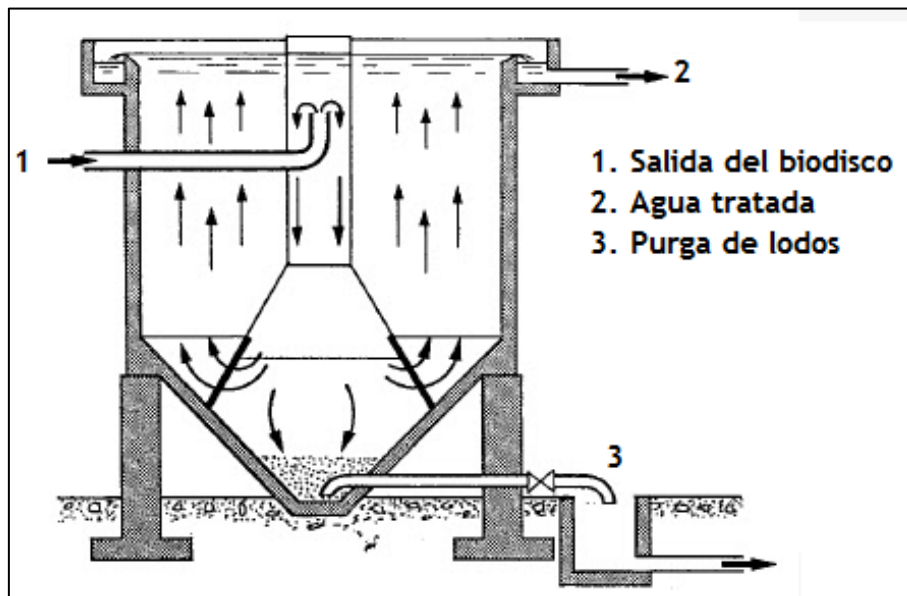


FIGURA 33. DECANTADOR ESTÁTICO CILÍNDRICO-CÓNICO, FIGURA CON FINES ILUSTRATIVOS QUE NO CORRESPONDE A LA PROPUESTA FINAL.

FUENTE: HERNÁNDEZ, 1996.

La sedimentación ocurre por la diferencia de las densidades del agua y la de los lodos. Las ventajas de este sistema es que son más simples de operar en comparación con decantadores dinámicos y se remueven los lodos en un solo punto. Según Hernández (1996), el diámetro no debe ser superior a 4 metros, el tiempo de retención hidráulica (TRH) está entre 2 y 3 horas, la carga superficial del decantador debe ser menor a $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$, y la profundidad no debe ser superior a 3 metros.

Al tener velocidades ascensionales similares y áreas superficiales requeridas similares se opta por decantadores iguales, donde el caudal de diseño para el decantador del grupo 1, 3 y 4 es de $2,61 \text{ m}^3/\text{h}$ y el caudal de diseño para el grupo 2 y 6 es de $2,67 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tomando un diámetro de 2,10 metros se obtiene un área superficial de $3,46 \text{ m}^2$; combinado con una profundidad de 1,60 metros, se obtiene un TRH igual a 2,1 horas para ambos casos aproximadamente. Para estas características, la velocidad ascensional es de $0,77 \text{ m/h}$, lo que siendo menor a las velocidades calculadas con la Ecuación 19, es importante mantenerse dentro de este rango, para garantizar la sedimentación de las partículas. Con las dimensiones indicadas anteriormente se tiene una carga superficial de $0,77 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.

Según la filosofía de diseño de Hernández (1996), la relación entre el diámetro del cilindro de entrada y del decantador debe estar entre un rango de 0,05 a 0,2. En este caso para un diámetro de 2,1 metros se puede optar por un cilindro de entrada de 0,4 metros el cual tiene una relación de 0,19. Por otro lado, para la relación de la altura del cilindro de entrada y la altura del decantador debe estar entre 0,25 y 0,65, si se dimensiona un cilindro de 1 metro de altura medido desde el borde superior del decantador, se obtiene una relación dentro del rango mencionado anteriormente.

Además según Arboleda (2000), la inclinación de las paredes del cono debe ser de 60° , para garantizar la disminución de la velocidad con la altura. Como se muestra en la Figura 33, para la decantación de lodos, se debe complementar con unas pantallas, que en este caso, según las dimensiones propuestas tienen 1,24 metros de altura, y el diámetro medio de las placas es de 0,96 metros, con base en estos datos se deben colocar agujeros en todas las placas de $\frac{1}{4}$ de pulgada de diámetro, es decir de 0,635 cm. La velocidad en los orificios no debe ser mayor a $0,15 \text{ m/s}$, esto con el fin de no crear perturbaciones dentro de la zona de

sedimentación, los orificios deben estar perforados en el sentido del flujo a un ángulo cercano a 15°. (Vidal, primer semestre de 2012).

Para mantener una velocidad de 0,05 m/s, se requieren 0,0148 m² de perforación, distribuyendo los orificios en la placa entre 1/5 de la altura arriba y abajo, y espaciando los agujeros a 5 cm en la horizontal y 10 cm verticalmente, se tienen 7 agujeros y 50 agujeros respectivamente.

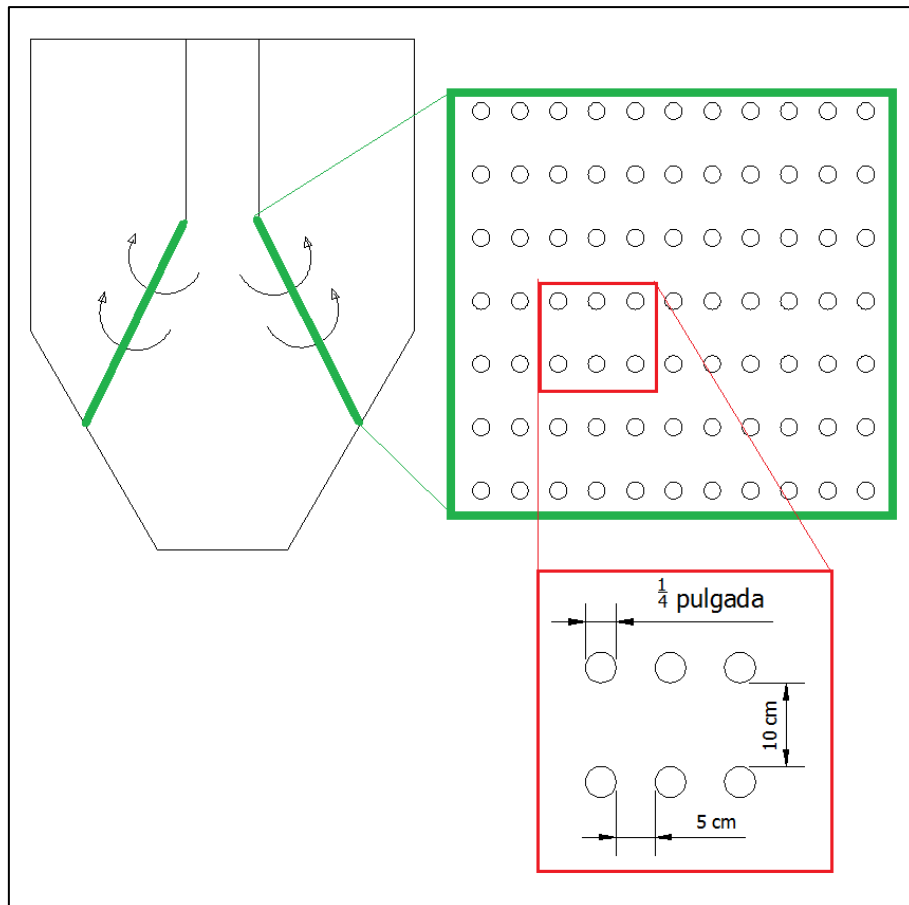


FIGURA 34. ESPACIAMIENTO DE AGUJEROS EN LA PLACA DEL DECANTADOR.

La recolección del agua decantada, se puede hacer de dos formas, mediante varios vertedores perimetrales que depositen el agua en un canal que va a lo largo de la circunferencia trabajando a flujo espacialmente variado, o utilizar tubos de PVC con

perforaciones en todo su largo, de igual manera trabajando con la condición de flujo espacialmente variado. La facilidad constructiva de la segunda opción resulta ser más atractiva que la primera, ya que solamente se deben perforar los tubos en la parte superior del decantador para recolectar el agua. Por este motivo, se dispondrá de tuberías de PVC sobre el decantador que recolecten el agua y la conduzcan al tanque de captación.

Se pueden colocar tubos con un espaciamiento entre ellos de 0,2 metros, como se muestra en la Figura 35. Considerando un caudal de infiltración para tuberías PVC estipulado por el AyA, se tiene un caudal de diseño de 0,74 L/s. Los 7 tubos se colocan con una diferencia de alturas de 0,1 m; y salen del decantador se dejando un espacio libre de 0,3 m para conectarlos con el tubo recolector que guiaría el agua al tanque de captación.

La obtención de los diámetros de tubería se realiza con la fórmula de Manning (Ecuación 1). Se toman tubos de 50 mm de diámetro nominal SDR 41 con diámetro interno de 52,48 mm, esto para facilidad constructiva y reducción de costos ya que se compraría un solo tipo de tubería para los decantadores. Para la salida del decantador se requiere una tubería de 31 mm de diámetro nominal SDR 32,5 para conducir los lodos hasta las eras de secado.

FIGURA 35. DETALLADO DEL DECANTADOR DE AMBOS SISTEMAS.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 35.pdf)

Es necesario para eliminar o estabilizar los lodos, que estos se espesen, después de ser purgados por los decantadores. El objetivo es reducir su volumen eliminando el agua que contienen, para que el transporte y tratamiento de ellos sea más económico. Para eliminar los lodos del agua se debe seguir un proceso de espesamiento, deshidratación y secado. Primero se elimina el agua libre, luego se elimina el agua adherida con fuerzas gravitatorias, y por último se elimina el agua absorbida.

Para el proceso de secado de lodos se sugiere un sistema natural sobre uno artificial, ya que el artificial requiere energía eléctrica en algunas etapas. El espesado se puede realizar por medio de la gravedad, y se puede eliminar hasta un 75% del agua libre, la deshidratación se realiza con procesos de evaporación con eras de secado que pueden eliminar de un 30 a un 50% del agua adherida. La cantidad de agua eliminada depende de las características del lodo, las condiciones climáticas y el espesor del lecho.

Las eras de secado pueden ser dimensionadas dependiendo de si están cubiertas o no, se sugiere colocar una cubierta en la época lluviosa y quitarla en días secos, de modo que el sol acelere los procesos de secado.

Los lodos pueden ser usados en abonos y recuperación de energía por medio de incineración, a pesar de que esta última opción no es frecuente en el país se podría valorar la posibilidad de hacerlo en la Universidad y determinar si es un uso factible. Cuando éstos provienen de un sistema de tratamiento biológico mejoran la capacidad de retención de agua del suelo, adicionan nutrientes incrementando su actividad biológica, y disminuyen el uso de fertilizantes químicos. Sin embargo, se deben estudiar las concentraciones de metales pesados en los lodos y la presencia de patógenos, ya que pueden hacer inutilizable los lodos. Según Hernández (1996), los lodos generados por un biodisco son de color marrón y no producen olores molestos si están frescos.

Los lodos provenientes de sistemas biológicos como biodiscos, son caracterizados de la siguiente manera (Hernández, 1996, p. 763-764):

- pH entre 6 y 7.
- Total de sólidos de 4 a 8% del peso total.
- Cantidad de material perdido en caso de incinerar: entre 55-80% del total de sólidos.

- Capacidad de combinación con ácidos es variable, puede estar entre 500-1000 ppm CaCO_3 y a veces menor a 500 ppm de CaCO_3 .
- Concentración de ácidos volátiles entre 1800-36000 ppm de CH_3COOH .
- Nitrógeno total es 3 a 10% del peso total de los sólidos.
- Fósforo total de 0,9 a 1,5 % del peso total de sólidos.
- El porcentaje de potasio es el 0,1 a 0,8% del porcentaje de sólidos totales.
- El poder calorífico es de 3500-5000 cal/g de sólidos totales.

Es importante recalcar que esas características son teóricas en los lodos provenientes de tratamientos biológicos similares al diseñado. Sin embargo, se deben analizar los lodos del sistema de tratamiento de la Universidad para determinar sus características de una manera más específica.

Para desinfectar los lodos de patógenos como bacterias y virus se puede hacer un tratamiento con cal aumentando el pH hasta 12. **“Para conseguir una estabilización adecuada, es necesario añadir cal suficiente para mantener el pH del fango a un valor mínimo de 12 durante 2 horas. De este modo se consigue que el pH no descienda de 11 en menos de 2 días”** (Hernández, 1996, p. 960).

4.6.3.1 Eras de secado

Como se demuestra anteriormente, se generan 73849,32 kg/año de lodos para el grupo 1, 3 y 4, si el 8% equivale a los lodos en estado seco, equivale a 5907,94 kg/año de sólidos producidos. Si se dispone de una era de secado 0,2 metros de altura y una carga de 85 kg / m^2 /año de sólidos según los dimensionamientos que propone Mécana-Suiza para eras secado cubiertas, (Hernández, 1996, p. 917). Se requiere un área superficial de 69,5 m^2 , para la cantidad de lodos a secar en un año, lo que equivale a 7 eras de secado de 5 metros de largo y 2 metros de ancho.

Por otra parte, el grupo 2 y 6 generan 94267,31 kg/año, partiendo del mismo supuesto anterior 7541,4 kg/año son sólidos totales, se necesita un área de secado de 88,7 m^2 , si se

mantiene el mismo largo y ancho de las eras del sistema de tratamiento de los grupos 1, 3 y 4, se requieren 8 eras de secado.

Las eras de secado pueden mantenerse cubiertas durante la época lluviosa con un techo hecho en zinc, y deben mantenerse abiertas durante la época seca para acelerar el secado y aprovechar la energía solar. Además, deben contar con una conducción de los lodos provenientes del decantador, debe tener una base inclinada sobre la que se coloca una cama de material granular que 20 a 40 cm de espesor que permita drenar del agua a un canal, este canal debe tener una pendiente mayor a 1%, para conducir las aguas en la rampa de limpieza. Los lodos ya secos, se pueden extraer con pala.

Es importante que los decantadores cuenten con una diferencia de niveles de 30 cm, de modo tal que la tubería de purga de un decantador pueda pasar por la parte inferior del otro decantador.

A continuación, se muestran los detalles de las eras de secado de ambos sistemas.

FIGURA 36. DETALLADO DE LAS ERAS DE SECADO DE AMBOS SISTEMAS.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 36.pdf)

4.7 Ubicación de unidades de tratamiento

Como se menciona anteriormente, se requieren 7 metros de excavación, medidos desde las eras de secado, esto con el fin de evitar que los sistemas de bombeo aumenten los costos de operación de la PTAR. En la Universidad, ya se han realizado excavaciones de este tipo, por lo que se espera una solución geotécnica similar en este caso.

Al estar el sistema de tratamiento aislado, cumpliría con los retiros reglamentados, y cuando ocurra un derrame o problema con la operación se garantiza que la población esté libre de cualquier infección causada por el agua residual.

Para esto es necesario colocar una rampa de acceso para permitir el ingreso equipo pesado en caso de ser necesario, una escalera como salida o entrada alterna, y una bodega para dar mantenimiento al sistema.

Para el tratamiento de los grupos 1, 3 y 4 se requiere un área total de 805,9 m², y el área disponible es de 895 m². Mientras que para el otro sistema se tiene un área de 748,22 m² y el área disponible es de 802 m². Se debe dejar una distancia mínima de 1,5 m entre los tanques y las paredes de la excavación. El volumen de excavación para el sistema de los grupos 1, 3 y 4 es aproximadamente de 6044,25 m³; y para el otro sistema de 5611,65 m³.

Si se desea disminuir el nivel de excavación es necesario colocar dos bombas en paralelo antes de los tanques reguladores, esto implica un ahorro de aproximadamente 7,6 millones de colones en excavación para cada sistema de tratamiento, pero una inversión de 3 millones de colones en cada sistema por la colocación de dos bombas en paralelo antes de cada tanque. A pesar que hay un ahorro de 4,6 millones de colones, con ese monto solo se pueden comprar tres bombas más a lo largo de la vida útil para cada sistema, sin contar los costos de operación y mantenimiento que éstas requieren, por lo que, desde un punto vista económico, es mejor realizar una inversión mayor al inicio, que permita que se reduzcan los gastos de operación y mantenimiento. Los planos realizados se hicieron con base en la propuesta de excavación, que tiene un costo inicial alto, pero con costos de mantenimiento y operación más bajos. Existe también la posibilidad de colocar 2 bombas 2 ½ x 3 -7, para 7,5

HP de potencia, en paralelo antes de cada tanque regulador de caudal, esto disminuiría la excavación en 5 metros.

FIGURA 37. VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS GRUPOS 1, 3 Y 4.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 37.pdf)

FIGURA 38. DETALLE DE TUBERÍAS PVC DE ENTRADA Y SALIDA DEL TANQUE REGULADOR DE CAUDAL PARA GRUPOS 1, 3 Y 4

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 38.pdf)

FIGURA 39. DETALLE DE TUBERÍAS PVC DE SALIDA A LOS BIODISCOS PARA SISTEMA DE GRUPOS 1, 3 Y 4

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 39.pdf)

FIGURA 40. VISTA TRANSVERSAL DE LAS ELEVACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA GRUPOS 1, 3 Y 4

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 40.pdf)

FIGURA 41. VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS GRUPOS 2 Y 6.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 41.pdf)

**FIGURA 42. DETALLE DE TUBERÍAS PVC DE ENTRADA Y SALIDA DEL TANQUE REGULADOR DE CAUDAL GRUPOS 2
Y 6**

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 42.pdf)

FIGURA 43. DETALLE DE TUBERÍAS PVC DE SALIDA A LOS BIODISCOS PARA SISTEMA DE GRUPOS 1, 3 Y 4

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 43.pdf)

FIGURA 44. VISTA TRANSVERSAL DE LAS ELEVACIONES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA GRUPOS 2 Y 6.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 44.pdf)

FIGURA 45. DETALLES DE ACCESOS Y BODEGAS PARA AMBOS SISTEMAS

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 45.pdf)

4.8 Disposición final

Es importante determinar los usos finales que le va a dar al agua tratada. Como se demuestra anteriormente, el diseño realizado para el tratamiento de las aguas residuales especiales pueden producir un efluente cuyas características cumplen para el reuso según el RVRAR. Las ventajas de reusar el agua tratada son:

1. Disminuye el consumo de agua potable, con esto se podría recuperar la inversión realizada para la colocación del sistema de tratamiento.
2. Se reduce el impacto ambiental de la Universidad.
3. Incentiva a la optimización de recursos hídricos, promoviendo una cultura de conservación de los recursos.

Cabe recalcar que cuando los dos biodiscos, en cada PTAR, estén en operación se puede conducir el agua tratada al tanque de captación mostrado en el apartado 5.1.1. Sin embargo, cuando una de las unidades de pretratamiento o tratamiento se encuentre fuera de operación, se deberán cerrar las válvulas que conducen el agua tratada al tanque y abrir las válvulas que conducen el agua al alcantarillado sanitario, para evitar que la calidad del efluente final se vea afectada.

4.8.1 Reuso de aguas residuales

Del decantador se conduce el agua a la parte superior del tanque de captación que se diseña de manera similar a los tanques reguladores de caudal, la diferencia es que el suministro es constante y el consumo de aguas tratadas se supone de 7 de la mañana a 5 de la tarde de lunes a viernes, ya que se espera que el agua se utilice en tareas de mantenimiento, sin embargo es importante determinar el uso futuro del agua tratada y considerar la curva de consumo más adecuada y revisar el diseño. Se obtienen las dimensiones de cada tanque según las curvas de consumo horario de la facultad Odontología, ya que como se demuestra

en la sección 4.4 al basarse las dos curvas de consumo en los mismos supuestos se obtienen los mismos volúmenes de regulación para ambos grupos.

Suponiendo que hay pérdidas del 5% del agua que entra al sistema, por evaporación o infiltraciones, para el grupo 1, 3 y 4 se tienen un caudal diario tratado de 119,1 m³/día, y para el grupo 2 y 6 se tiene un caudal tratado de 121,8 m³ al día. A continuación se muestra la regulación horaria para los dos tanques de captación:

Cuadro 51. Cálculo del volumen horario requerido para ambos tanques de captación							
Hora	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
07:00a.m.	15,57	15,567	4,17	4,17	-11,40	-11,40	34,43
08:00a.m.	8,62	24,186	4,17	8,33	-4,45	-15,85	29,98
09:00a.m.	2,90	27,089	4,17	12,50	1,26	-14,59	31,24
10:00a.m.	10,73	37,819	4,17	16,67	-6,56	-21,15	24,68
11:00a.m.	19,35	57,168	4,17	20,83	-15,18	-36,33	9,50
12:00p.m.	10,47	67,634	4,17	25,00	-6,30	-42,63	3,20
01:00 p.m.	1,93	69,569	4,17	29,17	2,23	-40,40	5,43
02:00p.m.	10,38	79,947	4,17	33,33	-6,21	-46,61	-0,78
03:00p.m.	8,88	88,830	4,17	37,50	-4,72	-51,33	-5,50
04:00p.m.	11,17	100,000	4,17	41,67	-7,00	-58,33	-12,50
05:00p.m.	0,000	100,000	4,17	45,83	4,17	-54,17	-8,33
06:00p.m.	0,000	100,000	4,17	50,00	4,17	-50,00	-4,17
07:00p.m.	0,000	100,000	4,17	54,17	4,17	-45,83	0,00
08:00p.m.	0,000	100,000	4,17	58,33	4,17	-41,67	4,17
09:00p.m.	0,000	100,000	4,17	62,50	4,17	-37,50	8,33
10:00p.m.	0,000	100,000	4,17	66,67	4,17	-33,33	12,50
11:00p.m.	0,000	100,000	4,17	70,83	4,17	-29,17	16,67
12:00a.m.	0,000	100,000	4,17	75,00	4,17	-25,00	20,83
01:00a.m.	0,000	100,000	4,17	79,17	4,17	-20,83	25,00
02:00a.m.	0,000	100,000	4,17	83,33	4,17	-16,67	29,17
03:00a.m.	0,000	100,000	4,17	87,50	4,17	-12,50	33,33
04:00a.m.	0,000	100,000	4,17	91,67	4,17	-8,33	37,50
05:00a.m.	0,000	100,000	4,17	95,83	4,17	-4,17	41,67
06:00a.m.	0,000	100,000	4,17	100,00	4,17	0,00	45,83
Volumen requerido (%)							45,83

En el siguiente cuadro se muestra el volumen de regulación durante una semana para los tanques de captación de cada sistema de tratamiento:

Cuadro 52. Cálculo del volumen diario requerido para ambos tanques de captación							
Día	%Consumo (C)	ΣConsumo	%Suministro (S)	Σ%Suministro	S-C	ΣS-C	%Volumen
Lunes	18,25	18,249	14,29	14,29	-3,96	-3,96	41,87
Martes	16,85	35,096	14,29	28,57	-2,56	-6,52	39,31
Miércoles	18,75	53,846	14,29	42,86	-4,46	-10,99	34,84
Jueves	18,75	72,593	14,29	57,14	-4,46	-15,45	30,38
Viernes	27,41	100,000	14,29	71,43	-13,12	-28,57	17,26
Sábado	0	100,000	14,29	85,71	14,29	-14,29	31,55
Domingo	0	100,000	14,29	100,00	14,29	0,00	45,83
Volumen requerido (%)							45,83

El volumen de regulación que se necesita en este caso es de 45,83% para ambos sistemas, esto quiere decir que se requiere un tanque de 55,8 m³ de volumen, y con un tanque de 2 m de altura y 6 de diámetro, se cumplen estas condiciones de consumo para el grupo 1, 3 y 4. Y el volumen de regulación de caudal para el grupo 2 y 6 debe ser de 55,82 m³, con las mismas dimensiones se satisfacen las condiciones de diseño. Ambos tanques están equipados con una tubería de purga de 31 mm de diámetro nominal SDR 32,5.

El bombeo del sistema de salida del tanque no se diseña, ya que para determinar la bomba más adecuada, es necesario contar con la presión que se requiere y esto se determina con los usos que se le vayan a dar al agua reusada.

Según las características de reuso, el agua tratada debe clorarse para eliminar los patógenos presentes en el agua, para así cumplir con lo establecido en el RVRAR.

FIGURA 46. DETALLADO DE LOS TANQUES DE CAPTACIÓN.

(Esta figura se encuentra en este CD, bajo el nombre de Figura 46.pdf)

4.8.2 Vertido al sistema de alcantarillado sanitario

La tubería de conexión al alcantarillado sanitario debe ser SDR 41 de diámetro nominal 150 mm como mínimo, y debe conectar al punto más cercano del sistema de alcantarillado mostrado en la Figura 8. En esa misma figura se muestran las dos conexiones al alcantarillado sanitario.

El sistema de tratamiento de los grupos 1, 3 y 4, debe conectarse después del pozo de la intersección entre el colector Negritos y el Saprissa indicado en la Figura 8, a una distancia de 228 metros aproximadamente. Aunque el colector Saprissa esté más cerca, la diferencia de niveles entre éste y el decantador más bajo es negativa, por lo que requeriría bombeo. La elevación del pozo es 1191,49 m.s.n.m., y la elevación de la tubería de salida es de 1193,1 m.s.n.m. aproximadamente, lo que implica una pendiente de 0,7%.

Para el sistema de tratamiento 2 y 6, se comunica al pozo (cuya elevación es de 1185,3 ms.n.m., indicada en la Figura 8), con el decantador más bajo (que se encuentra más abajo a 1186,1 m.s.n.m.). La distancia es de aproximadamente de 110 metros, lo que implica una pendiente de 0,7%.

Los diámetros usados en ambos casos son 150 mm SDR 41, y para el análisis se utiliza la metodología empleada en la sección 4.2.2. de este informe, es decir se utiliza la Ecuación 1 para el cálculo del diámetro requerido y se analizan las relaciones de caudal de diseño con el caudal a tubo lleno para obtener el radio hidráulico y la velocidad, tal y como se muestra a continuación:

Cuadro 53. Características de diseño de tubería de conexión al alcantarillado sanitario						
Aducción	Caudal de diseño (L/s)	Elevación inicial (m.s.n.m.)	Elevación final (m.s.n.m.)	Longitud recorrida (m)	S_o	Diámetro requerido (mm)
Salida grupo 1, 3 y 4	1,54	1200,5	1198	228	0,0071	60,59
Salida grupo 2 y 6	1,48	1198	1197,5	110	0,0073	59,75

Cuadro 54. Determinación de las condiciones a tubo lleno de tubería de conexión al alcantarillado sanitario						
Aducción	Condiciones a tubo lleno			Q/Q_o	R/R_o	V/V_o
	Caudal (m³/s)	Velocidad (m/s)	Radio hidráulico (mm)			
Salida grupo 1, 3 y 4	0,0200	0,987	40,2	0,07	0,51	0,492
Salida grupo 2 y 6	0,0203	1,002	40,2	0,07	0,51	0,492

Cuadro 55. Determinación de las condiciones de diseño de tubería de conexión al alcantarillado sanitario			
Aducción	Radio hidráulico (mm)	Velocidad (m/s)	Fuerza tractiva (kg/m²)
Salida grupo 1, 3 y 4	20,5	0,49	144,77
Salida grupo 2 y 6	20,5	0,49	149,11

Se demuestra que cumple con todos los requerimientos del AyA, por lo tanto se utiliza tubería PVC, SDR 41, diámetro 150 mm para conexiones después del sistema de tratamiento en caso de que alguna unidad se encuentre en mantenimiento.

CAPÍTULO 5. CONSIDERACIONES FINALES

5.1 Mantenimiento del sistema de tratamiento

Es importante mantener un adecuado mantenimiento en el sistema, para prolongar la vida útil de las unidades. Si se mantienen adecuadamente las unidades de tratamiento, el proceso de depuración del agua residual no tendrá afectaciones negativas en la eficiencia de depuración.

Los tanques reguladores y los de captación deben mantener las envolventes debidamente protegidas contra la corrosión para evitar daños estructurales, a pesar de que el agua no presenta niveles de pH corrosivos, es importante vaciar los tanques para dar una limpieza a la envolvente y al piso, de modo que se revise la condición de la pintura interna y verificar que no se acumulen partículas en el fondo. El sistema de protección utilizado en el acero estructural condiciona el periodo de los mantenimientos que se le deben hacer a los tanques, sin embargo se recomienda hacer revisiones anuales. Por otro lado, para evitar la acumulación de sólidos en el fondo de los tanques es necesario purgarlo cada seis meses para evitar obstrucciones en las tuberías. También es importante revisar las condiciones de las válvulas reguladoras de caudal a la salida de los tanques reguladores cada seis meses.

Para mantener el sistema biológico funcionando adecuadamente se deben tomar las siguientes medidas:

1. Al tratarse de un sistema aeróbico se debe procurar que la película biológica del biodisco no exceda los 3 mm de espesor para garantizar el oxígeno en las capas inferiores. Esto se logra con revisiones mensuales en los discos y midiendo la capa superficial. Cuando sea necesario se deben retirar las capas superiores procurando no eliminar la biomasa totalmente.
2. Limpiar las tuberías y válvulas cada tres meses para evitar que los lodos se acumulen ahí.

3. Limpiar regularmente a las paredes del tanque contenedor del biodisco de modo que no se acumulen los lodos en el fondo del mismo. Este procedimiento se debe hacer cuando se limpien las tuberías y las válvulas.
4. Revisar cada mes el estado de las bombas de recirculación, para que no existan problemas mayores en el sistema mecánico.

Los decantadores de igual manera deben recibir limpieza de modo que no se obstruyan los orificios en su interior, se deben limpiar las tuberías de evacuación de lodos, para evitar obstrucciones en las mismas, además verificar que no tenga problemas de corrosión tanto en la parte interna como externa. Se recomienda que cuando se le dé mantenimiento al biodisco, se le dé al mismo tiempo el mantenimiento al decantador, para suspender el funcionamiento del sistema completo en la menor cantidad de veces.

Deben limpiarse las camas de grava de las eras de secado cuando se evacúe el lodo seco, para evitar que la nueva colocación de lodos no drene el agua adecuadamente. Además, se deben mantener los canales libres de obstrucciones, de modo que cuando se purgue el decantador los lodos puedan fluir libremente. El lodo seco se puede reusar o disponer como relleno.

Respecto a las aducciones, es importante realizar limpiezas en los pozos cada seis meses para evitar obstrucciones en los mismos. Ligado a esto, es importante que cuando se construyan las aducciones, se consulte con el fabricante el periodo de vida útil de las tuberías, y de este modo determinar cuándo es prudente cambiar el sistema de alcantarillado.

Además de las prácticas mencionadas anteriormente. Es importante velar por la integridad estructural de todas las unidades y verificar que no existan problemas geotécnicos con los taludes a lo largo de la vida útil.

Se debe verificar que los accesos al sistema de tratamiento estén restringidos, y que las mallas y baratas que delimitan la zona del sistema estén en buenas condiciones.

5.2 Análisis de costos

Se realiza un presupuesto preliminar del costo de las unidades de cada uno de los sistemas propuestos. Es un presupuesto parcial debido a que no se cuenta con diseños estructurales y geotécnicos para la ubicación de los sistemas. En todos los casos se considera 33% de cargas sociales.

Para estimar el costo de los tanques, se utiliza el trabajo realizado por Alfaro, Masís, & Tenorio (2012) que se basa en el diseño estructural de un tanque de almacenamiento de agua potable en acero soldado, en el mismo presentan un presupuesto para un tanque de 2500 m³, por lo que se obtiene el costo estructural aproximado por metro cúbico de agua almacenada.

Para las tuberías se utiliza la lista de precios brindada por Amanco (2010). Y respecto a la mano de obra se consideran dos ayudantes para la colocación de las tuberías y tres peones para la excavación en ambos sistemas. Con respecto a las válvulas se toman como referencia los precios de Flomatic (2012), sus precios se encontraban en dólares, y se utiliza el tipo de cambio hasta el mes de marzo del 2013.

El movimiento de tierras se cotiza con una empresa especializada en movimientos de tierra, el precio incluye de la excavación y transporte, para las dimensiones de la excavación se indica el valor de \$4000,00 por metro cúbico.

El biodisco se cotiza con materiales por metro cuadrado, las bombas se cotizan directamente con el fabricante, y motores por precios obtenidos en internet de motores de menos de 1 HP. Para esto se presupuesta un soldador, tres ayudantes y un electricista. Lo que respecta al decantador, se presupuesta como subcontrato.

Cuadro 56. Presupuesto preliminar del sistema de tratamiento grupo 1, 3 y 4				
Descripción	Precio unitario	Unidad	Cantidad	Total
Movimiento de tierras				¢24 177 000,00
Servicio de excavación	¢ 4 000,00	/m ³	6044,25	¢24 177 000,00
Tanque regulador				¢18 041 222,40
<u>Materiales</u>				¢14 897 520,00
Costo aproximado	¢ 54 000,00	/m ³	250,8	¢13 543 200,00
Protección contra la corrosión	¢ 5 400,00	/m ³	250,8	¢1 354 320,00
<u>Equipo</u>				¢2 610 000,00
Alquiler Grúa	¢ 87 000,00	/hr	30	¢2 610 000,00
<u>Mano de obra</u>				¢ 533 702,40
Considerada de un tanque soldado	¢ 1 600,00	/m ³	250,8	¢ 401 280,00
33% cargas sociales				¢ 132 422,40
Tanque captación				¢4 042 262,40
<u>Materiales</u>				¢3 314 520,00
Costo aproximado	¢ 54 000,00	/m ³	55,8	¢3 013 200,00
Protección contra la corrosión	¢ 5 400,00	/m ³	55,8	¢ 301 320,00
<u>Equipo</u>				¢ 609 000,00
Alquiler Grúa	¢ 87 000,00	/hr	7	¢ 609 000,00
<u>Mano de obra</u>				¢ 118 742,40
Considerada de un tanque soldado	¢ 1 600,00	/m ³	55,8	¢ 89 280,00
33% cargas sociales				¢ 29 462,40
Biodiscos				¢17 148 490,78
<u>Materiales</u>				¢16 548 400,00
Discos de polymer	¢ 17 730,00	/unidad	480	¢8 510 400,00
Tanque reactor de acero	¢ 11 000,00	/m ²	144	¢1 584 000,00
Bombas de recirculación	¢ 175 000,00	/unidad	8	¢1 400 000,00
Tubería de recirculación	¢ 125 000,00	/m	26	¢3 250 000,00
Válvulas compuerta 2"	¢ 41 000,00	/unidad	4	¢ 164 000,00
Válvula compuerta de 8"	¢ 600 000,00	/unidad	1	¢ 600 000,00
Motor Monofásico Siemens 1 Hp	¢ 520 000,00	/unidad	2	¢1 040 000,00
<u>Mano de obra</u>				¢ 600 090,78
Elaboración del tanque	¢ 43 342,40	/unidad	2	¢ 86 684,80
Elaboración de discos	¢ 82 400,00	/unidad	2	¢ 164 800,00
Electricista	¢ 160 000,00	/unidad	2	¢ 320 000,00
33% cargas sociales				¢ 28 605,98
Decantadores				¢6 069 816,46
Subcontrato	¢3 034 908,23	/unidad	2	¢6 069 816,46
Tuberías				¢10 688 791,48
<u>Materiales</u>				¢7 667 623,33
Tubería PVC 31 mm SDR 32,5	¢ 5 170,00	/6m	2	¢ 1 723,33
Tubería PVC 50 mm SDR 32,6	¢ 8 710,00	/6m	3	¢ 26 130,00
Tubería PVC 50 mm SDR 41	¢ 6 684,00	/6m	5	¢ 33 420,00
Tubería PVC 150 mm SDR 41	¢ 58 330,00	/6m	95	¢5 541 350,00
Válvula compuerta de 1 1/4 "	¢ 20 000,00	/unidad	3	¢ 60 000,00
Válvula compuerta de 2"	¢ 41 000,00	/unidad	5	¢ 205 000,00
Válvula compuerta de 8"	¢ 400 000,00	/unidad	2	¢ 800 000,00
Válvulas reguladoras de caudal 1 1/2	¢ 500 000,00	/unidad	2	¢1 000 000,00
<u>Mano de obra</u>				¢3 021 168,15
Colocación	¢2 271 555,00	/red	1	¢2 271 555,00
33% cargas sociales				¢ 749 613,15
Total				¢80 167 583,52

Cuadro 57. Presupuesto preliminar del sistema de tratamiento grupo 2 y 6				
Descripción	Precio unitario	Unidad	Cantidad	Total
Movimiento de tierras				¢22 446 600,00
Servicio de excavación	¢ 4 000,00	/m ³	5611,65	¢22 446 600,00
Tanque regulador				¢18 472 779,20
Materiales				¢15 230 160,00
Costo aproximado	¢ 54 000,00	/m ³	256,4	¢13 845 600,00
Protección contra la corrosión	¢ 5 400,00	/m ³	256,4	¢1 384 560,00
Equipo				¢2 697 000,00
Alquiler Grúa	¢ 87 000,00	/hr	31	¢2 697 000,00
Mano de obra				¢ 545 619,20
Considerada de un tanque soldado	¢ 1 600,00	/m ³	256,4	¢ 410 240,00
33% cargas sociales				¢ 135 379,20
Tanque captación				¢4 042 262,40
Materiales				¢3 314 520,00
Costo aproximado	¢ 54 000,00	/m ³	55,8	¢3 013 200,00
Protección contra la corrosión	¢ 5 400,00	/m ³	55,8	¢ 301 320,00
Equipo				¢ 609 000,00
Alquiler Grúa	¢ 87 000,00	/hr	7	¢ 609 000,00
Mano de obra				¢ 118 742,40
Considerada de un tanque soldado	¢ 1 600,00	/m ³	55,8	¢ 89 280,00
33% cargas sociales				¢ 29 462,40
Biodiscos				¢18 064 767,26
Materiales				¢17 449 700,00
Discos de polymer	¢ 17 730,00	/unidad	500	¢8 865 000,00
Tanque reactor de acero	¢ 11 000,00	/m ²	166,2	¢1 828 200,00
Bombas de recirculación	¢ 175 000,00	/unidad	8	¢1 400 000,00
Tubería de recirculación	¢ 125 000,00	/m	28,42	¢3 552 500,00
Válvulas compuerta 2"	¢ 41 000,00	/unidad	4	¢ 164 000,00
Válvula compuerta de 8"	¢ 600 000,00	/unidad	1	¢ 600 000,00
Motor Monofásico Siemens 1 Hp	¢ 520 000,00	/unidad	2	¢1 040 000,00
Mano de obra				¢ 615 067,26
Elaboración del tanque	¢ 43 342,40	/unidad	2	¢ 92 782,40
Elaboración de discos	¢ 82 400,00	/unidad	2	¢ 171 666,67
Electricista	¢ 160 000,00	/unidad	2	¢ 320 000,00
33% cargas sociales				¢ 30 618,19
Decantadores				¢6 069 816,46
Subcontrato	¢3 034 908,23	/unidad	2	¢6 069 816,46
Tuberías				¢7 491 017,38
Materiales				¢5 451 083,33
Tubería PVC 31 mm SDR 32,5	¢ 5 170,00	/6m	2	¢ 1 723,33
Tubería PVC 50 mm SDR 32,6	¢ 8 710,00	/6m	3	¢ 26 130,00
Tubería PVC 50 mm SDR 41	¢ 6 684,00	/6m	5	¢ 33 420,00
Tubería PVC 150 mm SDR 41	¢ 58 330,00	/6m	57	¢3 324 810,00
Válvula compuerta de 1 1/4 "	¢ 20 000,00	/unidad	3	¢ 60 000,00
Válvula compuerta de 2"	¢ 41 000,00	/unidad	5	¢ 205 000,00
Válvula compuerta de 8"	¢ 400 000,00	/unidad	2	¢ 800 000,00
Válvulas reguladoras de caudal 1 1/2	¢ 500 000,00	/unidad	2	¢1 000 000,00
Mano de obra				¢2 039 934,05
Colocación	¢2 271 555,00	/red	1	¢1 533 785,00
33% cargas sociales				¢ 506 149,05
Total				¢76 587 242,70

Por lo tanto, en base en el presupuesto anterior, el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Universidad tiene un costo de materiales de ₡ 156 754 826,22 (ciento cincuenta y seis millones setecientos cincuenta y cuatro mil ochocientos veintiséis colones).

El costo mensual del consumo de energía eléctrica de una bomba para el sistema de **recirculación es de ₡33 556,50. Este monto está estimado con el costo de 125 colones/kWh.**

Por lo tanto, el costo de operación mensual para las ocho bombas requeridas por ambos sistemas es de ₡268 452,00 (doscientos sesenta y ocho mil cuatrocientos cincuenta y dos colones).

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El manejo de aguas residuales en la Universidad de Costa Rica es un problema ambiental que necesita soluciones inmediatas. Con base en los resultados anteriormente expuestos por Calvo y Mora (2007), si los vertidos de la Universidad ingresan a la quebrada Los Negritos podrían agravar las condiciones de la cuenca del Tárcoles. Por este motivo, es necesaria la colocación de un sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial y el control de la disposición final de las aguas residuales tipo ordinario.

Además de buscar una solución al problema, se pueden obtener beneficios de tratar el agua que se utiliza en la Universidad, sin embargo es necesario optimizar los recursos disponibles para lograr un diseño factible que mejore las condiciones ambientales de Finca 1, específicamente.

Las aguas residuales ordinarias son generadas por edificios que no están constituidos por laboratorios ni por talleres, según la clasificación dada por la Comisión de Agua y Saneamiento en la Universidad. Se debe estudiar de manera más detallada que las características físico-químicas cumplan con el RVRAR, de modo que pueden ingresar directamente al alcantarillado sanitario. Para esto, es necesario controlar los vertidos realizando reportes operacionales.

De los 40 edificios muestreados, un 37,5% corresponde a edificios generadores de aguas residuales tipo especial, sin considerar el edificio de la Facultad de Ingeniería. Esto representa poco menos de la mitad de las descargas de aguas residuales de la Universidad, lo que hace evidente la necesidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales especiales.

Para mejorar la calidad de las aguas residuales tipo especial no es suficiente con controlar los reactivos químicos en los laboratorios, ya que muchos de estos químicos se mezclan con el

agua y no se pueden separar de una manera manual, esto hace necesario tener un sistema de tratamiento.

Determinar el consumo de caudal de los edificios que generan aguas residuales tipo especial que serán ampliados en un futuro, no es preciso. No se conoce la distribución de laboratorios y talleres del edificio una vez remodelado. Por este motivo, se supone que el área futura será dedicada en su totalidad en laboratorios.

A pesar de que no se tiene un estudio representativo de las características de las aguas residuales, se pueden estimar sus cargas orgánicas y químicas, mediante vertidos provenientes de fuentes similares a las que se tienen en la Universidad, sin embargo es importante confirmar los parámetros reales, de modo tal que se acoplen al diseño, de lo contrario se debe redimensionar el sistema de la misma manera en la que se diseñó o bien se puede agregar algún pretratamiento a los edificios que puedan afectar el funcionamiento de la PTAR.

Se decide que la Oficina de Bienestar y Salud no estuviera considerado dentro del sistema de tratamiento, ya que se encuentra lejos de los demás edificios que vierten aguas tipo especial, por lo que se propone realizar un plan de para tratar las aguas en este edificio en particular, que permita conducir el agua al punto del sistema de alcantarillado sanitario más cercano.

Se diseña el sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial, considerando edificios existentes y los proyectos a futuro, donde se esperan obtener vertidos tipo especial.

Con los muestreos realizados hasta el momento, las técnicas implementadas en las sodas han tenido buenos resultados en algunas de ellas, por lo que se deben aplicar medidas más estrictas con aquellas sodas que no están cumpliendo con algunos parámetros, no solo para que cumpla con el RVRAR sino también para que no afecte la eficiencia del sistema de tratamiento propuesto si se continúa con las medidas empleadas hasta la fecha.

Se opta por realizar dos sistemas de tratamiento, ya que por razones topográficas se necesitarían de sistemas de bombeo en diferentes puntos para lograr reunir todas las aguas especiales en un solo punto. Concentrar las aguas residuales en dos sectores de la Universidad, implica realizar excavaciones considerables en el terreno, con el fin de evitar depender del suministro de energía para ingresar el agua al sistema de tratamiento. Éstas

alcanzan hasta los 7 metros de profundidad, debido a las pendientes que tiene la Universidad. Es importante mencionar que aunque el proyecto tenga una alta inversión, sus costos de mantenimiento y operación son mucho menores.

Para garantizar la factibilidad ambiental del sistema, es decir, que éste genere un impacto menor que el que ya causa el problema mismo, se respeta el plan regulador de zonas verdes de la Universidad, para utilizar zonas ya construidas.

Los lugares propuestos para los dos sistemas de tratamiento fueron escogidos con base en la topografía de la Universidad. Un cambio en la ubicación de alguno de los sistemas de tratamiento cambia el diseño de las aducciones descrito en la sección 4.2.2 de este documento. Si es necesario cambiar la ubicación de los sistemas se debe realizar un análisis en las aducciones que conducen el agua al sistema de tratamiento, sin excepción.

La distribución espacial de cada una de las unidades de ambos sistemas de tratamiento diseñados, puede variar, sin embargo es necesario tomar en cuenta que los cambios no afecten el funcionamiento del sistema.

Las áreas escogidas para la ubicación de los dos sistemas de tratamientos, permitieron optar por sistemas de dimensiones mayores que logran tratar el agua para ser reusada dentro del Campus. Además, se logra respetar los retiros reglamentados al sistema de tratamiento.

Las aducciones del sistema se diseñan en su totalidad para trabajar bajo el principio de gravedad para no aumentar el consumo de energía eléctrica en el proyecto. Y se logra cumplir con todos los requerimientos establecidos por AyA (2007).

Se escoge un sistema biológico de tratamiento para las características consideradas del agua, ya que las cargas orgánicas y químicas tienen una relación que permiten optar por este tipo de sistema.

Además de plantear una posible solución al problema de aguas residuales tipo especial en la Universidad, se adquieren beneficios importantes cuando se cuenta con un sistema de tratamiento que depure el agua para que sea reutilizada en actividades que no requieren potabilización. Esto permitiría que el consumo de agua potable utilizada disminuya, por ende las actividades dentro de la Universidad serían más armónicas con el ambiente.

Con el diseño propuesto, es posible utilizar los lodos generados por un sistema biológico. La reutilización de lodos dentro del Campus, generaría que los costos de operación y mantenimiento del sistema sean menores, ya que no se deben transportar los lodos a otros lugares para su desecho.

El tanque de captación, en ambos sistemas, se puede omitir en el diseño si no se desea reusar el agua residual tratada. Sin embargo el diseño de los biodiscos se debe reconsiderar, ya que la calidad del agua para vertido al alcantarillado sanitario es menor. Las dimensiones de los biodiscos, en este caso, se plantearon en el capítulo 4 (Cuadro 44 y Cuadro 48).

Los vertidos del agua tratada al alcantarillado sanitario, se deben realizar cuando una de las unidades de tratamiento esté en mantenimiento.

Se debe eliminar todo tipo de conexión al alcantarillado pluvial, para poder reestructurar el manejo de aguas residuales de la Universidad. Es importante también, evitar los vertidos a la quebrada Los Negritos, esto con el fin de mitigar el impacto ambiental generado por la Universidad.

Las conexiones propuestas para la descarga al alcantarillado sanitario se ubican en el subcolector Negritos.

6.2 Recomendaciones

No se recomienda, de ninguna manera, verter las aguas residuales tratadas a la quebrada Los Negritos, ya que se prioriza el compromiso ambiental de la Universidad con el Ambiente.

Es necesario suplir las necesidades de equipo de laboratorio para el control de los parámetros que caracterizan las aguas residuales.

Es importante monitorear los vertidos que se realizan en los edificios que generan aguas tipo ordinario, para verificar que no incumplan con el RVRAR, de este modo se deben conducir las aguas directamente al alcantarillado sanitario en el punto más cercano.

En caso de ser necesario, se deben proponer sistemas de tratamiento en los edificios que generen aguas tipo ordinario de modo que las características del agua cumplan con la legislación.

Se puede estudiar la posibilidad de diseñar un sistema de tratamiento que permita depurar las aguas residuales ordinarias para reusarlas en la Universidad.

Para lograr que el sistema de tratamiento de aguas residuales tipo especial diseñado para la Universidad de Costa Rica en Finca 1 sea eficiente y se acople a las características de los vertidos de los edificios, se propone realizar muestreos históricos y no puntuales como se han hecho hasta el momento, ya que esto permite tener valores más representativos de los vertidos, y también se puede determinar si ha habido cambios en las actividades de los edificios a lo largo del tiempo y de este modo realizar adaptaciones al sistema si es necesario.

Se requieren realizar reportes operacionales en todos los edificios de Finca 1. En los edificios que generan aguas residual tipo especial, es necesario confirmar sus características antes y después de la construcción de los sistemas de tratamiento. De modo que no se comprometa la eficiencia del sistema.

De manera específica se debe determinar la concentración Nitrógeno Amoniacal en los vertidos de los edificios que generan aguas residuales tipo especial, ya que se supuso que la cantidad de Nitrógeno Total en la mezcla correspondía a la concentración Nitrógeno Amoniacal para determinar el área adicional en los biodiscos para el proceso de desnitrificación.

Así como se requieren series históricas de los parámetros que caracterizan las aguas residuales, es importante contar con un historial de consumo de agua potable, para determinar que el caudal de diseño sea el apropiado para operar durante todo el año. Además si se emplea el agua tratada para reuso y se disminuyen el caudal, se debe determinar que esta disminución no afecte el funcionamiento de la biomasa de las PTAR.

También se deben confirmar los supuestos en los que se basaron las curvas de consumo de agua potable, realizando mediciones diarias fines de semana, y mediciones horarias durante las 24 horas.

Las medidas implementadas con las Sodas de la Universidad se deben mantener, para evitar que el sistema se vea afectado. Y de manera general, se debe continuar con los reportes operacionales de las Sodas en la Universidad. Es necesario monitorearlas como se ha hecho hasta el momento, de modo que se siga cumpliendo con el RVRAR. Se debe prestar especial atención a las Sodas que pertenecen a los edificios generadores de aguas residuales tipo especial, ya que una alteración en sus características podría afectar el sistema de tratamiento propuesto.

Ningún edificio no contemplado en el diseño puede hacer ingreso de sus vertidos al sistema de tratamiento sin realizar un estudio previo y determinar si el sistema tiene capacidad para tratar cargas adicionales.

Se deben considerar los pozos a lo largo de las aducciones que conducen el agua residual al sistema de tratamiento, en este informe solamente se especifican los pozos principales debido a cambios de dirección o combinación de aguas.

Es necesario estudiar los efectos de la deficiencia de fósforo en la eficiencia de los biodiscos. Para esto se deben realizar muestreos antes de la construcción del sistema para confirmar la falta de este nutriente y después de la construcción para determinar las afectaciones en el sistema.

Para suministrar energía a las bombas, se puede optar por sistemas duales con paneles solares como medida alternativa en caso de una suspensión del servicio de energía eléctrica.

De ninguna manera se deben adicionar algún agente desinfectante, como el cloro, al agua antes de ingresar al sistema de tratamiento. Ya que se expondría a una pérdida importante de la biomasa en el biodisco.

Para dar un adecuado uso a los lodos generados en el sistema de tratamiento es necesario estudiar las concentraciones de metales pesados presentes en estos. Y de ser necesario brindarles tratamiento antes de utilizarlos.

Los lodos se pueden utilizar para recuperar energía por medio de la incineración, a pesar de que es un método poco común en el país es una forma alternativa de brindar energía al sistema de tratamiento, y así dar un mayor provecho al sistema de tratamiento.

Para reusar el agua tratada es necesario realizar un análisis después de su tratamiento, determinar los posibles usos dentro del campus y de esta manera valorar si es necesario un proceso de desinfección. Si se requiere un proceso de desinfección se puede realizar dentro del tanque de captación. Se debe estimar el tiempo de retención hidráulica del agua tratada para compararlo con el tiempo de contacto requerido y así determinar la dosis correcta del agente desinfectante. En este caso se sugiere cloro gas, ya que es más fácil de dosificar (López, 2010).

El sistema de bombeo del agua tratada, como bien se menciona anteriormente, depende de la carga que se requiera, se sugiere utilizar el agua tratada en lugares cercanos al sistema de tratamiento para que el sistema de bombeo no sea tan costoso.

Es importante que las unidades se controlen todas las unidades de pretratamiento y tratamiento de forma regular para evitar que éstas salgan de operación en lapsos de tiempo largos, para así permitir un adecuado reuso del agua tratada. Para esto es necesario nombrar un equipo de personas encargadas en el mantenimiento del sistema. Deben de ser capacitados para operar, mantener y reparar de manera adecuada las unidades de pretratamiento y tratamiento.

Se recomienda restringir el acceso al sistema de tratamiento solo a personal autorizado para evitar accidentes, vandalismo o contagio de enfermedades por manipulación inadecuada del equipo.

Adicionalmente, se requieren inspecciones estructurales y geotécnicas en las unidades que lo requieran y en los taludes del sistema.

Este diseño, puede utilizarse para impulsar el desarrollo del sistema de tratamiento de aguas residuales de cualquier tipo en otras sedes de la Universidad de Costa Rica.

REFERENCIAS

Libros

- Arboleda, J. (2000). *Teoría y practica de purificación de agua*. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Mc Graw-Hill.
- Crites. (1998). *Small and deswcentralized wasstewater management systems*. McGraw Hill.
- Henry, G., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. México: Pearson Educación.
- Hernández, A. (1996). *Depuracion de aguas residuales*. Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Lee, C. (1999). *Handbook of environmental engineering calculations*. McGraw-Hill.
- López, R. (2010). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mihelcic, J. (2001). *Fundamentos de Ingeniería ambiental*. México: LIMUSA.
- Reynolds, T., & Richards, P. (1996). *Unit operations and procesos in environmental engineering*. Boston: Thomson.
- Rich, L. (1963). *Unit processes of sanitary engineering*. New York.

Reglamentos

- Alfaro, A. (2007). *Manual de almacenamiento, control y desecho de residuos químicos*. Universidad de Costa Rica.
- Decreto 18.328/97. (1997). *Do lançamento de efluentes líquidos na rede coletora de esgotos*. Brasil.
- Decreto N° 31545 (2005). *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. San José, Costa Rica: La Gaceta.

Department of environmental protection. (2012). *Surface water quality standards*. Florida: Florida Administrative Code.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2007). *Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones, condominios y fraccionamientos*. La Gaceta.

NEA, National Environment Agency. (2002). *Allowable limits for trade effluent discharge to sewer/ watercourse/controlled watercourse*. Recuperado el 28 de 11 de 2012, de http://app2.nea.gov.sg/waterpollution_te.aspx

Nº 33601-MINAE-S. (19 de marzo de 2007). Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales. San José, Costa Rica: La Gaceta no. 55, alcance 8.

ProDUS. (2001). *Plan regulador de Montes de Oca*. Universidad de Costa Rica.

Real Decreto 849 / 1986. (1986). *Reglamento del Dominio Público Hidráulico*. España: Ley de Aguas.

Vicerrectoría de administración Universidad de Costa Rica. (2008). *Plan de reordenamiento de áreas verdes*. Comisión Foresta Universitaria: Universidad de Costa Rica.

Trabajos finales de graduación

Centeno, E. (2010). *Análisis comparativo de distintas tecnologías de tratamiento de aguas residuales para municipalidades de Costa Rica*. San José: Universidad de Costa Rica.

Corrales, E. (2011). *Dimensionamiento preliminar del I planta de tratamiento de aguas residuales para la urbanización Jorge Debravo y sus alrededores, en el distrito de Turrialba*. San Pedro, Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.

Gutiérrez, J. (2007). *Diseño preliminar del sistema de tratamiento de aguas residuales para la descarga del efluente crítico de varias facultades del campus universitario Rodrigo Facio*. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.

Hernández, A. (1999). *Caracterización preliminar de la descarga líquida del Hospital México*. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.

Odio, G. (2003). *Diseño preliminar de una planta de tratamiento para las aguas residuales del Hospital México*. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.

Rodríguez, A. (2002). *Caracterización preliminar de la descarga líquida del hospital Monseñor Sanabria*. San Pedro Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.

Sitios de internet

Borzacconi, L., López, I., Arcia, E., Cardelino, L., Castagna, A., & Viñas, M. (1996). *Comparación de tratamientos aerobios y anaerobios aplicados a lixiviado de relleno sanitario*. Recuperado el 5 de marzo de 2013, de Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental: http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah/iah.xis&base=Textos_Completos&lang=e&nextAction=lnk&backPage=/sde/ops-sde/bvsde/e/textoscompletos.php&label=todo_BVSDE&exprSearch=tc/%28916%29*%28Borzacconi%29

Cordero Espinosa, C., Guerrero Baculima, D., & Sinche Valencia, P. (2010). *Determinación de la eficiencia de un tratamiento aerobio de aguas residuales, con la aplicación de un sistema contactor biológico rotante (biodiscos)*. Recuperado el 20 de noviembre de 2012, de Contactor biológico rotante, principios de diseño y construcción: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/696/5/Capitulo3.PDF>

Córdoba, J. (04 de Octubre de 2011). *UCR aumentó 2000 cupos estudiantiles en el 2011*. Recuperado el 11 de Agosto de 2012, de Semanario Universidad: <http://www.semanario.ucr.ac.cr/index.php/noticias/universitarias/4603-ucr-aumento-2000-cupos-estudiantiles-en-el-2011-.html>

Facultad de farmacia, Universidad de Costa Rica. (2009). *INIFAR*. Recuperado el 25 de julio de 2012, de <http://www.farmacia.ucr.ac.cr/investigacion/inifar.html>

Flomatic. (2012). *Price list*. Recuperado el 20 de enero de 2013, de http://flomatic.com/assets/pdf_files/2012_Price_List.pdf

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2012). *Proyecto de mejoramiento ambiental del área metropolitana de San José*. Recuperado el 07 de enero de 2012, de www.mejoramamientoambiental.com/educacion-ambiental/que-es-un-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html

Junqueira, V., Barbosa, E., Lopes, C., & Coimbra, J. (1997). *NITRIFICAÇÃO EM BIODISCO*. Recuperado el 16 de diciembre de 2012, de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/biodisco.pdf>

La Ferretería Digital. (s.f.). *La Ferretería Digital de Costa Rica*. Recuperado el 20 de enero de 2013, de <http://www.laferreteriadigital.com/fd/index.do>

Marín, R. (15 de diciembre de 2011). Recuperado el 11 de noviembre de 2012, de Alcalde y rectora suscriben acuerdo: <http://www.ucr.ac.cr/noticias/2011/12/15/alcalde-y-rectora-suscriben-acuerdo.html>

Paz, M., Muzio, H., Gemini, V., Magdaleno, A., Rossi, S., Korol, S., y otros. (2004). *Agua residual de un Centro Hospitalario de Buenos Aires, Argentina: Características químicas, biológicas y toxicológicas*. Recuperado el 25 de agosto de 2012, de http://www.ugr.es/~dpto_prev/revista/pdf/Hig.Sanid.Ambient.4.83-88%20%282004%29.pdf

Restrepo, J. (julio de 1997). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 25 de agosto de 2012, de Guía para la apreciación de la contaminación hídrica: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?conID=7918&catID=1296>

Universidad de Costa Rica. (2009). *Kioskos ambientales*. Recuperado el 25 de julio de 2012, de http://kioscosambientales.ucr.ac.cr/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=48&Itemid=72

Universidad de Costa Rica. (9 de mayo de 2012). *Proyecto arquitectónico de incidencia nacional*. Recuperado el 25 de julio de 2012, de <http://www.ucr.ac.cr/noticias/2012/05/09/proyecto-arquitectonico-de-incidencia-nacional.html>

Universidad de Costa Rica. (s.f.). *Ciudad Universitaria*. Recuperado el 16 de enero de 2012, de <http://www.ucr.ac.cr/acerca-u/u-en-breve/campus.html>

Universidad de Costa Rica. (s.f.). *Mapas UCR*. Recuperado el 16 de enero de 2012, de http://www.ucr.ac.cr/mapas/simple/sede_central/

Welter, A. B., Romero, J. M., Grumelli, Y. A., Sanchez, J. A., & Ascar, G. I. (2004). *LA BIOPELÍCULA EN LOS PROCESOS RBC*. Recuperado el 5 de marzo de 2013, de Universidad Católica de Córdoba: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina14/welter.pdf>

Otros

Agrotec. (2011). *Estudio ambiental de las aguas residuales de la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica*. San José.

Alfaro, R., Masís, A., & Tenorio, R. (2012). *Planeamiento y diseño estructural del nuevo tanque de agua potable en Canoas de Alajuela*. Universidad de Costa Rica: Escuela de Ingeniería Civil, Curso Taller de Diseño.

Amanco. (20 de Setiembre de 2010). Lista de precios.

Análisis Ambiental 1. (Segundo semestre, 2012). *Trabajos finales de laboratorio*. Laboratorio Ingeniería Ambiental: Universidad de Costa Rica.

Banco Mundial. (s.f.). *Information and training for low-cost water supply and sanitation*. Agencia canadiense para el desarrollo.

Calvo, G., & Mora, J. (Octubre-Diciembre 2007). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y Reventazón. *Tecnología en marcha*, 59-67.

Consejo Nacional de Rectores. (2012). *Marco de Gestión Ambiental y Social del Proyecto Mejoramiento de la Educación Superior*. San José.

Consejo Universitario. (17 de setiembre de 2012). Informe sobre el seguimiento de los acuerdos. *La Gaceta Universitaria*, pág. 7.

- Environment Protection Agency, Queensland. (2003). *A review of Water Quality Criteria in Australian Reclaimed Water Guidelines and Sewage Effluent Discharge Licences*. Griffith University, School of Environmental and Applied Science.
- Environmental Protection Agency. (Octubre, 1973). *Process Design manual for carbon adsorption*. Ohio.
- Hoyos, F. (s.f.). *Repensar a Darcy*. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2012). *Planos de los subcolectores Negritos y Saprissa*. San Pedro de Montes de Oca.
- Oficina de Ejecutora del Programa de Inversión. (2012). *Planos de la Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio, Finca 1*. San Pedro Montes de Oca.
- ProGAI y CICA. (2006). *Implementación del Sistema de gestión Ambiental en sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica*. San Pedro de Montes de Oca: Universidad de Costa Rica.
- Vidal, P. (primer semestre de 2012). notas del curso Análisis Ambiental I. Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio.

ANEXOS

Anexo A. "Lecturas de los hidrómetros de los edificios de Finca 1,
sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica"

CUADRO 58. CONSUMO EN EDIFICIOS DE FINCA 1, SEDE RODRIGO FACIO, UNIVERSIDAD DE COSTA RICA (M³).

(Este cuadro se encuentra en este CD, bajo el nombre de Cuadro 58.pdf)

Anexo B. "Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_0/n variable)"

Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_0/n variable)

Q/Q_0	ReL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	V/V_0	0.000	0.292	0.362	0.400	0.427	0.453	0.473	0.492	0.505	0.520
	d/D	0.000	0.092	0.124	0.148	0.165	0.182	0.196	0.210	0.220	0.232
	R/R_0	0.000	0.239	0.315	0.370	0.410	0.449	0.481	0.510	0.530	0.554
0.1	V/V_0	0.540	0.553	0.570	0.580	0.590	0.600	0.613	0.624	0.634	0.645
	d/D	0.248	0.258	0.270	0.280	0.289	0.298	0.308	0.315	0.323	0.334
	R/R_0	0.586	0.606	0.630	0.650	0.668	0.686	0.704	0.716	0.729	0.748
0.2	V/V_0	0.656	0.664	0.672	0.680	0.687	0.695	0.700	0.706	0.713	0.720
	d/D	0.346	0.353	0.362	0.370	0.379	0.386	0.393	0.400	0.409	0.417
	R/R_0	0.768	0.780	0.795	0.809	0.824	0.836	0.848	0.860	0.874	0.886
0.3	V/V_0	0.729	0.732	0.740	0.750	0.755	0.760	0.768	0.776	0.781	0.787
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447	0.452	0.460	0.468	0.476	0.482	0.488
	R/R_0	0.896	0.907	0.919	0.931	0.938	0.950	0.962	0.974	0.983	0.992
0.4	V/V_0	0.796	0.802	0.806	0.810	0.816	0.822	0.830	0.834	0.840	0.845
	d/D	0.498	0.504	0.510	0.516	0.523	0.530	0.536	0.542	0.550	0.557
	R/R_0	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035	1.043	1.050	1.056	1.065	1.073
0.5	V/V_0	0.850	0.855	0.860	0.865	0.870	0.875	0.880	0.885	0.890	0.895
	d/D	0.563	0.570	0.576	0.582	0.588	0.594	0.601	0.608	0.615	0.620
	R/R_0	1.079	1.087	1.094	1.100	1.107	1.113	1.121	1.125	1.129	1.132
0.6	V/V_0	0.900	0.903	0.908	0.913	0.918	0.922	0.927	0.931	0.936	0.941
	d/D	0.626	0.632	0.639	0.645	0.651	0.658	0.666	0.672	0.678	0.686
	R/R_0	1.136	1.139	1.143	1.147	1.151	1.155	1.160	1.163	1.167	1.172
0.7	V/V_0	0.945	0.951	0.955	0.958	0.961	0.965	0.969	0.972	0.975	0.980
	d/D	0.692	0.699	0.705	0.710	0.719	0.724	0.732	0.738	0.743	0.750
	R/R_0	1.175	1.179	1.182	1.184	1.188	1.190	1.193	1.195	1.197	1.200
0.8	V/V_0	0.984	0.987	0.990	0.993	0.997	1.001	1.005	1.007	1.011	1.015
	d/D	0.756	0.763	0.770	0.778	0.785	0.791	0.798	0.804	0.813	0.820
	R/R_0	1.202	1.205	1.208	1.211	1.214	1.216	1.219	1.219	1.215	1.214
0.9	V/V_0	1.018	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.036	1.038	1.039	1.040
	d/D	0.826	0.835	0.843	0.852	0.860	0.868	0.876	0.884	0.892	0.900
	R/R_0	1.212	1.210	1.207	1.204	1.202	1.200	1.197	1.195	1.192	1.190
1.0	V/V_0	1.041	1.042	1.042	1.042						
	d/D	0.914	0.920	0.931	0.942						
	R/R_0	1.172	1.164	1.150	1.136						

FUENTE: LÓPEZ, A; 2010.

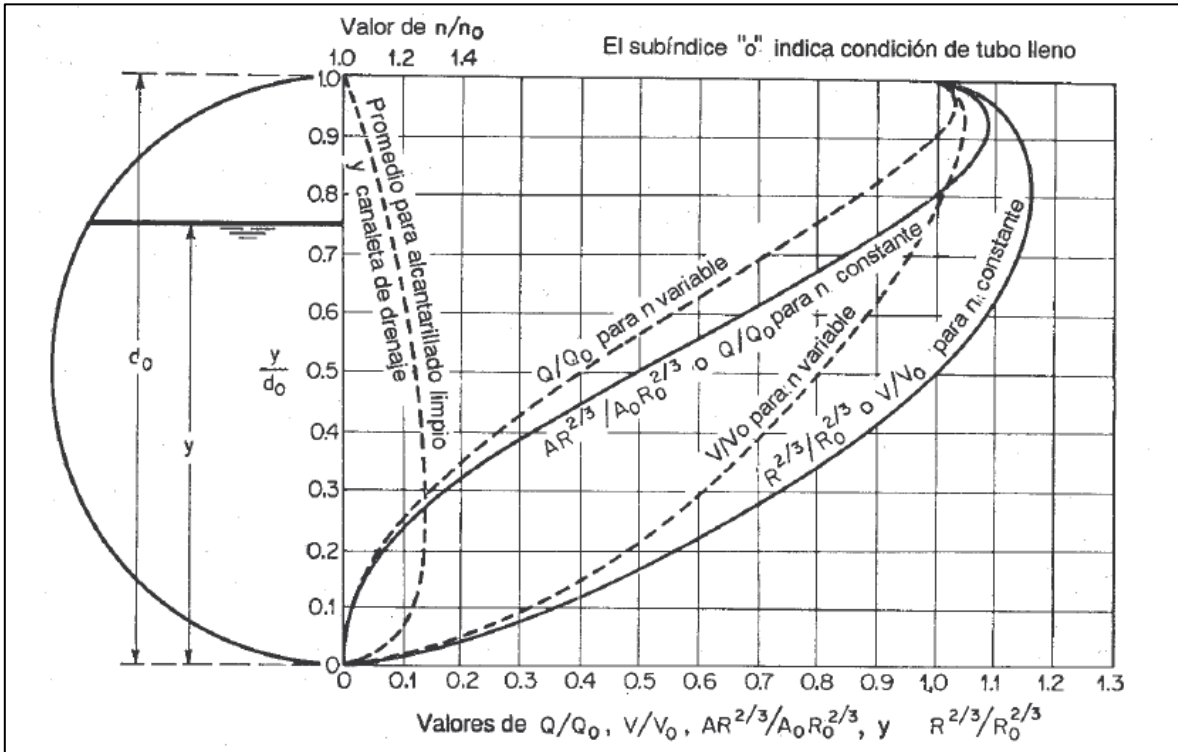


FIGURA 47. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DE UNA SECCIÓN CIRCULAR.

FUENTE: CHOW, V. T.; 1982

Anexo C. "Ejemplos de cálculo"

C1. Diseño de aducciones antes del tanque regulador

A continuación se muestra como se obtiene el diámetro requerido de las aducciones, para esto se ejemplifica el cálculo de la aducción "Punto del grupo 1 al pozo de registro 1" del Cuadro 31.

Primeramente, se calcula la pendiente de fondo de la siguiente manera:

Ecuación 21
$$S_o = \frac{\text{Elevación inicial} - \text{Elevación final}}{\text{Longitud recorrida}}$$

Considerando que se toma una sección circular para el radio hidráulico se tiene:

Ecuación 22
$$R = \frac{D}{4}$$

Tomando la Ecuación 1, la Ecuación 22 y despejando el diámetro se tiene la siguiente fórmula:

Ecuación 23
$$D = 1,548 \left(\frac{nQ}{\sqrt{S_o}} \right)^{3/8}$$

De este modo:

$$S_o = \frac{\text{Elevación inicial} - \text{Elevación final}}{\text{Longitud recorrida}} = \frac{1200,5 \text{ m} - 1198 \text{ m}}{165,2 \text{ m}} = 0,0151$$

$$D = 1,548 \left(\frac{0,01 \cdot 0,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\sqrt{0,0151}} \right)^{3/8} = 40,91 \text{ mm}$$

El cálculo de las condiciones a tubo lleno se hizo de la siguiente manera:

1. Se determina: el caudal a tubo lleno (Q_0), la velocidad a tubo lleno (V_0) y el radio hidráulico a tubo lleno (R_0).
2. Con el caudal de diseño (Q) se calcula la relación Q/Q_0 .
3. Con la gráfica adjunta en el Anexo B. "Relaciones hidráulicas para conductos circulares (no/n variable)" (Chow, 1994), se obtienen las relaciones de velocidad de diseño y velocidad a tubo lleno (V/V_0) y radio hidráulico de diseño y radio hidráulico a tubo lleno (R/R_0).
4. Se obtienen la velocidad y el radio hidráulico despejando de las relaciones encontradas en el paso anterior.
5. Se revisa que cumplan con la normativa del AyA para velocidad máxima y fuerza tractiva mínima usando la ecuación que se muestra a continuación.

Ecuación 24

$$\tau = \rho R S$$

Dónde:

T: Fuerza tractiva (kg/m^2).

ρ : Densidad del agua (kg/m^3).

R: Radio hidráulico (m).

S: Pendiente de energía.

$$A_0 = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{0,1608 \text{ m}^2 \pi}{4} = 0,0203 \text{ m}^2$$

$$R_0 = \frac{160,8 \text{ mm}}{4} = 40,2 \text{ mm}$$

$$Q_o = \frac{0,0203 \text{ m} \cdot 0,0402 \text{ m}^{2/3} \cdot 0,0151^{1/2}}{0,01} = 0,0293 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_o = \frac{Q_o}{A_o} = \frac{0,0293 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0203 \text{ m}^2} = 1,445 \text{ m/s}$$

Con las relaciones de las condiciones a tubo lleno y las condiciones de diseño se obtienen los siguientes resultados:

$$\frac{R}{R_o} = 0,37$$

$$\frac{V}{V_o} = 0,4$$

$$V = \frac{V}{V_o} \cdot V_o = 0,4 \cdot 1,445 \text{ m/s} = 0,58 \text{ m/s}$$

$$R = \frac{R}{R_o} \cdot R_o = 0,37 \cdot 40,2 \text{ mm} = 14,9 \text{ mm}$$

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,0149 \text{ m} \cdot 0,0151 = 225,09 \text{ kg/m}^2$$

C2. Diseño de aducciones después del tanque regulador

C2.1 Condición con el tanque lleno

Para determinar el valor de h_f , se requiere saber la carga de agua solamente, para que el ejemplo sea más claro, se muestra a continuación el cálculo del diámetro requerido para la aducción del grupo 2 y 6:

$$\begin{aligned} h_f &= \text{altura del tanque} + \text{diferencia alturas entre tanque y sistema de tratamiento} \\ &= 2,5 \text{ m} + 0,1 \text{ m} = 2,6 \text{ m} \end{aligned}$$

Posteriormente se debe calcular el número de Reynolds de la siguiente manera:

Ecuación 25
$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dónde:

Al no contar con información detallada de las características del agua después de los pretratamientos, se suponen las mismas características que las del agua pura.

ρ : densidad del fluido 998,2 kg/m³.

μ : viscosidad absoluta del fluido 1,005x10⁻³ Pa-s.

Con el número de Reynolds se puede determinar el régimen de flujo del agua dentro de la tubería.

Por lo tanto, si se tiene condición de flujo laminar, es decir $Re < 2000$:

Ecuación 26
$$f = \frac{64}{Re}$$

Si se tiene condición de flujo turbulento, es decir $Re > 4000$, se debe trabajar con la siguiente ecuación o con un diagrama de Moody.

Ecuación 27
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_s}{3,7 d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

A continuación se muestra un ejemplo de este procedimiento:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 3,64 \text{ m/s} \cdot 22,77 \text{ mm}}{1,005 \times 10^{-3} \text{ Pa-s}} = 82427,4$$

Como el número de Reynolds es mayor a 4000, indica que es flujo turbulento, por esto obtiene el factor de fricción mediante el diagrama de Moody. Y posteriormente se calculan las pérdidas por fricción con los datos obtenidos.

$$h_f = 0,019 \frac{4,6 \text{ m} \cdot 3,64 \text{ m/s}^2}{22,77 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 2,5999163 \text{ m}$$

Ese valor indica que es igual al valor de h_f calculado al inicio, por lo tanto el diámetro requerido es de 22,77 mm.

Las otras dos condiciones se calculan igual a las aducciones antes del tanque

C2.2 Cálculo de golpe de ariete

Para el cálculo de la carga por golpe de ariete es necesario determinar la celeridad y el periodo de la tubería con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 28

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_e \frac{D}{e}}}$$

Dónde:

C: Celeridad (m/s).

K: relación del módulo de elasticidad del PVC y el módulo de elasticidad del agua, para PVC K es 18 (López, 2010, p. 234).

D: es el diámetro medio del tubo (mm).

e: Espesor del tubo (mm).

El periodo de la tubería se obtiene como:

Ecuación 29

$$T = 2L/C$$

Dónde:

C: Celeridad (m/s) que se obtiene de la Ecuación 28.

L: Longitud de la tubería (m).

Posterior a ello se calcula la carga adicional por golpe de ariete por cierre rápido de la válvula de compuerta. Para que se dé esta condición, se debe cerrar la válvula en un tiempo menor al periodo calculado con la Ecuación 29. Para este caso se utiliza la fórmula de Joukowsky.

Para ejemplificar este procedimiento se tomara el caso de la aducción del grupo 2 y 6. Se debe calcular primero la celeridad de la onda, posteriormente el período:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K_e \frac{D}{e}}} = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + 18 \frac{56,63 \text{ mm}}{1,85 \text{ mm}}}} = 404,4 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{2L}{C} = \frac{2 \cdot 3 \text{ m}}{404,4 \text{ m/s}} = 0,0148 \text{ s}$$

El tener un periodo de onda tan corto, se calcula la carga adicional del golpe de ariete por la fórmula de cierre rápido de la válvula de compuerta. Para esto es necesario haber calculado previamente la velocidad con el caudal de diseño y el diámetro de 56,63 mm.

$$h = \frac{404,4 \text{ m/s} \cdot 0,588 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 24,24 \text{ m}$$

C3. Balance de masas

Bajo el principio de la conservación de la masa se tienen las siguientes fórmulas:

Ecuación 30

$$Q_a + Q_b = Q_c$$

Dónde:

Q_a : es el caudal de afluente "a".

Q_b : es el caudal del afluente "b".

Q_c : es el caudal total del efluente "c", compuesto por los efluentes "a" y "b".

Ecuación 31

$$Q_a C_a + Q_b C_b = Q_c C_c$$

Dónde:

C_a : es la concentración de contaminante "X" del afluente "a".

C_b : es la concentración de contaminante "X" del afluente "b".

C_c : es la concentración total de contaminante "X" del efluente "c", compuesto por los efluentes "a" y "b".

Uniendo estas dos ecuaciones se obtiene la Ecuación 5.

Con base en la Ecuación 30 y Ecuación 5, se obtienen los resultados del Cuadro 38.

El procedimiento empleado se ejemplifica de la siguiente manera:

Primero se hace la suma de caudales diarios.

$$\begin{aligned} Q_{\text{grupo 1}} &= Q_{\text{Agroalimentarias}} + Q_{\text{CIGRAS}} + Q_{\text{T.A}} \\ &= 27 \text{ m}^3/\text{s} + 20,8 \text{ m}^3/\text{s} + 18,08 \text{ m}^3/\text{s} = 65,88 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Luego se realiza el cálculo de la concentración de DBO del grupo 1 como se detalla a continuación:

$$C_{\text{grupo 1}} = \frac{C_{\text{DBO, Agroalimentarias}} Q_{\text{Agroalimentarias}} + C_{\text{DBO, CIGRAS}} Q_{\text{CIGRAS}} + C_{\text{DBO, T.A}} Q_{\text{T.A}}}{Q_{\text{grupo 1}}}$$

$$= \frac{830 \text{ mg/L} \cdot 27 \text{ m}^3/\text{s} + 36,55 \text{ mg/L} \cdot 20,8 \text{ m}^3/\text{s} + 800 \cdot 18,08 \text{ m}^3/\text{s}}{65,88 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$= 571,25 \text{ mg/L}$$

C4. Tratamiento biológico: biodisco

C4.1 Porcentaje de recirculación

El porcentaje de recirculación utilizado en el sistema se escoge según la reducción en las dimensiones del biodisco, se prueban diferentes porcentajes de recirculación desde el 50% hasta el 150%, para determinar cuál porcentaje era el óptimo. Cabe recalcar, que al escogerse el porcentaje de recirculación fue necesario considerar el tamaño del sistema de bombeo.

La reducción en el área entre un bombeo del 70% y uno de 80% es de 3,67%, mientras que entre un sistema con recirculación de 80% y uno de 90% la diferencia en el área es de 2,92%. A partir de 80% la diferencia en la reducción del área del biodisco es menor.

Cuadro 59. Variación en el área requerida para el biodisco según el porcentaje de recirculación				
Porcentaje de recirculación (%)	Caudal recirculado (m³/día)	Área requerida para la biomasa (m²)	Porcentaje de área reducida respecto al que no tiene recirculación	Reducción en el área respecto al porcentaje anterior de recirculación
0	0,0	874,1		
50	31,3	582,8	33,33	33,33
60	37,6	546,3	37,50	4,18
70	43,9	514,2	41,17	3,67
80	50,1	485,6	44,45	3,27
90	56,4	460,1	47,36	2,92
100	62,7	437,1	49,99	2,63
110	68,9	416,3	52,37	2,38
120	75,2	397,3	54,55	2,17
130	81,5	380,1	56,52	1,97
140	87,8	364,2	58,33	1,82
150	94,0	349	60,07	1,74

C4.2 Dimensionamiento para la remoción de DBO

Para ejemplificar el dimensionamiento del biodisco considerando solamente la remoción de DBO en el agua, se toma el caso del biodisco de los grupos 1, 3 y 4 con una concentración de salida de DBO de 300 mg/L

Para el uso de la Ecuación 10 es necesario definir los valores que se utilizan. En este caso el caudal de diseño es de 62,687 m³/d, la concentración de DBO de entrada 557,57 mg/L, el parámetro "P" es igual a 1, el valor de "T_c" es igual a 1 también. Solo se necesita calcular el parámetro "R_c" con la Ecuación 12 como se muestra a continuación:

$$R_c = \frac{\mu_{\text{máx}} \cdot S}{K_s + S} = \frac{19,4 \text{ t}^{-1} \cdot 300 \text{ mg/L}}{15,1 + 300 \text{ mg/L}} = 18,5$$

La concentración de entrada en el biodisco se ve afectada por la recirculación. Se debe recalcular con la Ecuación 7:

$$S_o = \frac{S_i + \%R S_e}{1 + \%R} = \frac{557,57 \text{ mg/L} + 80\% \cdot 300 \text{ mg/L}}{1 + 80\%} = 443,09 \text{ mg/L}$$

Por lo tanto el área requerida se calcula de la siguiente forma:

$$A = \frac{Q(S_o - S) \cdot T_c \cdot P}{R_c} = \frac{62,687 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (443,09 \text{ mg/L} - 300 \text{ mg/L}) \cdot 1 \cdot 1}{18,5} = 485,6 \text{ m}^2$$

Ésta es el área que requiere el sistema, y el diámetro se determina la cantidad de discos que demanda el biodisco. Una vez determinado el número de discos con su separación y su espesor se puede calcular el largo.

C4.3 Dimensionamiento para la remoción de DBO

Este ejemplo de cálculo se hace con el dimensionamiento del biodisco de los grupos 1, 3 y 4 con una concentración de salida de NH_4^+ de 0 mg/L.

El caudal de diseño es de 62,687 m³/d, la concentración de NH_4^+ de entrada 44,67 mg/L, el **valor de "T_N" es igual a 1. Solo se necesita calcular el parámetro "R_c" con la Ecuación 14,** pero antes se debe calcular la concentración de NH_4^+ con la Ecuación 7, como se muestra a continuación:

$$S_o = \frac{S_i + \%R S_e}{1 + \%R} = \frac{44,7 \text{ mg/L} + 80\% \cdot 15 \text{ mg/L}}{1 + 80\%} = 31,48 \text{ mg/L}$$

$$R_N = \frac{(\text{NH}_4^+)_S (\text{NH}_4^+)_E}{(\text{NH}_4^+)_S + (\text{NH}_4^+)_E + 0,05 [(\text{NH}_4^+)_S (\text{NH}_4^+)_E]} = \frac{31,48 \text{ mg/L} \cdot 15 \text{ mg/L}}{15 \text{ mg/L} + 0,05 [31,48 \text{ mg/L} \cdot 15 \text{ mg/L}]} = 6,7$$

El área que se debe adicionar a la encontrada anteriormente es de:

$$A_N = \frac{Q(S_0 - S) \cdot T_N}{R_N} = \frac{62,687 \text{ m}^3/\text{d}(31,48 \text{ mg/L} - 15 \text{ mg/L}) \cdot 1}{6,7} = 153 \text{ m}^2$$

C4.4 Dimensionamiento de la tubería de bombeo

Se ejemplifica el bombeo del caudal de recirculación del grupo 1, 3 y 4. El caudal de diseño es de 50,148 m³/día, por lo tanto el diámetro se calcula de la siguiente manera:

$$D_i = 1,3K\sqrt{Q} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{0,0139 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,190 \text{ mm}$$

C4.5 Generación de lodos

A continuación se muestra una muestra de cálculo de la cantidad de lodos generados por día para los grupos 1, 3 y 4:

$$\Delta_{SS} = 0,96(\text{DBO}_E - \text{DBO}_S) = 0,96(557,57 \text{ mg/L} - 50 \text{ mg/L}) = 487,27 \text{ mg/L}$$

Por otro lado, para el mismo sistema de tratamiento se debe calcular la velocidad ascensional de las partículas generadas por la remoción de DBO para obtener la dimensión de los decantadores

$$V = V_i \frac{SS_s}{SS_s + 0,034SS_i} = 1,9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h} \frac{50 \text{ mg/L}}{50 \text{ mg/L} + 0,034 \cdot 487,27 \text{ mg/L}} = 1,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$$

Para la cantidad de lodos secos generados por día se tiene la **Ecuación 20**. Utilizando los datos dados anteriormente se puede calcular la cantidad de lodos secos para el sistema de tratamiento de los grupos 1, 3 y 4.

$$P_x = \frac{QSS_i}{1000} \left(1 - \frac{0,034V}{1,9-V} \right) = \frac{2,67 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 487,27 \text{ mg/L}}{1000} \left(1 - \frac{0,034 \cdot 1,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}}{1,9 - 1,43 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}} \right)$$

$$= 27,89 \text{ kg/día}$$