

**MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL APROVECHAMIENTO EN
RIEGO DE ZONA FRANCA SANTANDER**

SHETLEY DEL MAR RINCON PABON

Directores:

Alvaro Andres Cajigas Cerón

Ingeniero Sanitario, M.Sc.

Diego Alejandro Guzmán Arias

Ingeniero Civil, M.Sc.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACION
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

2014

Nota de Aceptación:

Firma de Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

BUCARAMANGA, 15 DE ENERO DE 2014

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios haberme guiado por el camino correcto a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y de muy buenas personas a mi lado.

A mis padres les debo todo lo que soy porque fueron ellos quienes depositaron todo su amor, su confianza y me dieron su apoyo incondicional para llevar a cabo este proyecto de vida, al ingeniero Alvaro Cajigas le agradezco su apoyo, su acompañamiento en todo este proceso, pero más que todo ello por haberme brindado su amistad; a todos los profesores y amigos que me dieron su mano para caminar por este camino, GRACIAS.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	6
2. OBJETIVOS	7
2.1. OBJETIVO GENERAL	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. MARCO REFERENCIAL	8
3.1. ANTECEDENTES	8
3.2. MARCO GEOGRAFICO	9
3.3. MARCO CONTEXTUAL	10
3.4. MARCO TEORICO	10
3.4.1. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES PARA DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO.	10
3.4.2. SISTEMAS DE RIEGO	18
3.4.3. LODOS ACTIVADOS	33
3.4.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ZONA FRANCA SANTANDER	37
3.5. MARCO LEGAL	39
4. METODOLOGIA	41
4.1. DIAGNÓSTICO SOBRE EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN ZONA FRANCA SANTANDER.	41
4.2. ARRANQUE DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	42
4.3. DISEÑO SISTEMA DE RIEGO.	44
5. ANALISIS Y RESULTADOS	45
5.1. IDENTIFICACIÓN ACTUAL DEL USO Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.	45
5.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	46
5.1.2. REVISIÓN DE LA TUBERÍA PERIMETRAL INSTALADA PARA RIEGO.	47
5.1.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO	48
5.1.4. DEMANDA HÍDRICA	51
5.1.5. OFERTA HÍDRICA	59
5.2. OFERTA Y CALIDAD OBTENIDA DEL AGUA RESIDUAL	64

5.2.1. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL ARRANQUE DE LA PTAR DE ZONA FRANCA SANTANDER.	64
5.2.2. CARACTERIZACIÓN Y COMPORTAMIENTO DEL AFLUENTE EN EL SISTEMA	69
5.2.3. CONDICIONES DE OPERACIÓN DE ACUERDO A LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL	77
5.3. DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA RIEGO	80
<u>6. CONCLUSIONES</u>	<u>84</u>
<u>7. RECOMENDACIONES</u>	<u>85</u>
<u>8. BIBLIOGRAFIA</u>	<u>86</u>

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Suelo sombreado y K_d	14
Tabla 2. Densidad y k_d	14
Tabla 3. Coeficiente de microclima, k_m	15
Tabla 4. Eficiencia para métodos de riego	17
Tabla 5. Uso, ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de riego	19
Tabla 6. Tipos de emisores	21
Tabla 7. Coeficiente de rugosidad de Hazen –Williams	28
Tabla 8. Coeficiente de rugosidad de Flamant	29
Tabla 9. Consideraciones para la calidad del agua en sistemas de riego para jardines (EPA)	32
Tabla 10. Rangos de concentración típicos para aguas residuales domesticas	32
Tabla 11. Periodo de aireación (\square) para proceso de lodos activados convencional y aireación prolongada	34
Tabla 12. Carga volumétrica para proceso de lodos activados convencional y aireación extendida	35
Tabla 13. Rangos típicos de A/M para proceso de lodos activados convencional y aireación extendida	36
Tabla 14. Parámetros de caracterización de sustrato	42
Tabla 15. Parámetros de caracterización del inóculo.	43
Tabla 16. Parámetros de caracterización de sustrato	43
Tabla 17. Áreas de zonas verdes y tipo de vegetación de ZFS	45
Tabla 18. Estación La Esperanza	48
Tabla 19. Estación Club Campestre	48
Tabla 20. Estación PTAR	48
Tabla 21. Precipitación promedio Estación PTAR	50
Tabla 22. Volumen promedio mensual por precipitación	50
Tabla 23. Tabla. Evapotranspiración de referencia de Bucaramanga-Santander.	51
Tabla 24. Ubicación de estudios de ETo en Bucaramanga-Santander.	52
Tabla 25. Inventario forestal.	53
Tabla 26. Porcentaje de zonas verdes, tipo de vegetación y suelo sombreado de ZFS.	54
Tabla 27. Evapotranspiración de cultivo E_{Tc} para ZFS.	55
Tabla 28 precipitación efectiva.	55
Tabla 29. Demanda Hídrica Neta.	57
Tabla 30. Demanda Hídrica Bruta o Tasa de Riego	58
Tabla 31. Volumen de agua requerida para cada área, en cada mes y por cada día.	59
Tabla 32. Volumen promedio mensual aguas lluvia	61
Tabla 33. Superficie de riego	63
Tabla 34. Datos obtenidos en campo.	72
Tabla 35. Análisis químico del afluente de la PTAR de ZFS	76
Tabla 36. Sólidos suspendidos del efluente	78
Tabla 37. DBO y DQO	79
Tabla 38. Parámetros para el cálculo del oxígeno requerido.	79
Tabla 39. Requerimiento de oxígeno PTAR de ZFS	80
Tabla 40. Ubicación de los emisores seleccionados para el diseño	81
Tabla 41. Cantidad de emisores	81

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación geográfica de Zona Franca Santander _____	9
Ilustración 2. Plano urbanístico de Zona Franca Santander _____	45
Ilustración 3. Ubicación de estaciones climatológicas y pluviométricas cercanas a ZFS _____	49
Ilustración 4. Ubicación de las diferentes ofertas hidricas de ZFS para riego _____	63
Ilustración 5. Vista frontal de la trampa grasa del casino de MARVAL en ZFS. _____	65
Ilustración 6. Tapa del trampa grasa. _____	65
Ilustración 7. Propuesta de la trampa grasas _____	66
Ilustración 8. Proceso de limpieza del tanque de aireación de la PTAR _____	66
Ilustración 9. Presencia de arenas con lodos en el tanque de aireación de la PTAR _____	67
Ilustración 10. Finalización de la limpieza de lechos y tanque de aireación _____	67
Ilustración 11. Expulsión de lodos dentro de las membranas del difusor _____	68
Ilustración 12. Purga de tuberías con inyección de aire _____	68
Ilustración 13. Purga de tuberías con inyección de aire (2) _____	69
Ilustración 14. Toma de muestras en pozo inicial y almacenamiento de las muestras a 4°C _____	70
Ilustración 15. Medición de parámetros _____	70
Ilustración 16. Residuos sólidos capturados por la canastilla _____	71
Ilustración 17 Condición inicial de la PTAR el día del muestreo _____	71

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. <i>Evapotranspiración desde la siembra hasta la cosecha</i>	12
Grafica 2. <i>Comportamiento del caudal</i>	73
Grafica 3. <i>Comportamiento del pH durante un día</i>	73
Grafica 4. <i>Comportamiento de la temperatura del agua residual durante un día</i>	74
Grafica 5. <i>Comportamiento de la conductividad durante un día.</i>	74
Grafica 6 . <i>Comportamiento del OD durante un día de muestreo</i>	75
Grafica 7. <i>Solidos Suspendidos del licor mixto</i>	77

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Plano Urbanístico de Zona Franca Santander
- Anexo 2.** Curva IDF de la estación de la PTAR de Río Frio
- Anexo 3.** Hoja de cálculo del dimensionamiento del alcantarillado pluvial
- Anexo 4.** Curva para el cálculo de la concentración de la DQO
- Anexo 5.** Hoja de cálculo del diseño hidráulico del sistema de riego
- Anexo 6.** Hoja de cálculo del sistema de bombeo
- Anexo 7.** Hoja de cálculo del diseño de la bocatoma
- Anexo 8.** Hoja de cálculo del diseño del desarenador
- Anexo 9.** Tanque de almacenamiento
- Anexo 10.** Alternativa 1
- Anexo 11.** Alternativa 2

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO PARA EL APROVECHAMIENTO EN RIEGO DE ZONA FRANCA SANTANDER

AUTOR(ES): SHETLEY DEL MAR RINCON PABON

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MSC. ALVARO ANDRES CAJIGAS CERON
MSC. DIEGO ALEJANDRO GUZMAN ARIAS

RESUMEN

El aprovechamiento del recurso hídrico para un sistema de riego en el parque empresarial Zona Franca Santander, hacen necesaria la búsqueda de dos alternativas que permitan suplir el requerimiento de agua demandada por las zonas verdes del proyecto, sin hacer uso del agua potable. En este estudio se permitió conocer la demanda hídrica mediante el uso del método del coeficiente de jardín y se evaluó la viabilidad de hacer uso para recirculación de aguas lluvias, agua residual y la concesión de agua emitida por la CDMB, para ser usadas como abastecimiento de la oferta hídrica dentro del balance hídrico realizado. El agua residual doméstica tratada por la planta de tratamiento de lodos activados de Zona Franca Santander cumple con los porcentajes de remoción designados por la normativa; sin embargo la PTAR no se comporta como un reactor de lodos activados, sino como un sistema tradicional, debido a que la degradación se da por oxidación más no por degradación aeróbica. Las alternativas propuestas sugieren hacer uso del agua residual doméstica tratada como fuente de abastecimiento, con la implementación de un desarenador, un tanque de almacenamiento que permita la distribución a todo el sistema de riego por medio de un hidroneumático.

PALABRAS CLAVES: balance hídrico, lodos activados, calidad del efluente, sistema de riego.

**V° B° DIRECTOR DE
TRABAJO DE GRADO**

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: INTEGRATED WATER RESOURCE MANAGEMENT FOR USE IN IRRIGATION ZONE SANTANDER

AUTHOR(S): SHETLEY DEL MAR RINCON PABON

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTORES: MSC. ALVARO ANDRES CAJIGAS CERON; MSC. DIEGO ALEJRANDRO GUZMAN ARIAS

ABSTRACT

The utilization of water resources for irrigation in the Zona Franca Santander, business park necessitate the search for two alternatives to meet the requirement of water demanded by the green areas of the project, without making use of drinking water. This study allowed to meet the water demand by using the method of the coefficient of garden and the feasibility of using recirculation stormwater , wastewater and water concession issued by the CDMB was evaluated for use as supply the water supply within the water balance performed . Domestic wastewater treated by the treatment plant activated Zone sludge Franca Santander meets removal percentages designated by the regulations , but the WWTP does not behave as a reactor of an activated sludge but as a traditional system , since degradation occurs by oxidation but not by aerobic degradation . The proposed alternatives suggest use of treated domestic wastewater as a source of supply, with the implementation of a sand trap, a storage tank to allow distribution to all irrigation system by a hydropneumatic .

KEYWORDS: water balance, activated sludge effluent quality, irrigation system.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

Los recursos naturales son la matriz central que permite nuestra subsistencia en el planeta, cada uno de ellos cumple con una función en específico, transformando los componentes esenciales que demanda la población actualmente. Las industrias hacen gran uso de estos como parte de su materia prima, produciendo con gran eficiencia los productos a comercializar, sin proyectar la afectación que estos bienes producen directamente al medio ambiente.

Principalmente el recurso más afectado ha sido el agua por los múltiples beneficios que este aporta a la sociedad; por consecuencia hasta hace pocas décadas surgió un despertar en la conciencia para el buen uso de este medio en el mundo. Sin embargo en Colombia el diseño e implementación de técnicas dirigidas a la optimización, gestión y aprovechamiento de los recursos hídricos se encuentran amparados en una parte por la Constitución Política de Colombia de 1991 ó también llamada Constitución ecológica, la cual contempla el compromiso que tiene el estado y sus ciudadanos para el cuidado y preservación de los recursos naturales.

El presente proyecto surge de esta necesidad, teniendo como principal objetivo el desarrollo de opciones competitivas de alta rentabilidad y de sostenibilidad, con la implementación de opciones productivas, innovadores y rentables en las áreas verdes de Zona Franca Santander, por medio de la implementación de un sistema de riego con una óptima dosificación de la aplicación del agua,¹ en función de la oferta hídrica que aporta Zona Franca Santander.

¹ SENARA, Programa de gestión integrada de recursos hídricos. Informe Principal, Costa Rica. 2005

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer una propuesta para el manejo integral del recurso hídrico de Zona Franca Santander para su aprovechamiento en riego de zonas verdes.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la situación actual del uso y aprovechamiento del recurso hídrico en Zona Franca Santander.
- Determinar el punto óptimo de operación de la PTAR de Lodos Activados en Zona Franca Santander en las condiciones actuales de producción de agua residual de la empresa.
- Diseñar dos alternativas de infraestructura civil que permitan un óptimo aprovechamiento del recurso hídrico para Zona Franca Santander

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. ANTECEDENTES

En la actualidad se ha despertado una gran conciencia ambiental con respecto al buen uso del agua, aunque éste ocupe una tercera parte del planeta, solo el 1,76% se encuentra disponible para las diversas actividades humanas². Entidades mundiales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura (FAO), La Agencia de Protección Ambiental (EPA), Organización Mundial de la Salud (OMS), Oficina Integral para el Agua (IOW), World Water Council (WWC), Consejo Consultivo del Agua (AC), Censat Agua Viva Colombia, Comisión Reguladora de Agua Potable, se han encargado de buscar soluciones para la optimización en el uso del agua.

En Cuba por presentar una cuantía limitada del agua, una distribución espacial no uniforme y temporal; debido a la dependencia por el comportamiento de las lluvias como única y principal fuente de alimentación de los procesos hidrológicos, los han llevado al mejoramiento en el acopio y conservación del agua de lluvia y haciendo uso de aguas residuales de las plantas de tratamiento y lagunas de oxidación, las cuales se presentan como una alternativa viable para ser utilizada como agua de riego, empleando los sistemas de riego de pivote central, tecnología de punta que ha evolucionado cualitativamente en los últimos años, ofreciendo paquetes integrales, desde los módulos de emisores hasta las posibilidades de programación de los riegos que la hacen grandemente atractivas, técnica y económicamente para estos fines.³

El Departamento de Agro-silvicultura y Ciencias Ambientales de la sección hidráulica, Reggio Calabria Universidad del Mediterráneo, Piazza S. Francesco en Italia realizó un estudio de los parámetros de calidad que debe presentar el agua residual después de ser tratada para evitar taponamiento en el sistema. Al igual el estudio determinó que el mejor método de riego es por goteo para aguas residuales cumpliendo con los estándares de control de contaminación del medio ambiente, siendo evidenciando con los resultados en

² VALVERDE Teresa, Ecología y medio ambiente; Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de México. Primera Edición, Editorial Pearson Educación. Pág. 154. 2005

³ ROQUE Reinaldo, Uso de las máquinas de pivote central en el riego con aguas residuales. Revista ciencias técnicas agropecuarias Vol. 15, No. 1. 2006

campo los cuales arrojaron un rendimiento óptimo por emisores en suelo SDI (riego por goteo sub-superficial).⁴

El desarrollo de la tecnología para riego con agua residual en Latinoamérica, se ha visto limitada por la ausencia de normatividad, aspectos culturales y disposición de recurso hídrico, en consecuencia las fábricas de los artículos para sistemas de riego presentan parámetros e indicadores para ser usado solo con agua potable, pero ninguna de estas empresas contienen catálogos para sistemas de riego con agua residual.

3.2. MARCO GEOGRAFICO

Zona Franca Santander se encuentra ubicada en el Km 4 del Anillo Vial Floridablanca, El Caucho. Con coordenadas 7°03'39,79"N 73°07'37,80"O elevación 779 m, en el departamento de Santander, el cual consta con una localización estratégica, ya que se posiciona en el Centro Geoestratégico del Nororiente colombiano con la posibilidad de comunicarse a las principales ciudades de Colombia y Venezuela. Así mismo se encuentra a dos horas de la principal refinería del país (Ecopetrol) y a la Arteria Fluvial (Rio Magdalena), el cual conecta con los principales puertos marítimos del Caribe como lo son Cartagena, Santa Marta y Barranquilla.

Ilustración 1. Ubicación geográfica de Zona Franca Santander



FUENTE: Google earth, 2013.

⁴ A. Capra, B. Scicolone. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. Journal of Cleaner Production 15 (2007).

3.3. MARCO CONTEXTUAL

Zona Franca Santander (ZFS) cuenta con un área de 249.397,81 m² de los cuales 30276,5391 m² son zonas verdes. Esta zona fue constituida como una sociedad anónima en diciembre de 2008; un año después en el 2009, se acredita como Usuario Operador y recibe la declaratoria como la primera zona franca permanente del departamento de Santander, mediante el acto administrativo dado por la resolución 012842; siendo así que Zona Franca Santander se convierte en la primera zona franca permanente de la región, pensada y planeada desde su inicio como una plataforma de clase mundial que fomenta el desarrollo sostenible de la industrialización de bienes y la prestación de servicios y operaciones globales de Offshoring & Outsourcing desde Santander para el mundo.⁵

El proyecto ZFS cuenta con lineamientos ambientales incluidos en el reglamento interno de urbanismo y construcción, así mismo como estrategia ambiental fue construido un sistema de tratamiento para aguas residuales por medio de una planta de lodos activados por aireación extendida.

3.4. MARCO TEORICO

3.4.1. Principios fundamentales para determinación del sistema de riego.

En el estudio de factibilidad en un sistema de riego, es necesario conocer el requerimiento de agua demandado por el área de plantación y la oferta hídrica que proporciona la misma zona. La diferencia entre ellas permite identificar la necesidad del suministro adicional por un sistema de riego, esto se conoce como balance hídrico.

3.4.1.1. Balance hídrico

Es un método basado en la ley de conservación de masa y propuesto por la FAO, el cual permite la comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en un área y periodo específico.

⁵ COLOMBIA. Zona Franca Santander. Información Corporativa. [navegación informativa].[consultado 24 de oct. 2013]. Disponible en < <http://www.zonafrancasantander.com/secciones-37-s>>

El aporte de agua dentro del balance se da por las precipitaciones en la zona de estudio sin tomar en cuenta las aguas interiores y las pérdidas por evapotranspiración de las plantas y se descartan las pérdidas de agua por percolación profunda y escorrentía. La diferencia de estas dos magnitudes da como resultado el parámetro que identifica el requerimiento de riego, resultados positivos indican la necesidad de implementación externa de agua y resultados negativos deducen que el área de plantación puede realizar su desarrollo con los aportes naturales que le ofrece el medio en que se encuentra.⁶

La función de llevar a cabo el balance hídrico es porque se logra conocer la superficie mínima requerida para lograr descargar el volumen de las diferentes ofertas hídricas que ofrece una zona. El conocimiento de estos parámetros es posible mediante el método del coeficiente de jardín, el cual permite tomar en cuenta los diferentes factores que intervienen en la evapotranspiración de un área de plantación, para ello se presenta los cálculos y consideraciones del método.⁷

Evapotranspiración: La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida de cualquier fuente superficial se convierte en vapor de agua (vaporización), donde posteriormente ocurre la pérdida de agua a través de la superficie del suelo y se da la transpiración del cultivo (remoción de vapor).

La evaporación es posible gracias a la energía producida por la radiación solar y la temperatura del aire, formando una fuerza entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante, saturando gradualmente para llevar el proceso a cabo. La transpiración es la vaporización del agua contenida en los tejidos de la planta y su traslado hacia la atmósfera a través de los estomas, al igual que la evaporación requiere de energía, presión de vapor y de la velocidad del viento. La evaluación de la transpiración depende del tipo de cultivo, suelo y ubicación de la plantación.⁸

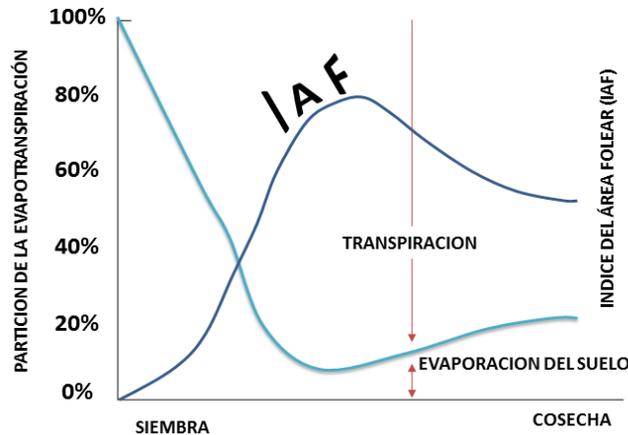
⁶ DURAND, François. Balance hídrico. En: Hipergéo. [en línea]. 300, (2005). Disponible en <http://www.hypergeo.eu/IMG/_article_PDF/article_300.pdf>

⁷ ESPAÑA. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Clasificación de especies de jardín según sus necesidades hídricas para la región de Murcia. [base de datos en línea]. [consultado 1 nov. 2013]. Disponible en: <<http://www.imida.es/paginas/index.html>>

⁸ EE.UU. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En: ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE. [en línea]. No. 56 (2006). [consultado 3 dic. 2013]. Disponible en <<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>>

En el proceso de la evapotranspiración ocurre simultáneamente la evaporación y la transpiración en un área determinada y con condiciones ambientales conocidas; sin embargo cuando en el área se inicia un cultivo la evaporación del suelo alcanza el mayor valor (100%) hasta cubrir totalmente el suelo y es en ese momento en donde la transpiración se convierte en el proceso principal (>90%), tal como se muestra en la Grafica 1.

Grafica 1. Evapotranspiración desde la siembra hasta la cosecha



FUENTE: Richard Allen & Luis Pereira, 2006

La evapotranspiración o también conocida como evapotranspiración de cultivo (ET_c) se puede hallar por diversos métodos matemáticos, los cuales requieren que se estipule las condiciones de campo con una radiación, temperatura, viento, humedad y cultivo estándar correspondiente a un área específica. Sin embargo si estas condiciones varían y se debe aplicar factores de corrección para ajustar la ET_c.⁹

El procedimiento más usado para conocer la evapotranspiración de cultivo (ET_c) de un área verde es el método de jardín, ya que este considera un coeficiente de jardín basado en una plantación con condiciones distintas de una densidad poblacional variable, cantidad de especies y diferentes microclimas. Es por ello que al mismo tiempo el coeficiente de jardín depende del coeficiente de cultivo de cada especie (k_c), del coeficiente de densidad (k_d) y del coeficiente de microclima (k_m), expresado en ecuación 1y 2¹⁰:

⁹ MUNCHARAZ, Manuel. Las necesidades de agua en jardinería. Calculo por el método del coeficiente de jardín. [diapositivas]. España. (2008). 5 diapositivas.

¹⁰ Ibid.

$$ETc = ETo \times Kj \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$Kj = Kc \times Kd \times Km \quad \text{(Ecuación 2)}$$

ETc: Evapotranspiración de cultivo

ETo: Evapotranspiración de referencia

Kj: Coeficiente de jardín

Kc: Coeficiente de cultivo

Kd: Coeficiente de densidad

Km: Coeficiente de microclima

La evapotranspiración de referencia (Eto): Se refiere a la cantidad de agua evaporada desde una superficie de terreno cubierto totalmente por una plantación prototipo de 12 cm de altura, con una resistencia superficial de 70 s.m⁻¹, un albedo de 0,23 y sin restricciones de agua ni ningún tipo de enfermedades o plagas. ¹¹

La Eto se puede determinar por diversos modelos matemáticos que permiten crear un patrón en diversos períodos del año, regiones y cultivos; sin embargo, para el presente proyecto se hará uso del estudio realizado por Cenicafé, el cual estimó la Eto mediante el método estándar de Penman-Monteith¹², el cual determina a través de la ecuación 3.

$$ETO = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_r)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Eto: Evapotranspiración de referencia (mm.día⁻¹)

Rn: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ.m⁻².dia⁻¹)

G: Flujo de calor en el suelo (MJ.m⁻².dia⁻¹)

T: Temperatura media del aire a 2m de altura (°C)

u₂: Velocidad del viento a 2m de altura (m.s⁻¹)

e_s: Presión de vapor de saturación (kPa)

e_r: Presión de vapor real (Kpa)

Δ: Pendiente de la curva de saturación de presión de vapor (kPa.°C⁻¹)

γ: Constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹)

Coeficiente de cultivo kc: Este valor representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produzca los máximos rendimientos, dependiente de las características de la especie, especialmente haciendo referencia a la frecuencia de

¹¹ ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE, Op. cit., p. 7

¹² JARAMILLO, Alvaro. Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Cenicafé, 2006. p 290-297

precipitación anual o la periodicidad de riego, conllevando en muchos casos a que diariamente la evaporación varíe en el suelo; es por ello que el kc es una expresión de los efectos promedios en el tiempo, haciéndolo ideal para estudios a nivel de planificación y diseños de riego donde se considera los promedio en semanas y meses del humedecimiento del suelo.¹³

Coefficiente de densidad kd: El kd es el coeficiente utilizado para incluir la intensidad de agrupamiento de la plantación en el cálculo de las necesidades de agua. Para seleccionar adecuadamente el coeficiente de densidad se debe tener en cuenta dos factores: el área sombreada y los niveles de vegetación¹⁴.

El área sombreada son las zonas ocupadas por árboles el principal componente para poder hallar el coeficiente de densidad el cual debe ser determinado por la ecuación 4:

$$\%Sus = \frac{\pi * r^2 * N^{\circ}e}{So} * 100\% \quad \text{(Ecuación 4)}$$

%Sus= Porcentaje de suelo sombreado por los árboles

So= Superficie ocupada por la arboleda

r= radio estimado de la copa del árbol promedio

N°e= Numero de especie en la superficie sombreada

El porcentaje de suelo sombreado permite conocer el coeficiente de densidad kd con la

Tabla 1. Suelo sombreado y kd

Porcentaje de suelo sombreado (P)	Coefficiente de densidad kd
60% < P < 100%	1
25% < P < 60%	0,5 < kd < 1
P < 25%	0,5

FUENTE: Manuel Muncharez, 2008.

Para las zonas no ocupadas únicamente por árboles, dependerá de la Tabla 2.

Tabla 2. Densidad y kd

DENSIDAD	kd
Alta	1,1
Media	1
Baja	0,6

FUENTE: Pedro de los Angeles, 2007.

¹³ Manuel Muncharaz, Op. cit., p.2

¹⁴ ANGELES, Pedro. Necesidades hídricas. Universidad de Castilla-La Mancha, España. 2007. P. 348.

En cuanto a los niveles de vegetación, se debe tomar en cuenta que a mayor vegetación la ET es mayor, por lo que se debe clasificar en los tres niveles de vegetación más importante: arbóreo, arbustivo y herbáceo, para así finalmente poder ser selecciona el kd adecuado para el área de estudio.

Coefficiente de microclima k_m : El coeficiente de microclima es la influencia que el medio externo tiene sobre cada plantación, afectando las pérdidas de agua consideradas para el cálculo.¹⁵ Para determinar el k_m es necesario determinar las condiciones climáticas y geográficas de la zona de plantación, para así identificar en la categoría a la que pertenece de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente de microclima, k_m

COEFICIENTE DE MICROCLIMA k_m			
	Alta	Media	Baja
ÁRBOLES	1,4	1,0	0,5
ARBUSTOS	1,3	1,0	0,5
TAPIZANTES	1,2	1,0	0,5
PLANTAS MIXTAS	1,4	1,0	0,5
CÉSPEDES	1,2	1,0	0,8

FUENTE: Pedro de los Angeles, 2007.

Alta: zona influida por fuentes externas de calor, emitidas por vehículos, edificios, estructuras o uso masivo de pavimentos.

Medio: zona abierta (grandes jardines) sin influencia de fuentes de calor externos ni vientos mayores de lo habitual.

Bajo: jardines en umbría y aquellos que está fuertemente protegidos por los vientos dominantes.

Demanda hídrica neta: La demanda hídrica neta (DHN) es la diferencia entre la evapotranspiración de cultivo (ETc) y el aporte de la precipitación que puede ser

¹⁵ Ibid., p. 351.

aprovechada por el cultivo; ya que en muchos ocasiones una fracción de esta es perdida en forma de escorrentía superficial, percolación profunda o evaporación¹⁶.

La determinación de la precipitación es un proceso complejo, debido a las múltiples variables que le acompañan, tales como el tipo de suelo, intensidad de las precipitaciones, cubierta del suelo, zonas duras, entre otras. Todo esto llevo a la consideración propuesta por la FAO para la determinación de la precipitación efectiva en zonas con pendientes inferiores al 5%¹⁷, siendo expresada por la ecuación 5 y 6:

Si la precipitación es mayor de 75 mm/mes:

$$P_{ef} = 0,8P - 25 \text{ (Ecuación 5)}$$

Si la precipitación es menor de 75 mm/mes:

$$P_{ef} = 0,6P - 10 \text{ (Ecuación 6)}$$

Dónde:

P_{ef}: precipitación efectiva (mm)

X: precipitación media mensual en un periodo determinado en el área de estudio

Después de determinada la precipitación efectiva, se procede a calcular la demanda hídrica neta mediante la ecuación 7:

$$DHN = ET_c - P_{ef} \text{ (Ecuación 7)}$$

Demanda Hídrica Bruta o tasa de riego: La demanda hídrica TR se refiere al volumen de agua que es preciso aplicar a una superficie de cultivo, el cual permita compensar la demanda hídrica neta; para ello es necesario tener en cuenta la eficiencia del sistema de riego seleccionado¹⁸, tal como se muestra a continuación:

$$TR = \frac{DHN}{E_{fr}} \text{ (Ecuación 8)}$$

¹⁶ COLOMBIA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Datateca. [base de datos en línea]. [consultado 5 dic. 2013]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contenido_en_linea/leccin_4_oferta_y_demanda_del_recurso_hdrico.htm>

¹⁷ Manuel Muncharez, Op. cit., p. 4.

¹⁸ CHILE. Universidad de Chile. Base de datos de la facultad de Agronomía de la Universidad de Chile. [base de datos en línea]. [consultado 5 dic. 2013]. Disponible en <<http://www.uchile.cl/portal/informacion-y-bibliotecas/servicios-de-biblioteca/57683/bases-de-datos-por-tema#agrarias>>

TR: Demanda hídrica bruta o tasa de riego (m³/ha/mes)

DHN: Demanda hídrica neta (m³/ha/mes)

Efr: Eficiencia de aplicación de riego (%)

La eficiencia porcentual de los diferentes sistemas de riego se muestra a continuación:

Tabla 4. Eficiencia para métodos de riego

Métodos superficiales	Eficiencia de diseño (%)	Métodos presurizados	Eficiencia de diseño (%)
Tendido	35-40	Aspersión	65-75
Bordes	45-60	Pivote central	70-80
Platabandas	40-55	Microaspersión	65-75
Surcos	40-55	Microjet	60-70
Tazas	60-70	Goteo	95-98

FUENTE: James Abreu, 2003.

Oferta Hídrica: La oferta hídrica es el aporte de agua que da un área que requiere del recurso para procesos tan importantes como la nutrición, la regulación térmica o el transporte de sustancias. Esta contribución puede provenir de distintas fuentes, ocasionando que las características físicas, químicas y microbiológicas varíen; por ello es de gran importancia conocer los parámetros mínimos que se requiere para el adecuado uso que va hacer destinado el agua y así tener un apropiado juicio para la selección de las diferentes ofertas que se puede encontrar en una zona.

El método del coeficiente de jardín permite tener un criterio técnico para la selección adecuada de la oferta de agua a usar en el diseño de riego¹⁹; para esto se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$OH = DHB * S \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$S = \frac{OH}{DHB}$$

Dónde:

OH: Oferta hídrica, expresada en m³/año

DHB: Demanda hídrica bruta, expresada en m³/ha/año

S: Superficie de riego, expresada en hectáreas (ha)

Adicionalmente se debe tener en cuenta otras consideraciones cuando se poseen varias fuentes como abastecimiento de agua para un proyecto, estos aspectos son:

¹⁹ Ibid., p. 4.

- **Confiabilidad:** El agua es un producto crítico para los seres humanos, los animales y las plantas; se debe disponer de una fuente que los abastezca con alta capacidad cuando se necesite.
- **Calidad:** El agua debe ser apta para el uso requerido, de lo contrario debe ser tratada.
- **Factibilidad técnica:** Se debe analizar qué tan fácil es extraer el agua de la fuente.
- **Transportación:** Se evalúa qué tan lejos se encuentran los usuarios de la fuente de agua y qué tipo de sistema de distribución se es necesario implementar.
- **Costos:** Se examina la situación financiera, los recursos necesarios para el desarrollo de la fuente y para su mantenimiento.

Es posible que algunas fuentes sean efectivas durante ciertos periodos del año, por lo que se debe tener en cuenta una fuente alterna que permita abastecer si esta presenta una carencia.²⁰

3.4.2. Sistemas de Riego

La ubicación del área de plantación permite conocer los factores climatológicos, puesto que la distribución del agua es irregular en todo el planeta, causando que algunas zonas tengan mayores riquezas que otras²¹; por ello ha surgido la necesidad de implementar un método artificial por medio de un conjunto de estructuras que permiten la aplicación del agua necesaria que no puede ser aportada por la lluvia.

El estimado de cuánto y con qué frecuencia se requiere agua para irrigación depende de numerosos factores, de los cuales los más importantes son:

- Condiciones climatológicas (temperatura del ambiente, clima, intensidad de la luz, viento, humedad, evapotranspiración).
- Naturaleza del cultivo.
- Topografía.
- Calidad del agua
- La calidad del suelo donde se dará la plantación puede tener limitaciones para el desarrollo de las plantas a causa de la textura, porosidad y capacidad de campo.

²⁰ FRAENKEL, P., THAKE, J. Dispositivos de elevación del agua. Alfa omega FAO, tercera edición, 2010. 26-33 p.

²¹ BECERRA, J. Experiencia del riego en las hortalizas [Diapositivas]. Cartagena. ACODAL, 2012. 24 diapositivas.

- El tamaño de la planta permite conocer la cantidad de agua necesaria, ya que cuando empiezan a crecer el requerimiento es mucho mayor que cuando la planta tiene un tamaño considerable.²²

Todo ello permite el reconocimiento del tipo de riego necesario, así como las ventajas y desventajas que ofrece cada sistema para cada plantación.

Tabla 5. Uso, ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de riego

SISTEMA DE RIEGO	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aspersión	Agricultura y jardinería de gran amplitud	Adaptación al terreno. Ahorro en mano de obra. Alta eficiencia del riego. Aplicación en distintos suelos. Puede ser usado en suelos con alta velocidad de infiltración.	Afectación a las hojas y flores. Alto costo de inversión Puede propagar enfermedades Vulnerable al viento
Goteo	Agricultura, viveros y jardinería.	Mejoramiento en la calidad y cantidad de los cultivos. Adaptación a diferentes superficies y suelos. Eficiencia total de la distribución del agua. Reducción de mano de obra. Permite fertirrigación en forma localizada. Adelanta la floración.	Contaminación del suelo con sales. Obstrucción de los orificios del dispositivo. Sistema costoso. Instalación y diseño complejo.
Tendido	Agricultura	No requiere de sistema de bombeo. Es ideal para siembras densas. No es necesario la nivelación del terreno	Sistema menos eficiente. Pérdidas de agua considerables
Bordes	Agricultura, cultivos densos.	Sirve para riegos de pre-siembra, arrozales, cereales, frutales y viñedos. Control adecuado de la inundación temporal. Sistema adecuado para áreas con drenaje superficial crítico. Se adapta a varios tipos de cultivos.	Requerimiento de grandes caudales. Alto costo de inversión y mantenimiento. Problemas con uso de maquinaria. No se adapta a todos los tipos de superficies. Puede producir encharcamiento
Surcos	Agricultura, cultivos en hileras.	Permite el control de la erosión. Máximo aprovechamiento del agua de riego. Disminución de mano de obra.	Requiere nivelación del terreno. Produce encharcamiento. Produce enmalezamiento por infestación de semillas
Micro aspersión	Invernaderos, viveros, jardines y frutales	Las pérdidas por el sistema son casi nulas. No presenta restricción topográfica. Permite el riego localizado, directo a la planta. No interviene con ninguna labor de producción. Buen desarrollo del sistema radicular. Riego muy eficiente sin evaporación	Taponamiento de los emisores. Alto costo de inversión Puede aumentar la salinidad en la zona radicular. Requiere mano de obra capacitada.

²² Ibid., p. 28

SISTEMA DE RIEGO	USO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
		ni demasiada infiltración.	
Microjet	Frutales	Las pérdidas por el sistema son casi nulas. No presenta restricción topográfica. Permite el riego localizado, directo a la planta. No interviene con ninguna labor de producción.	Taponamiento de los emisores. Alto costo de inversión Puede aumentar la salinidad en la zona radicular
Pivote central	Frutales y hortalizas	Máximo aprovechamiento del agua de riego. Aplicación uniforme del agua. No interviene con la aplicación de productos químicos. No presenta restricción topográfica. Baja utilización de mano de obra.	Alto costo de inversión Presenta taponamientos continuos. Instalación y diseño complejo. Justificable solo en grandes áreas. No pueden existir obstáculos dentro del área.
Platabandas	Cultivos densos y en hileras.	Sirve para riegos de pre-siembra, arrozales, cereales, frutales y viñedos. Control adecuado de la inundación temporal. Sistema adecuado para áreas con drenaje superficial crítico. Se adapta a varios tipos de cultivos.	Requerimiento de grandes caudales. Alto costo de inversión y mantenimiento. Problemas con uso de maquinaria. No se adapta a todos los tipos de superficies. Puede producir encharcamiento
Tazas	Frutales	Control adecuado de la inundación temporal. Sistema adecuado para áreas con drenaje superficial crítico. Se adapta a varios tipos de cultivos.	Limitación topográfica, pendientes bajas. Requiere grandes caudales. Alto costo de inversión.

FUENTE: Adaptado de James Becerra, 2012; Jairo Jaramillo, 2012.

3.4.2.1. Emisores

Es el elemento más importante dentro de un sistema de riego por goteo o micro aspersion ya que esté afecta directamente los posteriores criterios de diseño. Los emisores cumplen la función de reducir la presión prácticamente a cero, para así aplicar el agua en forma de gota o finas gotas directamente al suelo y a las hojas de las plantas.²³ En la tabla 6 se presentan los tipos de emisores.

²³ JARAMILLO, J. Experiencia de riego en banano [Diapositivas]. Cartagena. ACODAL, 2012. 32 diapositivas.

Tabla 6. Tipos de emisores

EMISOR	DESCRIPCIÓN
Sistema de riego por goteo – Catalogo de Agrifim	
<p>Turbo</p> 	<p>Su diseño cónico permite un exacto ajuste entre los componentes, obteniendo una uniformidad en el flujo de descarga, así mismo produce turbulencia dentro del gotero para hacer autolimpieza cada vez que hay descarga y así poder evitar el taponamiento. Para un caudal de 4 LPH se requiere una presión de 2 PSI</p>
<p>Acuaflo</p> 	<p>Este gotero tiene la facilidad de generar un alto grado de turbulencia en su interior el cual impide el taponamiento y la retención de partículas grandes; de igual manera se encuentra en versión antiraiz. Cuentan con caudales de 2, 4, 8 LPH para los cuales se requiere de una presión de 25 PSI.</p>
<p>Miniline</p> 	<p>Su diseño permite ser instalado a diferentes distancias entre goteros y antiraiz para evitar taponamiento. Puede tener caudales de 2, 4 y 8 LPH a una presión de 30 PSI para cada uno.</p>
<p>PCT</p> 	<p>Son goteros de botón de tamaño compacto, autorregulados, de flujo turbulento, especialmente diseñados para la eficiente aplicación de agua a cada planta. Tiene un rango de operación entre 10 a 50 PSI y caudales de 2, 4 y 8 LPH. Puede ser usado como gotero de botón y gotero subterráneo</p>
<p>Isoflo</p> 	<p>Goteros autocompensados. Estan disponible en 3 diferentes caudales. Tiene un rango de operación entre 10 y 40 PSI y caudales de 2, 4 y 8 LPH.</p>
Sistema de riego por microaspersión-Catalo de Agrifim	
<p>Monojet</p> 	<p>Es un micro aspersor compacto que proporciona una descarga en forma dirigida con amplia gama de radios de tiro. Requiere presiones de 20 a 30 PSI y caudales de 27 a 137 LPH con radios de mojado de 1, 1.05, 1.10, 1.15, 1.5, 1.55, 1.9 y 2.2</p>
<p>Agrijet</p> 	<p>Es un micro aspersor compacto que proporciona una descarga en forma dirigida con presiones de 20 a 30 PSI y caudales de 27 a 157.4 LPH con radios de mojado de 1, 1.05, 1.10, 1.15, 1.4, 1.45, 1.7 y 1.8</p>
<p>Agriaspersor</p>	<p>Diseñado para ser resistente a la luz ultravioleta, a la intemperie y al desgaste de las condiciones de trabajo. Permite la aplicación de químicos y fertilizantes. Igualmente ofrece un cubrimiento de 360°</p>

EMISOR	DESCRIPCIÓN
	<p>con una baja trayectoria para evitar el mojado de las hojas. Requiere presiones de 15 a 30 PSI y caudales de 40,8 a 150 LPH con radios de mojado de 0.87, 0.95, 1.0, 1.05, 1.10, 1.15, 1.2, 1.35, 1.5 y 1.6</p>
<p>Nebulizador</p> 	<p>Es un micro aspersor resistente a la erosión y a las fuerzas de impacto utilizadas para la descarga a alta presión e ideal para las condiciones adversas de trabajo. Requiere presiones de 25 a 50 PSI y caudales de 31,8 a 59,6 LPH con radios de mojado de 0.7, 0.75, 0.8, 0.9 y 0,95</p>
<p>Rotoflo</p> 	<p>Es un micro aspersor rotativo compacto y liviano, ideal para agricultura, viveros y jardines. Requiere presiones de 20 a 30 PSI y caudales de 28.6 a 223.2 LPH con radios de mojado de 4.6, 4.7, 5.3, 5.4, 5.6, 5.65, 5.7, 5.8, 6.0, 6.05, 6.10, 6.15, 6.20, 6.30, 6.40 y 6.60</p>
Sistema de riego por aspersión – Catalogo Rain Bird	
<p>Serie 3504</p> 	<p>Sirven para cortos y medios alcances por los que son adecuados para aplicaciones residenciales, tiene una regulación rápida y sencilla. Tiene un alcance de 4.6 a 10.7 m, al igual que presión de 1.7 a 3.8 bar con caudal de 0.12 a 1.04 m³/h y un ajuste de sector entre 40° y 360°</p>
<p>Serie 5000</p> 	<p>Es un aspersor robusto de alcance medio, con mecanismo de turbina y es empleado en residencias o comerciales poco sofisticados. Tiene un alcance de 7 a 15.2 m, al igual que presión de 1.7 a 4.5 bar con caudal de 0.16 a 1.91 m³/h y un ajuste de sector entre 40° y 360°</p>
<p>Serie T-BIRD</p> 	<p>Concebidos para instalaciones de riego automático residencial de mediano tamaño. Tiene un alcance de 6.4 a 15.3 m, al igual que presión de 1.7 a 4.5 bar con caudal de 0.14 a 2.07 m³/h y un ajuste de sector entre 15°, 25°, 30° y 360°</p>
<p>Serie R-50</p> 	<p>Es ideal para sistemas de riego automático en parques públicos. Dispone de un sistema de memoria del sector de riego. Tiene un alcance de 8.2 a 15.3 m, al igual que presión de 1.7 a 4.1 bar con caudal de 0.34 a 2.13 m³/h y un ajuste de sector entre 15°, 25°, 30° y 360°</p>
<p>Serie Maxi-Paw</p> 	<p>Destinado para instalaciones pequeñas y medianas de riego automático en zonas residenciales y públicas; su funcionamiento se da con baja presión y caudal. Tiene un alcance de 6.7 a 13.7 m, al igual una presión de 1.7 a 4.1 bar con caudal de 0.34 a 1.91 m³/h y un ajuste de sector entre 23°, 11° y 360°</p>

FUENTE: Adaptado de Catalogo de producto de Agrifim, 2013; Catalogo de riego de Rain Bird, 2012.

3.4.2.2. Componentes del sistema de riego

El sistema básico se encuentra compuesto por la captación, recolección y almacenamiento; sin embargo, para el riego es necesario un sistema de filtración, así como una red de distribución con bombeo.²⁴

Captación: Se define como una infraestructura específica para recibir las aguas y ser conducidas hasta el punto de recolección. Los materiales usados pueden ser en concreto, PVC, madera, teja de arcilla o metálica. El material y la pendiente será dependiente del tipo de agua que se va a captar a causa de sus propiedades químicas, físicas y del lugar donde se origina la captación, asegurando de esta manera el impedimento de lixiviados por materiales tóxicos que reacción con el agua.

Para la captación de aguas de río es necesaria la construcción de obras civiles que no permitan la interferencia en el cauce del río. Existen diversos diseños hidráulicos que permiten llevar a cabo la captación y dependen de las condiciones del área.²⁵

Bocatoma o Captación Lateral

Es usado cuando el caudal a captar es relativamente grande y se permita la construcción de la estructura en el fondo, al final de una curva o a un costado del río; esta área debe estar exenta de procesos erosivos o socavación.

Para asegurar un nivel mínimo de las aguas, se debe diseñar un muro en dirección de la corriente, al igual que muros laterales para proteger y acondicionar la entrada del agua al conducto; así mismo se debe acondicionar los dispositivos necesarios que permitan la regulación del flujo y el impedimento de solidos no deseables.²⁶ Consiste en una escotadura practicada sobre la cresta de un canal prismático que está orientada en

²⁴ FRAENKEL y THAKE, Op. cit., p 27.

²⁵ CORCHO, F., DUQUE, J. Acueductos Teoría y Diseño. Universidad de Medellín, 1997. 40 p.

²⁶ Ibid., p. 42

sentido paralelo a la corriente y por encima de la cual fluye el agua cuando se ubica de una manera tal que se permite un gradiente hidráulico en sentido normal a la cresta del vertedero.²⁷

Recolección y Conducción: Es el conjunto de estructuras hidráulicas que tienen por objeto la recolectar las aguas y conducir las hasta el punto de almacenamiento. En su mayoría estas estructuras son canales como sistema de recolección y tuberías para el sistema de conducción, en ambos casos el sistema debe ser instalado y diseñado con una pendiente adecuada así como los materiales deben ser escogidos con el criterio técnico basado en la función que va a cumplir la infraestructura.²⁸ Al igual el dimensionamiento de la recolección y conducción están sujetas a la norma técnica de la CDMB²⁹ y para el caso de los canales para la recolección de aguas lluvias se recomienda que el ancho mínimo de la canaleta sea de 75 mm y el máximo de 150 mm.³⁰

Almacenamiento e Intersección: Son cisternas o tanques de fibra de vidrio, polietileno, PVC, acero inoxidable, acero galvanizado, ferrocemento, piedra, concreto y madera, los cuales tienen por función captar y almacenar las aguas para ser almacenadas de manera que se evite cualquier contaminación por agentes biológicos, químicos o físicos; por consiguiente es importante que en el diseño se tome en cuenta que el tiempo máximo de almacenamiento para un cuerpo de agua es de 4 días, tal como lo recomienda la OMS para el riego de campos deportivos y de zonas verdes con acceso público y lo considerado por la EPA; así mismo para la estimación del volumen del mismo es necesario conocer la demanda de agua y la periodicidad con que se requiere del recurso.³¹

El sistema de almacenamiento está compuesto por un tanque con un volumen determinado por la necesidad de la demanda hídrica del proyecto, este mismo sistema requiere de una válvula de flotador que permite el llenado del tanque y al momento de

²⁷ Ibid., p. 50

²⁸ IBAÑEZ William. Instalaciones hidráulicas y sanitarias [diapositivas]. Bucaramanga, 2010. 153 diapositivas.

²⁹ CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Normas Técnicas para Diseño y Presentación de Proyectos de Alcantarillado. Bucaramanga: CDMB, 1997. 62 p.

³⁰ HERNANDEZ F. Manejo integrado de la subcuenca alta del río grande en la Sierra Norte, OAXACA: Manual de capacitación para la participación comunitaria, México, 2000. 23 p.

³¹ PALACIO Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía para optar al título de Especialista en Manejo y Gestión del Agua, Medellín. Universidad de Antioquia, Escuela Ambiental, Especialización en manejo y gestión del agua, 2010. 26 p.

alcanzar el nivel máximo de llenado la válvula impedirá el paso del agua hacia el interior del mismo y dirigirá el agua hacia la disposición final donde se realiza el vertimiento correspondiente. Como medida de mantenimiento es necesaria la adaptación de una válvula de purga que permita la remoción de los sólidos sedimentables que lleguen al sistema.³²

Para conocer el volumen de almacenamiento se debe conocer la diferencia entre la oferta acumulada y la demanda acumulada de cada mes, de esta manera el mayor valor de diferencia será el volumen del tanque³³ y se expresa de la ecuación 10:

$$Vi = Aai - Dai \text{ (Ecuación 10)}$$

Dónde:

Vi: volumen de almacenamiento del mes "i" (m³)

Aai: oferta acumulada del mes "i" (m³)

Dai: demanda acumulada al mes "i" (m³)

Filtración: Consiste en la separación de los sólidos suspendidos del cuerpo de agua, permite la reducción de la turbidez mediante un sedimentador o un filtro modular de sedimentos, contiene un sistema filtrante de arenas y gravas sílicas. La ubicación de este será seguidamente del tanque de almacenamiento para así poder conducir de manera óptima las aguas hacia el sistema de bombeo, sin que ocurra un deterioro prematuro de las bombas.³⁴

Hay dos principales tipos de filtros usados para el suministro de agua y son los de arena y los de grava. Los filtros de grava proporcionan una colada gruesa y se pueden utilizar como adición a los tanques de sedimentos. Los filtros de arena se caracterizan por una filtración más fina, pero al igual remueven patógenos del agua.

Existen diferentes diseños para los filtros de arena, sin embargo el más común es el filtro de arena lento ya que este tiene una ventaja por su simplicidad y el menor requerimiento de atención a diferencia de los demás filtros; sin embargo, la limpieza de estos resulta compleja pero bastante efectiva.³⁵

³² Cheng, C. and Liao, M. Regional rainfall level zoning for rainwater harvesting systems in northern Taiwan. Resources, Conservation and Recycling 53, 8 (2009), 421-428 p.

³³ Melguizo B., S. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Primera parte. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1977.

³⁴ HERNANDEZ, Op. cit., p. 18

³⁵ FRAENKEL y THAKE, Op. cit., p.37

Red de distribución con sistema de bombeo: Consiste en el conjunto de tuberías hidráulicas que sirven para llevar las aguas captadas y tratadas hacia las zonas donde se desea realizar el riego. El dimensionamiento de la red se encuentra sujeto al área total del proyecto, al área del requerimiento del agua y a la demanda hídrica, con estos insumos se realiza el diseño con base al método de la certeza total, el cual explica que durante un periodo determinado donde se coloca en funcionamiento los aparatos de riego para cada punto, nos permitirá determinar los caudales y diámetros para cada tramo y así el gasto máximo posible.³⁶

$$\text{Gasto Máximo Posible} = Q_i * n \text{ (Ecuación 11)}$$

Dónde:

Q_i: Caudal instantáneo de cada aparato de riego (L/s)

n: Número de aparatos de riego

Calculo del sistema de distribución y bombeo: Todo esto es posible por la implementación de un sistema de bombeo que permite llevar desde la cota de inicio hasta la de llegada en donde se requiere llevar el agua; para ello es necesario realizar los respectivos cálculos hidráulicos de la bomba requerida, en donde se tendrá en cuenta las principales características de la bomba, la tubería de impulsión y de succión. Por ello se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Caudal a bombear (Q_b)
- Tiempo de bombeo diario
- Temperatura media del agua (T)
- Aceleración de la gravedad (g)
- Numero de bombas
- Coeficiente de Hazen-Williams ©
- Altura sobre el nivel del mar de la boma (H_{snm})
- Densidad del agua a la temperatura indicada (ρ)
- Densidad del agua a 4°C (ρ_r)
- Tipo de bomba

³⁶Melguizo, S. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Segunda parte. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1980. p. 43

Este sistema esta precedido por una tubería de succión se debe calcular asumiendo un diámetro de tubería, en el cual se verificara la velocidad mínima y máxima el cual depende del caudal que se va a transportar³⁷; con ello se obtiene el área y la velocidad serán:

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Dónde:

A= Área de la tubería en m²

φ= Diámetro de la tubería en m

Para la determinación de la velocidad se despeja la ecuación 14

$$Q = V * A \quad \text{(Ecuación 13)}$$

Dónde:

Q= Caudal expresada en m³/s

V= Velocidad expresada en m/s

A= Área de la tubería expresada en m²

El valor obtenido del despeje se compara con la velocidad mínima de 0,45 m/s ³⁸ y la velocidad máxima de 1,45 m/s correspondiente al diámetro asumido. Para realizar el adecuado diseño del sistema se debe chequear la tubería de impulsión asumiendo un valor al diámetro de impulsión para calcular el área y la velocidad de la tubería; del cual se verificara si la velocidad se encuentra en el rango de $1 > V_i > 3$ m/s. ³⁹

Seguidamente se debe realizar el cálculo la altura dinámica total en la succión, el cual resulta ser el resultado de la sumatoria de la altura estática de succión y las pérdidas totales en la succión.⁴⁰

$$H_d = h + (J * \Delta h) + K \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Dónde:

H_d: Altura dinámica total (m)

h: Altura estática (m)

J: Pérdida de carga unitaria (m/m)

Δh: Sumatoria de las pérdidas totales (m)

K: Pérdidas por fricción (m)

³⁷ IBAÑEZ, Op. cit., p 27

³⁸ CORCHO, Op. cit., p.22

³⁹ DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000. Título B. Sección II. Sistemas de Acueducto. 2000. p. 206

⁴⁰ IBAÑEZ, Op. cit., p. 36

La determinación de la altura estática de succión está dada por la diferencia de altura que hay entre el nivel de agua en el tanque de almacenamiento y la bomba. Para hallar el valor de las pérdidas de carga se debe conocer el diámetro de la tubería ya que en base a ello se escogerá la ecuación correspondiente.

La ecuación de Hazen-Williams se utiliza para tuberías de diámetro $\geq \text{Ø}2''^{41}$ y están expresadas por:

$$J = \frac{10.643XQ^{1.85}}{C^{1.85}xD^{4.87}} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$J = \frac{6.807xV^{1.85}}{C^{1.85}xD^{1.17}} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde:

J= Pérdida de carga en m/m

C= Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams

V= Velocidad media en m/s

D= Diámetro en m

Q= Caudal en m³/s

Tabla 7. Coeficiente de rugosidad de Hazen –Williams

Material	Coeficiente C
Hierro Galvanizado	120
Cobre	130
PVC	150

FUENTE: Autor

La ecuación de Flamant se utiliza para tuberías de pequeño diámetro (1/2" a 1½").⁴² Las pérdidas unitarias están expresadas por:

$$J = \frac{4xCxV^{1.75}}{D^{1.25}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$J = \frac{6.1xCxQ^{1.75}}{D^{4.75}} \quad (\text{Ecuación 18}).$$

Dónde:

J= Pérdida de carga en m/m

C= Coeficiente de rugosidad de Flamant

V= Velocidad media en m/s

D= Diámetro en m

Q= Caudal en m³/s

⁴¹ Ibid., p.37

⁴² Ibid., p.37

Tabla 8. Coeficiente de rugosidad de Flamant

Material	Coeficiente C
Hierro Galvanizado	0.00023
Cobre	0.00012
PVC	0.00010

El cálculo de las pérdidas totales en la succión depende de la cantidad de accesorios necesarios en el sistema ya que estas se relacionan como la longitud equivalente que corresponde para cada tipo de accesorio tal como se muestra en la figura 6, siendo la sumatoria de todas ellas el resultado de las pérdidas totales en la succión Δh .

En el sistema hidráulico es necesario la determinación de la altura dinámica total en la succión, así como las pérdidas que esta tiene a causa de los accesorios, fricción y a la altura en que se requiera transporta el agua. Para ello se debe conocer la altura estática de impulsión el cual es la diferencia de altura entre el bombeo y la altura de la lámina de agua del tanque, al igual se debe conocer las pérdidas totales y por fricción a causa de la impulsión.

Las pérdidas de impulsión se calcula exactamente como se debe calcular para las de succión, teniendo en cuenta los accesorios y la tubería necesaria para llevar el agua del punto más bajo al punto más alto.

De manera que la altura dinámica total está dada de la siguiente manera:

$$H_d = H_{d,s} + H_{d,i} \text{ (Ecuación 19)}$$

H_d: Altura dinámica total en la succión e impulsión (m)

H_{d,s}: Altura dinámica en la succión (m)

H_{d,i}: Altura dinámica en la impulsión (m)

Como recomendación se puede aplicar un factor de seguridad del 20%, de esta manera se puede prever cualquier evento que evite alcanzar la presión requerida dentro del sistema (ANEXO).

Selección de la bomba: La correcta selección de la bomba es la que permite el éxito del sistema hidráulico, teniendo en cuenta desde el lugar donde será ubicada, ya que con esto se podrá conocer si es de succión negativa o positiva para prevenir el fenómeno de cavitación, el cual está dado por la vaporización del líquido dentro de la tubería lo que conlleva al deterioro temprano de la bomba.

Para poder conocer si ocurre o no el fenómeno de cavitación se debe calcular dos valores, el primero es la cabeza neta de succión positiva disponible (NPSHd), la cual indica la altura máxima de succión y el segundo valor es la cabeza neta de succión positiva requerida (NPSHr) dada por el fabricante de la bomba, este valor deberá ser menor que el NPSHd para impedir la cavitación.⁴³

Determinación de la cavitación en el sistema:

$$C = NPSHd - NPSHr \text{ (Ecuación 20)}$$

Si C>0: No se genera cavitación

Si C<0: Se genera cavitación

El proceso para determinar el NPSHd se encuentra sujeto preliminarmente por la corrección de la presión barométrica y la corrección de la presión de vapor mostrado de la siguiente manera:

Corrección de la presión barométrica:

$$\frac{Pa}{\gamma} = 10,33 - \frac{1,2 * Hsnm}{1000} \text{ (Ecuación 21)}$$

Corrección de la presión de vapor:

$$\frac{Pv}{\gamma} = \left((6 \times 10^{-7} * T^4) + (1 \times 10^{-5} * T^3) + (1,6 \times 10^{-3} * T^2) + (4,34 \times 10^{-2} * T) + (0,6102) \right) * \left(\frac{1000}{\frac{\rho}{g}} \right) \text{ (Ecuación 22)}$$

Dónde:

Pa/γ: Presión barométrica corregida en el sitio (m)

Hsnm: Altura sobre el nivel del mar de la bomba (m)

Pv/γ: Presión de vapor a la temperatura indicada (m)

T: Temperatura media del agua en el sitio de bombeo (°C)

ρ: Densidad del agua a la temperatura indicada (Kg/m³)

g: Valor de la aceleración de la gravedad (m/s²)

Determinación del NPSHd:

$$NPSHd = \left(\frac{Pa}{\gamma} \right) + \left(\frac{Pv}{\gamma} \right) - Hd,s - M - N \text{ (Ecuación 23)}$$

Dónde:

NPSHd: Cabeza neta de succión positiva disponible (m)

⁴³ FRAENKEL y THAKE, Op. cit., p. 42

Pa/ γ : Presión barométrica corregida en el sitio (m)
Pv/ γ : Presión de vapor a la temperatura indicada (m)
Hd,s: Altura dinámica de la succión (m)
M: Corrección por posibles depresiones barométricas (m)
N: Corrección por vacío imperfecto de las bombas (m)

Potencia del motor de la bomba: La eficiencia de una bomba está establecida en base al caudal contra una altura dada y con un rendimiento determinado, lo cual permite conocer la potencia requerida para la bomba del sistema. La manera para seleccionar una bomba adecuada se hace de la siguiente manera⁴⁴:

$$P = \left(\frac{g * Qi * Hd}{\frac{\eta}{100} * 75} \right) \text{ (Ecuación 24)}$$

Dónde:

P: Potencia del motor (HP)
g: Aceleración de la gravedad (m/s²)
Qi: Caudal en la impulsión (l/s)
Hd: Altura dinámica total (m)
 η : Eficiencia de la bomba (%). El fabricante proporciona el valor de la eficiencia de la bomba.⁴⁵

Calidad del agua para irrigación: La calidad del agua para riego es un aspecto de gran importancia, debido a que se debe asegurar que este no contenga contaminantes que afecten el desarrollo de las plantas, ni ocasionen la obstrucción de los emisores del sistema de riego.

En el caso de la calidad de las aguas residuales procedentes de los núcleos urbanos para ser usadas en sistemas de riego, depende de la calidad del agua suministrada y del tipo de residuos añadidos durante su uso. En general, el agua residual está compuesta por un 99,9% de agua y 0,1% de residuos de tipo orgánico, inorgánico y biológico, los cuales serán reducidos por un proceso de depuración.⁴⁶ Estos procesos de tratamiento deben reducir el contenido de sólidos totales que están tanto en suspensión como disueltos o en flotación para prevenir la obturación de los emisores de riego y bombas de impulsión.

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha dado ciertas consideraciones para tomar en cuenta en la evaluación de la calidad del agua para uso de riego, (tabla 9).

⁴⁴ Ibid., p. 44

⁴⁵ IBAÑEZ, Op.cit., p. 63

⁴⁶ RODRIGUEZ, Antonio., ALBARCES, Ricardo. Manual de riego de jardines. Junta de Andalucía. 2000. p.18

Tabla 9. Consideraciones para la calidad del agua en sistemas de riego para jardines (EPA)

TIPO DE REUTILIZACIÓN	TRATAMIENTO	CALIDAD	DISTANCIA DE SEGURIDAD
Uso de recreo si el contacto con el A.R. depurada es accidental	Secundario Filtración Desinfección	PH= 6-9 <10 mg/l DBO <2 NTU 0 C.F./100 ml 1 mg/l ClO ₂	150 m a fuentes o pozos de agua potable
Uso estético si el contacto con el público no está permitido	Secundario Desinfección	<30 mg/l DBO <30 mg/l SS 200 C.F./100 ml 1 mg/l ClO ₂	150 m a fuentes o pozos de agua potable

FUENTE: EPA, (2000)

Rangos de concentración típicos del agua residual doméstica: Para realizar un adecuado análisis sobre la calidad del agua se debe evaluar ciertos parámetros que permitan conocer las características de las aguas para así poder establecer los tratamientos adecuados que permitan la depuración del agua. Para poder realizar ese análisis se debe comparar con valores típicos presentes en las aguas y decidir si el dato obtenido se encuentra desviado de las características comunes esperadas.

Tabla 10. Rangos de concentración típicos para aguas residuales domésticas

PARAMETRO	UNIDAD	RANGO DE CONCENTRACION		
		MINIMO	MAXIMO	MEDIO
DBO ₅	mg/L	110	400	210
DQO	mg/L	250	1000	500
Sólidos Totales	mg/L	350	1200	720
Sólidos disueltos	mg/L	500	850	250
SST	mg/L	100	350	210
Sólidos sedimentables	mg/L	10	20	5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	100	350	210
NTK	mg/L	20	85	35
Fósforo total	mg/L	4	15	7
Grasas y aceites	mg/L	50	150	90
Coliformes totales	NMP/100 ml	10 ⁶	10 ⁹	10 ⁷
Coliformes fecales	NMP/100 ml	10 ³	10 ⁷	10 ⁶
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	50	200	100

FUENTE: Romero, 1997.

3.4.3. Lodos Activados

Es un proceso biológico que transforma el sustrato orgánico soluble e insoluble del agua residual, en forma coloidal o suspendida y en sólidos biológicos floculantes, por medio de una masa de microorganismos (bacterias, hongos, protozoos y metazoos pequeños), los cuales adsorben y sintetizan para ser llevado a un estado donde es posible la descomposición biológica,⁴⁷ siendo necesario la adición de aire y recirculación de lodo biológico para mantener la masa activa en el reactor aireado.

La comunidad microbiológica de los lodos activados dependen de condiciones tales como la naturaleza del suministro alimenticio, concentración del alimento, turbulencia, temperatura, tiempo de aireación y concentración de lodos, así como del tipo de proceso con el que haya sido diseñada la planta.

Proceso de aireación extendida: Zona Franca Santander cuenta con una planta de tratamiento de lodos activados de aireación extendida el cual opera en condiciones de inanición donde el alimento es mínimo y cesa el crecimiento, obligando a los microorganismos a metabolizar su propio protoplasma y disminuir la concentración de alimento llevando a que permanezca estable la relación entre la masa de microorganismos y la concentración de alimento.

La aireación extendida conlleva a obtener lodos bastantes estabilizados, los cuales son materia orgánica celular transformada en dióxido de carbono y agua a través de la respiración. Esto corresponde a una estabilización aeróbica de la biomasa en el tanque de aireación. Mientras que en el sistema convencional de lodos activados la estabilización de los lodos se hace por separado y en la aireación extendida la digestión de lodos se realiza conjuntamente en el reactor bajo condiciones aeróbicas, por lo que requiere la adición de prolongados procesos de aireación en el tanque del licor mixto. La frecuencia de aireación es el éxito del proceso de lodos activados, el entorno óptimo está dado en condiciones aeróbicas, y se debe lograr mantener una concentración de 2 mg/L de OD en el licor mixto

⁴⁷ RAMALHO, R. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté, S.A. España, 2003. p.253

para asegurar el buen rendimiento del tanque de sedimentación, ya que si hay pérdidas de sólidos en el efluente se genera una descompensación en la biomasa del sistema.⁴⁸

Variables a evaluar en el proceso de lodos activados: En una planta de tratamiento de lodos activados, existe una estructura de tamaño fijo, por consiguiente se tiene un tiempo de retención hidráulico fijo para un caudal determinado; lo que significa que el crecimiento microbiológico se encuentra limitado, por ello se evalúan distintas relaciones, permitiendo tener un conocimiento del comportamiento de la planta, observando la relación alimento/biomasa, A/M, la carga orgánica, COV, la edad de los lodos, θ_c y el tiempo de retención hidráulico.⁴⁹

Para el tiempo de retención hidráulico o también conocido tiempo de aireación, dependen directamente del volumen y del caudal y su valor es un parámetro importante para conocer la limitación del crecimiento microbiológico en el tanque de aireación o licor mixto.

⁵⁰ Está dado por la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{V}{Q} \quad \text{(Ecuación 25)}$$

Dónde:

θ =Tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación

V = Volumen del tanque de aireación

Q := Caudal del afluente

Los valores típicos del periodo de aireación en plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas con lodos activados son:

Tabla 11. Periodo de aireación (θ) para proceso de lodos activados convencional y aireación prolongada

Proceso	Período de aireación (horas)
Convencional	4-8
Aireación extendida	18-36

FUENTE: Autor

⁴⁸ SPERLING, Marcos. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Editorial IWA, Vol. II. 2005. p. 845

⁴⁹ RAMALHO, Op. cit., p.457

⁵⁰ ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. p. 447

La carga orgánica volumétrica se emplea para conocer la concentración de DBO en un día dentro del tanque de aireación, bajo las condiciones de diseño. Se expresa de la siguiente manera:

$$COV = \frac{Q \cdot S_0}{V} \quad \text{(Ecuación 26)}$$

Dónde:

COV: Carga orgánica volumétrica

V: Volumen del tanque de aireación

Q:= Caudal del afluente

So= Concentración de DBO del afluente

Los valores típicos de carga volumétrica para aguas residuales domesticas tratadas con lodos activados se muestran a continuación.

Tabla 12. Carga volumétrica para proceso de lodos activados convencional y aireación extendida

Proceso	Carga volumétrica (gDBO/m ³ .d)
Convencional	300 – 600
Aireación extendida	100 - 400

FUENTE: Autor

La relación alimento/microorganismo (A/M) es la cantidad de microorganismos por kg de alimento (DBO) y permite conocer la cantidad adecuada de alimento para los microorganismos, ya que el exceso o la escases del mismo ocasionan problemas en la sedimentación y en la clarificación del agua a tratar.⁵¹ Se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X} \quad \text{(Ecuación 27)}$$

Dónde:

A/M: Relación alimento/microorganismos, g DBO por día por gramo de SSVLM, d⁻¹

Q: Caudal de aguas residuales crudas, m³/d

So: DBO del agua residual cruda, mg/L

V: Volumen del líquido en el tanque de aireación, m³

X: SSVLM, concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación, mg/L

Siendo los rangos típicos de A/M para procesos de lodos activados los siguientes⁵²:

⁵¹ TORRESCANO, José. Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. En: Aquaforum. [en línea]. Vol. 13, No. 52. (2009). [consultado 15 dic. 2013]. Disponible en <http://seia.guanajuato.gob.mx/document/AquaForum/AF52/AF5204_ParametrosOperacion.pdf>

⁵² SPERLING y LEMOS, Op. cit., p. 843

Tabla 13. Rangos típicos de A/M para proceso de lodos activados convencional y aireación extendida

Relación A/M en el licor mixto para proceso convencional de lodos activados	
Mínimo: 0,25 kg DBO/kg SSVLM	Máximo: 0,5 kg DBO/kg SSVLM
Relación A/M en el licor mixto para proceso de aireación extendida con lodos activados	
Mínimo: 0,07 kg DBO/kg SSVLM	Máximo: 0,15 kg DBO/kg SSVLM

FUENTE: Autor

El tiempo medio de retención celular o edad del lodo es el parámetro que permite conocer el tiempo promedio en que los microorganismos permanecen en el proceso de tratamiento⁵³ y se calcula con la siguiente ecuación.

$$\theta_c = \frac{V \cdot X}{Q_w \cdot X_R + Q_e \cdot X_e} \quad \text{(Ecuación 28)}$$

Dónde:

θ_c : Tiempo medio de retención celular con base en el volumen del tanque de aireación (d)

V: Volumen del tanque de aireación, m³

X: Concentración de SSV en el tanque de aireación, SSVLM, mg/L

Q_w: Caudal de lodo dispuesto, m³/d

X_R: Concentración de SSV en el lodo dispuesto, mg/L

Q_e: Caudal efluente tratado, mg/L

X_e: concentración de SSV en el efluente tratado, mg/L

Para una planta de aguas residuales domesticas con un proceso convencional de lodos activados, el rango de θ_c es de 5 a 15 días y para un proceso de aireación extendida el θ_c puede llegar hasta 40 días; es por ello que este parámetro permite determinar el tiempo celular donde mejor trabaja la planta y así mantenerlo en operación.⁵⁴

Oxígeno requerido: Para un sistema de tratamiento de lodos activados el requerimiento de aireación es un parámetro que permite evaluar la remoción eficiente de los contaminantes presentes en el agua, por lo cual la determinación de este permite conocer si el diseño del sistema es el más recomendado de acuerdo a las características presentes. Para ello se dispone de las siguientes ecuaciones las cuales se permite conocer el requerimiento de aireación, así como la potencia necesaria para el sistema.

$$DBOL = \frac{Q(S_0 - S)}{0,68} \quad \text{(Ecuación 29)}$$

⁵³ TORRESCANO, Op. cit., p. 4

⁵⁴ Ibid., p. 5

$$OR = \frac{DBOL}{0,07} + \frac{4,57*N}{0,07} \quad \text{(Ecuación 30)}$$

$$W = \frac{OR}{0,232} \quad \text{(Ecuación 31)}$$

$$P = \frac{WRT_1}{8,41E} * \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad \text{(Ecuación 32)}$$

Dónde:

Q: Caudal del sistema, m³/d

DBOL: Demanda Total de Oxígeno

S: Concentración DBO de salida del reactor

So: Concentración de DBO afluente, mg/L

OR: Oxígeno requerido (kg/d)

N: NTK en kg/día

W: Aire requerido

P: Potencia

P1: Presión absoluta de entrada

P2: Presión absoluta de salida

T: Temperatura absoluta

R: Constante de los gases de aire

E: Eficiencia fraccional del aireador

3.4.4. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales Zona Franca Santander

Zona Franca cuenta con una planta de lodos activados por aireación extendida, la cual fue diseñada con una capacidad de 60 m³/día, donde se trata exclusivamente aguas residuales domésticas.⁵⁵

El sistema posee cinco etapas las cuales son:

Pretratamiento: ubicado en la entrada de la planta de tratamiento y consiste en la retención de partículas mayores de 2,5 cm, a través de una canastilla de acero, la cual está sujeta a una polea para poder ser extraída diariamente y dar el mantenimiento correspondiente al pozo de entrada, evitando la obstrucción en las tuberías y bombas.

En esta etapa se realiza la entrega de las aguas residuales al tanque de aireación por medio de una estación de bombeo ubicada dentro del pozo de entrada; las bombas sumergibles son de 1.5 Hp con caudal de 180 m³/día de marca Ecosum⁵⁶:

⁵⁵ BOTERO, Juan. Sistema de tratamiento y Manual de Operación y Mantenimiento de Zona Franca Santander. Ingeniería Civil, Hidráulica y Ambiental. 2012. p. 4

Cámara de aireación: en esta etapa es donde se entregan las aguas residuales provenientes del pretratamiento y los lodos de recirculaciones, los cuales serán sometidas a un proceso de aireación intermitente, por medio de inyección de aire con difusores de burbuja fina que descargan el aire contra la columna de agua. El sistema de aireación mencionado está compuesto por difusores de disco de 12" en material plástico de ABS y membranas de EDPM de alta resistencia, sujetos a una tubería de alimentación de aire, proveniente de los sopladores los cuales están ubicados en una caseta lateral a la PTAR.⁵⁷

Los sopladores que suministran el aire al sistema, producen igualmente una agitación el cual forma un licor mixto homogéneo. Los 22 sopladores instalados son del tipo regenerativo, marca FPZ, modelo SCL-40 D⁵⁸:

Clarificador: El agua de la cámara de aireación pasa luego al tanque clarificador a través de un baffle de acero de 3/16" de 1.0 m x 1.0 m, en donde se conducen para que los lodos sean decantados y retornados a la cámara de aireación, por medio de un eyector neumático, para conservar aproximadamente constante el manto de lodos. Los sólidos flotantes son recogidos a través de un desnatador y retornados neumáticamente a la cámara de aireación, eliminándose de esta forma el problema de sólidos sobrenadantes en el efluente.⁵⁹

El agua clarificada es conducida hacia el clorador por una canaleta dentada en acero de 3/16" con una longitud de 0,3 m y recubierta con anticorrosivo y pintura epóxica.

Clorador: Para la desinfección final se hace cloración del efluente por medio de un dosificador de pastillas compuesta de hipoclorito de calcio (65% cloro libre). La estructura del dosificador está construida en poliéster reforzado con fibra de vidrio. La estructura cuenta con tubos de alimentación en PVC y un vertedero graduado para la medición del caudal tratado.

Lecho de secado de lodos: cuando el manto de lodos en la cámara clarificadora se eleva por encima del nivel óptimo, es necesario extraer el exceso de lodos para su

⁵⁶ Ibid., p.5

⁵⁷ Ibid., p. 6

⁵⁸ Ibid., p.7

⁵⁹ Ibid., p. 8

disposición final.⁶⁰ El lecho está formado por una capa de arena y una de grava colocadas sobre tuberías perforadas de PVC. La parte líquida del lodo se infiltra y es retornada al foso de bombeo para que sea tratada nuevamente, y los lodos deshidratados quedan depositados en la parte superior del lecho de donde son deshidratados y luego retirados y llevados al sitio de disposición final.⁶¹

3.5. MARCO LEGAL

El gobierno colombiano ha tomado medidas a causa del continuo deterioro del recurso hídrico por el uso inadecuado que se le da al mismo; instituyendo medidas de cumplimiento que contribuyen al mejoramiento en la calidad y uso del agua.

Para ello se ha instaurado por parte del Ministerio de Agricultura el decreto 1594 de 1984⁶², el cual indica en el artículo 44 los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso hídrico para uso de zonas verdes y humedales⁶³; donde se indica lo siguiente:

- Ausencia de material flotante y de espumas, provenientes de actividad humana.
- Ausencia de grasas y aceites que formen película visible.
- Ausencia de sustancias que produzcan olor.

Siendo el marco referencial para comparar las características del agua de oferta dentro del balance hídrico.

En el 2007 el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial mediante la resolución número 1127 del 22 de Junio del 2007 expide un Reglamento Técnico de Tuberías de Acueducto y Alcantarillado para controlar los aspectos de composición química de los materiales y la estandarización de los requisitos técnicos para garantizar la calidad del servicio, para el cual será tomado en cuenta dentro de la presente investigación como una directriz al momento de crear un criterio en la selección de los materiales a usar en la red de riego para Zona Franca Santander.⁶⁴ Al igual que se

⁶⁰ Ibid., p.9

⁶¹ Ibid., 15p.

⁶² COLOMBIA, Decreto 1594, Ministerio de Agricultura determina en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 1984.

⁶³ COLOMBIA, Resolución 5731, Secretaria Distrital de Ambiente adopta nuevos objetivos de calidad para los Ríos, Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital. 1984.

⁶⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 1127 (22 Junio de 2007). Por la cual se modifica la resolución No. 1166 de 2006. Bogotá D.C., 2007. p.1-7.

dispone del código colombiano de fontanería, el cual permite tener una referencia en ciertas consideraciones para el diseño hidráulico.⁶⁵

Es importante destacar que ni el reglamento técnico de tuberías para acueducto y alcantarillado ni el código de fontanería mencionan los parámetros que deben ser usados para sistemas de riego, por lo cual se hacen uso de estas mismas como una consideración dentro del diseño.

⁶⁵ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 1127 (22 Junio de 2007). Por la cual se modifica la resolución No. 1166 de 2006. Bogotá D.C., 2007. P.1-7.

4. METODOLOGIA

Para evaluar, conocer y plantear el aprovechamiento del recurso hídrico de ZFS como sistema de riego, se hizo necesario implementar tres etapas para así lograr conocer los aspectos y condiciones del proyecto. En las tres etapas se realizó un diagnóstico de los diseños en referencia al aporte hídrico construido dentro del proyecto; así como se evaluó la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de ZFS para finalmente efectuar un balance hídrico que permitió diseñar dos propuesta para un adecuado sistema de riego.

4.1. DIAGNÓSTICO SOBRE EL MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN ZONA FRANCA SANTANDER.

En esta etapa se determinó un enfoque preciso y actual del estado de Zona Franca Santander con base al uso y manejo de los recursos hídricos; por ello se hizo necesaria la recopilación de la información existente. El diagnóstico se realizó en tres fases:

FASE 1: Revisión de diseños de acuerdo con lo establecido preliminarmente y lo construido en campo.

Como primera medida se evaluó los criterios con que se realizaron los diseños de la tubería perimetral instalada con fines de riego en relación a las zonas verdes, a su vez se documentó cada zona verde proyectada según el diseño urbanístico y arquitectónico, teniendo en cuenta lo construido actualmente y el tipo de vegetación, a partir de ello se dio las sugerencias correspondientes.

FASE 2: Realizar un estudio hidrológico de la zona de estudio

Se revisaron los datos pluviométricos obtenidos por la estación más cercana a la zona de estudio y con ello se estimó una oferta hídrica anual promedio.

FASE 3: Establecimiento de la demanda de agua necesaria para las zonas verdes de Zona Franca Santander.

Se realizó un análisis de la evapotranspiración que ocasionan los jardines, corredores perimetrales y corredores contrafuego, mediante el método del coeficiente de jardín

FASE 4: Revisión de la oferta hídrica en Zona Franca Santander.

Se identificó las redes hidráulicas de agua pluvial y sus puntos de recolección en toda la zona las cuales desembocan al sistema de alcantarillado.

4.2. ARRANQUE DEL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

En esta etapa se determinó el punto óptimo de operación de la PTAR de Lodos Activados en Zona Franca Santander en las condiciones actuales de producción de agua residual de la empresa, para conseguir una calidad de agua que pueda ser empleada en riego. Esta etapa se desarrollará en tres fases:

FASE 1: Caracterización y comportamiento de caudal afluente del sistema.

Esta primera fase se realiza con el fin de determinar el probable comportamiento del sistema de lodos activados frente a la carga contaminante a tratar, el uso de balance de masa del sistema se empleará como herramienta para estimar la relación alimento-microorganismos y establecer la cantidad de inóculo a formar en el licor mixto del sistema, según la carga de entrada.

En esta primera fase se realizará un seguimiento al caudal de producción durante la primera semana de estudio, el caudal se determinará por aforo volumétrico. Para establecer las características iniciales del sustrato se realizará un monitoreo según los parámetro mostrados en la tabla 14, el muestreo se realizará de manera compuesta durante 24 horas.

Tabla 14. Parámetros de caracterización de sustrato

PARÁMETRO	MÉTODO	CÓDIGO*	TIPO DE MUESTRA
DBO	DBO ₅	SM 5210	Compuesta 24 horas
DQO	Flujo Cerrado	SM 5220	Compuesta 24 horas
Fósforo	Digestión ácida, método del ácido ascórbico.	4500-P	Compuesta 24 horas
Nitrógeno (NTK)	Método Kjeldahl	4500-N	Compuesta 24 horas
Oxígeno Disuelto	Oxímetro		
pH	pH metro		
Sólidos	Sólidos suspendidos totales	2540-D	Compuesta 24 horas
	Sólidos suspendidos totales volátiles	2540-D	
	Sólidos totales	2540-B	

PARÁMETRO	MÉTODO	CÓDIGO*	TIPO DE MUESTRA
	Sólidos totales volátiles	2540-B	
	Sólidos sedimentables	2540-D	
Temperatura	Multiparámetro		
Alcalinidad	Método de Titulación	2320B	Compuesta 24 horas
Grasas y aceites	Grasas y aceites	SM 5520-B	
Caudal	Volumétrico		Puntual

* Código establecido por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition.

El chequeo de los parámetros de diseño se determinó empleando la metodología y ecuaciones recomendadas por Metcalf y Eddy (1996), la cual mediante el empleo de coeficientes cinéticos típicos en la operación de un reactor a diferentes tiempos de retención celular, se establecerá las condiciones y los parámetros requeridos para la operación del sistema (Romero J, 1999, Metcalf & Eddy, Inc, 1996).

FASE 2: Establecimiento de condiciones de arranque del reactor de lodos activados.

Inóculo: Para el arranque de la planta no se tendrá inóculo, este se desarrollará durante el arranque del sistema hasta tener una masa de microorganismos según la relación recomendada en la literatura, calculada en la fase anterior. El licor mixto se evaluará según los parámetros mostrados en la tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de caracterización del inóculo.

PARÁMETRO	MÉTODO	CÓDIGO*
Prueba de Lodos	Sólidos totales	2710 B
	Sólidos totales volátiles	2710 D

* Código establecido por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition.

Sustrato: La Caracterización del afluente y efluente se realizará siguiendo el método y la frecuencia mostrada en la tabla 16.

Tabla 16. Parámetros de caracterización de sustrato

PARÁMETRO	MÉTODO	CÓDIGO*	FRECUENCIA
DBO	DBO ₅	5210 B	Dos veces por semana
DQO	Flujo Cerrado	5220	Dos veces por semana
Oxígeno Disuelto	Oxímetro		Diaria
pH	pH metro		Diaria
Sólidos	Sólidos totales	2540 B	Tres veces semana
	Sólidos totales volátiles	2540 E	
	Sólidos sedimentables	2540 F	
Temperatura	Multiparámetro		Diaria

PARÁMETRO	MÉTODO	CÓDIGO*	FRECUENCIA
Caudal	Volumétrico		Diario
Material flotante	Visual		Diario

* Código establecido por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition.

Lodo de recirculación: para realizar los balances de masa se realizará seguimiento al lodo de recirculación teniendo en cuenta los parámetros mostrados en la tabla 15.

Toma de muestras afluente y efluente: La toma de las muestras tanto del afluente como efluente se realizará teniendo en cuenta la frecuencia de la tabla 16 la muestra de efluente se tomará en un periodo de tiempo posterior a la toma del afluente equivalente al tiempo retención hidráulico.

FASE 3: Establecimiento de condiciones de operación del reactor de lodos activados y evaluación de la necesidad de implementar obras complementarias para el mejoramiento de la calidad del agua tratada.

Otro componente fundamental en la evaluación del sistema de zona franca, es identificar un punto de operación de los aireadores y de esta manera mejorar las características de sedimentabilidad del floc biológico. Ésta fase se realizará variando los tiempo de aireación del sistema. La evaluación de esta fase se llevará a cabo siguiendo la metodología de la fase 2 buscando mejorar la calidad de agua tratada por la PTAR para el sistema de riego.

Una vez obtenido los resultados del inicio de operación del sistema se compararan con los parámetros mínimos que debe cumplir el agua para ser usada en riego. Determinados según la bibliografía

4.3. DISEÑO SISTEMA DE RIEGO.

Por último en función de la información obtenida y la calidad de agua obtenida por la PTAR de Zona Franca Santander se determinó los parámetros para el sistema de riego con aguas residuales, para el cual se realizó el diseño de la infraestructura civil el cual permitió satisfacer la mayor cobertura de las zonas verdes del proyecto.

Se propuso las estructuras hidráulicas necesarias para la captación, almacenamiento y distribución. Se realizó dos alternativas que contemplan dos diferentes fuentes hídrica, determinadas para garantizar un sistema de riego integral con una mayor cobertura.

5. ANALISIS Y RESULTADOS

5.1. IDENTIFICACIÓN ACTUAL DEL USO Y APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO.

Para la caracterización de las zonas verdes de Zona Franca Santander se revisó el reglamento interno de urbanismo y construcción el cual indica que para los lotes usados como patios de almacenamiento, cumplirán con los aislamientos señalados dentro del plano urbanístico, adicionalmente deben dejar 1 m de aislamiento posterior en todos los casos y cuando se construya una edificación se deberá dejar tres metros (3 m) tomados desde el lindero del lote; la única excepción se dará en la manzana J e I y aquellos lotes con áreas menores a 1000 m².

El plano urbanístico del parque empresarial (Ilustración 2) muestra en color verde las zonas destinadas para jardinería, corredores perimetrales e identificación de las zonas verdes. Simultáneamente se realizó un inventario forestal del parque empresarial y se documentó (tabla 17)

Ilustración 2. Plano urbanístico de Zona Franca Santander



FUENTE: Zona Franca Santander, 2013. (ANEXO 1)

Tabla 17. Áreas de zonas verdes y tipo de vegetación de ZFS

ZONA	AREA DE LA ZONA (m ²)	AREA ZONA VERDE (m ²)	Tipo de vegetación
PEATONAL PRINCIPAL	3046,9571	578,6325	Arboleda
SEPARADOR CENTRAL DE ENTRADA	965,43	273,8253	Prado *
BAIACHALÁ	13126,981	2378,3532	Arboleda *
Manzana C	3829,30	765,8592	Prado *
Manzana D	2266,48	453,296	Prado *
Manzana E	3896,83	779,366	Prado **
Servicios	1805,44	361,088	Arboleda*
Manzana F	3386,51	677,302	Prado ***
Manzana G	3240,76	648,152	Prado ***
Manzana H	1201,14	240,228	Prado ***
Manzana I	1944,25	388,85	Prado ***
Manzana J	1428,92	285,784	Prado ***
Corredor perimetral de seguridad	22445,80	22445,8029	Arboleda **
AREA TOTAL ZFS (m²)	249397,81		
AREA TOTAL Zonas verdes (m²)	30276,5391		

FUENTE: Autor

Arbóreo: Árboles de mediano y gran tamaño

Herbáceo *: Prado San Agustín y árboles ornamentales de tamaño grande.

Arbustivo: Prado San Agustín, arbustos, árboles de mediano tamaño y maní forrajero.

Herbáceo **: Prado estrella, maní forrajero y grama dulce

Herbáceo ***: Prado estrella, San Agustín y maní forrajero

Arbóreo *: árboles de tamaño grande, mediano, arbustos y grama dulce

5.1.1. Caracterización del suelo

Se encontró el estudio correspondiente a la caracterización físico químico del suelo, donde se tomaron 15 muestras a 1.5 metros de profundidad, las cuales fueron homogenizadas y utilizando el método del cuarteo, se procedió a coleccionar la muestra a analizar. Las pruebas arrojaron encontrar un suelo levemente contaminado con pesticidas organoclorados y organofosforados; el pH tiene condición variada que va desde ácido hasta alcalino en la mayor parte del suelo del proyecto.

En lo referente a los porcentajes de materia orgánica (carbono orgánico) y nitrógeno total en el suelo, en todos los puntos es evidente un nivel muy bajo de ambos parámetros, ya que para climas cálidos, como el que presenta la zona donde se encuentra ubicado el Proyecto Zona Franca Santander, valores inferiores al 2% en el caso de la materia orgánica y al 0.1% en el caso del nitrógeno, se consideran indicadores de bajos niveles en el suelo analizado y el fósforo disponible se encuentra en un rango medio.

Por otra parte, en todos los puntos las concentraciones de nitrógeno Amoniacal, se encontró por debajo del límite de detección (0.1 mg/Kg), e igual sucede con las de Nitratos.

Al igual se indica una alta capacidad de cambio catiónico y baja capacidad de intercambio catiónico, a causa del poco contenido de arcillas, ya que es un suelo de clase textural arcillo-arenosa.

En cuanto a los resultados obtenidos en el análisis de metales, las concentraciones fueron muy bajas para el uso residencial e industrial, tal como lo indica la Legislación Canadiense para Calidad de Suelos (Canadian Soil Quality Guidelines for Protection of Environmental and Human Health).

5.1.2. Revisión de la tubería perimetral instalada para riego.

Se recopiló la información de la línea de riego perimetral existente, de lo cual se verificó que no existe algún soporte técnico y en la evaluación en campo se encontró que las tuberías PVC de diámetro 2", 1" y ½" presentan discontinuidad en la red y en la mayor parte de los tramos se encuentran fracturados.; por lo que se sugiere realizar la remoción de la tubería perimetral y la adecuación del diseño de sistema de riego propuesto en el presente proyecto.

La información recaudada permitió identificar y conocer la situación actual en la que se encuentra el proyecto, por lo que se entiende que existen aproximadamente 3 hectáreas de áreas verdes sembradas en un suelo característico de la zona y apto para el desarrollo de las especies identificadas dentro del inventario forestal; sin embargo ZFS no cuenta con un sistema de riego, ni con ninguna infraestructura apta que permita el mismo.

5.1.3. Estudio Hidrológico

Zona Franca Santander no posee una estación meteorológica, por lo que se realizó la investigación de las estaciones cercanas al proyecto, que aportaron los datos de precipitación de la zona. Las estaciones encontradas se muestran en la tabla 18:

Tabla 18. Estación La Esperanza

INFORMACION GENERAL	
ESTACION	La Esperanza
Tipo	Climatologica Ordinaria
Fuente	Río Frio
Fecha Instalación	Septiembre de 1979
COORDENADA (mts)	
Norte	1.273.581,60
Este	1.111.228,36
Elevación	1.000,00

FUENTE: Autor

Tabla 19. Estación Club Campestre

INFORMACION GENERAL	
ESTACION	Club Campestre
Tipo	Pluviometrica y Pluviografica
Fuente	Río Frío
Fecha Instalación	Enero de 1982
COORDENADA (mts)	
Norte	1.273.072
Este	1.106.399
Elevación	940

FUENTE: Autor

Tabla 20. Estación PTAR

INFORMACION GENERAL	
ESTACION	PTAR
Tipo	Climatologica Ordinaria
Fuente	Río Frío
Fecha Instalación	Agosto de 1985

INFORMACION GENERAL	
COORDENADA (mts)	
Norte	1.272.989
Este	1.102.856
Elevación	785

FUENTE: Autor

Ilustración 3. Ubicación de estaciones climatológicas y pluviométricas cercanas a ZFS



FUENTE: Google Earth, 2013.

Con base a las características y ubicación de cada estación se determinó usar los datos de la estación de la PTAR por la proximidad al proyecto ZFS y cuenta con información de 8 años. Con los datos de precipitación de la estación PTAR se determinó la precipitación promedio durante los correspondientes años y se contempla en la tabla.

Tabla 21. Precipitación promedio Estación PTAR

MES \ AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2011	2012	PROMEDIO MENSUAL
Enero		50,4	45,4	73,4	201,5	55,5	39,5	277	106,1
Febrero	86,1	169,6	120,6	300,2	66,5	141,5	101,5	270	157,0
Marzo	57,2	125	172	41,2	150,5	237,5	324,5	196	163,0
Abril	81,8	1179,8	14	141,6	11	209,5	435	SD	296,1
Mayo	211,6	66,4	86,4	115	163	242,5	365	SD	178,6
Junio	79,8	89,8	36,6	57,8	71	174	333	SD	120,3
Julio	94,8	139,6	104,8	22,6	146,5	159,5	191	SD	122,7
Agosto	61	94	69,8	55,4	166,5	185	256,5	SD	126,9
Septiembre	49,6	189,2	81,8	102,6	194	212,5	205	SD	147,8
Octubre	57,8	179,2	106,6	SD	294	212	727	SD	225,2
Noviembre	101,8	147,6	159,6	SD	133	SD	86,5	SD	104,8
Diciembre	17,4	50	76,8	77,5	14	SD	1	SD	39,5

SD: Sin dato

FUENTE: Autor

Partiendo del área proyectada en bodegas y un área de construcción superficial de 21,9 ha, las precipitaciones promedios mensuales, y asumiendo un coeficiente de escorrentía de 0,9, se definió el volumen para el tanque de abastecimiento con aguas lluvias; para así evaluar la factibilidad de hacer uso de las aguas lluvias como oferta hídrica.

Tabla 22. Volumen promedio mensual por precipitación

Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen promedio mensual (m³)
Enero	106,1	20923,89
Febrero	157	30961,84
Marzo	162,9	32125,37
Abril	296,1	58393,63
Mayo	178,6	35221,55

Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen promedio mensual (m ³)
Junio	120,29	23722,29
Julio	122,7	24197,56
Agosto	126,89	25023,87
Septiembre	147,81	29149,48
Octubre	225,23	44417,42
Noviembre	104,75	20657,66
Diciembre	39,45	7779,90

FUENTE: Autor

5.1.4. Demanda Hídrica

Para evaluar la demanda hídrica de Zona Franca Santander se hizo uso del método de factor de jardín, debido a que el área de estudio está compuesta por zonas verdes de policultivos; por lo que fue necesario la identificación de la ETo más cercana al proyecto y con la ayuda de un inventario forestal se logró el conocimiento de todas las especies a las que se les brindara el sistema de riego, para así poder conocer los factores de correlación que permiten adecuar la evapotranspiración de referencia a la ETc de Zona Franca Santander.

Evapotranspiración de referencia (ETo): Zona Franca Santander no cuenta con una estación meteorológica que permita conocer la evapotranspiración del área, por lo que se procedió a la indagación de las diferentes investigaciones hechas para el conocimiento de la ETo en el departamento de Santander y se encontró un estudio realizado por Cenicafe donde presentan valores de evapotranspiración para algunas estaciones de la región andina-cafetera de Colombia correspondiente al año 2006. En base a lo antes mencionado se extrajo los valores correspondientes a las zonas cercanas del área de estudio del presente proyecto.

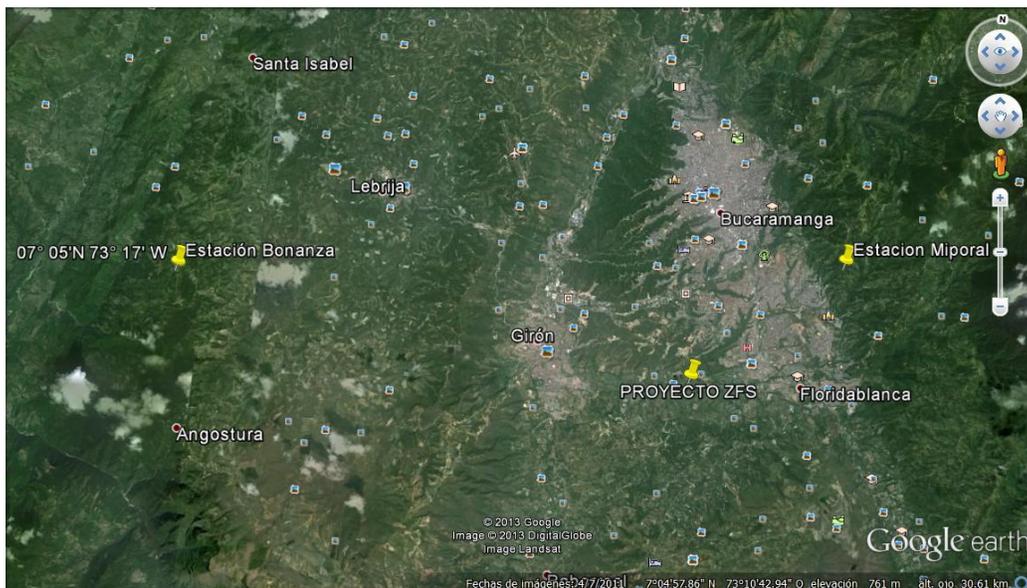
Tabla 23.Tabla. Evapotranspiración de referencia de Bucaramanga-Santander.

Estación	Municipio	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m)	Eto día (mm)	Eto año (mm)	Evapotranspiración Tanque A (mm.día ⁻¹)
Miporal	Floridablanca	07 06	73 05	1.237	3,41	1.245	3,65
Bonanza	Girón	07 05	73 17	1.250	3,4	1.242	3,64

FUENTE: CENICAFE, 2006.

La estación Miporal ubicada en el municipio de Floridablanca se encuentra a 6,45 km del proyecto y la estación Bonanza situada en el municipio de Girón se encuentra a 17,3 km de ZFS, por lo que se asumirá el resultado de la Eto de 3,41, correspondiente a la estación Miporal por ser la más cercana al área de Zona Franca Santander.

Tabla 24. Ubicación de estudios de ETo en Bucaramanga-Santander.



FUENTE: Google Earth, 2013.

Evapotranspiración de cultivo (Etc):

Coeficiente de cultivo Kc

La determinación del coeficiente de cultivo se realizó mediante un inventario forestal de la ZFS, para lo cual se encontraron los coeficientes de cultivo de cada especie plantada en el corredor de seguridad y las zonas verdes en las que se divide el proyecto, con lo cual se halló el kc con el promedio ponderado.

Se tomó en cuenta los coeficientes de cultivos representativos de las plantas identificadas, donde los ejemplares más exigentes y numerosos fueron los incluidos para el cálculo del kc.

Fuente: Modificado de Pedro Angeles, (2000), Dedios Montero, 2010, Romero (1996) y Viera (2001).

(*) Valores de coeficiente de campo tomados para el promedio del kc para el corredor de seguridad

(**)Valores de coeficiente de campo tomados para el promedio del kc para las zonas verdes del proyecto.

Tabla 25. Inventario forestal.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	CANT. / ESPECIE	PRECIPITACIÓN MM/ANUAL	COEFICIENTE DE CULTIVO KC
Acacia	<i>Robinia sp.</i>	22	900	0,4 (*)
Acacio Magnum	<i>Acassia mangium</i>	3	2150	0,35
Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i>	9	550	0,6 (*)
Almendro	<i>Terminalia Catappa L.</i>	4	2100	0,65 (*)
Búcaro	<i>Erythrina sp</i>	18	1200	0,5 (*)
Carbonero	<i>Calliandra sp.</i>	29	500	0,3 (*)
Escobillón rojo – Churrusco	<i>Callistemon lanceolatus</i>	17	700	0,35 (*)
Gualanday	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	68	850	0,3 (*)
Guayacán	<i>Tabebuia sp</i>	100	1800	0,25 (*)
Jazmín del embarcadero	<i>Posoqueria longiflora</i>	19	700	0,35 (*)
Matarratón	<i>Gliricidia Sepium</i>	34	1600	0,3 (*)
Patevaca	<i>Bauhinia purpurea L.</i>	2	2050	0,45
Pomarroso Brasilero	<i>Eugenia malaccensis</i>	2	1500	0,5 (*)
Samán Campano	<i>Pithecellobium saman</i>	14	1000	0,5 (*)
Tulipán Africano	<i>Spathodea campanulata P. Beauv.</i>	32	1300	0,35 (*)
Mango	<i>Mangifera indica</i>	40	1300	0,4 (*)
				Kc: 0,34
Pasto San Agustín	<i>Stenotaphrum secundatum</i>		750	0,9 (**)
Maní Forrajero	<i>Arachis pintoii</i>		2250	0,6 (**)
Gramma dulce	<i>Paspalum vaginatum</i>		1000	0,55 (**)
Pasto estrella	<i>Cynodon plectostachyus</i>		1200	0,65 (**)
				Kc: 0,68

FUENTE: Autor

Coefficiente de densidad k_d . Para la obtención de este factor se requirió conocer las áreas totales dispuestas para el riego; así como la identificación de dichas áreas en arbóreo, arbustivos y herbáceo. Con ello se logró conocer el porcentaje de área

sombreada con respecto al área de zona verde a través de la ecuación 4 y la identificación de cada resultado con la tabla 1 y 2, para así conocer el coeficiente de densidad para ZFS.

Los resultados obtenidos para el proyecto de la ZFS se registraron en la tabla 26.

Tabla 26. Porcentaje de zonas verdes, tipo de vegetación y suelo sombreado de ZFS.

ZONA	AREA LOTE (m ²)	AREA ZONA VERDE (m ²)	Tipo de vegetación	% de suelo sombreado	K _d
PEATONAL PRINCIPAL	3046,9571	578,6325	Arboleda	46%	0,8
SEPARADOR CENTRAL DE ENTRADA	965,43	273,8253	Prado *	0%	0,5
BAIACHALÁ	13126,981	2378,3532	Arboleda *	5%	0,5
Manzana C	3829,30	765,8592	Prado *	0%	0,5
Manzana D	2266,48	453,296	Prado *	0%	0,5
Manzana E	3896,83	779,366	Prado **	0%	0,5
Servicios	1805,44	361,088	Arboleda*	31%	0,8
Manzana F	3386,51	677,302	Prado ***	0%	0,5
Manzana G	3240,76	648,152	Prado ***	0%	0,5
Manzana H	1201,14	240,228	Prado ***	0%	0,5
Manzana I	1944,25	388,85	Prado ***	0%	0,5
Manzana J	1428,92	285,784	Prado ***	0%	0,5
Corredor perimetral de seguridad	22445,80	22445,8029	Arboleda **	68%	1,00

FUENTE: Autor

Arbóreo: Árboles de mediano y gran tamaño

Herbáceo *: Prado San Agustín y árboles ornamentales de tamaño grande.

Arbustivo: Prado San Agustín, arbustos, árboles de mediano tamaño y maní forrajero.

Herbáceo **: Prado estrella, maní forrajero y grama dulce

Herbáceo ***: Prado estrella, San Agustín y maní forrajero

Arbóreo *: árboles de tamaño grande, mediano, arbustos y grama dulce

Coefficiente de microclima km: El km se determinó con la ayuda de la identificación del microclima predominante en ZFS, puesto que la zona cuenta con zonas verdes abiertas, sin vientos mayores a lo habitual, ni fuentes externas de calor representativas, lo que permitió identificar de acuerdo a la tabla 3, que el coeficiente de microclima es de 1.

Evapotranspiración de cultivo ETc: Teniendo los coeficientes y la evapotranspiración de referencia se calculó a través de la ecuación 1 la ETc para Zona Franca Santander.

Tabla 27. Evapotranspiración de cultivo ETc para ZFS.

EVAPOTRANSPIRACION DE CULTIVO (ETc)					
LOTE	Eto-día (mm)	Kc	Km	Kd	ETc (m ³ /ha/mes)
PEATONAL PRINCIPAL	3,40	0,34	1,00	0,8	277,44
SEPARADOR CENTRAL DE ENTRADA	3,40	0,34	1,00	0,5	173,4
BAIACHALÁ	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana C	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana D	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana E	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Servicios	3,40	0,68	1,00	0,8	554,88
Manzana F	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana G	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana H	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana I	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Manzana J	3,40	0,68	1,00	0,5	346,8
Corredor perimetral de seguridad	3,40	0,34	1,00	1,00	346,8

Precipitación efectiva: En base al análisis pluviométrico realizado en la zona con los datos suministrados de la estación meteorológica de la PTAR de Río Frio, se logró conocer la precipitación media por medio de la ecuación 5 y 6 en un periodo de 10 años, con la cual se calculó la precipitación efectiva para el área de ZFS.

La precipitación efectiva para cada año se muestra en la siguiente tabla 28.

Tabla 28 precipitación efectiva.

Mes	P (mm)	Pef (mm)	Pef (m ³ /ha)
Enero	55,5	23,3	233
Febrero	131,05	79,84	798,4
Marzo	161,25	104	1040
Abril	141,6	88,28	882,8
Mayo	163	105,4	1054
Junio	79,8	38,84	388,4
Julio	139,6	86,68	866,8

Mes	P (mm)	Pef (mm)	Pef (m ³ /ha)
Agosto	94	50,2	502
Septiembre	189,2	126,36	1263,6
Octubre	179,2	118,36	1183,6
Noviembre	117,4	68,92	689,2
Diciembre	33,7	1,96	19,6

Demanda hídrica neta: Con los valores de la ETc para cada mes y la precipitación efectiva mensual, se calculó con la ecuación 7 la demanda hídrica neta para cada área del proyecto, documentados a continuación.

Tabla 29. Demanda Hidrica Neta.

LOTE	DHN-Enero (m3/ha)	DHN-Febrero (m3/ha)	DHN-Marzo (m3/ha)	DHN-Abril (m3/ha)	DHN-Mayo (m3/ha)	DHN-Junio (m3/ha)	DHN-Julio (m3/ha)	DHN-Agosto (m3/ha)	DHN-Sept. (m3/ha)	DHN-October (m3/ha)	DHN-Nov. (m3/ha)	DHN-Dic. (m3/ha)
<i>P. P.</i>	101,56	-463,84	-1995,6	-1650,4	-2027,1	-675,6	-532,24	-1472,1	-929,04	-849,04	-354,64	314,96
<i>S. C. E.</i>	-23,9	-589,3	-2121	-1775,9	-2152,6	-801,06	-657,7	-1597,5	-1054,5	-974,5	-480,1	189,5
<i>Baíchala</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana C</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana D</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana E</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Servicios</i>	321,88	-243,52	-1775,3	-1430,1	-1806,8	-455,28	-311,92	-1251,7	-708,72	-628,72	-134,32	535,28
<i>Manzana F</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana G</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana H</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana I</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>Manzana J</i>	113,8	-451,6	-1983,3	-1638,2	-2014,9	-663,36	-520	-1459,8	-916,8	-836,8	-342,4	327,2
<i>C. P. S.</i>	185,2	-380,2	-1911,9	-1566,8	-1943,5	-591,96	-448,6	-1388,4	-845,4	-765,4	-271	398,6

FUENTE: Autor

Los valores negativos que se supe la demanda por precipitación.

Demanda Hídrica Bruta o Tasa de Riego: Dado que la demanda hídrica indicó un requerimiento de agua moderado, se diseñó un sistema de riego con aspersión con una eficiencia del 70% y calculado con la ecuación 8.

Tabla 30. Demanda Hídrica Bruta o Tasa de Riego

LOTE	TR Enero (m ³ /ha/mes)	TR FEBRERO(m ³ /ha/ mes)	TR Marzo (m ³ /ha/ mes)	TR Abril (m ³ /ha/ mes)	TR Mayo (m ³ /ha/ mes)	TR Junio (m ³ /ha/ mes)	TR Julio (m ³ /ha/mes)	TR Agosto (m ³ /ha/ mes)	TR Septiembre (m ³ /ha/ mes)	TR Octubre (m ³ /ha/ mes)	TR Noviembre (m ³ /ha/ mes)	TR Diciembre (m ³ /ha/ mes)
Peatonal Principal	71,092	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220,472
Separador Central de Entrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132,65
Baíchala	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana C	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana D	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana E	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Servicios	225,32	0	0	0	0	116,54	0	0	0	0	0	374,696
Manzana F	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana G	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana H	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana I	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Manzana J	79,66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	229,04
Corredor perimetral de seguridad	129,64	0	0	0	0	20,86	0	0	0	0	0	279,02

De manera que las necesidades de riego para las zonas verdes de Zona Franca, se calcularon considerando las condiciones más críticas durante el mes con más requerimiento de agua (Diciembre), con la mayor tasa de riego y tomando como referencia la respectiva área.

Tabla 31. Volumen de agua requerida para cada área, en cada mes y por cada día.

LOTE	AREA LOTE (m ²)	AREA ZONA VERDE (m ²)	TR Diciembre (m ³ /ha/ mes)	Volumen mensual por área
PEATONAL PRINCIPAL	3046,9571	578,6325	220,472	12,76
SEPARADOR CENTRAL DE ENTRADA	965,43	273,8253	132,65	3,63
BAIACHALÁ	13126,981	2378,3532	229,04	54,47
Manzana C	3829,30	765,8592	229,04	17,54
Manzana D	2266,48	453,296	229,04	10,38
Manzana E	3896,83	779,366	229,04	17,85
Servicios	1805,44	361,088	374,696	13,53
Manzana F	3386,51	677,302	229,04	15,51
Manzana G	3240,76	648,152	229,04	14,85
Manzana H	1201,14	240,228	229,04	5,50
Manzana I	1944,25	388,85	229,04	8,91
Manzana J	1428,92	285,784	229,04	6,55
Corredor perimetral de seguridad	22445,80	22445,8029	279,02	626,28
AREA TOTAL ZFS (m²)	249397,81		Volumen mensual total	807,76
AREA TOTAL Zonas verdes (m²)	30276,5391		Volumen diario	26,93

En base a los cálculos realizados se determinó que el volumen diario que se requiere entregar para toda ZFS es de 26,93 m³, el cual se considera el parámetro inicial para el diseño del sistema de riego en el área de estudio.

5.1.5. Oferta Hídrica

El parque empresarial Zona Franca Santander cuenta con cuatro ofertas hídricas las cuales cada una de ellas presentan diferentes características. Al igual se encontró que cada una de las ofertas hídricas se encuentra en diferentes proporciones y la disposición

de cada una de ellas varia. La identificación de cada oferta y las características presentes en el área de estudio se muestran a continuación.

Agua potable: Se realizó la revisión del diseño hidrosanitario, en el cual se encontró que la acometida domiciliar de agua potable no cumple en total cabalidad con lo establecido por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, ya que no presenta información del medidor conectado en la acometida, así como no se tiene los cálculos que respalden el presente diseño e identifiquen las presiones disponibles para cada instalación, sin embargo en la inspección en campo se comprobó que la red de distribución de agua potable designada por el acueducto metropolitano de Bucaramanga (AMB), contiene una línea principal ubicada sobre el anillo vial de tubería PVC RDE 21 de 6" la cual surte por medio de una derivación al proyecto Zona Franca Santander con una tubería de PVC RDE 21 con un diámetro de 6", lo que permite registrar que el acueducto puede surtir el caudal solicitado por el proyecto con una proyección de crecimiento en un término de veinte (20) años.

Concesión de aguas: El director general de la corporación autónoma regional para la defensa de la mesta de Bucaramanga (CDMB) el día 15 de Enero del 2013 otorgó por medio de la resolución 000086 la Concesión de Aguas de Uso Público a la sociedad Zona Franca Santander S.A. identificada con el Nit. 900.258.560-6. Esta concesión tiene como finalidad permitir la captación de aguas desde la quebrada la Estancia, Aranzoque o Mensulí, identificada con el código 121, micro cuenca Río Frio de código 4, Subcuenca Río de Oro de código 2 y cuenca Río Lebrija de código 2319 sobre las coordenadas N= 1°27'22.120 E= 1°10'4.502, para tener un destino del Riego en beneficio del predio.

De acuerdo al artículo segundo de la mencionada resolución se otorgó un caudal total para riego de zonas verdes equivalente a $0,1736 \text{ l/s} = 14999,04 \text{ l/d}$.

El caudal asignado a derivar en tubería de 1" de diámetro desde el sitio de captación autorizado hasta el reservorio a construir en la margen de la fuente, de acuerdo a la longitud de la conducción y la diferencia de nivel entre estos dos sitios, para luego bombear el caudal hasta el tanque de almacenamiento y distribución.

Aguas lluvias recolectadas por el sistema de alcantarillado: Se realizó la evaluación para determinar el caudal pluvial de la Zona Franca Santander; para lo cual se encontró que el proyecto consta actualmente con un diseño de alcantarillado pluvial construido y en

completa operación. Se procedió a recalcular los parámetros que se debieron tomar para el diseño del alcantarillado, ya que el topógrafo Oscar Gallo Díaz (Diseñador del alcantarillado) no presentó la hoja de cálculo que respalda el diseño.

Los resultados obtenidos con los parámetros de diseño ya establecidos dan como resultado que los diámetros varían entre 12" y 56", así mismo las pendientes oscilan entre 0,87% y 7% y una longitud total de tubería equivalente a 2.278,987 m. Con estos parámetros establecidos preliminarmente se procedió a encontrar el caudal acumulado equivalente a 11,6 m³/s, con una intensidad de 190 ml/h de acuerdo a la curva IDF de la estación de la PTAR de Río Frio (ANEXO 2) y con un tiempo de concentración de ocho 8 minutos (valor mínimo permitido por la norma).

La hoja de cálculo que respalda el dimensionamiento del diseño se encuentra contenida en el ANEXO 3.

Es importante destacar que al momento en que se recopiló la información existente en el diseño se comparó con lo construido en campo y se encontró que la ubicación de los sumideros no corresponden a las cotas más bajas de las vía, ocasionando el emposamiento de aguas lluvias.

Comparando con la tabla 32 y la capacidad de transporte del sistema de alcantarillado pluvial antes mencionado, se determinó que se puede recolectar y captar todo el volumen promedio aportado por las aguas lluvias. Para el mes crítico (Diciembre) equivalente a 807,76 m³, se determinó la factibilidad de hacer uso de las aguas lluvias como oferta hídrica.

Tabla 32. Volumen promedio mensual aguas lluvia

Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen promedio mensual (m ³)	Tasa de riego mensual	Diferencia (m ³)
Enero	106,1	20923,89	807,76	20116,13
Febrero	157	30961,84	807,76	30154,08
Marzo	162,9	32125,37	807,76	31317,61
Abril	296,1	58393,63	807,76	57585,87
Mayo	178,6	35221,55	807,76	34413,79
Junio	120,29	23722,29	807,76	22914,53
Julio	122,7	24197,56	807,76	23389,80
Agosto	126,89	25023,87	807,76	24216,11
Septiembre	147,81	29149,48	807,76	28341,72

Mes	Precipitación promedio (mm)	Volumen promedio mensual (m ³)	Tasa de riego mensual	Diferencia (m ³)
Octubre	225,23	44417,42	807,76	43609,66
Noviembre	104,75	20657,66	807,76	19849,90
Diciembre	39,45	7779,90	807,76	6972,14

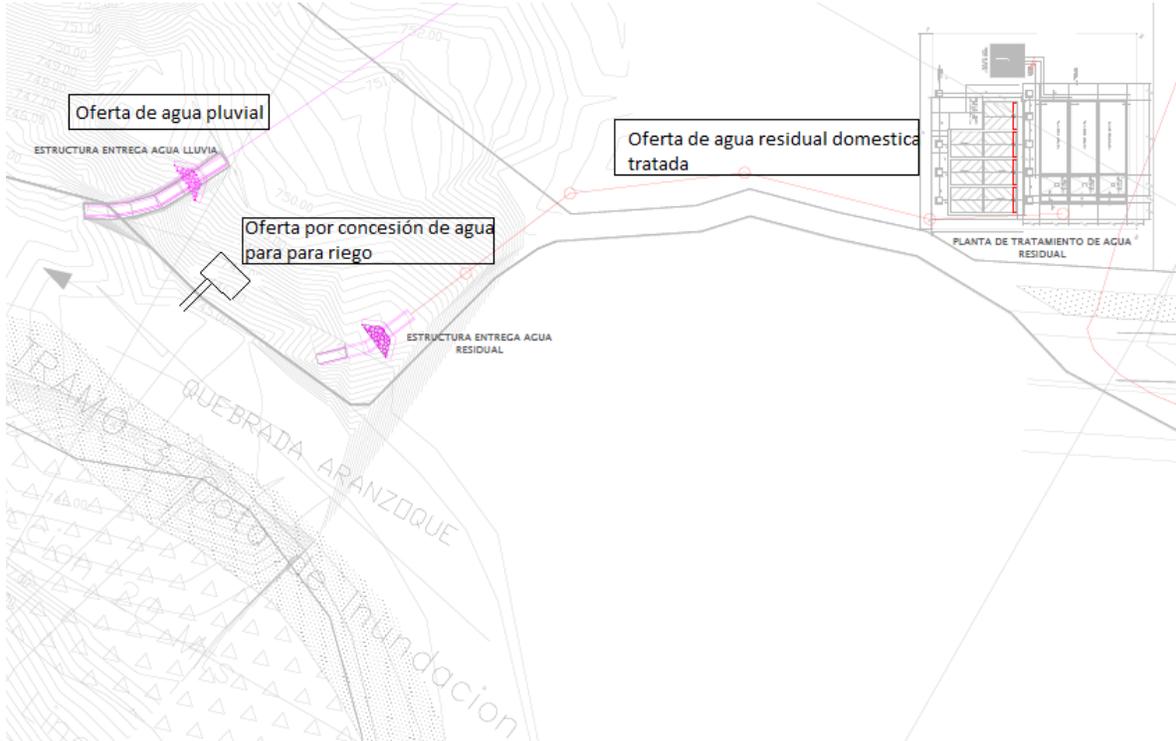
Los resultados obtenidos determinaron que el almacenamiento mensual de las aguas lluvias cubren la demanda hídrica de las zonas verdes del proyecto, sin embargo en los datos mínimos de precipitación se observó que existen días consecutivos donde no ocurre precipitación, por lo que se hace necesario realizar grandes almacenamientos, para que se permita amortiguar los periodos de sequía.

Las aguas lluvias no son una fuente confiable, debido a que en el análisis se observó que existen días consecutivos sin precipitación o con muy baja precipitación, por lo que se puede tomar como una alternativa que respalde otra oferta hídrica para el abastecimiento del sistema de riego.

Aguas residuales domesticas tratadas: La planta de tratamiento de aguas residuales de Zona Franca Santander, da un aporte como oferta hidrica debido a un caudal de efluente tratado de 32 m³/d, sin embargo para poder ser tomada como una oferta dentro del balance hidrico se realizó un seguimiento y control de la misma para verificar la calidad y la continuidad del efluente, evaluado en el siguiente capítulo.

El parque empresarial Zona Franca Santander cuenta con cuatro ofertas hidricas, de las cuales tres de ellas no tienen un uso especifico (agua residual, agua lluvia y agua de río por concesión) y la recirculación de estas para beneficio del mismo proyecto, resulta ser muy favorable para el riego de las zonas verdes. Igualmente la captación de las ofertas hidricas se puede dar el un mismo lugar.

Ilustración 4. Ubicación de las diferentes ofertas hídricas de ZFS para riego



FUENTE: Autor

Selección de la oferta hídrica mediante el balance hídrico: Mediante la ecuación 9 del balance hídrico ya antes mencionado, se logró seleccionar la oferta hídrica con más superficie de riego cubierta. Para el mencionado análisis no se tomó en cuenta la oferta hídrica de agua potable, puesto que esta no posee alguna limitación.

Tabla 33. Superficie de riego

FUENTE	OFERTA HIDRICA (m ³ /mes)	TASA DE RIEGO (m3/ha/mes)	SUPERFICIE DE RIEGO
Concesión de agua del río	449,97	807,76	0,56
Agua residual tratada	1361,48	807,76	1,69
Lluvias	7779,9	807,76	9,63

FUENTE: Autor

Con base a los resultado obtenidos en el balance hídrico se determinó la selección la concesión de agua del rio y el agua de lluvias como fuente de abastecimiento para la alternativa 1 del diseño de riego, debido a que el abastecimiento del río es diario y constante; pero no cubre en totalidad el volumen requerido, por lo que se asignó las

aguas lluvias como un respaldo compensatorio del volumen requerido y el agua residual tratada por la PTAR se asignó como la oferta hídrica de la alternativa 2, puesto que esta cubre diariamente y sin interrupciones el requerimiento de agua para el sistema de riego de las zonas verdes.

5.2. OFERTA Y CALIDAD OBTENIDA DEL AGUA RESIDUAL

5.2.1. Seguimiento y evaluación del arranque de la PTAR de Zona Franca Santander.

La planta de tratamiento de aguas residuales de ZFS inició su operación el mes de agosto del 2013, presentando el comportamiento esperado con presencia de abundante espuma, olor desagradable y arenas en el tratamiento preliminar (canastilla), particularmente el diseñador no contempló un desarenador como un aspecto de la separación de los alcantarillados, que repercutieron en daños en los elementos de la planta, para mitigar durante el proyecto se emprendió una inspección de las conexiones de las aguas lluvias y aguas residuales; así mismo se procedió en sellar las cajas domiciliarias de las antes mencionadas.

Esta medida fue realizada a causa de que el diseño de la PTAR está dado bajo condiciones ideales, de las cuales requiere que al ingresar las aguas al tratamiento sean aguas residuales domiciliarias, debido a que solo presenta la remoción de sólidos de gran tamaño con la ayuda de una canastilla; pero no cuenta con un sistema de remoción de grasas y aceites ni con un desarenador que permita prever condiciones que coloquen en riesgo la operación de la PTAR.

Se encontró en las continuas inspecciones de la planta la presencia de grasas y aceites y la persistencia de la aparición de arenas, por lo cual se procedió a la inspección del trampa grasas que se cuenta en el casino de la constructora MARVAL, ubicado en la parte alta de ZFS y se halló el inadecuado diseño, el cual carece de criterios técnicos del sistema lo que ocasionó la alta presencia de grasas y aceites en la PTAR. La trampa grasas no cumplió con lo estipulado por la CDMB, ya que no contiene tuberías de sumergencia, las cámaras no cumplen con las profundidades mínimas; al igual no contiene la tubería de ventilación que permite la succión de las aguas residuales y la tapa que permite la limpieza es de concreto, lo que impide el mantenimiento y limpieza periódica del sistema. (Ver ilustración 5)

Ilustración 5. Vista frontal de la trampa grasa del casino de MARVAL en ZFS.



FUENTE: Autor

Ilustración 6. Tapa del trampa grasa.



FUENTE: Autor

Se diseñó un trampa grasas de acuerdo al caudal domestico proveniente de 2 lavaplatos industriales y sujeto a los criterio técnicos exigidos por la CDMB.

FUENTE: Autor

Ilustración 9. Presencia de arenas con lodos en el tanque de aireación de la PTAR



FUENTE: Autor

En la última etapa de limpieza se encontró la presencia de arenas con lodo en la entrada del tanque de aireación, por lo que fue sacado de manera manual por los operarios y llevadas las arenas al lecho de secado.

Ilustración 10. Finalización de la limpieza de lechos y tanque de aireación



FUENTE: Autor

Limpieza de difusores: Como siguiente paso se realizó la identificación, desmonte y limpieza de los 22 difusores que se encuentran en el tanque de aireación; puesto que estos presentaban discontinuidades en la aireación, se procedió a verificar los siguientes aspectos:

- Estado de la membrana del difusor
- Estado de las conexiones en las tuberías de aireación
- Presencia de agua o lodos en tuberías y accesorios
- Estado en la conexión del difusor y la tubería

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

En toda la tubería de aireación se presenta agua con lodos; también se observó que las uniones entre los difusores y las tuberías no contienen teflón y muchas de ellas estaban mal instaladas, lo que ocasionó la entrada de lodos y agua entre las redes de aireación.

Seguidamente del desmonte de los difusores se procedió al lavado de los mismos

Ilustración 11. Expulsión de lodos dentro de las membranas del difusor



FUENTE: Autor

Ilustración 12. Purga de tuberías con inyección de aire



FUENTE: Autor

Ilustración 13. Purga de tuberías con inyección de aire (2)



FUENTE: Autor

La abundante presencia de lodos y agua dentro de los difusores y tuberías conllevaron al deterioro de cinco (5) difusores y la obstrucción de la tubería de aireación; por lo cual se remplazaron los cinco difusores por unos nuevos y se desinstaló toda la tubería de aireación para ser drenada y limpiada, seguidamente se instalaron todas las conexiones cuidadosamente, asegurándose que cada rosca encajara adecuadamente con teflón y no hubiera ningún tipo de fugas y el impedimento de cualquier sustancia o residuos dentro del sistema de aireación.

La adecuación de un sistema preliminar es un requerimiento para el sistema de tratamiento de la PTAR, la continua presencia de arenas puede seguir ocasionando fallas en el sistema.

5.2.2. Caracterización y comportamiento del afluente en el sistema

El estudio se inició con un monitoreo de las aguas residuales domesticas provenientes de ZFS, con una duración de 24 horas, el cual inició a las 8:00 am y finalizó a las 7:00 am del siguiente día, las 24 muestras de agua fueron tomadas desde el pozo inicial de la PTAR para generar una muestra compuesta de las 16 primeras muestras, a causa de la precipitación que se introdujo en la línea de agua residual; al igual fueron almacenadas cada una de las muestras a una temperatura de 4°C y debidamente etiquetadas tal como se muestra en las siguientes imágenes.

Ilustración 14. Toma de muestras en pozo inicial y almacenamiento de las muestras a 4°C



FUENTE: Autor

Ilustración 15. Medición de parámetros



FUENTE: Autor

El monitoreo se realizó con el objetivo de determinar las condiciones iniciales de operación de la planta, para así poder tener un registro del comportamiento de las aguas residuales generadas por Zona Franca Santander.

El estado inicial de la planta al momento de realizar el muestreo se caracterizó por la presencia de basuras que fueron capturadas por la canastilla ubicada en el pozo inicial (tratamiento preliminar), así mismo se observó abundante espuma en el tanque de aireación como indicador inicial de operación de la PTAR.

Ilustración 16. Residuos sólidos capturados por la canastilla



FUENTE: Autor

Ilustración 17 Condición inicial de la PTAR el día del muestreo



FUENTE: Autor

Los resultados obtenidos en el monitoreo fueron procedentes de mediciones para las 24 muestras de Oxígeno Disuelto, conductividad, caudal, pH y temperatura cada hora. Las

muestras fueron compuestas para ser llevadas al laboratorio de análisis físico químico de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se determinó los parámetros de grasas y aceites (muestra puntual), fosforo, nitrógeno total, coliformes y DQO (muestra compuesta).

Los datos obtenidos durante las 24 horas del muestreo in situ fueron registrados de la siguiente manera.

Tabla 34. Datos obtenidos en campo.

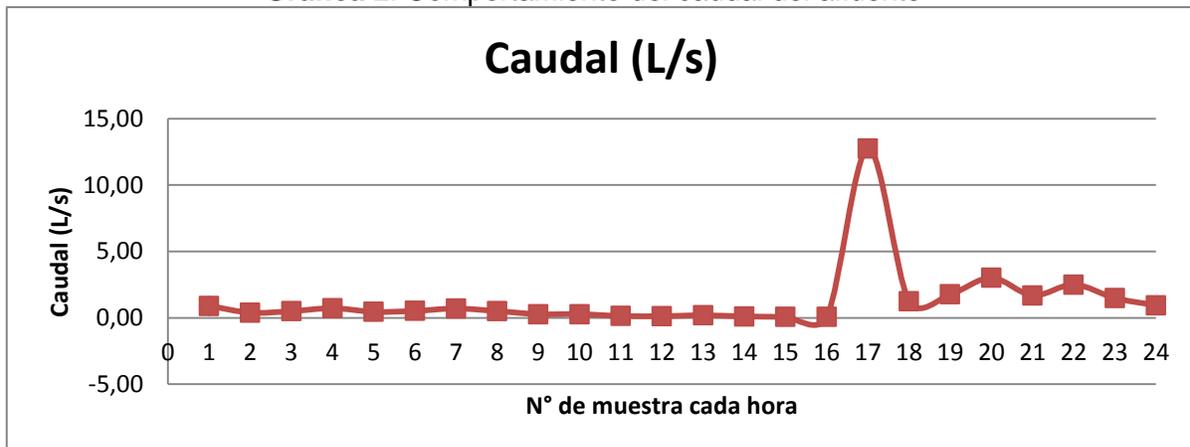
No. Muestra	Hora	Caudal (L/s)	pH (Und.)	Temp. (°c)	Conductividad (μS/cm)	OD (mg/LO ₂)	Sólidos sedimentables (mg/l)	QUIEN TOMÓ LA MUESTRA	OBSERVACIONES
1	08:00:00	0,90	8,56	28,4	1338	1,26	8	Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
2	09:00:00	0,39	8,63	28,6	1504	2,53		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
3	10:00:00	0,50	8,65	28,8	1821	2,29		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
4	11:00:00	0,72	8,47	29,3	1550	1,96		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
5	12:00:00	0,45	8,29	29,1	1487	2,18		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
6	13:00:00	0,52	8,56	29,2	1831	0,12		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
7	14:00:00	0,70	8,55	29,1	1935	1,43		Alvaro-Remberto	No se presentaron lluvias
8	15:00:00	0,50	7,67	28,6	1262	1,41		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
9	16:00:00	0,27	8,13	28,8	1528	2,84		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
10	17:00:00	0,28	8,58	28,6	1887	2,67		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
11	18:00:00	0,14	8,49	27,3	1629	2,43		Yelena-Remberto	No se presentaron lluvias
12	19:00:00	0,13	8,28	27,4	1900	1,7		Shetley-Eliberto	No se presentaron lluvias
13	20:00:00	0,19	8,56	27,2	2059	2,19		Shetley-Eliberto	No se presentaron lluvias
14	21:00:00	0,11	5,03	27,6	1593	2,44		Shetley-Eliberto	No se presentaron lluvias
15	22:00:00	0,08	8,11	27	1171	3,05		Shetley-Eliberto	No se presentaron lluvias
16	23:00:00	0,07	8,14	26,7	1524	3,77		Shetley-Eliberto	No se presentaron lluvias
17	00:00:00	12,75	8,01	22	39,8	7,72		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
18	01:00:00	1,25	7,84	25,8	137,1	7,07		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
19	02:00:00	1,77	7,63	24,1	74,2	7,43		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
20	03:00:00	3,01	7,97	23,7	104,4	7,57		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
21	04:00:00	1,69	8,17	24,7	152,5	7,34		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
22	05:00:00	2,51	8,38	23,5	148,8	7,47		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
23	06:00:00	1,48	8,54	24,6	225	7,14		Shetley-Eliberto	Se presentaron lluvias fuertes
24	07:00:00	0,94	8,49	26	570	5,8		Yelena-Eliberto	Se presentaron lluvias leves

FUENTE: Autor

Se tomó medición del caudal por el método volumétrico en cada hora del monitoreo y se observó que para las horas de las 8:00 am, 11:00 am, 2:00 pm y 7:00 am se tiene el mayor caudal del afluente, debido a que son las horas donde se dan los cambios de turnos, los descansos del personal y el mayor uso de la cocina del casino. A partir de la muestra 16 ocurre una variación representada por un pico en la muestra 17 tomada a las 12:00 pm, esto es debido a la alta precipitación que se dio desde las 11:30 pm hasta las 7:00 am, lo que comprobó el paso de una conexión errada de aguas lluvias en el sistema

de alcantarillado de Zona Franca Santander; el comportamiento del caudal persiste hasta el final del muestreo.

Grafica 2. Comportamiento del caudal del afluente

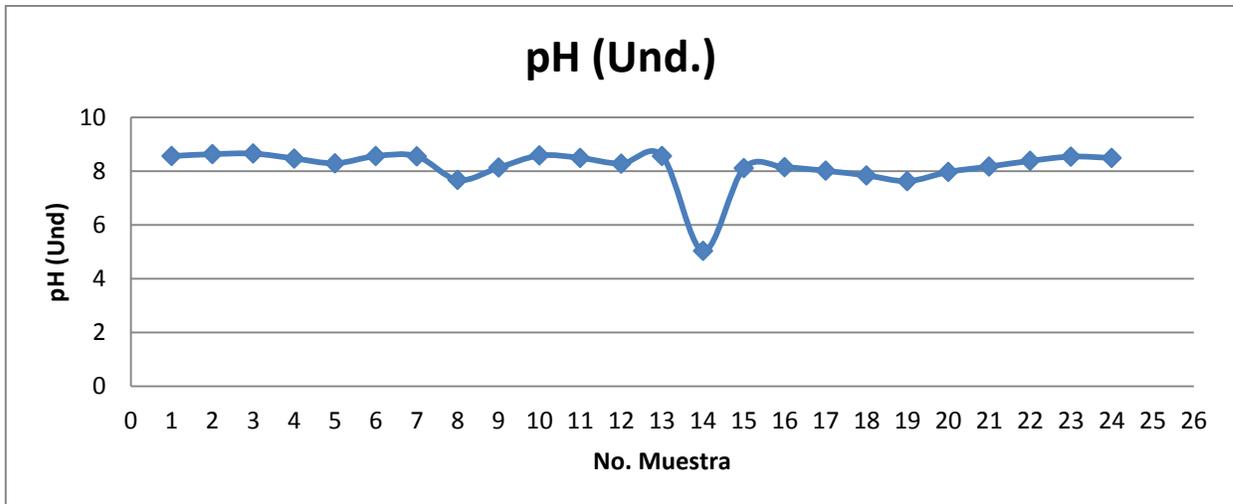


FUENTE: Autor

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del pH variando entre los rangos de 7 a 9, hasta la muestra 14 (21:00 pm) donde se observó una disminución del pH a 5,03; esta discontinuidad es la representación de la adición de algún agente distinto a las aguas residuales.

Durante el periodo donde se presentó la precipitación el pH se mantuvo en los mismos rangos que antes.

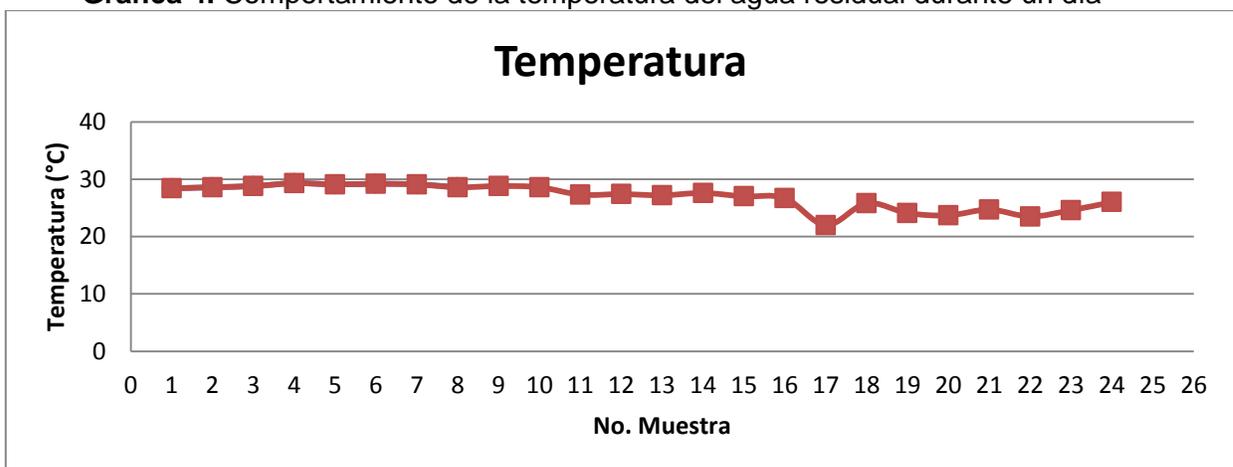
Grafica 3. Comportamiento del pH durante un día



FUENTE: Autor

La temperatura durante el muestreo se mostró constante hasta las 12:00pm donde se presentó la alta precipitación, lo que ocasionó una disminución de la temperatura y se mantuvo hasta el final del muestreo, puesto que la lluvia no finalizó

Grafica 4. Comportamiento de la temperatura del agua residual durante un día



FUENTE: Autor

Debido a que la corriente eléctrica se transporta por medio de iones en solución, la conductividad disminuye cuando disminuye la concentración de iones. De tal manera, que la conductividad se redujo cuando aumento el caudal lo que ocasionó que el agua disolviera los compuestos iónicos a causa de la alta precipitación observada desde la muestra 17 (12:00pm).

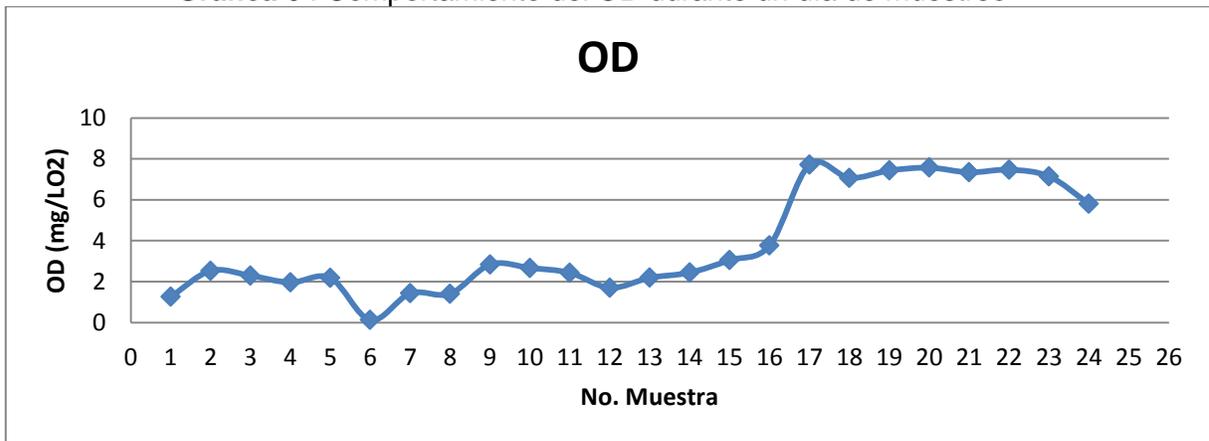
Grafica 5. Comportamiento de la conductividad durante un día.



FUENTE: Autor

El comportamiento del OD durante el muestreo, determina la variación del parámetro donde el mínimo valor de este se presenta a la 1:00 pm por ser la hora crítica donde ocurre la mayor descarga orgánica, lo que origina la ausencia de oxígeno disuelto en el agua residual; así mismo el oxígeno disuelto aumentó por causa de la disolución de la carga orgánica con las aguas lluvias que se combinaron con el agua residual.

Grafica 6 . Comportamiento del OD durante un día de muestreo



FUENTE: Autor

Los resultados obtenidos desde la muestra 1 hasta la muestra 16 corresponden en total normalidad a los parámetros del agua residual doméstica, así como se observó que la mayor descarga se da a la 1:00 pm donde las principales actividades humanas son dadas por la hora del almuerzo a causa del gasto de agua para lavar todo lo usado para la preparación de los alimentos y el mayor uso de los sanitarios. Los resultados obtenidos de los análisis químicos de la muestra compuesta se registran en la tabla.

Tabla 35.Análisis químico del afluente de la PTAR de ZFS

VARIABLE	UNIDADES	PARAMETRO	Límite de detección	METODO
DQO	mg O ₂ /L	486	6.30 mg/L	SM 5220-C
DBO ₅	mg O ₂ /L	191	11 mg/L	SM5210-B-SM4500 O-C
Sólidos suspendidos totales	mg Solidos susp/L	105	5.70 mg/L	SM 2540-D
Sólidos Totales	mg Sol Tot/L	640	5.2 mg/L	SM2540-B
Sólidos Totales Vol.	Mg STV/L	188	---	SM 2540-B
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	587	---	SM2320-B
Fosforo	mg/L P-PO ₄ ²⁻	9.90	0.16 mg/L	SM 4500-P-E B
Color Real	mg/L Color real	340	---	Hach 120
Coliformes Fecales	NMP/100MI	2.4x10 ⁶	---	SM 9221-B
Nitrógeno Amoniacal	mg NH ₃ /L	125	5.2 mg/L	SM 4500-NH3-C
Nitrógeno Total	mg NTK/L	144	5.5 mg/L	SM Norg B-SM 4500 N-NH ₃ C
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	1.51	---	SM 4500 O-C
Grasas y Aceites	mg GyA/L	23.3	12.8 mg/L	SM 5520-B

FUENTE: Laboratorio de análisis químicos de aguas residuales UPB, 2013.

De acuerdo a los resultados obtenidos proveniente del monitoreo del afluente, se logró determinar lo siguiente:

Se encontró que el afluente presenta una concentración media de materia orgánica total (materia orgánica biodegradable por lo microorganismos, materia orgánica no biodegradable y materia inorgánica), lo que resulta ser un buen sustrato para el sistema aerobio de los lodos activados, permitiendo la generación del inóculo.

El parámetro de la DBO₅ es consistente con lo establecido por la DQO, ya que arroja una concentración media de materia orgánica degradada y una relación DQO/DBO₅ de 2,5 el cual encaja con las relaciones típicas para aguas residuales domésticas. La DBO₅ del afluente cumple con los parámetros requeridos para el diseño de una planta de tratamiento de lodos activados.

Los sólidos volátiles con respecto a los sólidos totales, indican que hay mayor contenido inorgánico, sumado al color puede llevar al deterioro de la calidad del efluente; sin embargo el contenido orgánico con respecto a la literatura de Romero, indica que es una concentración media, el cual es adecuado para el sustrato requerido para los lodos activados.

La relación molar DBO, N y P, (6:11:1) indica que hay mayor cantidad de nitrógeno, el cual solo podrá ser removido por aireación, esa relación también sugiere problemas en la degradación biológica. Así mismo se verificó mediante el nitrógeno amoniacal, que el mayor contenido del afluente está dado por la orina y en menor proporción de materia orgánica; lo que es consistente con las actividades realizadas en ZFS.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua residual doméstica del proyecto ZFS, está dada por la reaireación interna dentro del sistema de alcantarillado, debido a las altas caídas entre pozos.

A causa de la presencia de materia orgánica en el agua residual se presenta una contaminación, que para este análisis resultó contener una concentración de 10^6 NMP/100 ml de coliformes totales, siendo un rango típico en aguas residuales domésticas.

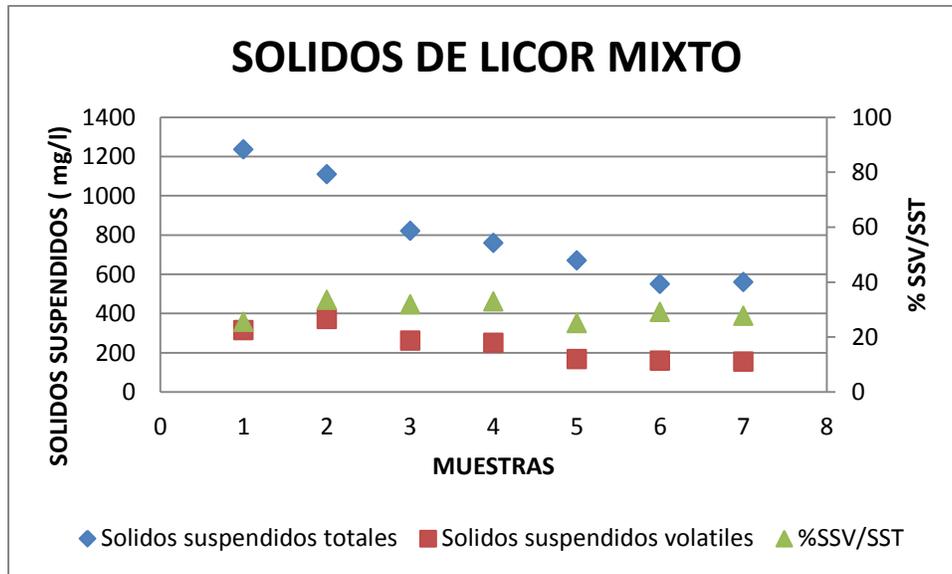
El contenido de grasas y aceites en el agua es muy bajo por lo que se considera que el replanteamiento de la trampa grasa del casino de MARVAL, dio un resultado positivo, mejorando las características del agua, así como la labor de sellado en las cajas de inspección sin usar, ya que los sólidos sedimentables arrojaron tener una mediana presencia de sólidos proveniente de arenas.

5.2.3. Condiciones de operación de acuerdo a la caracterización del agua residual

Para determinar las condiciones de operación de la PTAR, que permitan cumplir con los debidos porcentajes de remoción, se realizó la toma de muestras en las horas donde se demostró el mayor caudal durante un periodo comprendido de dos meses, con un total de siete muestras, de las cuales cuatro fueron analizadas bajo los parámetros de DBO, DQO y sólidos y a las otras tres muestras se les realizó sólidos; esto fue por causa de algunas limitantes con los equipos de laboratorio.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes.

Grafica 7. Sólidos Suspendidos del licor mixto



FUENTE: Autor

Para el arranque del sistema se inició con un inóculo de lodos activados, para facilitar el crecimiento de la biomasa; sin embargo, el comportamiento del licor mixto muestra que no hubo un crecimiento de la biomasa durante el periodo evaluado (2 meses) a pesar de que se tuvo constante recirculación de lodo y condiciones controladas de la aireación.

La baja relación SSV/SST sugiere, la estabilización del lodo por vía aerobia, repercutiendo pérdidas de masa en el efluente, como lo muestran las altas concentraciones de sólidos suspendidos del efluente. (Ver tabla 36)

Tabla 36. Sólidos suspendidos del efluente

SST	SSV	% SSV/SST
756	174	23
328	106	32
364	92	25
410	124	30
314	54	17
334	65	19
290	54	19

FUENTE: Autor

El análisis de las muestras fue realizada por el autor en el laboratorio de aguas residuales de la UPB, así como los reactivos usados para la determinación de la DQO y DBO₅, la curva para el cálculo de la concentración de la DQO se presentan en el ANEXO 4.

Tabla 37. DBO y DQO

PARÁMETRO	MUESTRA 1		MUESTRA 2		MUESTRA 3		MUESTRA 4	
	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO	DBO ₅	DQO
AFLUENTE	500	798,5	400	628,24	410	812,24	430	720,24
EFLUENTE	15	104,3	15	108,56	5	45,32	20	122,94
% DE REMOCIÓN	97%	87%	96%	83%	99%	94%	95%	83%

FUENTE: Autor

En términos de la DBO₅ y DQO el efluente presentó concentraciones similares en las 4 muestras y los porcentajes de remoción muestran una eficiencia alta en el sistema. Estos resultados no son acordes con respecto a los sólidos del licor mixto, puesto que no se está generando una biomasa activa, por lo que se entiende que la remoción puede ser ocasionada por oxidación y no por degradación biológica.

Una explicación al comportamiento de la oxidación de la materia orgánica puede ocasionarse por el alto tiempo de retención hidráulico (2,58 días), teniendo en cuenta que el caudal de producción actual se encuentra al 50% de la capacidad de diseño de la planta, a pesar de que se presentando buenas remociones no se genera un floc biológico fundamental para la remoción de sólidos del sistema, haciéndose necesario implementar un tratamiento adicional para esos sólidos.

Determinación de requerimiento de oxígeno

En base a los resultados obtenidos en el seguimiento de la planta, se obtienen los parámetros más importantes para obtener el oxígeno requerido y ser comparado con el oxígeno suministrado actualmente. Los parámetros más importantes para el diseño pueden ser determinados con la ecuación 27.

Tabla 38. Parámetros para el cálculo del oxígeno requerido.

PARÁMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Altura total libre canal	m	3,3
Ancho canal	m	3,0
Largo Canal	M	8,3
Volumen del reactor	m ³	82,17
Caudal de operación	m ³ /d	31,752

Tiempo de retención hidráulico	d/h	2,59
A/M	d ⁻¹	0,15
DBO a la salida del reactor	mg/L O ₂	500
Sólidos del licor mixto esperado	mg/L SSV	1288

FUENTE: Autor

Con base a las ecuaciones 28, 29 y 30 se logró obtener los siguientes resultados.

Tabla 39. Requerimiento de oxígeno PTAR de ZFS

Parámetro	Valor requerido
Demanda total de oxígeno	22,64 (kg/d)
Oxígeno Requerido	622,03 (kg/d)
Aire requerido	2681,16 (kg/d)

FUENTE: Autor

Siendo la densidad del aire de 1,09 kg/m³ a una temperatura de 50°C, se tiene que el aire requerido es de 2459,78 m³/d y el oxígeno aportado por difusor en la planta está en el rango de 100,8 a 199,2 m³/d, lo que significa que el sistema de aireación de la PTAR aporta entre 2217,6 a 4382,4 m³/d. La potencia que se requiere para la aireación requerida es de 2,39 kw (3,21 Hp) y la potencia de los aireadores es de 4 hp, lo que indica que el aire suministrado por los difusores en el tanque de aireación puede satisfacer las necesidades de aire para el proceso de remoción de nitrógeno y materia orgánica.

El caudal actual del afluente permite que las condiciones de aireación puedan hacer la remoción de nitrógeno y materia orgánica, sin embargo el caudal actual se encuentra por debajo del diseño (32 m³/d con respecto a 60m³/d), en un eventual aumento del caudal por el crecimiento del parque empresarial, podría ocurrir que el sistema sostenga las cargas de remoción de materia orgánica pero el oxígeno no sería el suficiente para la remoción de nitrógeno.

5.3. DISEÑO DE ALTERNATIVAS PARA RIEGO

En base a la información obtenida se realizó dos alternativas de diseño para un sistema de riego los cuales se diferencian de cada uno de ellos por la oferta hídrica usada para cada alternativa. Los diseños cuentan con una misma línea de riego que suministra agua a las zonas verdes y corredores de Zona Franca Santander; el trazado está compuesto

por dos ramales principales de forma perimetral para los cuales entrega dentro del corredor perimetral y al igual se subdividen en sub-ramales que entregan el agua para cada área de zona verde. Para las manzanas D,E y F se repartió el suministro de agua para riego por medio de tres sub-ramales los cuales deben ser instalados a través del hincado de tuberías subterráneas, debido a que las mencionadas áreas están separadas por dos carriles y dos andenes que corresponden a trece metros (13 m) de ancho, construidas por adoquines y concreto.

La selección de los aspersores y microaspersores fueron en base al radio de mojado de cada emisor para cada área con requerimiento de riego, por lo cual se muestra a continuación los aspersores seleccionados y la ubicación de cada tipo.

Tabla 40. Ubicación de los emisores seleccionados para el diseño

TIPO DE EMISOR	UBICACIÓN DEL EMISOR
Microaspersor Monojet Referencia 45. Radio de mojado de 1,20 Marca Agrifim	Corredor perimetral de seguridad con bordes de 3 metros, corredores peatonales y corredores contraincendios.
Microaspersor Monojet Referencia 125. Radio de mojado de 2,20 Marca Agrifim	Corredor perimetral de seguridad con bordes de 3 metros, corredores peatonales y corredores contraincendios.
Microaspersor Monojet Referencia 30. Radio de mojado de 3,0 mMarca Agrifim	Zonas verdes internas de cada manzana de ZFS.
Aspersor Serie 3504. Radio de mojado de 5,0m Catalogo Rain bird	Corredor perimetral de seguridad

FUENTE: Autor

La distribución de los aspersores fueron dados de acuerdo a los radios de mojado de tal manera que se asegurara la cobertura de todo el área, lo cual arrojó la siguiente cantidad de emisores.

Tabla 41. Cantidad de emisores

TIPO DE EMISOR	CANTIDAD TOTAL PARA EL PROYECTO
Microaspersor Monojet Referencia 45. Radio de mojado de 1,20 Marca Agrifim	223
Microaspersor Monojet Referencia 125. Radio de mojado de 2,20 Marca Agrifim	207
Microaspersor Monojet Referencia 30. Radio de mojado de 3,0 mMarca Agrifim	333
Aspersor Serie 3504. Radio de mojado de 5,0m Catalogo Rain bird	247

FUENTE: Autor

Para el diseño hidráulico (ANEXO 5) se consideró los siguientes aspectos:

- Se tomaron los caudales de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada aspersor, para determinar los diámetros y las pérdidas de cada tramo de tubería.
- La longitud total equivalente de tubería asignada para el diseño hidráulico fue de 6337,9 m, con un total de 1013 emisores para un volumen total acumulado de 38,226 m³
- Para el diseño se contempló tuberías de RDE 21 PVC tipo1 (Grado 1), RDE 26 PVC Tipo1 (Grado 1), RDE 32.5 PVC Tipo 1 (Grado 1), RDE 41 PVC Tipo 1, (Grado 1) y RDE 51 PVC Tipo1 (Grado 1), debido a que estas se encuentran disponibles en los diámetros de diseño y la capacidad de presión se encuentra entre los rangos del diseño de riego. Estas tuberías permite la fácil adecuación a las diferentes pendientes del sistema.
- Se identificó las presiones de cada emisor de acuerdo a las especificaciones técnicas, para determinar la capacidad del sistema de bombeo.
- De acuerdo a la distribución y capacidad de bombeo se eligió un sistema hidroneumático el cual permite asegurar un flujo y una presión constante en el sistema.
- El hidroneumático seleccionado requiere de una bomba centrífuga con capacidad de 25 hp de referencia marca Barnes, con voltaje de 220/440V, con un rango de presión de 120-140 PSI. (ANEXO 6)

Alternativa 1

La primera alternativa contempla los anteriores criterios y especificaciones sin embargo por el uso del agua lluvia y el agua de río como oferta hídrica se diseñó una bocatoma lateral sumergida de dimensiones de 0,21m de base y 0,32m de longitud (ANEXO 7) para el sistema de captación del agua del río y llevada por un sistema de conducción a través de una tubería de 1" PVC impulsada por una bomba de 1 Hp de fuerza de referencia marca Barnes, con voltaje 220/440V, la cual permite conducir el agua hacia el desarenador de base 1m, ancho 0,6 m y alto de 1,5 m (ANEXO 8). Después de sedimentado las arenas del río se pasan por gravedad al tanque de almacenamiento de 30 m³, (ANEXO 9) para así finalmente ser distribuida por la antes mencionada línea de riego a través del hidroneumático. (ANEXO 10)

Alternativa 2

La segunda alternativa tiene como oferta hídrica las aguas residuales domésticas tratadas por la PTAR de ZFS por lo que se diseñó una derivación de la línea de conducción de las aguas residuales con una tubería de 1" PVC, la cual lleva el agua hacia el desarenador (ANEXO 8) para luego ser almacenada en un tanque de volumen de 30 m³ (ANEXO 11). Finalmente es impulsada por el hidroneumático hacia la línea de riego.

6. CONCLUSIONES

- El parque empresarial cuenta con cuatro fuentes hídricas, que pueden ser empleadas para abastecimiento en épocas críticas (Diciembre y Enero) para el sistema de riego de las zonas verdes, de la cual se recomienda el empleo del agua residual domestica tratada.
- La tasa de riego indicó el requerimiento de agua para los meses de Diciembre y Enero, el resto de meses es abastecido por las precipitaciones de la zona.
- El almacenamiento de las aguas lluvias es inviable debido al deficiente diseño del alcantarillado pluvial, debido a que no cumple las velocidades mínimas ocasionando el almacenamiento de sólidos y arenas los cuales son conducidos en fuertes precipitaciones, obligando a tener pretratamiento para ser usada como oferta hídrica.
- La demanda hídrica requerida por Zona Franca Santander para sistema de riego es de 26,93 m³ diarios en las épocas de sequía, el cual se puede abastecer por el caudal del efluente de la PTAR.
- La planta de tratamiento de lodos activados no se está comportando como un reactor biológico, teniendo en cuenta su baja producción de biomasa y los porcentajes de remoción sugieren que la alta eficiencia del sistema está dado por la aireación.
- No se pudo tener un punto óptimo de operación de la planta de tratamiento de lodos activados, debido a que no se cumple el tiempo de retención hidráulico de diseño, como consecuencia de que el caudal está al 50% del caudal de diseño.
- Para las condiciones actuales de operación del reactor la calidad de agua del efluente para ser empleada para abastecimiento del sistema de riego propuesto y para el cumplimiento de la normatividad vigente es necesario emplear un coagulante para producir un floc y facilitar la sedimentación.
- Las alternativas de diseño propuestas para Zona Franca Santander, cumple con los parámetros de diseño planteados.
- Para el abastecimiento del sistema de riego se requiere de un sistema hidroneumático de 29 hp de fuerza, lo que se considera un sistema de bombeo de gran capacidad.

7. RECOMENDACIONES

- Para evitar daños de los componentes del sistema de aireación y en el sistema de bombeo de la PTAR se debe investigar las conexiones erradas existentes en el sistema de alcantarillado separado.
- Los diseños propuestos pueden ser evaluados desde un punto de vista económico, para determinar la viabilidad de cada diseño como sistema de riego.
- El requerimiento de agua para el sistema de riego de Zona Franca Santander es muy bajo, por lo que se puede contemplar la idea de abastecer con un carro cisterna, haciendo uso de la captación de agua de río y del efluente de la PTAR.
- Para prever la entrada de arenas en el sistema se hace necesario la adaptación de un sistema primario.

8. BIBLIOGRAFIA

ANGELES, Pedro. Necesidades hídricas. Universidad de Castilla-La Mancha, España. 2007. P. 348.

BECERRA, J. Experiencia del riego en las hortalizas [Diapositivas]. Cartagena. ACODAL, 2012. 24 diapositivas.

BOTERO Juan B. Sistema de tratamiento y manual de operación y mantenimiento de la PTAR para Zona Franca Santander. 2012

COLOMBIA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Datateca. [base de datos en línea]. [consultado 5 dic. 2013]. Disponible en <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/Abastecimiento_Contentido_en_linea/leccion_4_oferta_y_demanda_del_recurso_hidrico.html>

COLOMBIA. CDMB, Resolución No. 000849 Otorgamiento de de permiso de vertimientos, 05 de julio de 2013.

COLOMBIA, Decreto 1594, Ministerio de Agricultura determina en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 1984.

COLOMBIA, Resolución 5731, Secretaria Distrital de Ambiente adopta nuevos objetivos de calidad para los Ríos, Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital. 1984.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 1127 (22 Junio de 2007). Por la cual se modifica la resolución No. 1166 de 2006. Bogotá D.C., 2007. p.1-7.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 1127 (22 Junio de 2007). Por la cual se modifica la resolución No. 1166 de 2006. Bogotá D.C., 2007. P.1-7.

CORCHO, F., DUQUE, J. Acueductos Teoría y Diseño. Universidad de Medellín, 1997. 40p.

Cheng, C. and Liao, M. Regional rainfall level zoning for rainwater harvesting systems in northern Taiwan. Resources, Conservation and Recycling 53, 8 (2009), 421-428 p.

CHILE. Universidad de Chile. Base de datos de la facultad de Agronomía de la Universidad de Chile. [base de datos en línea]. [consultado 5 dic. 2013]. Disponible en <<http://www.uchile.cl/portal/informacion-y-bibliotecas/servicios-de-biblioteca/57683/bases-de-datos-por-tema#agrarias>>

DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000. Título B. Sección II. Sistemas de Acueducto. 2000. p. 206

DEDIOS N., MONTERO M. Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo (Kc) desde imágenes de satélite en ecosistemas naturales y antrópicos. Servicio Nacional de meteorología e hidrología SENAMHI. 2010, p 24.

DURAND, François. Balance hídrico. En: Hipergéo. [en línea]. 300, (2005). Disponible en <http://www.hypergeo.eu/IMG/_article_PDF/article_300.pdf>

ESPAÑA. Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario. Clasificación de especies de jardín según sus necesidades hídricas para la región de Murcia. [base de datos en línea]. [consultado 1 nov. 2013]. Disponible en: <<http://www.imida.es/paginas/index.html>>

EE.UU. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En: ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE. [en línea]. No. 56 (2006). [consultado 3 dic. 2013]. Disponible en <<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>>

FRAENKEL, P., THAKE, J. Dispositivos de elevación del agua. Alfa omega FAO, tercera edición, 2010. 26-33 p.

HERNANDEZ F. Manejo integrado de la subcuenca alta del río grande en la Sierra Norte, OAXACA: Manual de capacitación para la participación comunitaria, México, 2000. 23 p.

IBAÑEZ William. Instalaciones hidráulicas y sanitarias [diapositivas]. Bucaramanga, 2010. 153 diapositivas.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA. Normas Técnicas para Diseño y Presentación de Proyectos de Alcantarillado. Bucaramanga: CDMB, 1997. 62 p.

JARAMILLO, J. Experiencia de riego en banano [Diapositivas]. Cartagena. ACODAL, 2012. 32 diapositivas

JARAMILLO, Alvaro. Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Cenicafé, 2006. p 290-297

Melguizo B., S. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de Abasto en las Edificaciones. Primera parte. Centro de publicaciones Universidad Nacional., Medellín, 1977.

MUNCHARAZ, Manuel. Las necesidades de agua en jardinería. Calculo por el método del coeficiente de jardín. [diapositivas]. España. (2008). 5 diapositivas.

PALACIO Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Trabajo de Monografía para optar al título de Especialista en Manejo y Gestión del Agua, Medellín. Universidad de Antioquia, Escuela Ambiental, Especialización en manejo y gestión del agua, 2010. 26 p.

RAMALHO, R. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté, S.A. España, 2003. p.253

RODRIGUEZ, Antonio., ALBARCES, Ricardo. Manual de riego de jardines. Junta de Andalucía. 2000. p.18

ROMERO, Jairo. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1999. p. 447

ROMERO C. Manejo del Pato Estrella en Bajo Tocuyo. Fálcon: Aspectos agronómicos. Divulgación Número 52, FONAIAP, Venezuela. 1996.

ROQUE Reinaldo, Uso de las máquinas de pivote central en el riego con aguas residuales. Revista ciencias técnicas agropecuarias Vol. 15, No. 1. 2006

SPERLING, Marcos. Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. Editorial IWA, Vol. II. 2005. p. 845

SENARA, Programa de gestión integrada de recursos hídricos. Informe Principal, Costa Rica. 2005.

TECSAGRO. La importancia del uso eficiente del agua. Agroenfoque. Pág. 57. 2012

TORRESCANO, José. Parámetros de operación en el proceso de tratamiento de agua residual por lodos activados. En: Aquaforum. [en línea]. Vol. 13, No. 52. (2009). [consultado 15 dic. 2013]. Disponible en <http://seia.guanajuato.gob.mx/document/AquaForum/AF52/AF5204_ParametrosOperacion.pdf>

VALVERDE Teresa, Ecología y medio ambiente; Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de México. Primera Edición, Editorial Pearson Educación. Pág. 154. 2005

ZONA FRANCA SANTANDER. Plan de Gestión del riesgo para el manejo de vertimientos, Diciembre. 2012

8. ANEXOS

ANEXO 1. Plano Urbanistico Zona Franca Santander

ANEXO 2. Curva IDF de la estación de la PTAR de Río Frio

ANEXO 3. Hoja de cálculo del dimensionamiento del alcantarillado pluvial

ANEXO 4. Curva para el cálculo de la concentración de la DQO

ANEXO 5. Hoja de cálculo del diseño hidráulico del sistema de riego

ANEXO 6. Hoja de cálculo del sistema de bombeo

ANEXO 7. Hoja de cálculo del diseño de la bocatoma

ANEXO 8. Hoja de cálculo del diseño del desarenador

ANEXO 9. Tanque de almacenamiento

ANEXO 10. Alternativa 1

ANEXO 11. Alternativa 2

