



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**Estudio de viabilidad de cosecha de agua de lluvia en Reserva Conchal
para su utilización en riego del campo de golf**

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

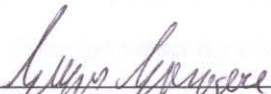
Rebeca Carvajal Carballo

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

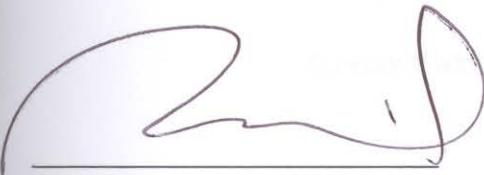
Setiembre de 2015

APROBACIÓN


Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Licenciatura en Ingeniería Agrícola.



Dr. Georges Goyaere Vicariolli
Director de Tesis



Ph.D. Ricardo Radulovich Ramírez
Lector



Ing. Hubert Morris Gainger
Lector



Dra. Alejandra Rojas Gonzáles
Representante de la Dirección



MAE. Luis Navarro Burgarelli
Lector invitado



Rebeca Carvajal Carballo
Estudiante

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme recorrer este camino.

A mis padres por el apoyo brindado durante mi ciclo de estudio.

A Juan Pablo Blanco por sus motivaciones, palabras de aliento y acompañamiento en el proceso.

Al equipo asesor por el acompañamiento durante este proceso.

A Reserva Conchal en especial a Luis Navarro Burgareli por el apoyo y la ayuda brindada.

Al personal del laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica por el apoyo brindado.

Al Instituto Meteorológico Nacional por la información brindada.

Al personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Agrícola por la ayuda brindada.

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a:

Mi madre Sonia Carballo y a mi padre Juan Luis Carvajal.

A las personas que conocí durante el camino recorrido en el proceso de conclusión de la carrera.

Les agradezco su apoyo y comprensión durante la culminación de este ciclo.

RESUMEN

El presente trabajo muestra la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema de cosecha de agua de lluvia para ser utilizado en el riego del campo de golf de Reserva Conchal aprovechando los lagos ubicados dentro del campo como reservorios. Se realiza un diagnóstico del manejo que se le da al recurso hídrico comparando el agua que se riega vs el agua requerida por el cultivo según la demanda estimada de: evapotranspiración, condiciones del suelo y características del cultivo, con el cual se determina que no existe un exceso de agua regada. El agua que puede ser cosechada se determinó realizando un balance hídrico con el método de Thornthwaite y Matter. La capacidad de los lagos corresponde a 44 mil m³ de agua, pero el agua que escurre por el campo es mayor que esta capacidad por lo que no se logra almacenar toda el agua que se podría captar en época lluviosa, pero se logra captar el volumen total de los lagos para contar con él a inicios del verano. El análisis económico muestra el costo aproximado del proyecto, de manera que realizar la interconexión de los lagos podría tener un costo aproximado de \$81 mil dólares utilizando un sistema de bombeo eléctrico siendo este un 66% más eficiente que opción de utilizar un bombeo de motor diésel lo cual permitiría ahorrar aproximadamente \$66 mil dólares si se aprovecha el agua total de los lagos tomando en cuenta las pérdidas por evaporación e infiltración. El volumen de agua almacenado puede ser aplicado según las necesidades que vayan apareciendo y se debe apreciar el sistema como una ayuda o un apoyo para mitigar el impacto de la falta de agua lo que hace que, contar con el sistema instalado permita utilizarse en el momento en que se cuente con agua en los lagos, esto implica que si hubo un evento de lluvia no esperado que hiciera que se llenaran los lagos se podría accionar el sistema y aprovechar el agua.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN	<i>i</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>ii</i>
DEDICATORIA	<i>iii</i>
RESUMEN	<i>iv</i>
ÍNDICE GENERAL	<i>v</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>vii</i>
ÍNDICE DE TABLAS	<i>viii</i>
CAPÍTULO I	<i>1</i>
INTRODUCCIÓN	<i>1</i>
1.1. Antecedentes	<i>2</i>
1.2. Justificación	<i>4</i>
1.3. Objetivos	<i>5</i>
1.3.1. Objetivo General.....	<i>5</i>
1.3.2. Objetivos Específicos.....	<i>5</i>
CAPÍTULO II	<i>6</i>
REVISIÓN LITERARIA	<i>6</i>
2.1. Cosecha de agua	<i>6</i>
2.2. Requerimiento hídrico	<i>7</i>
2.2.1. Evapotranspiración.....	<i>7</i>
2.2.2. Ecuación FAO Penman-Monteith para el cálculo de la ETo	<i>8</i>
2.2.3. Programación de riego con uso de CROPWAT	<i>9</i>
2.2.3.1. Evapotranspiración de referencia (ETo)	<i>9</i>
2.2.3.2. Precipitación efectiva	<i>9</i>
2.2.3.3. Datos del cultivo	<i>9</i>
2.2.3.4. Datos del suelo.....	<i>10</i>
2.2.4. Pluviometría-lámina de riego-tiempo de riego.....	<i>10</i>
2.3. Balance hídrico	<i>11</i>
2.3.1. Método de Thornthwaite y Matter.....	<i>11</i>
2.3.2. Escorrentía superficial	<i>12</i>
2.3.3. Infiltración.....	<i>12</i>
CAPÍTULO III	<i>13</i>
METODOLOGÍA	<i>13</i>
3.1. Aprovechamiento actual del agua disponible	<i>13</i>
3.1.1. Variables para utilización de CROPWAT	<i>15</i>
3.1.1.1. Clima.....	<i>15</i>

3.1.1.2.	Suelo	19
3.1.1.3.	Cultivo	24
3.1.2.	Condiciones finales para el uso de CROPWAT	26
3.1.3.	Lámina de riego aplicada en el campo de golf	27
3.2.	Estudio hidrológico para la cosecha de agua	27
3.2.1.	Cálculo del volumen de los lagos	28
3.2.2.	Balance hídrico.....	29
3.2.3.	Parte de aguas dentro del campo	29
3.2.4.	Evaporación de los lagos.....	30
3.2.5.	Infiltración en los lagos	31
3.2.6.	Demanda de agua	34
3.3.	Consideraciones de diseño	35
3.3.1.	Interconexión de los lagos	35
CAPÍTULO IV.....	36	
RESULTADOS	36	
4.1.	Requerimiento hídrico del campo de golf	36
4.2.	Agua por cosechar vs demanda de aplicación	40
CAPÍTULO V.....	50	
FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	50	
5.1.	Estimación del costo de la interconexión de los lagos.....	50
5.1.1.	Diseño hidráulico y cálculo de bombeo	50
5.1.2.	Estimación económica	53
5.1.2.1.	Costo del sistema de bombeo eléctrico	53
5.1.2.2.	Costo del sistema de bombeo con motor diésel	54
5.1.2.3.	Costo del aumento del volumen de los lagos	54
5.2.	Comparación de costos y recuperación de la inversión.....	55
5.2.1.	Consumo hídrico	55
5.2.2.	Consumo energético.....	56
5.2.3.	Aumento del volumen de los lagos	57
CONCLUSIONES	58	
RECOMENDACIONES.....	59	
BIBLIOGRAFÍA	60	
ANEXOS.....	62	
ANEXO 1.....	62	
ANEXO 2.....	63	
ANEXO 3.....	64	
ANEXO 4.....	65	

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1. Clasificación de las técnicas de recolección de agua. Fuente: (Manso, 2007)	6
FIGURA 3. 1. Distribución del uso del agua en Reserva Conchal.....	14
FIGURA 3. 2. Estación San José de Pinilla, número 72149. (IMN, 2013)	17
FIGURA 3. 3. Distribución de las diferentes partes de un campo de golf.....	20
FIGURA 3. 4. Distribución de muestras de suelo tomadas en el campo de golf	21
FIGURA 3. 5. Capacidad de retención de hídrica de suelos típicos con varias texturas. (Thompson y Troeh, 1988).....	23
FIGURA 3. 6. Capacidad de agua disponible típica en suelos con diferentes texturas. (Shaxson y Barber, 2005).....	24
FIGURA 3. 7. Cuadro de rendimiento de la serie 730 de los aspersores TORO	27
FIGURA 3. 8. Distribución de los lagos dentro del área de estudio en Reserva Conchal.	28
FIGURA 3. 9. Fondo del lago 7 en época seca.	32
FIGURA 3. 10. Resultado de análisis de datos por medio del método Kostiaikov Lewis	34
FIGURA 4. 1. Datos de ETo por día promedio para cada uno de los medes del año 2013	36
FIGURA 4. 2. Datos de precipitación real y precipitación efectiva para los meses del 2013.....	37
FIGURA 4. 3. Programación del riego para el área de los Farway propuesta por CROPWAT.	38
FIGURA 4. 4. Programación del riego para el área de los Greenes propuesta por CROPWAT.	39
FIGURA 4. 5. Comportamiento del agua en el suelo durante todo el año para datos promedios	41
FIGURA 4. 6. Comportamiento del agua en el suelo durante todo el año 2013.....	42
FIGURA 4. 7. Agua que escurre por el campo para el año promedio y el año seco.	42
FIGURA 4. 8. Flujo del agua escurrida dentro del campo de golf.....	43
FIGURA 4. 9. Áreas de aporte para cada lago del flujo de escurrimiento.	44
FIGURA 4. 10. Porcentaje de agua que se almacena del total de agua que escurre.....	46
FIGURA 4. 11. Volumen de agua que se evapora por mes en la época seca.....	48
FIGURA 4. 12. Porcentaje del agua que se evapora por mes del total del volumen de cada lago.....	48
FIGURA 5. 1. Importe tarifario por nivel de consumo. Fuente: (AyA, 2015)	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3. 1. Ubicación de cada uno de los sensores para mediciones de condiciones climáticas para la estación meteorológica San José Pinilla (IMN, 2014) _____	17
TABLA 3. 2. Datos meteorológicos promedios para los meses del 2013 (IMN, 2014) _____	18
TABLA 3. 3. Datos finales usados por CROPWAT para el análisis del requerimiento hídrico. _____	19
TABLA 3. 4. Resultado del análisis de textura de suelos, para doce muestras al rededor del campo de golf. 22	
TABLA 3. 5. Datos obtenidos en la prueba de infiltración _____	33
TABLA 3. 6. Consumo de agua mensual para el periodo del 2011-2014 _____	34
TABLA 3. 7. Consumo de agua diario para el periodo del 2011-2014 _____	35
TABLA 4. 1. Requerimiento hídrico para en el campo de golf a partir de las condiciones climatológicas	37
TABLA 4. 2. Cálculo del balance hídrico por el método de Thornthwaite y Matter para datos promedio.	40
TABLA 4. 3. Cálculo del balance hídrico por el método de Thornthwaite y Matter para datos promedio para el 2013.....	41
TABLA 4. 4. Volumen de agua que escurre hacia cada lago en los meses de la época lluviosa para los datos promedios	45
TABLA 4. 5. Volumen de agua que escurre hacia cada lago en los meses de la época lluviosa para el 2013.....	45
TABLA 4. 6. Volumen y área de los lagos dentro del campo de golf.....	46
TABLA 4. 7. Porcentaje de agua que se pierde por infiltración en un mes con respecto al volumen total de cada lago	47
TABLA 5. 1. Datos de conexión de dos de los lagos con el lago 7	51
TABLA 5. 2. Costo en \$ de la interconexión de los lagos, utilizando energía eléctrica	53
TABLA 5. 3. Costo en \$ de la interconexión de los lagos, utilizando combustible.....	54
TABLA 5. 4. Costo en \$ del movimiento de tierra para el aumento del volumen de los lagos.....	54

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua afecta ya a todos los continentes. Cerca de 1.200 millones de personas, casi una quinta parte de la población mundial, vive en áreas de escasez física de agua mientras que 500 millones se aproximan a esta situación y otros 1.600 millones, alrededor de un cuarto de la población mundial, se enfrentan a situaciones de escasez económica de agua (ONU, 2009).

El recurso hídrico se ha visto siempre como un regalo de la naturaleza siendo indispensable para la vida y el desarrollo de los seres vivos (ONU, 2009). Pero conforme pasan los años la gestión del agua debería ir tomando una visión hacia el ahorro, dejando de lado el desperdicio.

Si bien es cierto en Costa Rica aún no se llega a cifras como las destacadas por la ONU el recurso hídrico sigue siendo mal manipulado, ya que su gestión está en manos de una gran cantidad de instituciones, por lo que se puede decir que existe poca coordinación institucional y cada cual maneja sus propias políticas de acuerdo a sus interés o leyes desde una perspectiva sectorial y no integral (Castro, 2004).

Costa Rica está dividido en 34 cuencas, de las cuales la mitad desaguan hacia el Pacífico y 17 para el Caribe, 10 en forma directa y 7 a través del río San Juan, fronterizo con Nicaragua; los ríos más caudalosos son los de la vertiente del Caribe por lo que, el menor porcentaje de la disponibilidad hídrica territorial se ubica en la zona del Pacífico Norte, pese a que todo su territorio está regado por ríos, el caudal de su red hidrográfica disminuye notablemente durante la estación seca (Castro, 2004).

La provincia cuenta con el Distrito de Riego Arenal-Tempisque, el cual controla las aguas generadas por el complejo hidroeléctrico Arenal conduciéndolas a lo largo de los cantones de Cañas, Bagaces, Liberia y Carrillo, para uso de irrigación por gravedad lo que le permite al sector agrícola ser productivo.

Guanacaste además de ser una zona altamente productiva cuenta con un amplio desarrollo turístico, el cual se ve afectado por la falta de agua, así como la distribución de la misma.

Reserva Conchal es una de las empresas turísticas de la zona de Guanacaste. Se encuentra ubicada en Playa Conchal, Cabo Velas, Guanacaste.

Reserva Conchal busca como meta convertirse en una comunidad carbono neutral, buscando la protección y conservación del medio ambiente, bajo la filosofía de desarrollo sostenible. Esta filosofía los ha impulsado a dedicarse también al ahorro en el recurso hídrico, y como forma de aprovechamiento de éste, cuentan con una planta de tratamiento de sus aguas las cuales después de ser tratadas son utilizadas para riego lo que les ayuda a ser conscientes de que el recurso hídrico con el que cuentan es muy valioso y necesitan buscar métodos o maneras para seguir aprovechándolo al máximo.

Su interés por el aprovechamiento de los recursos abre las puertas para la realización de este estudio que permite conocer la factibilidad de cosechar agua de lluvia dentro de sus instalaciones, aprovechando la existencia de unos lagos dentro del campo utilizándolos como reservorios e interconectarlos para poder utilizar el agua en el riego.

El estudio mostrará que tan viable es realizar esta interconexión, tomando en cuenta el costo-beneficio entre, la cantidad de agua que se puede obtener de los lagos y el tiempo que esta pueda abastecer la demanda, además del costo económico que trae al realizar el cambio de la infraestructura para la interconexión.

1.1. Antecedentes

Cosechar agua de lluvia ha sido una actividad milenaria, practicada por muchas culturas en regiones húmedas y áridas, en contextos de pobreza y de riqueza (Montes, 2004).

A nivel mundial las prácticas de cosecha de agua de lluvia son bastante utilizadas. En lugares como Singapur, Japón, Alemania, África, Filipinas y Kenia, cuentan con sistemas de cosecha de agua para el abastecimiento urbano, aprovechando sus grandes edificios para coleccionar agua en las azoteas o bien en los lugares menos urbanos almacenándola en tanques de agua de lluvia construidos por constructores locales (UNEP, 2013).

En países donde no se le da tanta importancia a la cosecha de agua, la lluvia requiere mayor reconocimiento en las agendas políticas de prevención de desastres y de adaptación al cambio climático ya que, si los sistemas de captación se incluyeran ampliamente en la arquitectura y en la

normativa urbanística, se ahorraría agua potable, se prevendrían inundaciones, sequías y riesgos urbanos (Montes, 2004).

En Costa Rica la cosecha de agua no es una práctica que se esté implementando con gran fuerza, pero el Ministerio de Agricultura y Ganadería en el marco del programa de fomento de la producción agropecuaria sostenible, realizó con ayuda del SENARA y la Universidad Nacional, un estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistemas de riego en la producción agropecuaria, con el fin de elaborar una estrategia nacional para darle pie a la implementación de la tecnología de cosecha de agua de lluvia en el país (Rodríguez, 2010).

El estudio abarca desde opciones técnicas, caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación, identificación de aspectos ambientales, legales y sanitarios que establezcan regulación en cosecha de agua, alternativas productivas rentables por la región y propuestas de estrategias a nivel nacional.

El proceso de recolección de agua de lluvia y reutilización de la misma para el riego agrícola es natural, por lo que se supone que los proyectos de captación de agua lluvia no causan efectos ambientales negativos (Liang y Van Dijk, 2011).

La escasez de agua requiere el uso máximo de cada gota de lluvia, la captación de aguas pluviales con componentes de almacenamiento para permitir el riego suplementario es una estrategia para reducir aún más los efectos de una sequía. (Xiao et al., 2007).

Es importante también tomar en cuenta el aspecto económico de lo que implica desarrollar un sistema de captación de agua de lluvia. La viabilidad financiera de los sistemas de recolección de agua de lluvia depende de la carga de las aguas subterráneas y en el tamaño de los sistemas de recolección de agua de lluvia (Liang y Van Dijk, 2011).

1.2. Justificación

El agua que se utilice para riego debe ser tomada como un punto importante dentro de algún proyecto que la requiera, independientemente del tipo de cultivo que se vaya a regar. Conocer la procedencia del agua así como la cantidad que debe ser regada es una referencia importante, tomando en cuenta como puntos principales el crecimiento y desarrollo sano del cultivo así como el ahorro del líquido.

Ser conscientes de eso trae consigo no solo ahorros en el agua sino también ahorros económicos que beneficiarán tanto al ser humano como al ambiente.

Aprovechar el agua que pueda ser obtenida por medio de lluvia en vez de la utilización de agua destinada para consumo del ser humano es lo que se busca, ya que el problema que se presenta radica en la falta de agua, la escasez del recurso hídrico en la zona, así como la conciencia ambiental.

Si se tomara conciencia de la accesibilidad que se tiene de obtener agua de lluvia, y los beneficios de poder aprovecharla, la situación del manejo del recurso hídrico sería distinta.

Se busca que el proyecto sea una base para que otras empresas hoteleras aprovechen sus grandes extensiones de terreno y busquen desarrollar alternativas como lo es la cosecha de agua, tomando en cuenta las condiciones y características de cada una. Haciéndoles ver una forma de mitigar el gasto del recurso hídrico, y viéndolo como una solución a los problemas de agua que se acercan conforme pase el tiempo y el cambio climático se vuelva más agresivo.

Siendo las empresas Hoteleras vistas como quienes se “roban” el agua de los pueblos, utilizar medidas alternativas les permite que sean vistos con otros ojos, y así mostrar su interés por el ambiente y los recursos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio hídrico en el campo de golf de Reserva Conchal en Guanacaste Costa Rica para determinar si es posible cosechar agua por medio de una interconexión de los lagos ubicados dentro del campo de golf.

1.3.2. Objetivos Específicos

Establecer la situación actual del manejo que se le da al agua de riego, y con ello analizar diferentes escenarios para ahorrar el agua ya existente y asegurar el buen aprovechamiento de esta.

Realizar un estudio hídrico para determinar la cantidad de agua que escurre por el campo de golf analizándolo como una microcuenca, en diferentes puntos de control

Realizar un estudio económico del proyecto, abarcando todos los cambios que deben realizarse para establecer el ciclo de recolección del agua cosechada.

Realizar una comparación entre el costo económico vs el agua que puede ser cosechada, para establecer la viabilidad del proyecto con base en el gasto y el retorno de la inversión.

Recomendar él o los escenarios mediante los cuales se pueda alcanzar un mayor beneficio del proyecto implicando o no un mayor gasto económico.

CAPÍTULO II

REVISIÓN LITERARIA

2.1. Cosecha de agua

La cosecha de agua está definida como la recolección y concentración de agua de escorrentía, para usos productivos como el cultivo de pastos, árboles frutales y maderables; animales, acuicultura, recarga acuífera, belleza escénica y para usos domésticos.

Existen diferentes métodos para cosechar agua, en la figura 2.1 se muestra un esquema de como clasificarlos. La existencia de estas técnicas permite tener un conocimiento de cuales de ellas podrían ser aplicables en países donde las condiciones climáticas se acerquen a las zonas estudiadas, o buscar la manera de adaptarlas a la zona donde se esté trabajando y al uso que se le vaya a dar al agua cosechada.

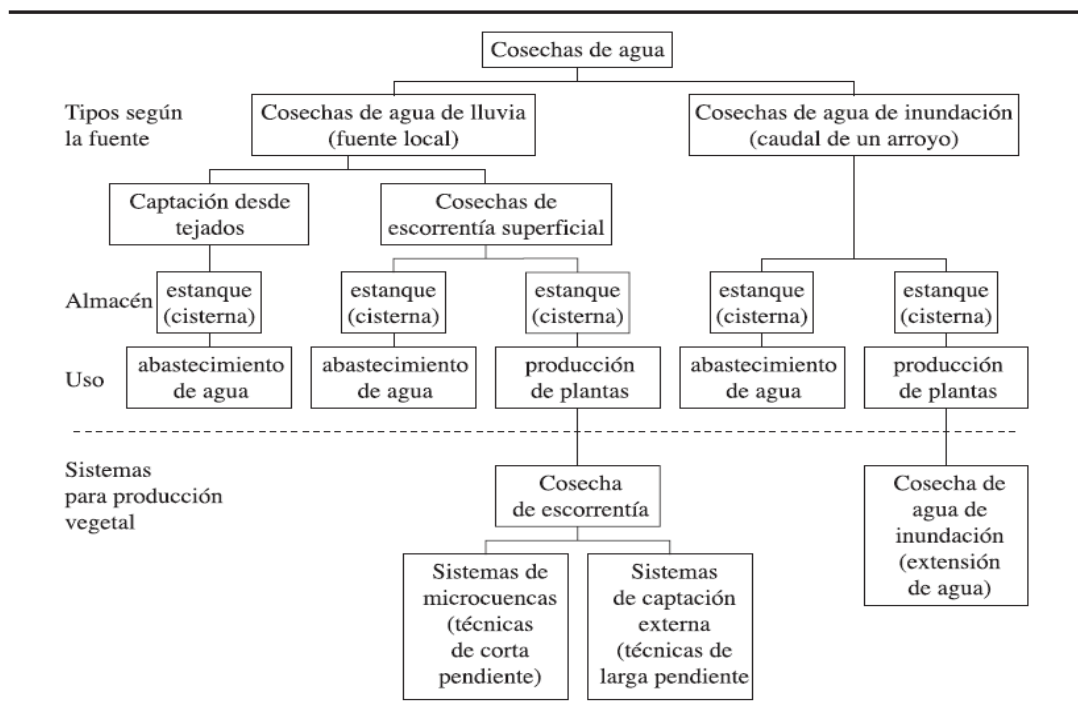


FIGURA 2. 1. Clasificación de las técnicas de recolección de agua. Fuente: (Manso, 2007)

Para determinar cuál es el método más adecuado para almacenar agua de lluvia y/o escorrentía (Mijares, 1989) indica que hay que considerar los siguientes criterios:

- El objetivo por el cual se recolecta el agua; por ejemplo si es para cultivar algo, cual es la demanda que este va a tener.
- La pendiente del terreno
- Las características del suelo
- Los costos de construcción
- La cantidad, intensidad y distribución estacional de las lluvias.
- Factores sociales, tales como la tenencia de la tierra y las prácticas tradicionales del uso del agua.

2.2. Requerimiento hídrico

El requerimiento hídrico es la cantidad de agua que se necesita para satisfacer la tasa de evaporación y transpiración de los cultivos, de modo que les permita prosperar (González, 2012).

2.2.1. Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen, 2006).

La evapotranspiración depende de las características de la cubierta vegetal y de la proporción de suelo desnudo, del clima, del tipo de cultivo y de la disponibilidad del agua en el suelo (González, 2012). La evapotranspiración no es simple de medir. Para determinarla experimentalmente se requieren aparatos específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o el balance del agua del suelo en lisímetros. Los métodos experimentales de campo, son en general caros, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente preparado. A pesar de que estos procedimientos no son apropiados para mediciones de rutina, siguen siendo importantes para la evaluación de las estimaciones de evapotranspiración obtenidas con otros métodos indirectos (Allen, 2006).

Debido a la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, ETo se calcula comúnmente con datos meteorológicos. Una gran cantidad de ecuaciones empíricas se han desarrollado para determinar la evapotranspiración del cultivo de referencia utilizando datos meteorológicos. Algunos de los métodos son solamente válidos para condiciones climáticas y agronómicas específicas y no se pueden aplicar bajo condiciones diferentes de las que fueron desarrolladas originalmente. Actualmente se recomienda el método FAO Penman-Monteith como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ETo (Allen, 2006).

2.2.2. Ecuación FAO Penman-Monteith para el cálculo de la ETo

$$E_{to} = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

ETo = evapotranspiración de referencia (mm día-1)

Rn = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

Ra = radiación extraterrestre (mm día-1)

G = flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂ = velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)

e_s = presión de vapor de saturación (kPa)

e_a = presión real de vapor (kPa)

e_s - e_a = déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)

γ = constante psicrométrica (kPa °C-1)

2.2.3. Programación de riego con uso de CROPWAT

CROPWAT es un programa creado por la FAO que permite calcular los requerimientos hídricos de un cultivo, basado en datos de suelo, clima y cultivo, de igual forma, desarrollar la programación y evaluación de riego bajo diferentes condiciones de manejo. En los siguientes apartados se muestra cada una de las variables que el programa solicita para realizar el análisis (Pérez, 2012).

2.2.3.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

El programa utiliza la ecuación de FAO Penman-Monteith para realizar el cálculo. Requiere información sobre la estación meteorológica (país, nombre, altitud, latitud y longitud) junto con los datos climáticos de temperatura, humedad, velocidad del viento y horas sol.

2.2.3.2. Precipitación efectiva

No toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la escorrentía superficial y de la percolación profunda. Para realizar el cálculo CROPWAT utiliza el método que elaboro la USDA S.C.S. 1992-1997 “United States Department of Agriculture Soil Conservation Services”, el cual fue desarrollado para evaluar la precipitación efectiva de un suelo húmedo y de su clima. Para esto es necesario contar con datos de precipitación mensual de un año en específico.

2.2.3.3. Datos del cultivo

Se requieren los valores de K_c (coeficiente de cultivo), etapas (días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico (fracción), respuesta rendimiento y altura del cultivo (m). El coeficiente de cultivo (K_c) da a conocer cómo la planta extrae agua del suelo a medida que esta se va desarrollando, desde su siembra hasta su cosecha. El K_c está influenciado principalmente por el tipo de cultivo y en menor proporción por el clima y la evaporación del suelo.

2.2.3.4. Datos del suelo

Como datos necesarios se requiere la humedad del suelo disponible (CC-PMP), la tasa de infiltración máxima y la profundidad radicular.

2.2.4. Pluviometría-lámina de riego-tiempo de riego

La lámina de riego está en función de la evapotranspiración y la humedad del suelo

La Pluviometría es la medida de las precipitaciones caídas en área, para el caso de un riego por aspersión la pluviometría está en función de la distribución en el espacio de los aspersores, el caudal y la eficiencia.

$$P = \frac{\left(\frac{Q}{E_{asp} * E_{lat}} * Ef\% \right)}{100} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

P= pluviometría (mm/h)

Q= caudal (LPH)

E_{asp} = distancia entre aspersores (m)

E_{lat} = distancia entre laterales (m)

El tiempo de riego corresponde a la lámina aplicada según la pluviometría.

$$T = \frac{L}{P} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde:

T = tiempo de riego (h)

P = pluviometría (mm/h)

L = lámina de riego por aplicar (mm)

2.3. Balance hídrico

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración. La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca. La ecuación 2.4 muestra la fórmula general que se utiliza en el balance hidrológico (Ordoñez, 2011).

$$CAPTACIÓN - ET_o = ESCORRENTÍA + INFILTRACIÓN \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Del Balance Hidrológico, se puede conocer el estado de humedad de la cuenca el cual está asociado al aporte de precipitación recibida y a las pérdidas generadas (Ordoñez, 2011).

2.3.1. Método de Thornthwaite y Matter

El método de Thornthwaite y Mather es uno de los métodos más usados en hidrología y edafología, el cual se basa en un cálculo del agotamiento de la reserva de humedad del suelo ya sea diario o mensual, que parte, para su cálculo, de que el periodo considerado es el ciclo hidrológico.

El balance está fundamentado en una serie de condiciones iniciales para su cálculo, entre las cuales están que la temperatura y la precipitación se aplican como valores medios mensuales, la reserva útil del suelo al comienzo del año hidrológico es cero y las variaciones de dicha reserva se deben exclusivamente al resultado del balance (Montaner, 1988).

El balance se calcula mes a mes y se analiza de la siguiente manera (Arellano, 2008):

1. Si un mes la precipitación es mayor o igual que la evapotranspiración potencial, entonces la evapotranspiración real va a ser igual a la evapotranspiración demandada.
2. Si la precipitación es menor que la evapotranspiración demandada, entonces la evapotranspiración va a ser igual a la precipitación más el agua disponible (agua que puede

ser almacenada por el suelo), pero si no hay suficiente agua disponible para alcanzar el valor de la evapotranspiración entonces la evapotranspiración real va a ser menor a la demandada y ese faltante va a provocar un déficit de agua.

3. Si en un mes la precipitación más el agua que hay en el suelo superan la evapotranspiración potencial entonces ese exceso de agua se va a llamar superávit, y corresponde al agua que escurre y la que se pierde por infiltración profunda. Según Thornthwaite, aproximadamente la mitad del superávit (SUP) que se produce en un mes concreto descarga a los ríos de forma más o menos rápida, y la otra mitad queda en la zona no saturada disponible para seguir descargando a los cauces o convertirse en recarga en los meses siguientes.

2.3.2. Escorrentía superficial

La escorrentía superficial se refiere, en general, al agua que circula por la superficie terrestre y se concentra en los ríos. Está determinada por la tasa de infiltración que depende, básicamente, de factores climatológicos, geológicos e hidrológicos. El factor más decisivo sea la intensidad y la duración de la lluvia, pero también la conductividad hidráulica del suelo, textura y condiciones del suelo, topografía, red de drenaje y vegetación.

2.3.3. Infiltración

Infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de su superficie en contacto con la atmósfera. Posteriormente se moverá en el subsuelo de acuerdo a diferentes procesos, pudiendo recargar el perfil hídrico, percolar por debajo de la zona radical hacia los acuíferos, conformar el flujo sub superficial o hipodérmico que termina en un área de drenaje. Su importancia radica en que el agua infiltrada constituye el principal sustento de la vegetación y origen de las aguas subterráneas. El análisis conceptual de la infiltración es común a condiciones naturales (precipitaciones) o de regadío.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Aprovechamiento actual del agua disponible

Como parte del análisis es importante conocer el manejo que Reserva Conchal le da al agua utilizada actualmente, ya que es necesario asegurarse del aprovechamiento máximo del agua disponible, antes de determinar alternativas para obtener más cantidad de agua.

Inicialmente se estableció su situación, en cuanto al manejo y utilización del recurso hídrico, sus necesidades, limitaciones y conflictos.

Durante la época seca que comprende desde los meses de noviembre-diciembre hasta mediados de mayo, la lluvia que recibe el campo de golf es prácticamente nula, esto según el registro de datos de lluvia obtenidos en Reserva Conchal desde el año 2006 hasta la fecha.

En cuanto al agua con la que cuentan en el departamento de golf, durante el periodo de verano se ve limitada, ya que el manejo del recurso hídrico está en función de quien la necesita más o quien debería ser la prioridad principal.

Como es de esperar el uso humano es la prioridad número uno, por lo que la pirámide de distribución está determinada de la siguiente manera:

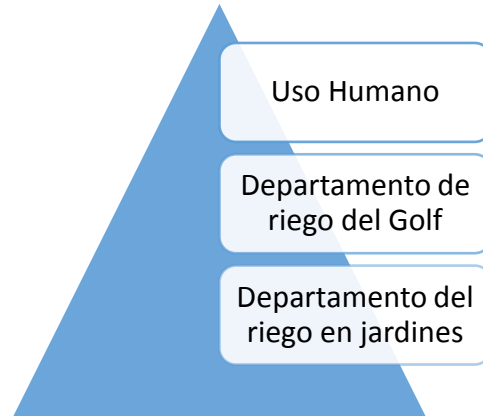


FIGURA 3. 1. Distribución del uso del agua en Reserva Conchal

El departamento de riego en golf se encuentra limitado a tener un manejo propio del recurso.

El riego se realiza durante las noches y madrugadas, entre las 6 de la tarde y 6 de la mañana, cada día. Dependiendo de la oferta de agua se riega por igual en todo el campo o se toman decisiones de que zonas son más importantes de regar.

Para los últimos periodos secos, el riego se ha mantenido muy limitado lo que facilita que el campo se vea afectado.

El objetivo fundamental del riego, consiste en proporcionar al suelo, en forma artificial, la cantidad de agua necesaria para satisfacer el déficit de evaporación y para el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Valverde, 1998), entonces a partir de esto se plantea la necesidad de analizar si el riego aplicado está siendo realmente aprovechado.

La lámina de riego que el cultivo necesita para mantener su vigor, maximizando el uso del agua, se determinó con base en las características del cultivo, del suelo, y las condiciones climáticas de la zona, haciendo uso del software de la FAO CROPWAT, el cual toma todas estas variables y muestra el comportamiento del agua en el suelo y con ello, permite el desarrollo de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo de abastecimiento de agua para el sistema de patrones de cultivo diferentes.

3.1.1. Variables para utilización de CROPWAT

Las necesidades de agua en los cultivos son conocidas por medio de la evapotranspiración, que es la sumatoria de aguas que utiliza la planta para llevar a cabo todas sus funciones fisiológicas

Los factores que afectan la evapotranspiración están determinados por elementos climatológicos, como la radiación, la temperatura y la humedad relativa, también por el tipo de cultivo, las características físicas del suelo y el contenido de humedad en el suelo.

Tener conocimiento de las características del suelo para comprender el papel que juega el agua y su influencia en el desarrollo del cultivo, así como la capacidad que tiene éste para almacenarla, estableciendo límites de contenido de humedad definidos por la textura, permite conocer uno de los factores importantes dentro de los requerimientos hídricos.

Por medio de pruebas de campo, datos meteorológicos y datos teóricos, se determinaron todas estas variables y con ellas se obtuvo la información necesaria para que el programa arrojará los datos esperados, con los cuales se determinó el manejo que se le puede dar al agua para maximizar su utilización.

Las variables requeridas por el programa no pueden ser todas experimentales, por la complejidad de las mediciones por lo que se utilizaron datos teóricos en algunas de ellas para poder obtener resultados. Las variables de clima son datos obtenidos a través de mediciones en campo por medio de una estación meteorológica pero los datos de suelo y cultivo son datos teóricos debidamente referenciados.

3.1.1.1. Clima

Reserva Conchal no cuenta con una estación meteorológica propia. Las estaciones más cercanas a ella son la del aeropuerto Daniel Oduber en Liberia, o la estación meteorológica de San José Pinilla en Santa Cruz, ambas estaciones se encuentran a distancias considerables de Reserva Conchal, pero por la cercanía con el mar y por condiciones más similares entre Pinilla y Conchal se determinó utilizar esta como referencia.

La decisión de la utilización de los datos de la estación meteorológica de San José Pinilla, se basó en referencias que muestran que las condiciones ambientales en este lugar se asemejan a las condiciones que se pueden encontrar en Reserva Conchal.

Estas referencias fueron tomadas del Atlas Climático realizado por el Instituto Meteorológico Nacional, estudio en el cual se muestra una recopilación ilustrada del clima del país, compuesto de mapas, gráficas, cuadros y descripciones de los diferentes elementos y variables del clima.

El estudio cuenta con resultados obtenidos de datos registrados históricos de 30 años, se utilizaron las herramientas estadísticas idóneas que aseguran la confiabilidad y estabilidad de los promedios.

Dentro de los mapas con los cuenta el estudio están los de precipitación anual o mensual, temperatura máxima, media y mínima, mensual y anual, y horas de sol también anual y mensual.

Revisando los mapas para la región Chorotega que es la zona geográfica donde se encuentra San José Pinilla y Reserva Conchal, se encontró que los datos registrados en cuanto a precipitación, temperatura media, máxima y mínima, y horas de sol se encuentran dentro del mismo rango para ambas, lo que permitió concluir que el comportamiento meteorológico de ellas es similar, y por tanto, se puede tomar como opción la utilización de los datos de la estación meteorológica de San José Pinilla para el análisis.

Los datos requeridos son: la precipitación, la temperatura mínima y máxima, la humedad, el viento y la radiación.

La estación meteorológica de San José Pinilla se encuentra ubicada a 10°15' latitud norte y 85°15' longitud oeste, a una altitud de 50 msnm. La figura 3.2 muestra una ilustración de la estación y la tabla 3.1 muestra la ubicación de los instrumentos de medición para esta estación.



FIGURA 3. 2. Estación San José de Pinilla, número 72149. (IMN, 2013)

TABLA 3. 1. Ubicación de cada uno de los sensores para mediciones de condiciones climáticas para la estación meteorológica San José Pinilla (IMN, 2014)

	Altura* (m)
Sensor de humedad y temperatura	2
Sensor de lluvia	1.5
Sensor de viento	10
Sensor de radiación	3
Sensor de presión atmosférica	1.5
* Altura medida perpendicular al nivel del suelo.	

Se decidió tomar como referencia para el cálculo del requerimiento hídrico los datos promedio mensuales para el año 2013, siendo los datos más recientes obtenidos, lo cuales fueron comparados con los datos de riego aplicados en ese año. Los datos de cada una de las variables climáticas brindadas por el IMN se pueden observar en la tabla 3.2.

TABLA 3. 2. Datos meteorológicos promedios para los meses del 2013 (IMN, 2014)

	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Humedad (%)	Viento (Km/h)	Rad (MJ/m²/día)	Precipitación (mm)
Enero	21.9	35.5	31	19.1	21.7	2.0
Febrero	21.7	36.2	25	18.9	23.9	0.0
Marzo	22.4	37.0	22	21.7	24.7	1.0
Abril	20.9	37.9	24	13.8	24.1	0.5
Mayo	22.2	36.1	26	12.1	19.5	136.4
Junio	21.8	32.6	49	8.8	15.6	180.3
Julio	21.5	34.9	50	9.6	17.1	101.3
Agosto	21.9	33.7	42	9.0	17.2	210.0
Setiembre	21.8	32.6	55	8.8	16.6	177.9
Octubre	21.4	32.6	55	8.6	16.5	272.5
Noviembre	20.9	32.7	55	9.6	17.0	122.1
Diciembre	20.0	34.0	35	12.4	17.8	1.0

En este caso los datos de velocidad de viento fueron medidos a una altura de 10 m y la ecuación FAO Penman Monteith habla de una altura de 2m, por lo que los datos debieron ser ajustados.

Para ajustar los datos de velocidad de viento obtenido de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2 m, se utilizó la siguiente relación logarítmica (Allen, 2006):

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

u_2 = velocidad del viento a 2m sobre la superficie (m s⁻¹)

u_z = velocidad del viento medida a z m sobre la superficie (m s⁻¹)

z = altura de medición sobre la superficie (m)

Por lo que los datos climáticos finales usados en el análisis quedaron de la siguiente manera:

TABLA 3. 3. Datos finales usados por CROPWAT para el análisis del requerimiento hídrico.

	Temp Min (°C)	Temp Max (°C)	Humedad (%)	Viento a 2m (km/h)	Rad (MJ/m ² /día)	Precipitación (mm)
Enero	21.9	35.5	31	11.33	21.7	2
Febrero	21.7	36.2	25	11.21	23.9	0
Marzo	22.4	37	22	12.87	24.7	1
Abril	20.9	37.9	24	8.19	24.1	0.5
Mayo	22.2	36.1	26	7.18	19.5	136.4
Junio	21.8	32.6	49	5.22	15.6	180.3
Julio	21.5	34.9	50	5.70	17.1	101.3
Agosto	21.9	33.7	42	5.34	17.2	210
Setiembre	21.8	32.6	55	5.22	16.6	177.9
Octubre	21.4	32.6	55	5.10	16.5	272.5
Noviembre	20.9	32.7	55	5.70	17	122.1
Diciembre	20	34	35	7.36	17.8	1

3.1.1.2. Suelo

Es importante explicar en primera instancia como se encuentra conformado el campo de golf, y cada una de sus partes, ya que esto trae implicaciones en el tipo de suelo que cada una de ellas posee.

El campo de golf de Reserva Conchal cuenta con 18 hoyos, cada uno de los hoyos se ubica en una zona llamada Green, esta es la que lo rodea, y el suelo de esta área es un suelo arenoso, es la zona de más cuidados y es la zona donde culmina el recorrido del juego. Por otro lado están los Tees que son pequeñas montañas como los Greens, solo que estas zonas son para iniciar el juego y en ellas se encuentra un suelo que está conformado por una mezcla entre suelo arenoso y un suelo más franco. Y el Farway que es el resto del área dentro del campo compuesto en su totalidad por un suelo más apto para cultivar. (Ver figura 3.3).

La diferencia entre los suelos, permite el establecimiento de un riego sectorizado donde se aplique una lámina de riego a los Greens y otra lámina para el sector que abarca los Tees y el Farway. Analizando así cada tipo de suelo y determinando las láminas de riego a partir de las características específicas para cada sector.



FIGURA 3. 3. Distribución de las diferentes partes de un campo de golf

El área que corresponde a los Greens es de 1.2 hectáreas, los Tees 0.8 hectáreas, y el área del Farway corresponde a 49.16 hectáreas.

A partir de estos datos se decide realizar pruebas para la determinación de la textura de los suelos presentes en el área del Farway, esto con el fin de establecer el tipo de suelo predominante y con ello investigar las características de este, como el agua disponible, la infiltración y el agotamiento inicial de la humedad del suelo, que serán utilizados por CROPWAT.

En los Greens de los campos de golf, resulta prácticamente imposible realizar muestreos mediante técnicas destructivas dado el impacto negativo que esto conlleva, por ser las zonas más delicadas de los campos de golf. Son construidas con un tipo de arena sílicea determinada (Lovera, 2011), por lo tanto en estos no se realizó análisis, y la características que el programa necesita, fueron establecidas para un suelo arenoso.

El esquema más sencillo, y el más usado, para un muestreo, consiste en tomar muestras al azar de todo el campo, lo que provee información de la variabilidad en el campo (Roberts y Henry, 2000). Se decide por tanto realizar pruebas en las zonas que rodean cuatro de los hoyos, tomando tres muestras en cada uno de ellos, a distancias aproximadas de quince metros entre cada una. Se realizó de esta forma ya que estos hoyos son los que abarcan la mayor área entre todos. En la siguiente figura se puede observar la distribución de las muestras (figura 3.4).

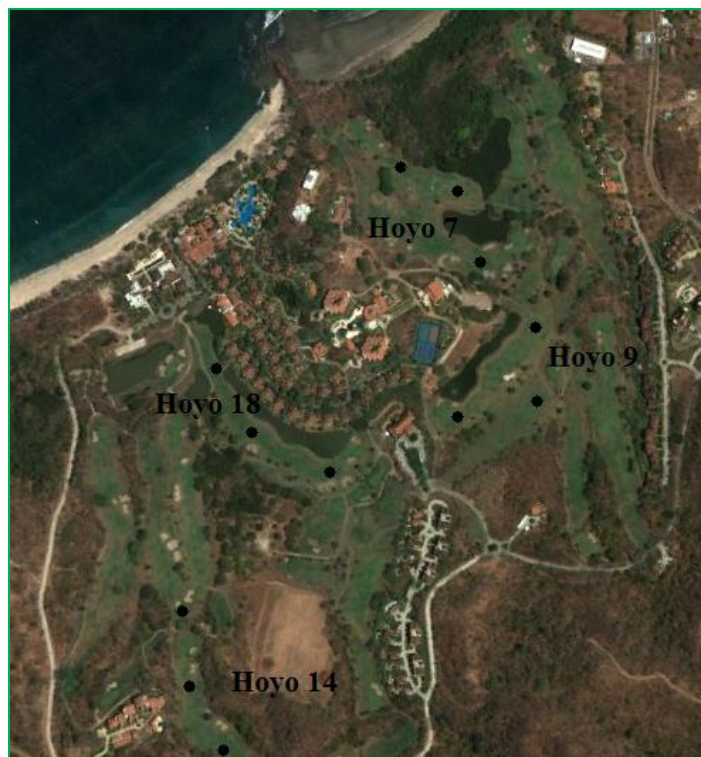


FIGURA 3. 4. Distribución de muestras de suelo tomadas en el campo de golf.

Para la determinación textural de estas muestras se utilizó el método de Bouyoucos, este consiste en un análisis granulométrico por densimetría con un hidrómetro, el hidrómetro de Bouyoucos, donde una suspensión de suelo colocada en una probeta de sedimentación, gracias a las diferentes densidades las partículas, comienzan a sedimentarse y con base en el tiempo de duración y la velocidad de sedimentación, así se determina la cantidad de limo, arcilla y arena que la muestra contiene. (Rodríguez y Castillo, 2001).

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica, con ayuda del encargado del laboratorio.

La metodología utilizada en el laboratorio está basada en contar con muestras de 40g de suelo seco y tamizado. Introduciendo la muestra en una botella de 1 litro se añadieron 100 ml de agua destilada y 50 ml de Calgón®, y se dejaron 10 minutos en agitador mecánico, luego completando el litro con agua destilada, se tomó la medición a los 42 s después de la agitación y la segunda medición a las 2 horas.

La tabla 3.4 muestra los resultados obtenidos. El reporte total del ensayo entregado por el laboratorio se puede consultar viendo el anexo 1.

TABLA 3. 4. Resultado del análisis de textura de suelos, para doce muestras al rededor del campo de golf.

ID Muestra	%			Clase Textural
	Arena	Limo	Arcilla	
M1-7	45	22	33	Franco arcilloso
M2-7	58	10	32	Franco arcilloso arenoso
M3-7	60	10	30	Franco arcilloso arenoso
M1-9	41	18	41	Arcilloso
M2-9	52	18	30	Franco arcilloso arenoso
M3-9	36	23	41	Arcilloso
M1-14	35	30	35	Franco arcilloso
M2-14	42	28	30	Franco arcilloso
M3-14	50	18	32	Franco arcilloso arenoso
M1-18	41	25	34	Franco arcilloso
M2-18	40	28	32	Franco arcilloso
M3-18	41	22	37	Franco arcilloso

Como se puede observar en la tabla anterior, según los resultados de la prueba el suelo predominante es un suelo franco arcilloso.

Según (Shaxson y Barber, 2005) los suelos orgánicos y los suelos franco de textura media con altos contenidos de arena muy fina y sedimentos tienen la capacidad disponible de agua más alta, los suelos arcillosos tienen valores intermedios y los suelos con contenido de arena gruesa tienen la capacidad disponible de agua más baja.

En la tabla de la figura 3.5, se puede observar que la capacidad de retención de los suelos puede determinarse por su cantidad de arcilla. Donde la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente de los suelos francos determinan una capacidad de retención de alrededor de un 17% de agua, lo que equivale a 0.17 cm de agua por cada cm de suelo aproximadamente (Thompson y Troeh, 1988).

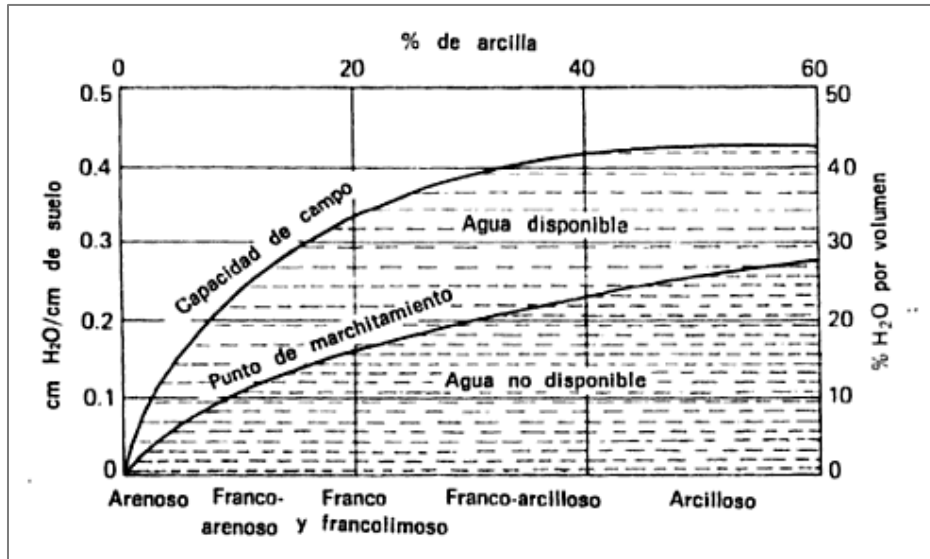


FIGURA 3. 5. Capacidad de retención de hídrica de suelos típicos con varias texturas. (Thompson y Troeh, 1988)

Los tipos de suelos determinados en la prueba del laboratorio se encuentran dentro de este rango, ya que el porcentaje de arcilla en todas las muestras se encuentra entre un 30 y 40% (tabla 3.4), lo cual permite utilizar este límite como la disponibilidad de agua en la zona de los Tees y el Farway, siendo por tanto 170 mm/m de agua en el suelo.

Para el área de los Greenes, siendo su suelo completamente arenoso (profundidad de 20cm) la capacidad de retención de agua es mucho menor. En la figura 3.6 se puede observar otra tabla que muestra el límite del agua aprovechable dependiendo del tipo de suelo.

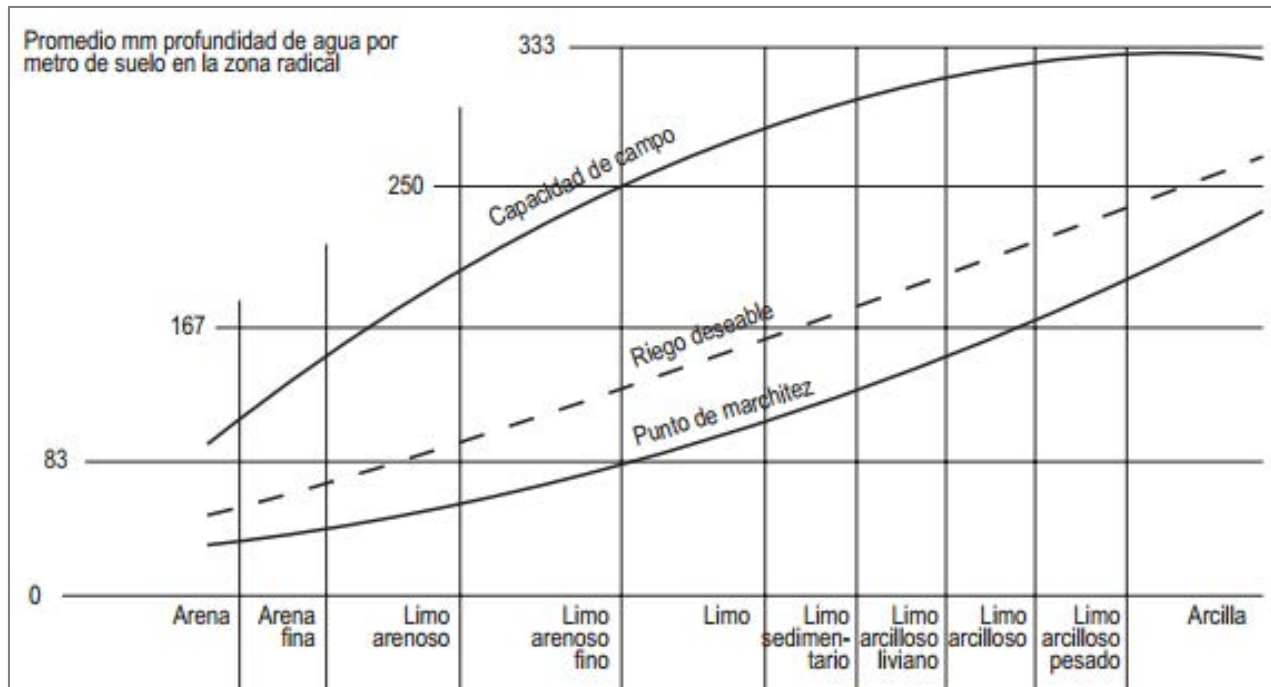


FIGURA 3. 6. Capacidad de agua disponible típica en suelos con diferentes texturas. (Shaxson y Barber, 2005)

El agua disponible en el suelo arenoso es escasa por lo que se va a necesitar un riego más intensivo y continuo. Como la tabla muestra un rango se consultó otra referencia, encontrando que por cada metro de suelo arenoso se puede tener 50 mm de agua (Paulet, 1983).

Por otro lado en cuanto a la variable de la tasa de infiltración, también necesitada por el programa, esta se ve afectada por el tipo de suelo, ya que el movimiento del agua está condicionado a la textura y estructura de este.

La velocidad de infiltración de agua según la textura para un suelo arcillo se encuentra en un rango de 1 a 5 mm/h y un suelo arenoso de 25-50 mm/h.

Con esto se tienen las variables necesarias solicitadas por CROPWAP en cuanto a las características del suelo.

3.1.1.3. Cultivo

El tipo de césped utilizado en el campo de golf es el pasto Bermuda, cuyo nombre científico es *Cynodon dactylon*, este es un popular césped para jardines, campos de golf, campos deportivos y en

general áreas de servicios públicos. Se encuentra en Australia , África , India , América del sur y el sur de Estados Unidos, crece bien en casi todos los tipos de suelo y posee una alta resistencia a la sequía (Chalmers, et al., 2006).

El pasto Bermuda varía la textura de la hoja desde muy fina a gruesa, esto depende de la variedad, tiene un crecimiento muy denso el cual se extiende tanto sobre el suelo (estolones) y por debajo del suelo (rizomas), lo que hace que sea muy agresivo y capaz de competir con éxito con la mayoría de las especies de malas hierbas (Chalmers et al., 2006).

Las variedades híbridas como Tifway 419, utilizada en gran parte del campo de golf de Reserva Conchal, tienen una textura más fina y producen césped de muy alta calidad, sin embargo, requieren un mayor mantenimiento que las variedades de textura gruesa. Por otro lado están las variedades enanas como campeón o Tifdwarf que son los pastos usados en los Greens del campo de golf, su textura es especialmente fina y requiere de un manejo más intensivo (Chalmers et al., 2006).

Como características más específicas del cultivo se tiene que esta variedad es perenne. Es rastrera por medio de estolones y rizomas y pocas veces alcanza 90 cm de altura. Por lo general, las hojas son velludas o glabras. Sus raíces son gruesas y profundas, la mayoría alcanzan unos 60 cm de elongación y se encuentra enlazadas, hoja ciliada y puntada, lígula enflecada. Esta variedad tiene entrenudos largos y cortos, hojas alternas opuestas de intenso color verde. El tallo de la inflorescencia puede alcanzar una altura de 10 a 40 cm, éste es de un tono morado. La temperatura óptima para el crecimiento se encuentra entre 35°C y 37,5°C. Esta variedad requiere entre 625 y 1750 mm de precipitaciones anuales. La tolerancia a la sequía es buena y los rizomas sobreviven bien a ella. Se adapta mejor a zonas de bajas precipitaciones, lo cual la hace resistente al estrés hídrico aunque también es tolerante a las inundaciones (Obaldía y Pineda, 2005)

El estudio realizado por Obaldía y Pineda mostró que al cultivar el pasto bermuda inicialmente contaban con un 40% de cobertura en el área de estudio, alcanzando un 100% de cobertura a los 5 meses, con esto se obtuvo una referencia del ciclo de crecimiento del cultivo.

Lo que corresponde al campo de golf de Reserva Conchal, éste se encuentra ya con una cobertura del 100% lo que implica que el enfoque está en su crecimiento vertical, este se mantiene bastante corto (5 cm) debido a la poda que se le da con regularidad. Tiene un crecimiento constante, pero no alcanza mayores alturas antes de ser podado de nuevo.

El coeficiente del cultivo K_c permitió que el programa CROPWAT realizara el ajuste de la evapotranspiración real, a partir de la corrección de la Evapotranspiración de referencia (obtenida de los datos climáticos) con el uso de este factor.

Los valores máximos de K_c para una pradera de golf están en un rango de 0.85-0.95 (Martín, 2009), estos datos coinciden además, con los datos de (Allen y FAO, 2006), que indican que el K_c inicial, medio y final para pastos usados como césped, para una altura máxima de cultivo de 10 cm y en época caliente, es de 0.85 para cada uno.

3.1.2. Condiciones finales para el uso de CROPWAT

Para el uso de CROPWAT el análisis fue definido para dos programaciones de riego distintas, una para el área determinada por el Fairway y otra para los Greenes, ya que al tener estructuras de suelo distintas necesitarán diferente cantidad de agua por la capacidad de almacenamiento que posee cada uno.

Los datos teóricos utilizados corresponden a los datos de capacidad de campo, infiltración y el valor K_c del cultivo.

Se establecieron parámetros de forma tal que el programa se adecue a las necesidades requeridas, por lo que a continuación se enumeran las condiciones dadas al programa.

1. Se estableció la etapa media del cultivo como la etapa donde se necesita riego, ya que se trata de césped que se encuentra al 100% de cobertura, por lo que se encuentra en su estado medio.
2. El inicio del ciclo del cultivo se planteó a mitad del mes de noviembre (15 noviembre), una fecha aproximada al momento en que las lluvias han cesado. Normalmente a partir de finales de este mes hasta mayo se da la época seca por lo que los datos se analizaran en este rango de tiempo.
3. El rendimiento del riego será de un 80%.

Dentro de los datos que se obtuvieron del programa están: el requerimiento hídrico del cultivo y el calendario de riego que propone para que se le pueda dar al cultivo el agua que necesita. El programa determina la lámina de riego y con ella el caudal que debe ser aplicado para suplir esa demanda.

3.1.3. Lámina de riego aplicada en el campo de golf

El sistema de riego del campo de golf está diseñado para ser regado por aspersión, los aspersores se encuentran espaciados en una cuadrícula de 22x22, estos son en su mayoría de la serie 730 golf sprinkler de la marca TORO.

El radio de alcance de los aspersores es de 22 metros y la boquilla utilizada es la #35 por lo que, con base en la tabla de rendimiento para esa serie (Ver Figura 3.7) se determina que el caudal y la presión son: 85 psi y 7m³/h respectivamente para cada aspersor. A partir de estos datos y el tiempo de riego se determinó la lámina de riego aplicada.

PRESION DE BASE		Configuración de la boquilla 31			Configuración de la boquilla 32			Configuración de la boquilla 33			Configuración de la boquilla 34			Configuración de la boquilla 35			Configuración de la boquilla 36		
Kg/cm ²	kPa	Rad	l/mn	m ³ /hr	Rad	l/mn	m ³ /hr	Rad	l/mn	m ³ /hr	Rad	l/mn	m ³ /hr	Rad	l/mn	m ³ /hr	Rad	l/mn	m ³ /hr
3.5	342.4	15.9	41.6	2.5	16.8	50.3	3.0	18.3	63.6	3.8	18.9	74.9	4.5	20.1	94.6	5.7	20.7	100.3	6.0
4.0	386.4	16.3	46.0	2.7	17.2	54.0	3.2	18.7	65.9	3.9	19.3	78.9	4.8	20.5	98.8	6.0	21.1	106.8	6.4
4.5	440.2	16.7	51.1	3.1	17.6	58.2	3.5	19.1	68.5	4.1	19.8	83.7	5.1	20.9	104.1	6.2	22.0	115.2	6.8
4.6	445.1	16.8	53.0	3.2	17.7	59.4	3.6	19.2	67.8	4.1	19.8	84.0	5.0	21.0	103.7	6.2	22.0	115.8	7.0
5.0	489.2	17.2	55.5	3.3	18.1	62.3	3.7	19.6	71.2	4.2	20.2	87.2	5.3	21.5	107.5	6.5	22.4	120.0	7.2
5.5	533.2	17.2	58.1	3.5	18.1	65.2	3.9	19.6	74.6	4.5	20.3	90.4	5.4	21.6	111.3	6.6	23.1	124.3	7.4
5.6	547.8	17.4	58.7	3.5	18.3	66.2	4.0	19.8	75.7	4.5	20.4	90.8	5.5	21.7	111.7	6.7	23.2	124.9	7.5
6.0	582.1	17.7	60.2	3.6	18.6	67.4	4.0	20.1	79.5	4.8	20.7	94.6	5.7	22.0	117.3	7.0	23.5	129.8	7.8
6.5	635.9	18.1	63.0	3.8	18.7	69.7	4.2	20.5	84.4	5.1	21.6	100.6	6.0	22.5	125.3	7.5	24.0	136.8	8.2
7.0	684.8	18.3	64.3	3.9	18.9	70.8	4.2	20.7	90.1	5.4	22.0	106.4	6.4	22.9	134.4	8.1	24.4	143.0	8.6

FIGURA 3. 7. Cuadro de rendimiento de la serie 730 de los aspersores TORO

3.2. Estudio hidrológico para la cosecha de agua

Determinar la cantidad de agua que se puede obtener en un lugar para decidir si se procede con la cosecha de agua, está en función de diferentes variables, de las cuales las más importantes son: cantidad de agua que llueve, la capacidad del reservorio donde va a ser almacenada, la evaporación que puede darse si el reservorio está expuesto, la infiltración que se da si este no es impermeable, la demanda de agua y el uso que se le va a dar.

En este caso, se cuenta con los datos de la cantidad de agua de lluvia, los reservorios que pueden utilizarse, las características de cada uno y se conoce la demanda requerida de agua.

3.2.1. Cálculo del volumen de los lagos

Se realizó un levantamiento topográfico con la estación total SOKKIA modelo SET 650x, para cada uno de los lagos, con los datos obtenidos se realizó un modelo de elevación digital en ARCGIS, y con este se calculó el volumen de cada uno.

En la figura 3.8 se puede observar la distribución de los lagos en el campo de golf.

El volumen fue calculado para los lagos 7, 9, 18G, 18PEQ y 17, los cuales pueden ser utilizados para el almacenamiento de agua.

El lago que está junto al lago 7, en época lluviosa se mezcla con el agua de mar. Por lo que no se va a tomar en cuenta.

Se calculó además el volumen aproximado de los lagos al profundizarlos un metro más, con el fin de tener un panorama de cuánta agua más podría almacenarse.

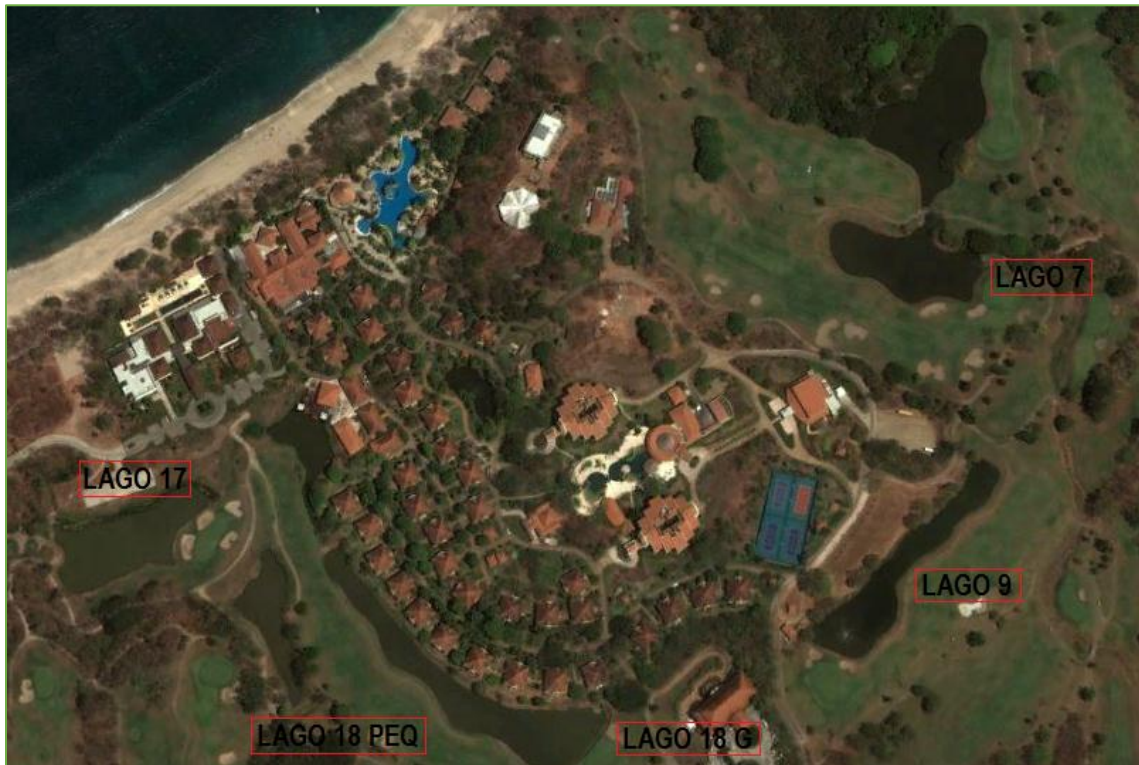


FIGURA 3. 8. Distribución de los lagos dentro del área de estudio en Reserva Conchal.

El levantamiento se realizó sin georreferenciación, por lo que cada lago se midió independiente uno del otro ya que para el cálculo del volumen, la ubicación de uno con respecto al otro no afecta el resultado.

3.2.2. Balance hídrico

El método de Thornthwaite-Matter indica que la mitad del superávit es el agua que escurre. Para obtener el cálculo era necesario conocer la evapotranspiración y la precipitación mensual. La evapotranspiración fue obtenida con la ecuación de FAO Penman Monteith. Se utilizaron datos promedios de temperatura, viento, humedad, horas de sol y precipitación de los últimos 10 años (2004-2013).

Se hizo además el balance hídrico para para el año más seco del total de los años, siendo este el 2013. Se calculó con el fin de obtener un estimado de la cantidad de agua que se puede cosechar en caso de que un año sea más seco. No se predice el periodo de retorno de los años más secos ya que no se cuenta con la suficiente cantidad de datos para generar una estadística confiable.

El valor de la cantidad de agua que se puede almacenar en el suelo es otra de las variables requeridas para aplicar el modelo, se toma por tanto el agua disponible para el tipo de suelo del área del Farway que corresponde a 170 mm de agua fácilmente aprovechable (CC-PMP), esto para las áreas verdes.

En cuanto al área dentro del campo que está ocupada por infraestructura no se toma en cuenta ya que el agua escurre directamente hacia el mar y no llega a ningún lago. Esto según lo encontrado en el análisis del movimiento del agua de escorrentía.

3.2.3. Parte de aguas dentro del campo

Para la determinación del movimiento del agua se contó con curvas de nivel espaciadas cada metro entregadas por parte de Reserva Conchal. El levantamiento fue realizado en el 2005 por el topógrafo Ing. Oscar Sánchez, éste fue elaborado con el fin de tener la topografía total del campo con la distribución del riego, de cada uno de los Greenes y poder darle mantenimiento al campo.

Se delimitaron las áreas de aporte para cada lago según el movimiento del agua dentro de las mismas. La delimitación se hizo de forma manual usando el plano de curvas y estableciendo puntos

de control además se hizo una verificación en campo por medio de la cual se descartó la existencia de áreas de aporte fuera de la delimitación establecida en el plano.

3.2.4. Evaporación de los lagos

El volumen de evaporación del agua en los lagos está en función del área de mojado y la evaporación obtenida de los datos climáticos.

Para el cálculo de este se usa la siguiente ecuación:

$$V_{evap} = 10 * S * E \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

S = área de espejo de agua (Ha)

E = evaporación (mm/mes)

Con la cual se obtuvo el volumen total que se evapora en cada lago por mes, a partir de diciembre, donde empieza la época seca. Se utilizó el área de mojado de cada uno de los lagos, la cual fue obtenida de igual manera que se obtuvieron los volúmenes, por medio del levantamiento topográfico.

Para el cálculo de la evaporación se utilizó la ecuación de Meyer (1915) basada en la ley de Dalton cuya ecuación es multiplicada por coeficientes, en parte empíricos y en parte dependientes de factores meteorológicos.

$$E_m = C(1 + 0.06V_z)(e_s - e_a) \quad \text{Ecuación 3.4}$$

E_m = evaporación media mensual (mm/mes)

e_s = tensión de vapor saturante para la temperatura superficial del agua (mm de Hg)

e_a = tensión de vapor real en el aire (mm de Hg)

V_z = velocidad del viento a altura z sobre la superficie evaporante (m/seg)

z = altura (en m)

Para superficies evaporantes pequeñas (por ejemplo, estanques de evaporación) Meyer aconsejó el coeficiente $C = 15$. En lagos grandes y profundos $C = 11$.

Siendo:

$$e_s = 7.5 * \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{min})}{2} \quad \text{Ecuación 3.4.1}$$

$$e^\circ(T) = 0.6108 * \exp\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right] \quad \text{Ecuación 3.4.2}$$

Dónde:

$e^\circ(T)$ = presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (mm de Hg).

Y:

$$e_a = 7.5 * \frac{HR_{media}}{100} e^\circ(T_{media}) \quad \text{Ecuación 3.4.3}$$

Donde:

HRmedia = humedad relativa media.

3.2.5. Infiltración en los lagos

Para el cálculo de la tasa de infiltración básica que se da en los lagos se realizó la prueba de anillos concéntricos. Se pudo completar una única prueba en el lago 18G ya que en el momento de la realización de la prueba los lagos se encontraban secos y el suelo se encontraba desquebrajado, ver figura 3.9.



FIGURA 3. 9. Fondo del lago 7 en época seca.

Cuando hay suelos con arcillas expansibles no se debe instalar los anillos sobre las grietas de expansión-contracción. Cuando la textura del terreno es fina el tamaño de los poros es muy pequeño y la absorción del agua se ve más afectada por la estructura del suelo que en el caso de los suelos arenosos.

Por tanto para evitar datos erróneos se realizó una única prueba, esta se extendió durante 150 min, tomando mediciones cada minuto durante los primeros 20 min, luego se tomaron mediciones cada 30 min.

Para el análisis de los datos se utilizó el método de Kostiakov Lewis, este modelo se basa en que la velocidad de infiltración decrece con el tiempo siendo representada por la siguiente expresión:

$$I = Kt^n \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

I = velocidad de Infiltración (cm/h)

t = tiempo acumulado de infiltración (min)

K = parámetro que representa la velocidad de infiltración cuando el tiempo es 1 min

N = parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo. Tiene valores entre -1.0 y 0, siendo -0.5 su valor más común.

Con el modelo también se puede determinar la infiltración básica (I_b) que es la velocidad de infiltración que permanece más o menos constante, es decir cuando la variación de la lámina infiltrada con respecto al tiempo es muy pequeña. Esta depende también de k y n .

$$I_b = K(-600n)^n \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Esta es la ecuación que determina la infiltración constante a partir del momento de saturación, la cual es la que realmente se necesita ya que se necesita la infiltración que se da desde el momento en que los lagos están completamente llenos, lo que implica que el suelo debió haber llegado ya, a su estado de saturación.

En la tabla 3.5 se puede observar el resumen de los datos obtenidos durante la prueba y el gráfico de la figura 3.10 muestra la curva obtenida a partir de los datos obtenidos en la prueba de infiltración.

TABLA 3. 5. Datos obtenidos en la prueba de infiltración

Tiempo acum (min)	Lamina inf (cm)	Lam acum (cm)
0		
1	6	6
2	7.8	13.8
3	8	21.8
4	7.5	29.3
5	7.5	36.8
6	8	44.8
7	6	50.8
8	5.5	56.3
9	4	60.3
10	4	64.3
11	3.8	68.1
12	3.5	71.6
13	3.5	75.1
14	3.6	78.7
15	2.6	81.3
16	2.7	84
17	2.5	86.5
18	2.8	89.3
19	2.5	91.8
20	2.5	94.3
30	4.1	98.4
60	4	102.4
90	3.1	105.5

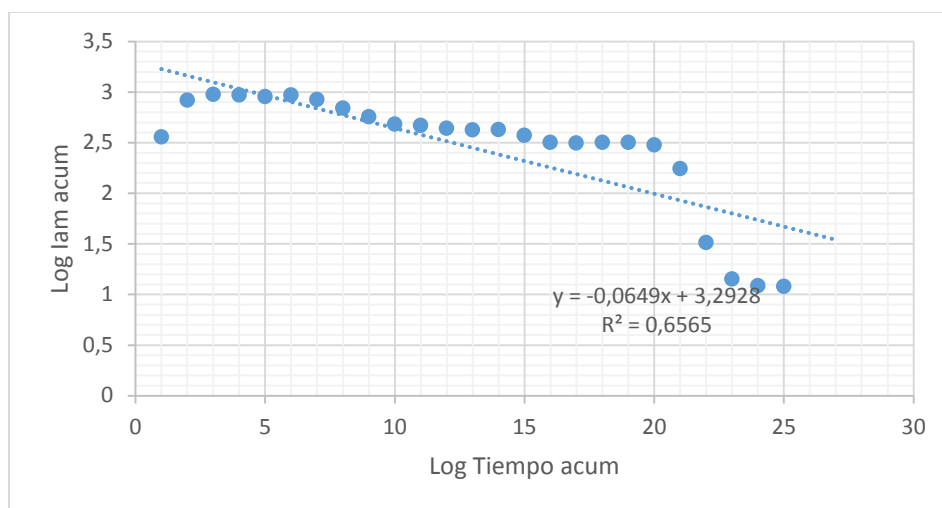


FIGURA 3. 10. Resultado de análisis de datos por medio del método Kostiakov Lewis

3.2.6. Demanda de agua

La demanda de agua está en función del agua total que se riega, para determinar un promedio de la demanda que se da por mes, se van a tomar los registros proporcionados por la superintendencia de golf, datos que corresponden al volumen de agua gastado en los meses de la época seca registrados desde el 2011 hasta el 2014.

TABLA 3. 6. Consumo de agua mensual para el periodo del 2011-2014

CONSUMO MENSUAL PARA CADA AÑO (m³)				
	2011	2012	2013	2014
NOVIEMBRE	5216.0	5216.0	47470.0	13794.1
DICIEMBRE	45701.0	45701.0	58903.7	63865.5
ENERO	49915.0	49915.0	57599.5	72099.2
FEBRERO	52602.0	52602.0	61649.8	76841.9
MARZO	53885.0	53885.0	50634.0	59928.3
ABRIL	54756.0	54756.0	31893.4	43515.4

TABLA 3. 7. Consumo de agua diario para el periodo del 2011-2014

CONSUMO DIARIO PROMEDIO PARA CADA AÑO (m ³)				
	2011	2012	2013	2014
NOVIEMBRE	98.0	98.0	13.5	460.0
DICIEMBRE	295.8	295.8	8.2	2060.9
ENERO	315.8	315.8	12.8	2326.6
FEBRERO	258.3	258.3	10.4	2745.4
MARZO	287.9	287.9	8.7	1933.9
ABRIL	173.1	173.1	9.2	1451.1

3.3. Consideraciones de diseño

3.3.1. Interconexión de los lagos

Para la interconexión que puede haber entre los lagos es necesario conocer la distancia que existe entre ellos, la diferencia de elevación entre cada uno y factores como infraestructura, que se encuentren a su alrededor.

Con base en la topografía del campo tomando en cuenta los factores mencionados, se decide dividir los lagos en dos partes, se trabajó con los lagos 17, 18G y 17 Peq, para los cuales ya existe una conexión la cual permite que, si los lagos 18 sufren de algún rebalse, el agua pueda pasar al lago 17 y de ahí hacia el mar por medio de una estructura de control, que permite el paso aguas abajo, pero no así aguas arriba.

Por otro lado el lago 9 y el lago 7 cuentan también con una conexión que le permite al lago 7 evacuar hacia el lago 9 y este al lago contiguo que evacua hacia el mar. De igual forma existe paso aguas abajo pero no así aguas arriba.

No se tiene claro el tamaño de la tubería que interconecta estos lagos ni el estado de la misma, al estar enterrada es difícil determinar qué tipo de tubería es.

Se utilizaron los planos del campo para determinar el cambio de elevación entre los dos grupos de lagos, así como la distancia y el paso que debería tener la tubería para evitar un mayor movimiento de tierra y no afectar las zonas más importantes del campo, como lo son los Greenes y los Tees.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Requerimiento hídrico del campo de golf

Para obtener el requerimiento hídrico se utilizaron las variables antes determinadas.

Los dos requerimientos de riego se realizaron con base a dos tipos de suelo, el predominante en la zona del Farway y otra para los Greenes.

Inicialmente CROPWAT requiere los datos climáticos para obtener el valor de Evapotranspiración, en la figura 4.1 se pueden observar los valores promedios para el 2013.

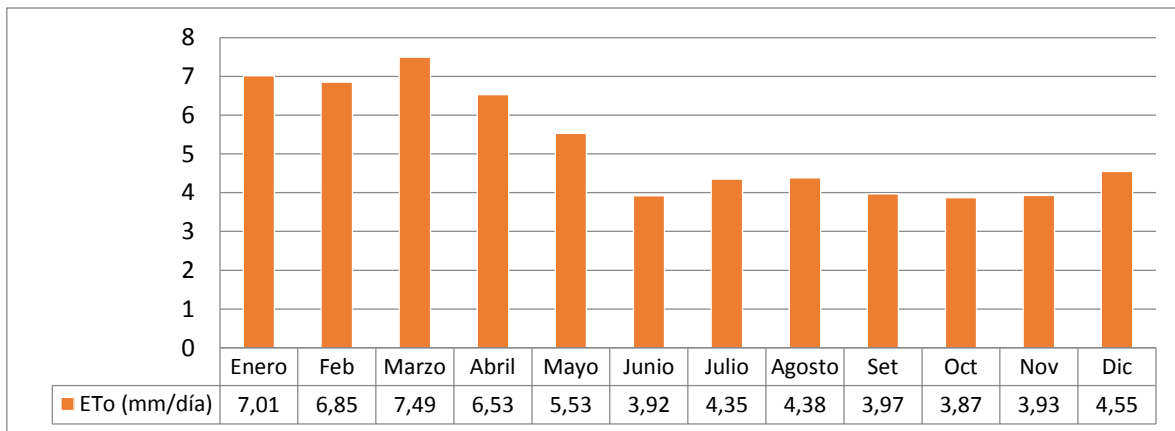


FIGURA 4. 1. Datos de ETo por día promedio para cada uno de los meses del año 2013.

Se logra observar que en la época seca los valores de la Evapotranspiración están por arriba de los 6mm por lo que el requerimiento hídrico en esta época es mayor.

El programa además calcula la precipitación efectiva por medio del método USDA a partir de los valores promedios anuales. En la Figura 4.2 se observa la precipitación que es realmente aprovechada

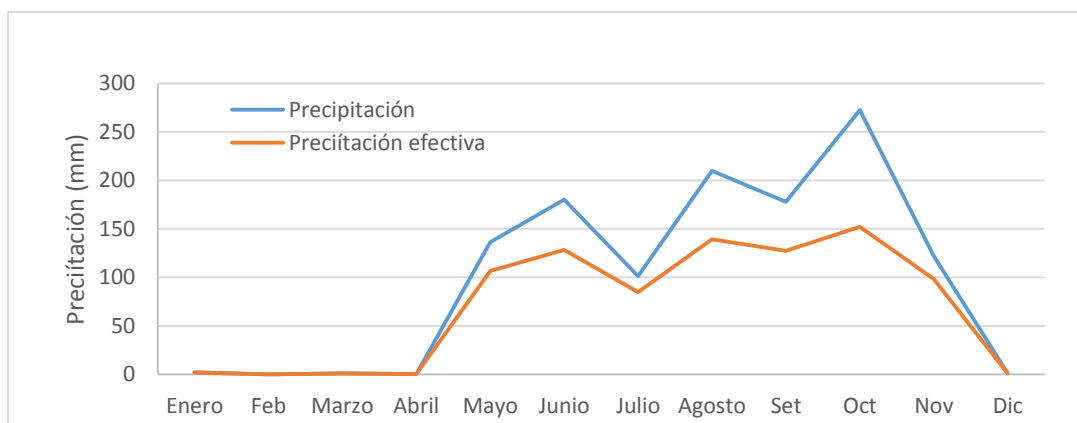


FIGURA 4. 2. Datos de precipitación real y precipitación efectiva para los meses del 2013.

Seguido de esto se introdujeron los datos del suelo y del cultivo, mencionados anteriormente, obteniendo la tabla 4.1 que muestra el requerimiento hídrico.

TABLA 4. 1. Requerimiento hídrico para en el campo de golf a partir de las condiciones climatológicas

Mes	Década	Etap	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. Efec mm/dec	Req.Riego mm/dec	Días por década	Req.Riego mm/día
Nov	2	Des	0.85	3.36	20.2	20.8	2.8	6	0.47
Nov	3	Des	0.87	3.58	35.8	23.3	12.6	10	1.26
Dic	1	Med	0.87	3.68	36.8	1.1	35.7	10	3.57
Dic	2	Med	0.87	3.8	38	0	38	10	3.8
Dic	3	Med	0.87	4.57	50.3	0	50.2	11	4.56
Ene	1	Med	0.87	5.57	55.7	0.6	55.1	10	5.51
Ene	2	Med	0.87	6.38	63.8	0.8	63	10	6.3
Ene	3	Med	0.87	6.24	68.7	0.5	68.2	11	6.19
Feb	1	Med	0.87	6.02	60.2	0.1	60.1	10	6.01
Feb	2	Med	0.87	5.97	59.7	0	59.7	10	5.97
Feb	3	Med	0.87	6.16	49.3	0	49.3	8	6.16
Mar	1	Med	0.87	6.47	64.7	0.3	64.4	10	6.44
Mar	2	Med	0.87	6.71	67.1	0.4	66.7	10	6.67
Mar	3	Med	0.87	6.37	70.1	0.3	69.8	11	6.34
Abr	1	Med	0.87	5.98	59.8	0	59.8	10	5.98
Abr	2	Med	0.87	5.7	57	0	57	10	5.7
Abr	3	Med	0.87	5.41	54.1	0.6	53.5	10	5.35
May	1	Med	0.87	5.12	51.2	26.4	24.7	10	2.47
May	2	Fin	0.87	4.81	48.1	39.5	8.6	10	0.86
May	3	Fin	0.86	4.28	42.8	36.9	2.2	10	0.22

En esta tabla se puede observar como el programa realiza la comparación del comportamiento de las precipitaciones y la evapotranspiración para determinar la lámina que debe ser aplicada.

A partir de noviembre el requerimiento de riego comienza a ascender, llegando a más de 6mm por día desde los meses de enero a marzo, siendo estos los meses más críticos.

A partir de esto el programa determina la cantidad de agua que debe ser aplicada para cada uno de los dos tipos de suelo estudiados.

En las figuras 4.3 y 4.4 se observa la programación de riego que CROPWAT propone para cada una de las áreas.

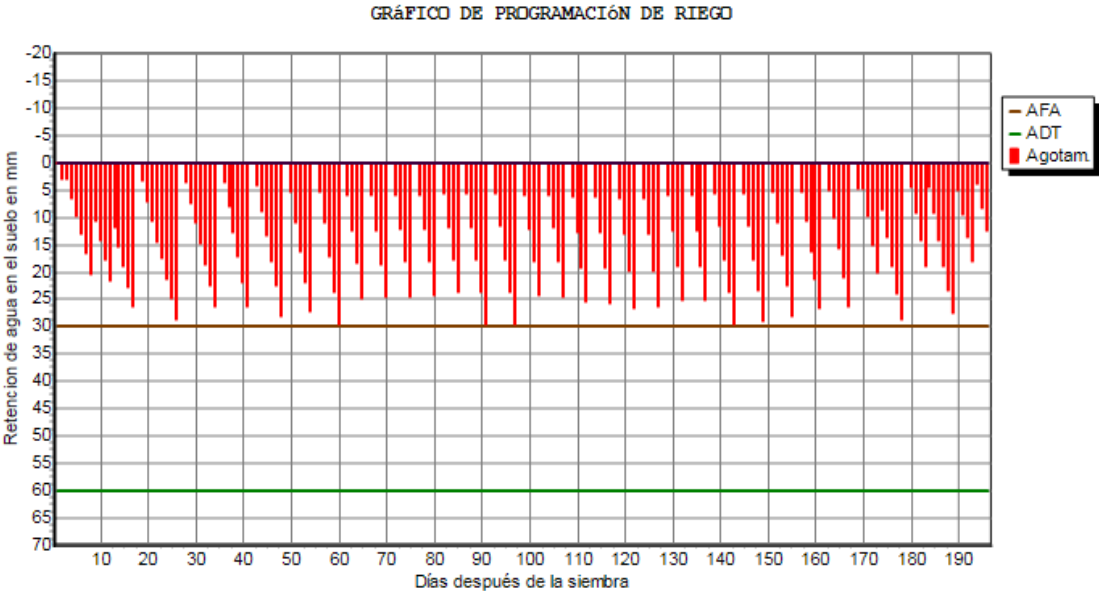


FIGURA 4. 3. Programación del riego para el área de los Farway propuesta por CROPWAT.

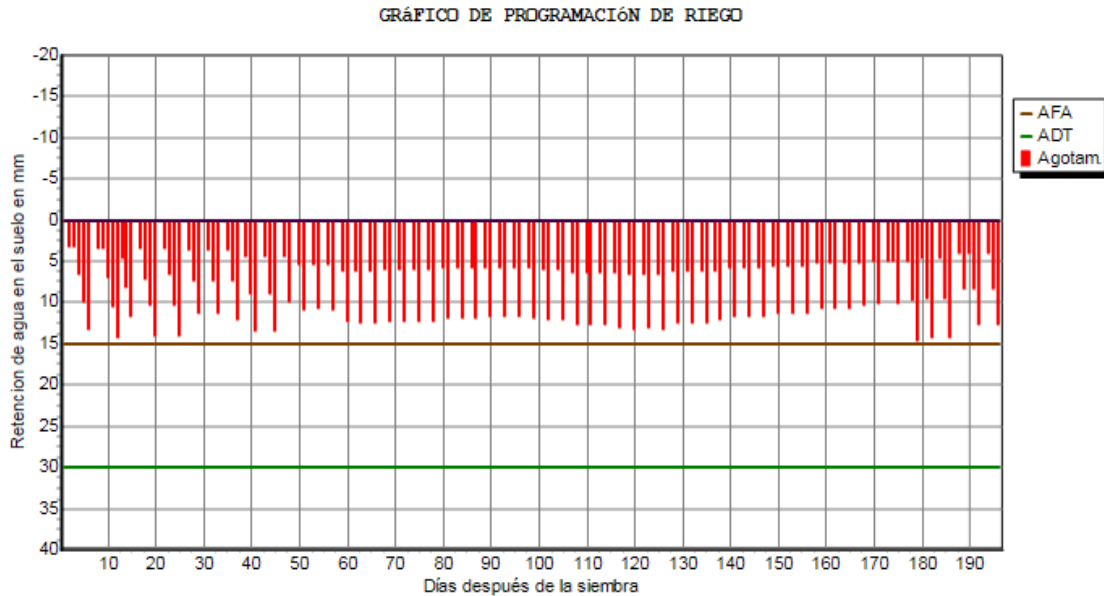


FIGURA 4. 4. Programación del riego para el área de los Greenes propuesta por CROPWAT.

La programación de riego propuesta por CROPWAT no considera la disponibilidad del agua. Asume que se cuenta con ella en el momento en que se necesite, por lo que la aplicación de esta programación según las condiciones de limitación que existen se ve limitada.

A partir del diseño del sistema de riego del campo de golf se determinó la cantidad de agua se ha estado regando y con ella se hizo una comparación con respecto a los resultados obtenidos en CROPWAT.

Teniendo que el caudal del aspersor es de $7\text{m}^3/\text{h}$ y el espaciamiento de los aspersores es de $22\text{m} \times 22\text{m}$ la pluviometría aplicada en el campo es de 12.32 mm/h

Si se riega 10 min al día en el área de los Farway y 12 min en los Greenes las láminas diarias regadas, respectivamente son: 2mm y 2.46 mm valores obtenidos de la pluviometría y el tiempo de riego diario.

Al comparar las láminas de riego obtenidas por medio del análisis climatológico con CROPWAT vs la lámina de riego realmente aplicada, se puede observar que en el mes de mayor demanda hídrica apenas es aplicada el 30% de la lámina diaria requerida.

A raíz de esta situación en verano el campo se ve afectado, ya que la evapotranspiración que es demandada por el ambiente no es completamente suplida por el agua que se riega y esto provoca que el campo de golf no se encuentre en sus condiciones óptimas.

4.2. Agua por cosechar vs demanda de aplicación

Para determinar el agua que se puede cosechar, se realizó el cálculo del balance hídrico, a partir del cual se determinó cuánta agua escurre por el campo, con ella y el volumen de los lagos se determinó si su capacidad es suficiente para almacenar dicha agua.

En la tabla 4.2 se puede observar el balance hídrico obtenido para los datos promedio del periodo desde el 2004 al 2013. Se puede observar que en los meses de diciembre a abril no hay un superávit que pueda ser utilizado para almacenar. En la figura 4.3 se puede ver el comportamiento de las deficiencias que se dan en el periodo seco y el exceso de agua que hay en la época lluviosa. La época seca se mantiene relativamente constante en cuando a la demanda que no es suplida.

Se muestra también el balance hídrico realizado para el año 2013 (tabla 4.3), el cual ha sido el más seco desde el 2004 hasta la fecha. Se puede observar en la figura 4.6 el comportamiento del agua para este año seco, donde el déficit es mayor durante más meses del año.

En la gráfica de la figura 4.7 se puede observar el agua que escurre en ambos casos de estudio,

TABLA 4. 2. Cálculo del balance hídrico por el método de Thornthwaite y Matter para datos promedio.

CÁLCULO DE BALANCE HÍDRICO MÉTODO THORWAITE Y MATTER												
DATOS (mm)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
PRE	32	309	334	288	471	447	776	135	7	1	1	2
ETP	193	143	119	126	123	116	112	108	149	190	183	115
RU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR	32	143	119	126	123	116	112	108	7	7	1	2
DEF	160	0	0	0	0	0	0	0	141	183	182	113
SUP	0	165	215	161	348	330	664	27	0	0	0	0
PRE ÚTIL	0	165	215	161	348	330	664	27	0	0	0	0
ESCURRE	0	83	107	81	174	165	332	14	0	0	0	0

TABLA 4. 3. Cálculo del balance hídrico por el método de Thorthwaite y Matter para datos promedio del 2013.

CÁLCULO DE BALANCE HÍDRICO MÉTODO THORWAITE Y MATTER												
DATOS (mm)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
PREP	1	136	180	101	210	178	128	122	1	2	0	1
ETP	196	166	131	131	119	116	116	118	137	210	206	225
RU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR	1	136	131	101	119	116	116	118	1	7	0	1
DEF	195	30	0	30	0	0	0	0	136	203	206	224
SUP	0	0	50	0	91	62	11	4	0	0	0	0
PRE ÚTIL	0	0	50	0	91	62	11	4	0	0	0	0
ESCURRE	0	0	25	0	45	31	6	2	0	0	0	0

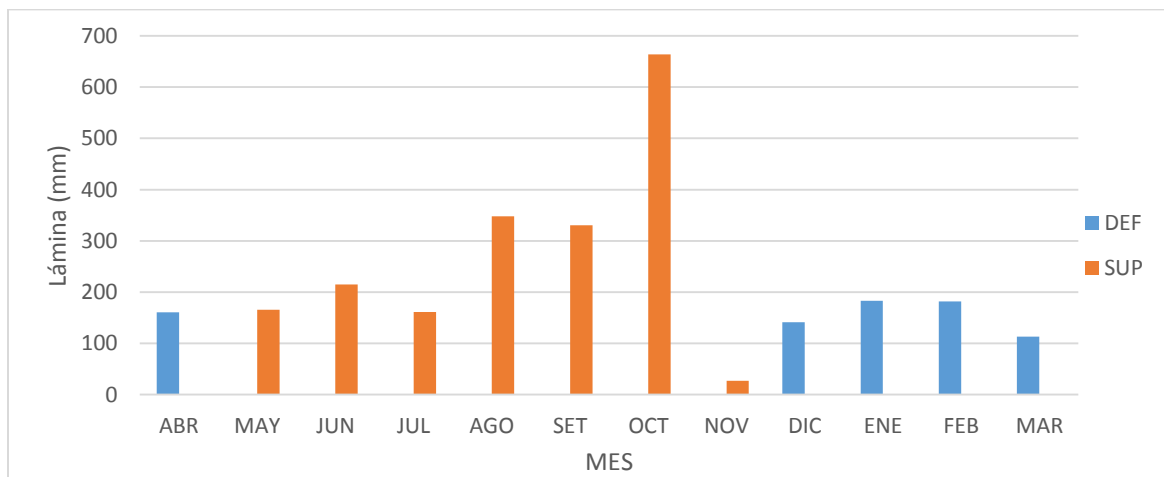


FIGURA 4. 5. Comportamiento del agua en el suelo durante todo el año para datos promedios

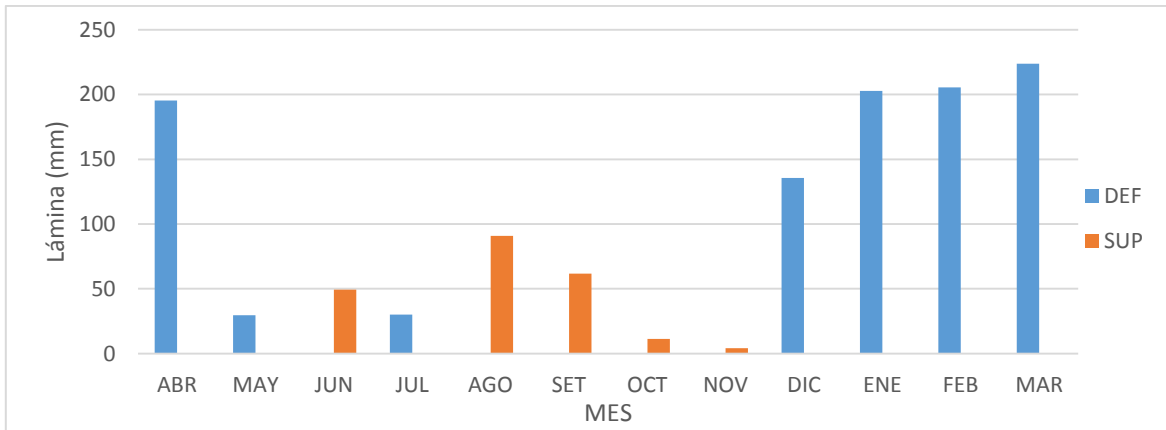


FIGURA 4. 6. Comportamiento del agua en el suelo durante todo el año 2013

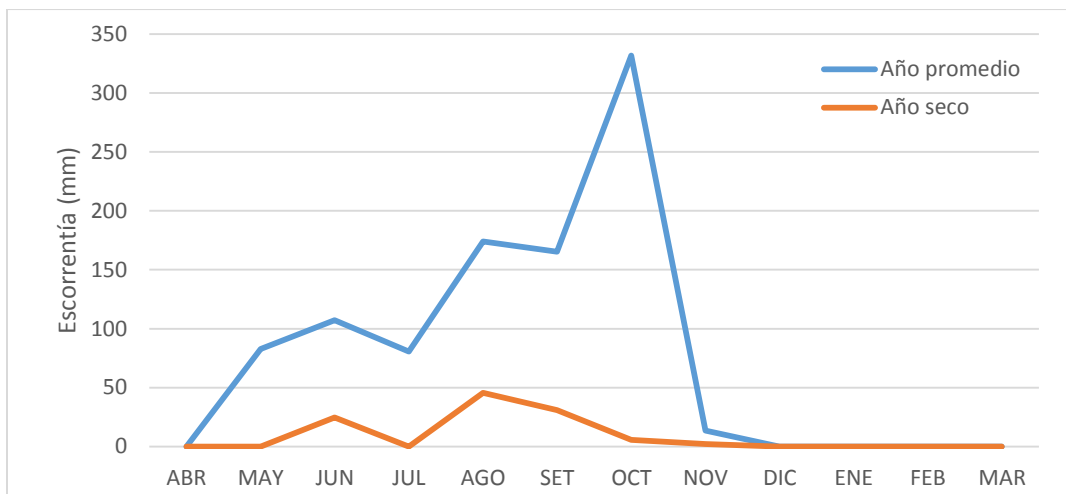


FIGURA 4. 7. Agua que escurre por el campo para el año promedio y el año seco.

Teniendo la lámina de agua que escurre, se determinó el flujo de esta a dentro del campo de golf, estableciendo las áreas de aporte para cada uno de los lagos, tomando en cuenta el área que evacua en los drenajes, ya que eventualmente llega al lago al que desborda cada drenaje.

Con el área de aporte para cada lago se determinó el volumen de agua que llega a cada lago y se comparó con el volumen de los mismos.

En la figura 4.8 se puede observar como circula el flujo de agua escurrida dentro del campo.



FIGURA 4. 8. Flujo del agua escurrida dentro del campo de golf.

A partir de este movimiento del agua se delimitaron las áreas de aporte para cada lago, las cuales se pueden observar en la figura 4.9

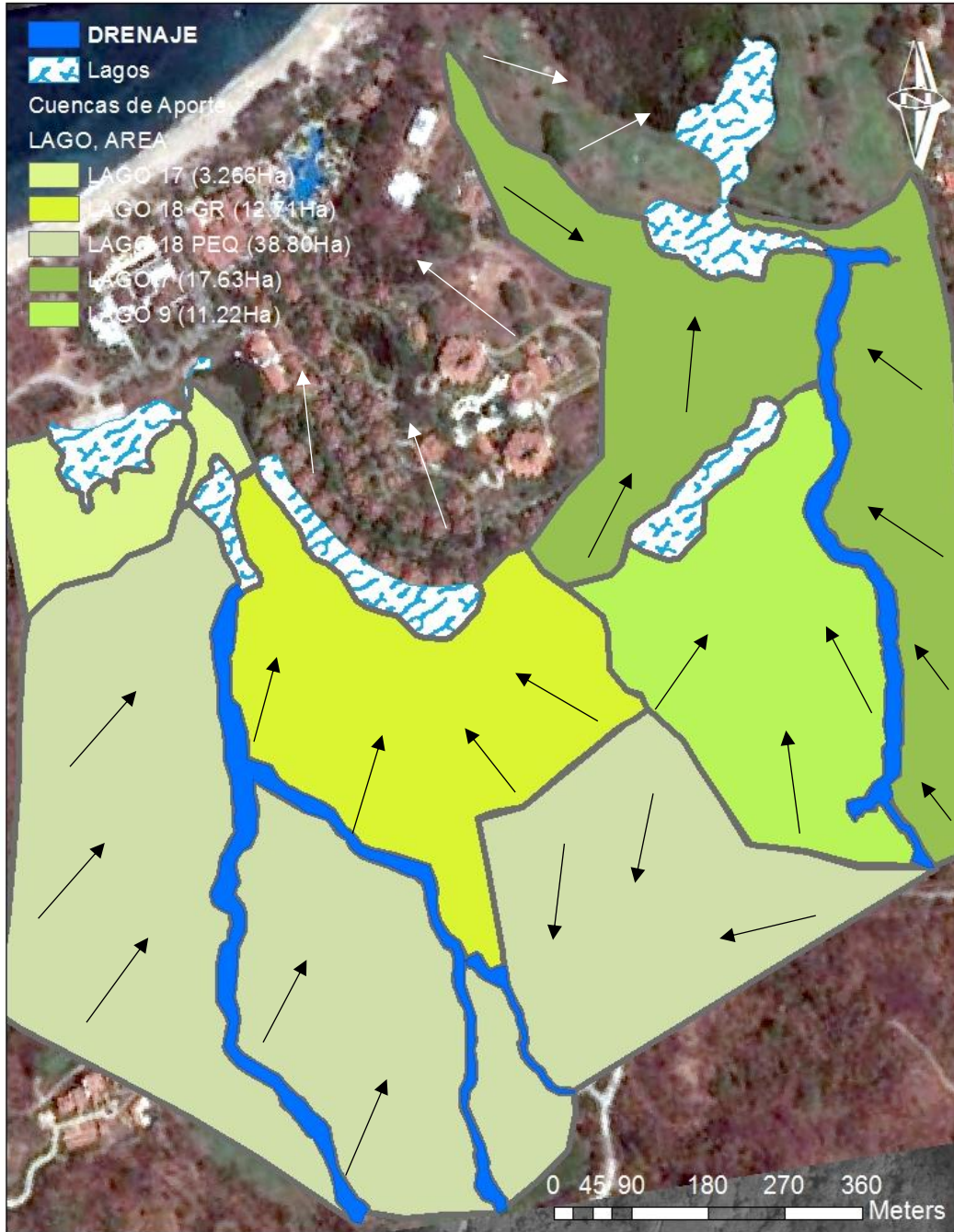


FIGURA 4. 9. Áreas de aporte para cada lago del flujo de escurrimiento.

Con el área de aporte y la lámina que escurre se determinó el volumen de agua que llega a cada lago en la época lluviosa, datos que pueden verse en las siguientes tablas:

TABLA 4. 4. Volumen de agua que escurre hacia cada lago en los meses de la época lluviosa para los datos promedios.
















	ÁREA DE APOORTE PARA CADA LAGO (Ha)				
	3.26	38.80	17.63	12.71	11.22
					
MES	LAGO 17	LAGO 18 PEQ	LAGO 7	LAGO 18 GR	LAGO 9
MAY	2.695	32.085	14.579	10.510	9.278
JUN	3.498	41.642	18.921	13.641	12.042
JUL	2.627	31.267	14.207	10.242	9.041
AGO	5.668	67.468	30.656	22.101	19.510
SET	5.386	64.111	29.131	21.001	18.539
OCT	10.819	128.767	58.509	42.181	37.236
NOV	440	5.247	2.384	1.719	1.517
ESCORRENTÍA TOTAL (m³)	31.137	370.591	168.389	121.397	107.165

TABLA 4. 5. Volumen de agua que escurre hacia cada lago en los meses de la época lluviosa para el 2013.

	ÁREA DE APOORTE PARA CADA LAGO (Ha)				
	3.26	38.80	17.63	12.71	11.22
					
MES	LAGO 17	LAGO 18 PEQ	LAGO 7	LAGO 18 GR	LAGO 9
MAY	0	0	0	0	0
JUN	807	9.603	4.363	3.146	2.777
JUL	0	0	0	0	0
AGO	1.482	17.635	8.013	5.777	5.099
SET	1.007	11.989	5.448	3.927	3.467
OCT	186	2.212	1.005	724	640
NOV	68	815	370	267	236
ESCORRENTÍA 2013 (m³)	3.550	42.253	19.199	13.841	12.219

Según el volumen de agua que escurre y el volumen de cada lago (tabla 4.6) el porcentaje que se almacena (ver figura 4.10) es menor al agua que escurre, esto debido a la capacidad de los lagos. Este porcentaje abarca únicamente el agua que escurre, dejando de lado el agua que cae directamente en cada lago.

TABLA 4. 6. Volumen y área de los lagos dentro del campo de golf

					
	LAGO 17	LAGO 18 P	LAGO 7	LAGO 18 G	LAGO 9
VOL (m³)	7.092	5.535	14.057	7.190	10.427
ÁREA (m²)	7.711	4.371	8.249	11.133	9.478

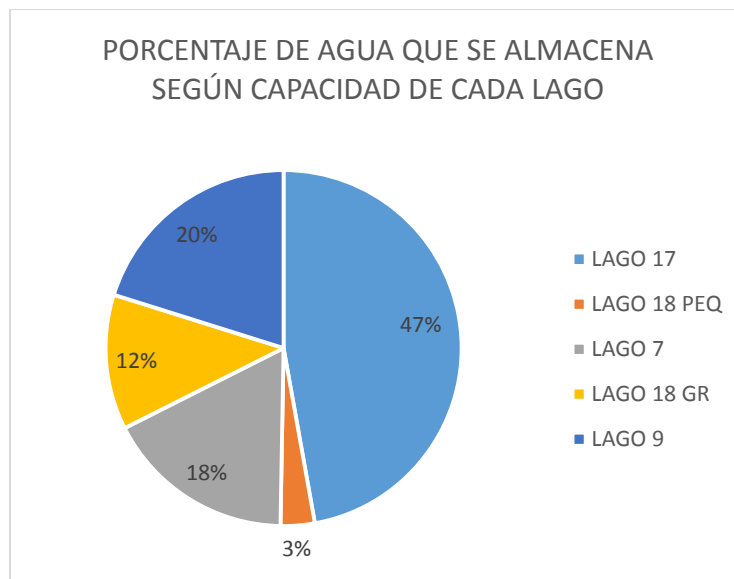


FIGURA 4. 10. Porcentaje de agua que se almacena del total de agua que escurre

Obteniendo el escurrimiento para el año más seco, también se encontró que el volumen almacenado es menor que el agua que escurre y corresponde a un 49%, esto indica que aún en un año seco como el 2013, se podrá observar los lagos llenos a su máxima capacidad al final de la época lluviosa.






Sabiendo que el agua con la que se cuenta al inicio de la época seca es el volumen de agua que llena los lagos se determinó la equivalencia de este volumen comparándolo con la demanda de agua que se da por cada mes, esto con el fin de determinar cuánto tiempo puede rendir el agua almacenada.

La suma del volumen de agua de todos los lagos es de 44.303m³ y la demanda promedio en el primer mes de la época seca ronda los 53.500m³, dado esto se podría contar con el 82% del agua que se requiere en el mes de diciembre para regar, usando el volumen total de los lagos.

Pero no se puede disponer de toda el agua almacenada ya que, existen pérdidas por infiltración y evaporación.

De la prueba de infiltración realizada, se obtuvo que la tasa de infiltración instantánea es de 3.53cm/h y la infiltración básica estando saturado el suelo es de 7.07x10⁻³ cm/h. esto equivale a 0.16cm por cada 24 h. Por mes son 5cm de infiltración. En la tabla 4.7 se muestra el porcentaje del volumen de agua que se infiltra en un mes para cada uno de los lagos.

TABLA 4. 7. Porcentaje de agua que se pierde por infiltración en un mes con respecto al volumen total de cada lago

					
	LAGO 17	LAGO 18 PEQ	LAGO 7	LAGO 18 G	LAGO 9
VOLUMEN (m³)	7.092	5.535	14.057	7.190	10.427
PERD POR INF (m³)	385	218	412	556	473
PORCENTAJE	5%	4%	3%	8%	5%

Ahora con respecto al resultado de la evaporación que se da, esta va a depender el espejo de agua de cada lago, en el gráfico de la figura 4.11 se puede observar el volumen de agua que se evapora en promedio por mes para cada uno de los lagos.

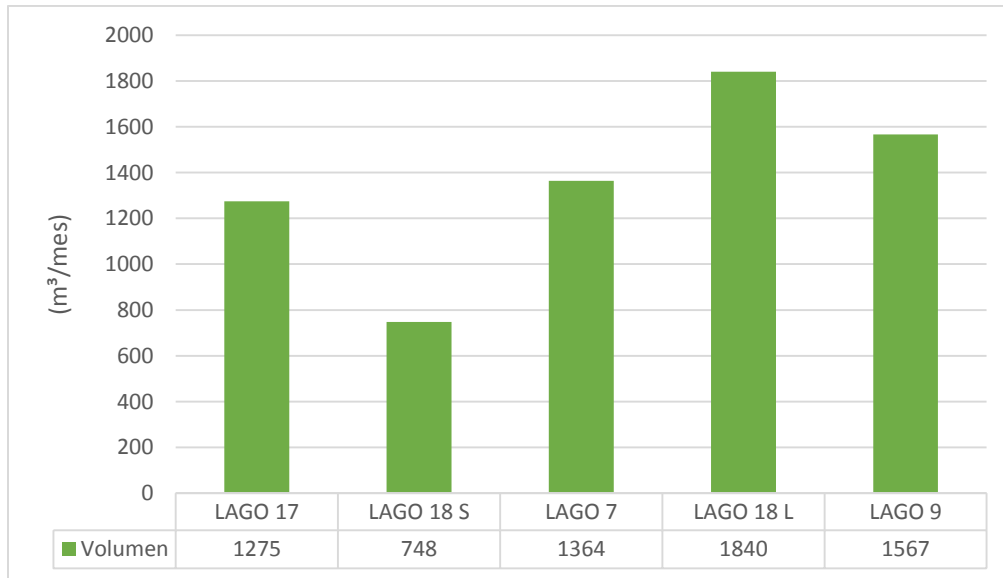


FIGURA 4. 11. Volumen de agua que se evapora por mes en la época seca.

El agua que se pierde por evaporación en un mes para cada uno de los lagos se puede observar en el gráfico de la siguiente figura:

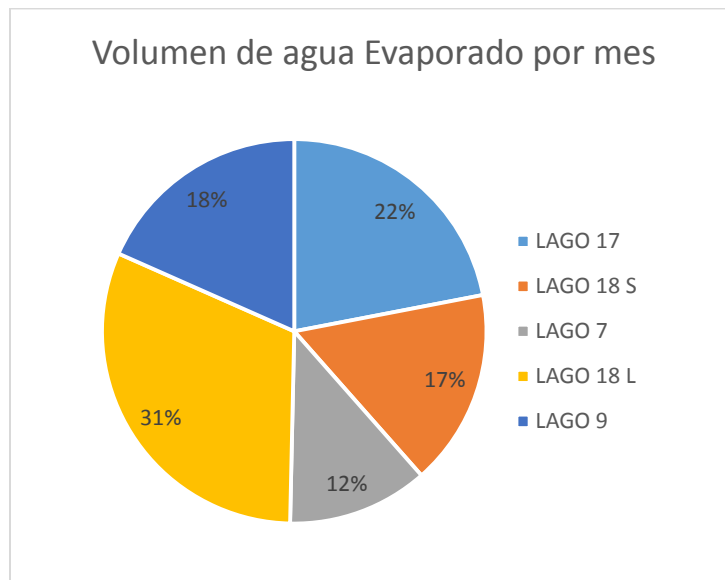


FIGURA 4. 12. Porcentaje del agua que se evapora por mes del total del volumen de cada lago

Viéndolo como un todo, entre las pérdidas que se pueden dar por infiltración más las pérdidas por evaporación en un mes se dejarían de aprovechar 8.868m^3 de agua.

Si se aumentara la profundidad de los lagos un metro el volumen total que se dispondría para almacenar agua sería de 79.837 m³, obteniendo 35.442m³ más de agua. Este aumento equivale a 1.8 veces del volumen actual.

Para determinar si es rentable aumentar el volumen de los lagos en cuanto al aseguramiento de que puedan a encontrarse completamente llenos al final de la época lluviosa, se comparó el volumen de agua que escurrió en el 2013 vs los 79.837 m³ de capacidad, encontrando que se aprovecharía el 88% del agua que escurre en un año seco como el 2013, entonces para un año no tan seco o un año promedio el agua que se podría almacenar sigue siendo menor que el agua total que escurre.

CAPÍTULO V

FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

5.1. Estimación del costo de la interconexión de los lagos

Para estimar el costo económico se diseñó la interconexión de los lagos. Para ello se realizaron los cálculos hidráulicos necesarios y con ellos se determinó la tubería y el equipo de bombeo necesario para mover el agua de los lagos 17, 18PEQ, 18G y 7, hacia el lago 9 (el lago del riego).

5.1.1. Diseño hidráulico y cálculo de bombeo

Como primer paso se determinó que la conexión entre los lagos se hará por medio de una tubería a presión, por la cual pueda circular el caudal diario que necesita bombearse.

El paso de la tubería se trazó tomando como referencia el sistema de riego del campo de golf, buscando la menor distancia que se pueda recorrer, teniendo en cuenta el desnivel del terreno y la infraestructura existente.

Se definieron los puntos desde donde el agua debería ser bombeada para poder llegar hasta el lago 9. Se determinó a partir del desnivel y la cercanía entre ellos que el agua debe ser bombeada desde los siguientes tres puntos:

1. Desde el lago 7 hacia el lago 9. Diferencia de 3 metros de desnivel.
2. Desde el lago 18G hacia el lago 9. Diferencia de 1.5 metros de desnivel.
3. Desde el lago 17 hacia el lago 18PEQ. Diferencia de 1 metro de desnivel.

El trazo de la tubería puede ser observado en el anexo 4 donde se muestra el plano del diseño de la interconexión, y en el anexo 2 se muestra la memoria de cálculo del diseño.

El agua del lago 18PEQ se encuentra al mismo nivel que el lago 18 G, por lo cual se decidió aprovechar esta condición y crear el fenómeno de vasos comunicantes, lo que permite que al bombear el agua del lago 18G, el nivel de ambos lagos baje de forma simultánea, y se comporten como si fueran uno solo, por medio de la interconexión que va a haber entre ellos, por lo cual no es necesario bombearla.

Para determinar el diámetro de cada tubería y el bombeo que se requiere es necesario conocer la cantidad de agua que se va a bombear por día. El sistema de riego consume un promedio aproximado de 2000 m³ de agua por día por lo que el sistema de bombeo debe tener la capacidad de bombear esta cantidad de agua en por lo menos las 24 h del día, esto equivale a 366 gpm.

El caudal máximo recomendado para diámetros de 4" es de 200 gpm y para 6" es de 450 gpm, por tanto el diámetro de la tubería es de 6". Con el diámetro, el caudal la longitud y la pendiente, se procedió con el cálculo hidráulico para determinar las pérdidas por fricción y la velocidad, el cálculo se realizó por medio de la ecuación de pérdidas de Hazen-Williams

En la tabla 5.1 se muestran los datos de cada una de las 3 conexiones. Se calculó la tubería para la conexión del lago 7 al 9, del lago 18G al 9 y del lago 17 al 18 PEQ.

TABLA 5. 1. Datos de conexión de dos de los lagos con el lago 7

INTERCONEXIÓN LAGO 7 AL 9	
Caudal (m ² /s)	0.23
Diámetro (mm)	150
C (PVC)	150
Longitud (m)	141
Pérdidas (m)	1.35
Velocidad (m/s)	1.3
INTERCONEXIÓN LAGO 18G AL 9	
Caudal (m ² /s)	0.23
Diámetro (mm)	150
C (PVC)	150
Longitud (m)	214
Pérdidas (m)	2.05
Velocidad (m/s)	1.3
INTERCONEXIÓN LAGO 17 AL 18 PEQ	
Caudal (m ² /s)	0.23
Diámetro (mm)	150
C (PVC)	150
Longitud (m)	56
Pérdidas (m)	0.54
Velocidad (m/s)	1.3

La tubería para unir el lago 18G y el 18 PEQ debe ser del tamaño que permita que la cantidad de agua que se esté bombeando del lago 18G para por en medio de los dos, por lo que mínimo debe de

ser de 6", pero tomando en consideración que se puede dar sedimentación y una obstrucción se decide utilizar tubería de 12" para alcantarillado.

Para la elección de la bomba se determinó utilizar una bomba de sumidero marca Tsurumi modelo LH615 (Ver ficha técnica en anexo 3), con una capacidad de 366 gpm a 50m, motor 220V, trifásico 20 HP. Se determinó por las pérdidas de los tres tramos y la carga de la bomba que puede usarse la misma para los tres casos. El voltaje y la fase de la bomba están en función de las condiciones de instalación con las que se cuenta en el sitio. Para la instalación de las bombas se tomó en consideración el cableado, la protección por medio de paneles, la conexión de la bomba para la succión y descarga.

El diseño está pensado para que cada bomba funcione a la vez. Agotando el agua total de un lago antes de aprovechar el agua del otro, esto con el fin de evitar mayores pérdidas por evaporación al mantener una mayor profundidad.

Se buscó también la opción de trabajar con una única bomba móvil de diésel de 350 gpm a 50 psi marca Berkeley B3EQBL con un motor Yanmar 3TNV88-ASA de 23HP (ver anexo 3). El inconveniente de usar una bomba de diésel es el ruido, además de que es más ineficiente que la bomba eléctrica.

Dentro de otras consideraciones que se tomaron en cuenta fue la instalación de válvulas de compuerta, que permitan tener por aparte el agua de cada lado, y que al momento de bombear no se dé una recirculación, ya que al estar los lagos diseñados para evacuar de uno a otro, se puede devolver el agua que se está bombeando. Por tanto se pondrán válvulas de compuerta en la salida del lago 18PEQ y el lago 18G para que el agua no evacue en el lago 17, como lo hace en época de lluvia y del lago 9 hacia el lago 7.

Para la estimación económica se solicitaron cotizaciones en diferentes empresas dedicadas a la venta de soluciones hidráulicas, a partir de estos datos se realizó el cálculo del material y equipo, además de una estimación del costo y tiempo de instalación. El dato final es un dato aproximado, existen detalles que por el alcance de la tesis no se van a tomar en cuenta. En los siguientes apartados se puede observar el desglose de los materiales necesarios para la instalación, el costo de los mismos y el costo de la mano de obra de instalación. Esto para las dos opciones de bombeo.

5.1.2. Estimación económica

El desglose se realizó en una tablas para cada una de las opciones se mostrará el detalle de los material a utilizar, el equipo y la mano de obra de instalación.

5.1.2.1. Costo del sistema de bombeo eléctrico

TABLA 5. 2. Costo en \$ de la interconexión de los lagos, utilizando energía eléctrica.

ESTIMACIÓN ECONÓMICA			
CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO UN	PRECIO TOTAL
MATERIALES			
70	TUBO PVC 150MM(6")X6M SDR26	\$ 261.65	\$ 18,315.46
9	TUBO PVC ALCANTARILLADO ASTM F949 12"	\$ 328.84	\$ 2,959.56
3	PEGAMENTO PVC PESADO 1 GL TRANSPARENTE	\$ 76.72	\$ 230.16
3	PREPARADOR DE SUPERFICIE PVC-CPVC	\$ 39.71	\$ 119.13
4	LUBRICANTE PARA TUBERÍA DE EMPAQUE	\$ 4.46	\$ 17.83
EQUIPO DE BOMBEO			
3	BOMBA TSURUMI LH615-61 15KW MOTOR 230V 60HZ 3PHASE 2P DIA 150MM	\$ 5,618.36	\$ 16,855.08
3	MANGUERA DE DESCATRA 6"X6M CON ACOPLES	\$ 162.32	\$ 486.95
3	PANEL DE CONTTROL Y PROTECCIÓN PARA LA BOMBA	\$ 587.47	\$ 1,762.42
527	CABLE SUMERGIBLE N°4X3 CON TIERRA**	\$ 23.06	\$ 12,153.21
660	CABLE SUMERGIBLE N°3X3 CON TIERRA**	\$ 34.57	\$ 22,817.06
INSTALACIÓN			
1	INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA 6" Y 12" 100 M DE AVANCE POR DÍA CON DOS PEONES (5 DIAS)	\$ 1,388.89	\$ 1,388.89
1	INSTALACIÓN DE BOMBA SUMERGIBLE, INCLUYE CABLEADO E INSTLACIÓN DE PANELES Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO	\$ 4,305.28	\$ 4,305.28
TOTAL I.V.I			\$ 81,411.03

Los asteriscos (**) en la tabla 5.2 hacen referencia a que ese costo puede disminuirse, si se hace la conexión de las bombas desde otro punto del campo que sea más cercano a la instalación de las bombas. Pero en este caso como el punto de referencia es el sistema de riego y el cuarto de máquinas del mismo, el cálculo del cable y el calibre se hizo en función de ese punto.

5.1.2.2. Costo del sistema de bombeo con motor diésel

TABLA 5. 3. Costo en \$ de la interconexión de los lagos, utilizando combustible.

ESTIMACIÓN ECONÓMICA			
CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO UN	PRECIO TOTAL
MATERIALES			
70	TUBO PVC 150MM(6")X6M SDR26	\$ 261.65	\$ 18,315.46
9	TUBO PVC ALCANTARILLADO ASTM F949 12"	\$ 328.84	\$ 2,959.56
3	PEGAMENTO PVC PESADO 1 GL TRANSPARENTE	\$ 76.72	\$ 230.16
3	PREPARADOR DE SUPERFICIE PVC-CPVC	\$ 39.71	\$ 119.13
4	LUBRICANTE PARA TUBERÍA DE EMPAQUE	\$ 4.46	\$ 17.83
EQUIPO DE BOMBEO			
1	BOMBA BERKELEY B3EQBL 350 gpm @ 50 psi 75.37% @ 1,901 rpm = 13.6HP. MOTOR YANMAR 3TNV88-ASA 23HP @ 1,800 rpm 4" SUCTION / 3" DISCHARGE / 10.44" IMPELLER 3 CYLINDER 1.642 LITER MECHANICAL GOVERNOR	\$ 21,486.00	\$ 21,486.00
3	MANGUERA DE SUCCIÓN 4"X6M CON ACOPLES	\$ 275.28	\$ 825.85
3	MANGUERA DE DESCARGA 3"X6M CON ACOPLES	\$ 80.44	\$ 241.31
INSTALACIÓN			
1	MATERIAL PARA AISLAMIENTO DE CUARTO	\$ 925.93	\$ 925.93
3	CUARTO PARA AISLAMIENTO DE SONIDO: MATERIALES Y MANO DE OBRA DE CONSTRUCCIÓN	\$ 222.22	\$ 666.67
TOTAL I.V.I			\$ 45,787.90

5.1.2.3. Costo del aumento del volumen de los lagos

El costo del m³ de movimiento de tierra mecanizado puede rondar los \$7.64, por lo que, el costo de aumentar el volumen de cada lago según el movimiento de tierra aproximado que se tendría que hacer es el siguiente:

TABLA 5. 4. Costo en \$ del movimiento de tierra para el aumento del volumen de los lagos

	LAGO 17	LAGO 18 PEQ	LAGO 7	LAGO 18 G	LAGO 9
VOLUMEN REMOVIDO (m²)	7.711	4.371	8.249	11.133	9.478
COSTO	\$ 58,912	\$ 33,394	\$ 63,022	\$ 85,056	\$ 72,411

5.2. Comparación de costos y recuperación de la inversión

5.2.1. Consumo hídrico

Como se ha mencionado, Reserva Conchal, obtiene la mayor parte del agua que consume en el riego de pozos ubicados a unos 5 km de ellos en Huacas.

Tomando en cuenta que ellos bombean el agua desde ese punto, hace que el uso del agua de los lagos se pueda convertir no tanto en agua extra que se puede obtener, sino en el agua que va a sustituir la que se bombea desde Huacas.

Para obtener la comparación se necesitó conocer cuánto le cuesta a Reserva Conchal el metro cúbico de agua y cuanto consumen en electricidad por el equipo de bombeo que utilizan. Por un tema de confidencialidad de datos, la estimación se realizó con datos obtenidos de la página del AyA en donde se consultó la tarifa por cada metro cúbico de agua para el sector empresarial (ver figura 5.1.)

Estimación del importe tarifario por nivel de consumo									
TARIFAS ACUEDUCTO					TARIFAS ALCANTARILLADO				
BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO	BLOQUE CONSUMO	DOMICILIAR	EMPRESARIAL	PREFERENCIAL	GOBIERNO
0 a 15 m3	396	1.564	396	1.564	0 a 15 m3	132	521	132	521
16 a 25 m3	793	1.899	793	1.899	16 a 25 m3	264	629	264	629
26 a 40 m3	872	1.899	793	1.899	26 a 40 m3	289	629	264	629
41 a 60 m3	1.034	1.899	793	1.899	41 a 60 m3	342	629	264	629
61 a 80 m3	1.898	1.899	872	1.899	61 a 80 m3	629	629	289	629
81 a 100 m3	1.898	1.899	872	1.899	81 a 100 m3	629	629	289	629
101 a 120 m3	1.898	1.899	872	1.899	101 a 120 m3	629	629	289	629
mas de 120 m3	1.996	1.996	872	1.996	mas de 120 m3	662	662	289	662
Tarifa Fija	12.286	44.349	32.902	156.363	Tarifa Fija	3.828	1.411	15.708	65.704
Cargo Fijo	1.500	1.500	1.500	1.500	Cargo Fijo	600	600	600	600

FIGURA 5. 1. Importe tarifario por nivel de consumo. Fuente: (AyA, 2015).

Según este registro para Reserva Conchal por ser de un sector empresarial y consumir más de 120m³ de agua la tarifa debería ser la de ¢1996 (\$3.69).

Por día, para el riego ellos bombean entre 1000m³ y 1200m³ desde Huacas, el resto del agua para completar los 2000m³ (cuando se logra) la obtienen de las plantas de tratamiento y de otro pozo interno con el que cuentan. Tomando un dato de 1000 m³ diarios siendo conservadores, bombear esa cantidad de agua les cuesta alrededor de \$3.690 al día.

Si se aplican 2000 m³ diarios del agua de los lagos, se podría regar 18 días seguidos al principio del verano tomando en cuenta el volumen total y las pérdidas a lo largo del mes. El costo de bombear 1000m³ diarios durante 18 días a \$3.960 por día equivale a \$66.420, entonces:

- Si la instalación con la opción del bombeo eléctrico cuesta aproximadamente \$81.411,03 el retorno de la inversión la van a obtener una vez hayan pasado los dos veranos siguientes a la instalación.
- Si decidieran utilizar la opción de la bomba de diésel, logrando hacer que el sonido no sea un impedimento, la inversión la recuperarían en menos de un verano.

5.2.2. Consumo energético

Para determinar cuánto consumen en electricidad, si era necesario conocer la información del caballaje de las bombas que utilizan así como el caudal de las mismas, para con ellos calcular en cuanto tiempo bombean esa cantidad de agua y con ello el cálculo de los kWh consumidos.

Como no se cuenta con los datos no se realizó la comparación, pero si se realizó el cálculo de cuanto se consume utilizando los sistemas propuestos.

Para el cálculo del consumo eléctrico, se tiene que el motor de la bomba consume 15KW. Si opera durante 24 h, el motor consume un total de 360 kWh, si la tarifa del kWh ronda los \$0.18 según los datos publicados por la gaceta #58 de marzo del 2015 para una tarifa residencial, entonces el consumo eléctrico ronda los \$64.8 diarios, que corresponden a \$1166.7 gastados durante los 18 días que se va a utilizar el sistema.

En cuanto al consumo de diésel el motor 3TNV88-BDSA, tiene un consumo de 8.39L/h, según lo indicado en la ficha técnica del motor. Al trabajar durante 24h el consumo diario es de 201.36 L. conociendo que el litro de diésel cuesta \$0.95 según la tarifa establecida por RECOPE, el costo del funcionamiento del motor ronda los \$192 por día teniendo un total de \$3.450 en el periodo del de utilización del sistema. A este costo hay que sumarle el costo del operario y también el tiempo puerto en el que la bomba no estará bombeando por la movilización de un lugar a otro.

El costo de operación de la bomba con motor diésel es 66% más alto que el de la bomba eléctrica, a pesar de que el costo inicial es menor, el sistema mucho más ineficiente.

5.2.3. Aumento del volumen de los lagos

Si se aumentara el volumen de los lagos, el costo total sería de \$312.797, lo cual implicaría tener riego para 35 días en vez de 18, debido al aumento en la capacidad de los lagos.

Estos 17 días más equivalen a \$62.730 de la factura del agua, entonces la recuperación de la inversión sería en 5 veranos sumándole los 2 iniciales por la interconexión y el equipo de bombeo.

CONCLUSIONES

Se determinó que no se está haciendo un uso excesivo del recurso hídrico para el riego del campo de golf, por el contrario, la cantidad de agua con la que cuentan no les permite mantener la totalidad del campo siempre verde en periodo de verano, sino que deben tomar decisiones de cuales áreas pueden ser las más críticas y aplicar el riego a las mismas.

Por medio del balance hídrico se determinó que la capacidad de los lagos no es suficiente para recolectar la totalidad del agua que escurre en la época lluviosa, pero tienen la capacidad de poder estar llenos al final de esta época y comenzar la época seca a su máxima capacidad.

La capacidad de almacenamiento de los lagos permite regar durante 18 días en el mes de diciembre, según el consumo de 2000 m³ de agua diarios en el periodo de la época seca, siendo este un dato de referencia, el cual puede variar según la programación de riego que se decida realizar.

Si se aumentara el volumen de los lagos un metro más de profundidad se podrían obtener 1.8 veces el volumen actual de los lagos.

Con base en los datos obtenidos se logró determinar que del agua almacenada, se pierde un 20% durante el transcurso de cada mes desde el momento en que comienza la época seca, las pérdidas se dan por evaporación e infiltración.

Esperar parte del verano para utilizar el agua de lluvia, hace que el ahorro en cuando al agua que paguen sea menor, pero les permite tener agua más allá del mes de diciembre.

Utilizar el agua al principio del verano permite ahorrar alrededor de \$66.420,00 en del pago por consumo de agua, por cada verano que se implemente el sistema de recolección una vez se haya recuperado la inversión.

La utilización del sistema de bobeo eléctrico, es 66% más eficiente que la utilización del bombeo con diésel a pesar de que la inversión inicial es 56% más económica con el sistema de bombeo.

El costo de la inversión se estaría recuperando en 2 veranos aprovechando el volumen actual de los lagos, si se aumentara la profundidad la recuperación de la inversión sería de 7 veranos.

RECOMENDACIONES

Habiendo realizado el estudio de factibilidad, el proyecto es económicamente y técnicamente factible, tomando en cuenta que los números mostrados son números gruesos y se debe hilar más fino en cuanto al diseño y al cálculo económico.

Utilizar el agua al inicio del verano permitirá aprovechar todo el recurso disponible, evitando la menor cantidad de pérdidas por evaporación e infiltración.

Según la eficiencia de los sistemas de bombeo y la complejidad de uno con respecto al otro se recomienda utilizar la opción del sistema de bombeo eléctrico, que si bien es más caro, ya que su eficiencia es mayor.

Explorar la excavación de nuevos lagos en el resto del campo, buscando ubicarlos en las partes más altas al lago 7 para aprovechar movilizar el agua por gravedad, evitando la necesidad de bombear.

Al ser el estudio realizado con datos aproximados, se recomienda colocar una estación meteorológica en la zona que les permita monitorear los cambios climáticos, además de empezar a generar registros de datos para establecer estadísticas a futuro del comportamiento del tiempo.

Es importante tomar en cuenta que el volumen de agua almacenado puede ser aplicado según las necesidades que vayan apareciendo y se debe apreciar el sistema como una ayuda o un apoyo para mitigar el impacto de la falta de agua.

El contar con el sistema instalado permite utilizarlo en el momento en que se cuente con agua en los lagos, esto implica que si hubo un evento de lluvia no esperado que hiciera que se llenaran los lagos se podría accionar el sistema y aprovechar el agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Arellano, M. (2008). Cálculo del balance hídrico en el suelo mediante el método de Thornthwaite (informe de hidrología subterránea (ITOP)/ hidrogeología (ITM) UPCT).
- Castro, S. (2004). *Del conflicto a la gestión del agua en la microcuenca del Río Nimboyores, Guanacaste, Costa Rica*. (CATIE, Ed.). Turrialba, Costa Rica.
- Chalmers, D., McAfee, J., y Havlak, R. (2006). Maintaining bermudagrass lawns. Retrieved from: [Http://hdl.Handle.net/1969, 1, 4](http://hdl.handle.net/1969.1.4).
- González, F. (2012). Determinación de las necesidades de riego de los cultivos. Disponible en: <http://digital.csic.es/handle/10261/75100>
- Liang, X., y Van Dijk, M. (2011). Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. *Resources, conservation and recycling*, 55(11), 1100–1108. <http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.009>
- Lovera, R. (2011). *Caracterización geofísica de los “greens” de un campo de golf regado con agua regenerada. Aproximación textural e hidrológica*. Universidad de Barcelona, España. Disponible en: <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/19143>
- Manso, J. (2007). Técnicas de recolección de agua y oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. *Cuadernos Geográficos*, 40, 67–80.
- Martín, F. (2009). *Fitotecnia: bases y tecnologías de la producción agrícola*. Mundi-Prensa libros.
- Montaner, M. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil. *Papeles de geografía*, (N° 14), 223–235.
- Montes, M. (2004). La gestión del agua lluvia y la reducción de riesgos urbanos, 12.
- Obaldía, K. y Pineda, A. (2005). *Evaluación de diferentes prácticas culturales en el establecimiento, producción y mantenimiento de dos variedades de césped para el trópico húmedo*. (Grado de Licenciatura). Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.
- ONU. (2009). *Agua para el desarrollo sostenible de los asentamientos urbanos humanos* (No. Tercera Edición). Paris.
- Ordoñez, J. (2011). *Balance hídrico superficial* (Cartilla técnica). Lima, Perú: Sociedad Geográfica de Lima.
- Paulet, M. (1983). *Relación agua suelo planta*. Bib. Orton IICA / CATIE.
- Pérez, S. (2012). Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador. Disponible en: <http://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/911>

- Roberts, T., y Henry, J. (2000). El muestreo de suelos: los beneficios de un buen trabajo. *Informaciones agronómicas del cono sur. INPOFOS*, 8, 7–10.
- Rodríguez, A., y Castillo, H. del. (2001). *Ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas*. Editorial Limusa.
- Rodríguez, R. (2010). Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego. Universidad Nacional, CEMEDE.
- Shaxson, F., y Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: el significado de la porosidad del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Thompson, L., y Troeh, F. (1988). *Los suelos y su fertilidad*.
- UNEP. (2013). Rainwater harvesting and utilization an environmentally sound approach for sustainable urban water management: an introductory guide for decision-makers. Retrieved from:
<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/urban/urbanenv-2/9.asp>
- Valverde, J. (1998). *Riego y drenaje* (UENED, p. 248). San Jose, Costa Rica.
- Xiao, G., Zhang, Q., Xiong, Y., Lin, M., y Wang, J. (2007). Integrating rainwater harvesting with supplemental irrigation into rain-fed spring wheat farming. *Soil and tillage research*, 93(2), 429–437. Retrieved from:
<http://doi.org/10.1016/j.still.2006.06.001>

ANEXOS

ANEXO 1

LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES
REPORTE DE ENSAYO
 CIA-SC12-03-I01-R01 (v1)

Nº DE REPORTE: 50386

USUARIO: LABORATORIO DE RECUROS NATURALES

SUBCLIENTE: TESIS REBECA CARVAJAL

RESPONSABLE: REBECA CARVAJAL CARBALLO

CORREO: rebk09cc@gmail.com

TELÉFONO: 8904-3658

FAX:

PROVINCIA: GUANACASTE

CANTÓN: SANTA CRUZ

LOCALIDAD: RESERVA CONCHAL

CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: TEXTURA

FECHA RECEPCIÓN: 06-05-14

EMISIÓN DE REPORTE: 06-05-14

Nº DE MUESTRAS TOTAL: 12

PÁGINA: 1/1

ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELOS						
ID USUARIO	ID LAB	%			Clase Textural	
		ARENA	LIMO	ARCILLA		
M1-7	RN-1807-14	45	22	33	FRANCO ARCILLOSO	
M2-7	RN-1808-14	58	10	32	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
M3-7	RN-1809-14	60	10	30	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
M1-9	RN-1810-14	41	18	41	ARCILLOSO	
M2-9	RN-1811-14	52	18	30	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
M3-9	RN-1812-14	36	23	41	ARCILLOSO	
M1-14	RN-1813-14	35	30	35	FRANCO ARCILLOSO	
M2-14	RN-1814-14	42	28	30	FRANCO ARCILLOSO	
M3-14	RN-1815-14	50	18	32	FRANCO ARCILLO ARENOSO	
M1-18	RN-1816-14	41	25	34	FRANCO ARCILLOSO	
M2-18	RN-1817-14	40	28	32	FRANCO ARCILLOSO	
M3-18	RN-1818-14	41	22	37	FRANCO ARCILLOSO	

Ing. Agr. Rafael Mata Chinchilla M.Sc.
COORDINADOR DEL LABORATORIO DE RECURSOS NATURALES

1. Resultados expresados como porcentajes. 2. Procedimiento de textura de acuerdo al CIA-SC09-03-P02 Determinación de Textura en Suelos por el Método del Hidrómetro de Bouyoucos. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario.
4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras ensayadas. 5. El tiempo de custodia es de 45 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original, firmado y sellado, cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax libera al Laboratorio de resguardar la integridad y confidencialidad e sus resultados.

ANEXO 2

Cálculo de las pérdidas en la tubería para la interconexión de cada lago

Para el cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería se utilizó la ecuación de Hazen William la cual muestra que:

$$h_f = 10.67 \frac{C^{1.852} * L * Q^{1.852}}{D^{4.87}}$$

Donde:

h_f = pérdida de carga (m)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro (m)

Q = caudal (m³/s)

C = coeficiente de rugosidad del material PVC = 150

Interconexión lago 7-9

$$h_f = 10.679 \frac{150^{1.852} * 141 * 83.12^{1.852}}{0.15^{4.87}} = 1.35 \text{ m}$$

Interconexión lago 18G-9

$$h_f = 10.679 \frac{150^{1.852} * 214 * 83.12^{1.852}}{0.15^{4.87}} = 2.05 \text{ m}$$

Interconexión lago 17-18PEQ

$$h_f = 10.679 \frac{150^{1.852} * 56 * 83.12^{1.852}}{0.15^{4.87}} = 0.54m$$

Cálculo de velocidad en la conducción

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Q = caudal (m³/s)

V = velocidad (m/s)

A = área de tubo (m²)

$$V = \frac{0.023}{\pi \left(\frac{0.150}{2}\right)^2} = 1.3m/s$$

ANEXO 3

LHW

HIGH HEAD DRAINAGE PUMPS



LH –Single Impeller–

The LH-series is a submersible three-phase cast iron high head drainage pump. Being the pump cylindrical and slim, it can be installed in a well casing for deep well dewatering. The center flange construction assures a stable installation even if it is fixed by the discharge pipe. The top discharge, flow-thru design provides maximum motor cooling efficiency allowing continuous operation at low water levels and extended dry-run capability. The pump incorporates seal pressure relief ports that prevent the pumping pressure from applying to the shaft seal.*

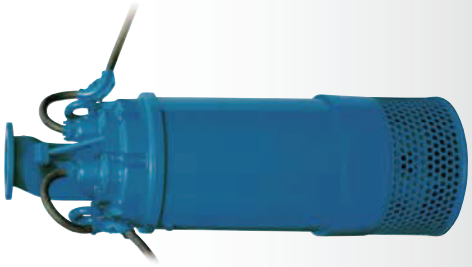
* excluding LH833.0



LH833.0



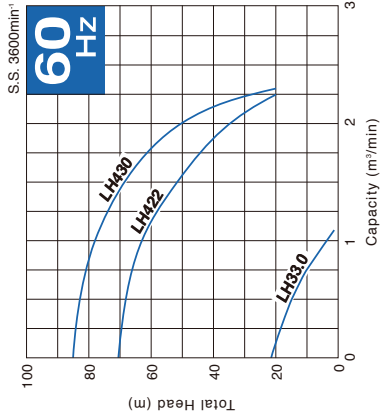
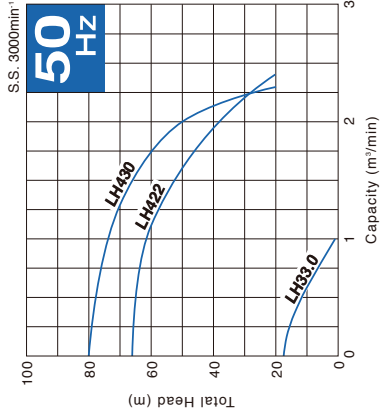
LH637



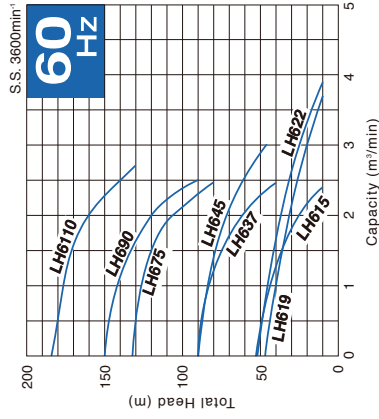
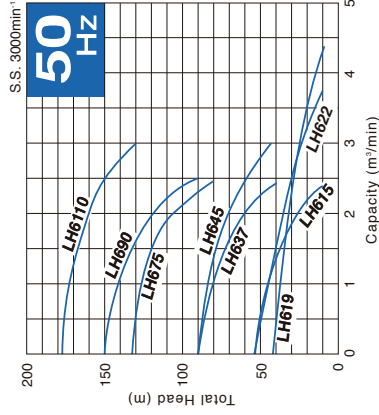
LH8110

Performance Curves

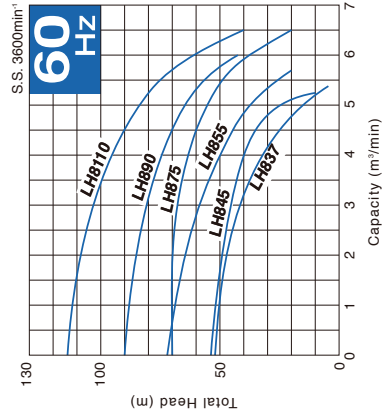
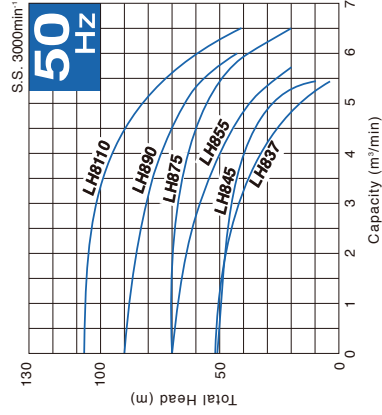
< 80-100mm >



< 150mm >



< 200mm >



Discharge Bore mm	Model	Motor Output kW	Phase	Starting Method	Solids Passage mm	Dimensions L x H mm	Dry Weight** kg	Cable Length m
80	LH833.0	3	Three	D.O.L.	6	185 x 645	42	20
100	LH422	22		D.O.L.*†	6	420 x 1352	350	10
100	LH430	30		Star-Delta	6	420 x 1352	355	10
150	LH615	15		D.O.L.*†	8.5	330 x 1014	213	10
150	LH619	19		D.O.L.*†	12	420 x 1423	350	10
150	LH622	22		D.O.L.*†	12	420 x 1423	360	10
150	LH637	37		Star-Delta	6	530 x 1448	495	10
150	LH645	45		Star-Delta	6	530 x 1448	510	10
150	LH675	75		Star-Delta	8	563 x 1676	865	10
150	LH690	90		Star-Delta	10	592 x 1787	1100	20
150	LH6110	110	Star-Delta	10	592 x 1787	1200	20	
200	LH837	37	Star-Delta	20	530 x 1448	495	10	
200	LH845	45	Star-Delta	20	530 x 1448	510	10	
200	LH855	55	Star-Delta	20	563 x 1716	810	10	
200	LH875	75	Star-Delta	20	563 x 1716	865	10	
200	LH890	90	Star-Delta	20	592 x 1787	1150	20	
200	LH8110	110	Star-Delta	20	592 x 1787	1250	20	

** Star-Delta available upon request

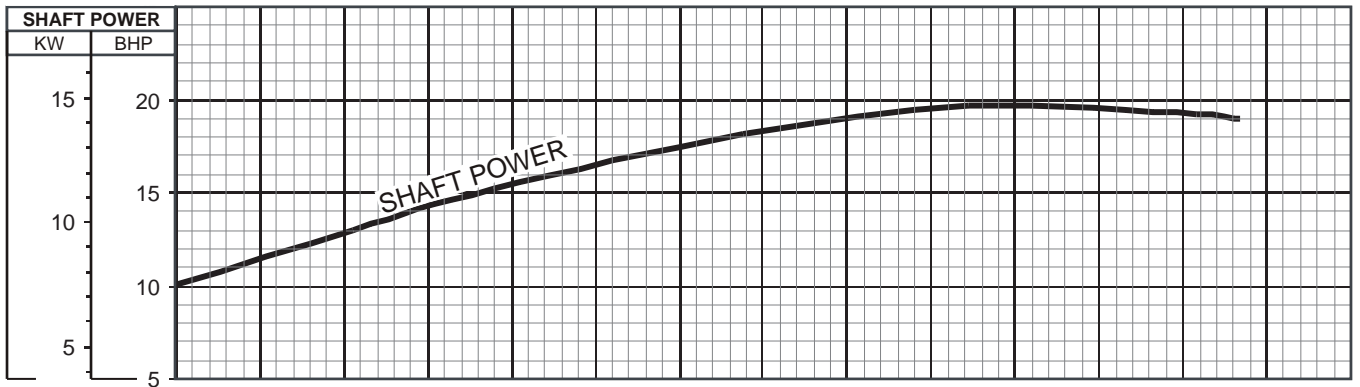
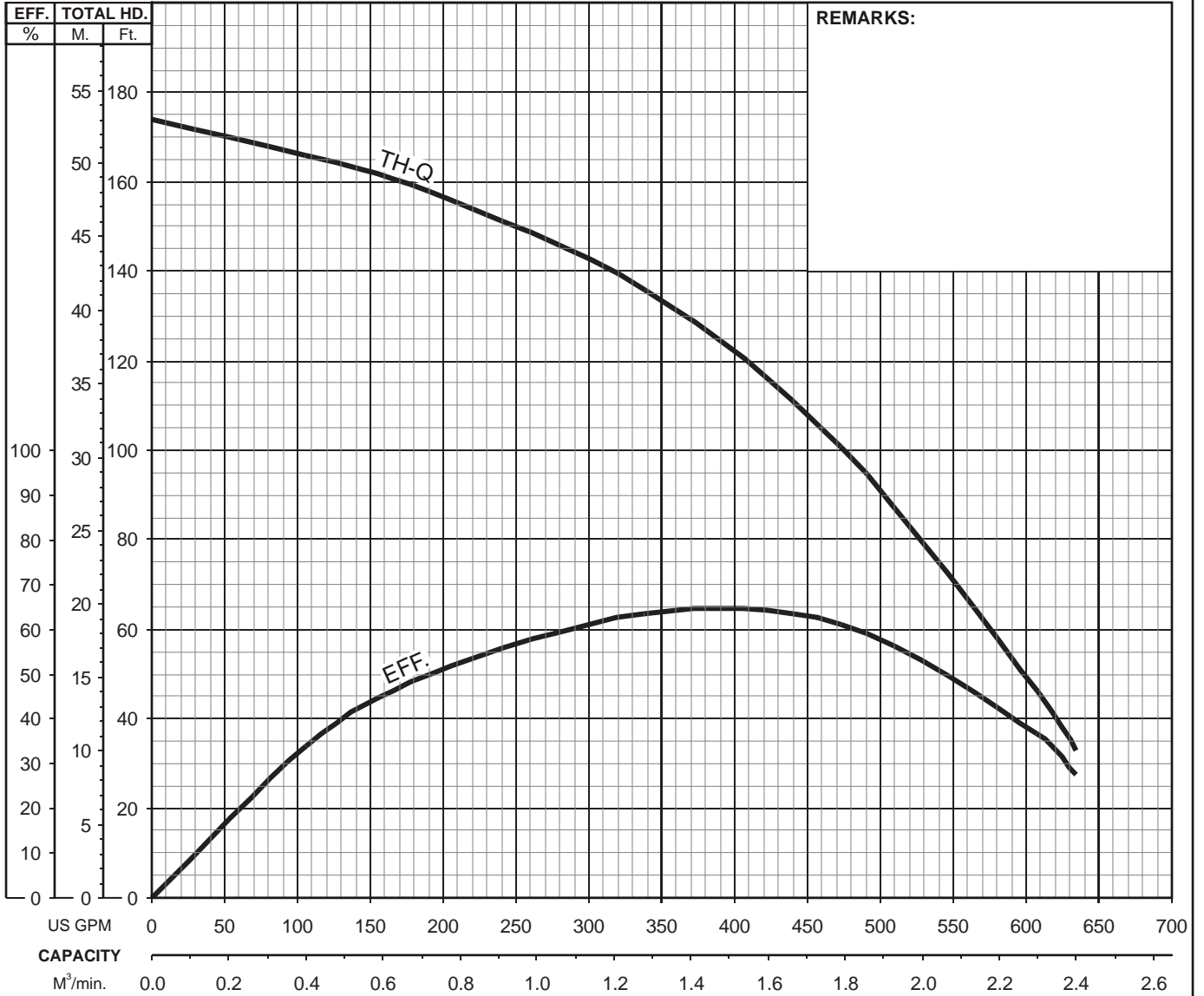
*† Weights excluding cable



LH - SERIES DEWATERING PUMPS

PERFORMANCE CURVE

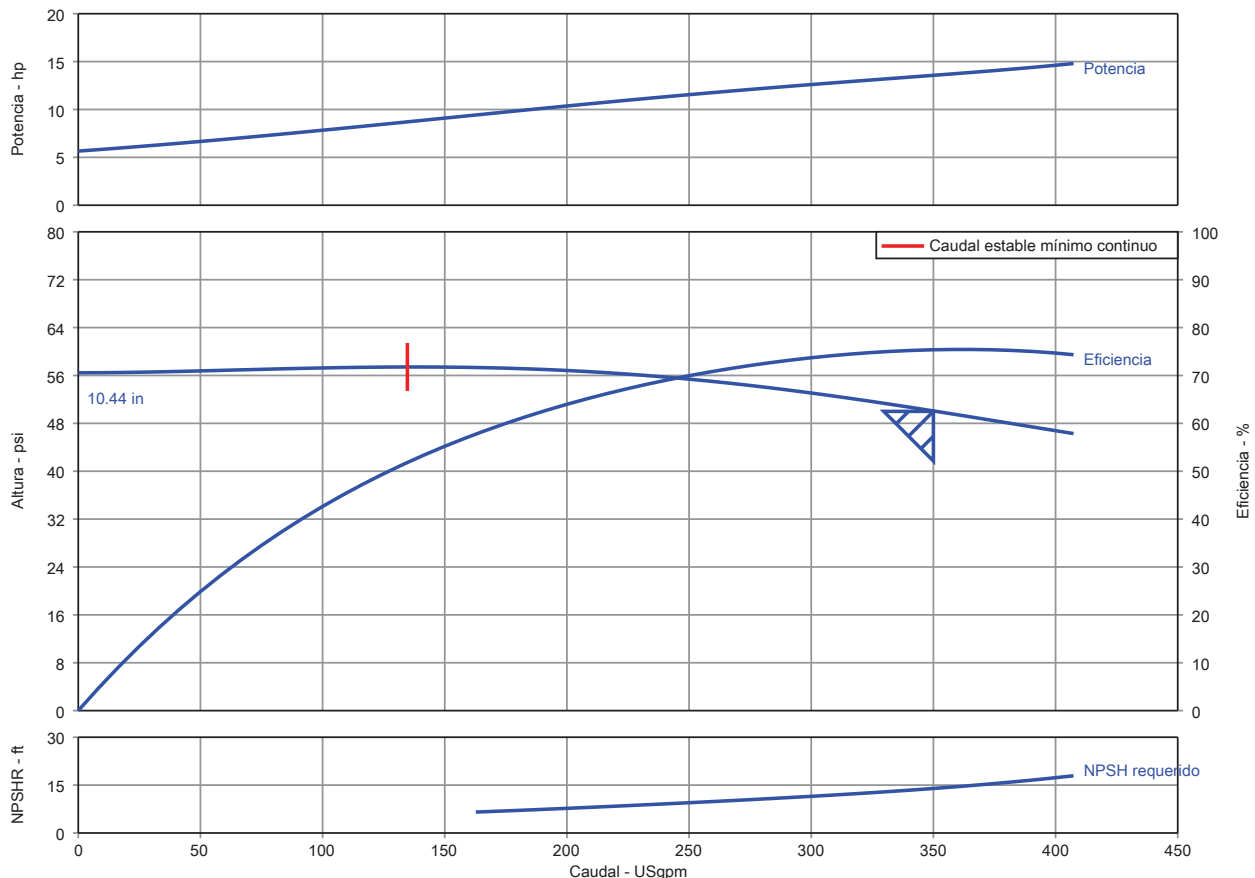
MODEL		BORE	HP	KW	RPM	SOLIDS DIA	LIQUID	SG.	VISCOSITY	TEMP.
LH615-61		6"/150mm	20	15	3465	0.236"/6mm	Water	1.0	1.123 CST	60°F
PUMP TYPE		PHASE	VOLTAGE		AMPERAGE		HZ	STARTING METHOD		INS. CLASS
Dewatering Pump		3	208-230/460/575		53.0-48.0/24.0/19.0		60	Direct On Line		B
CURVE No.	DATE	PHASE	VOLTAGE		AMPERAGE		HZ	STARTING METHOD		INS. CLASS
-	-	-	-		-		-	-		-



Hoja de datos características de la bomba

Cliente : RESERVA CONCHAL Referencia cliente : Artículo número : Default Servicio : Cantidad : 1	Cotización No. : Tamaño : B3EQBL Etapas : 1 Según el número de la curva : 8904 Fecha de último salvado : 23 Jun 2015 4:07 PM
--	--

Condiciones de operación		Líquido	
Caudal, nominal	: 350.0 USgpm	Tipo de líquido	: --Water
Presión / altura diferencial, rated (requerido)	: 50.00 psi	También conocido como	:
Presión / altura diferencial, rated (efectiva)	: 50.07 psi	Diámetro máximo de sólidos	: 0.00 in
Presión de succión, diseño/máx.	: 0.00 / 0.00 psi.g	Concentración de sólidos, en volumen	: 0.00 %
NPSH disponible, Diseño	: Amplio	Temperatura, máxima	: 68.00 F
Frecuencia	: 60 Hz	Densidad del líquido	: 1.000 / 1.000 Peso esp.
		Viscosidad, diseño	: 1.00 cP
		Presión de vapor, diseño	: 0.00 psi.a
Rendimiento		Material	
Velocidad, valorada	: 1,901 rpm	Material seleccionado	: Not specified
Diámetro impulsor, nominal	: 10.44 in		
Diámetro impulsor, máximo	: 10.44 in		
Diámetro impulsor, mínimo	: 7.81 in		
Eficiencia	: 75.37 %		
NPSH requerido / margen requerido	: 13.95 / 0.00 ft		
nq (flujo rodete) / S (flujo rodete)	: 20 / 94 Unidades métricas		
Caudal estable continuo mínimo	: 134.7 USgpm		
Altura, diámetro máximo, nominal	: 57.42 psi		
Aumento de la altura de elevación con flujo de impulsión cerrado	: 12.73 %		
Caudal, punto de mejor rendimiento (PMR)	: 362.0 USgpm		
Relación de caudal (nominal / PMR)	: 96.70 %		
Relación de diámetro (nominal / máximo)	: 100.00 %		
Relación de altura (diám. nominal / diám. máximo)	: 100.00 %		
Cq/Ch/Ce/Cn [ANSI/HI 9.6.7-2010]	: 1.00 / 1.00 / 1.00 / 1.00		
Condición de selección	: Aceptable		
		Datos presión	
		Presión máxima de trabajo	: 57.42 psi.g
		Máxima presión de operación permisible	: 195.0 psi.g
		Límite de presión de succión	: N/D
		Presión de prueba hidrostática	: N/D
		Datos unidad motriz & Potencia	
		Margen sobre el criterio de potencia	: Potencia nominal
		Margen de prestación	: 0.00 %
		Factor de servicio	: 1.00
		Potencia, hidráulica	: 10.22 hp
		Potencia, nominal	: 13.56 hp
		Potencia, diámetro máximo, nominal	: 14.80 hp
		Potencia mínima recomendada de motor	: 15.00 hp / 11.19 kW



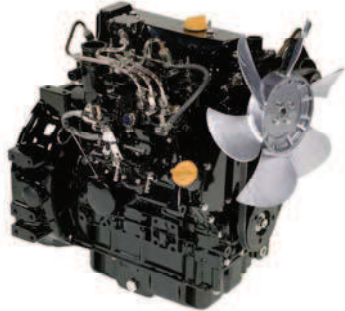


Image shown may not be actual engine

Features

Clean Emissions

Building off the proven TNE design, Yanmar has achieved superior exhaust emissions by improving the combustion chamber and fuel injection equipment design. Engines are compliant with EPA Interim Tier 4 and EU stage III A exhaust emissions regulations.

Reliable and Durable

The TNV engines now proudly take up the running as Yanmar's premium small industrial diesel. They offer even more enhanced durability due to better block cooling, a stiffer crank and pistons, finer tolerance in the journal, and more. CAE analysis has brought lower vibrations and higher strength to the mounting structure for even better reliability in heavy-duty jobs.

Fuel Delivery and Economy

A newly designed, MP distributor type fuel injector pump is utilized to assure more precise fuel delivery and control. The result is reduced emissions, improved performance over a wide range of applications and good fuel economy which assures that Yanmar's reputation for superior starting characteristics continues.

Noise Level Reduction

Yanmar's original CAE techniques have optimized the stiffness, minimized transformation, and reduced radiant noise in the cylinder block. Gear noise reduction is achieved through an improved gear tooth profile resulting in less mechanical noise.

Additional Information

Yanmar America Corp
951 Corporate Grove Drive
Buffalo Grove, IL 60089
www.yanmar.com

Distributed By:

3TNV88-BDSA General Specification

36.1 HP (26.9 kW) @ 3000 rated rpm*

Type	• • • 3 Cylinder, 4-Cycle, Liquid Cooled Diesel Engine
Bore	• 88 mm
Stroke	• 90 mm
Displacement	• 1.642 L
Aspiration	• Naturally Aspirated
Combustion System	• Direct Injection
Rotation (from flywheel end)	• Counterclockwise
Dry Weight	• 326 lbs (148 kg)

Standard Engine Equipment

General

- Intake & Exhaust Manifold
- Muffler/Exhaust Pipe Gasket (shipped loose)

Lubrication System

- 6.7 L Capacity Deep Oil Pan, Side Drain
- Trochoid Oil Pump
- Paper Element Oil Filter
- Oil Pressure Switch
- Crankcase Breather, Closed Type

Electrical System

- 12V, 40 Amp Alternator
- 12V Starter Motor
- 12V, 400W Glow Plugs
- Preheat Relay (shipped loose)
- Preheat Timer (shipped loose)
- Stop Solenoid Timer (shipped loose)

Fuel System

- MP2 Distributor Type Fuel Injection Pump
- 12V Electric Fuel Pump (shipped loose)
- Paper Element Fuel Filter
- Water Separator (shipped loose)
- Stop Solenoid, Integral to Fuel Injection Pump

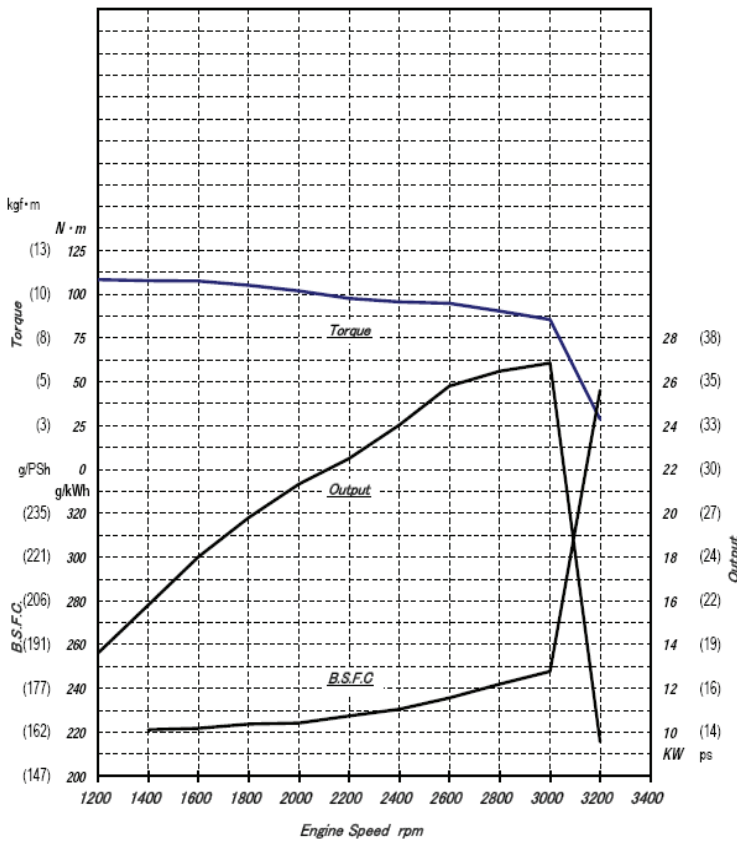
Cooling System

- Water Pump, Belt Driven
- 7-Blade, 360mm Cooling Fan—Puller Type
- 21° C (160° F) Thermostat
- Temperature Switch
- Fan Belt

Power Take Off

- Flywheel, SAE 7 1/2"
- Flywheel Housing, SAE #5 (124 mm deep)
- Aux Drive, For a 9-tooth w/SAE 2 bolt "A" Flange

Performance Data



kW to Hp conversion used is expressed as: $HP = (kW \text{ value}) \times 1.34$

Rated Speed (rpm)	Net rated kW	Net rated HP	Max. Torque (ft-lb)
3000	26.9	36.1	79.5 @ 1800 rpm

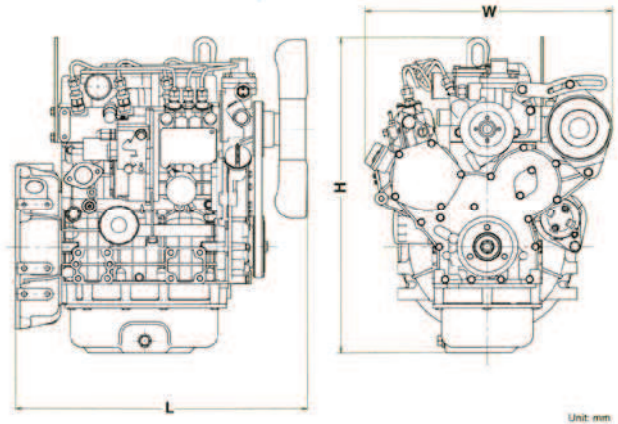
Ratings Definitions and Conditions

*Rated power listed is NET engine output. The engine operating environment and driven machine conditions must be studied carefully when selecting an engine in order to ensure correct engine selection, maximize engine performance, extend engine service life and improve machine capacity.

Consult the TNV Application Manual for additional engine ratings and engine application information.

Application standards for Yanmar industrial engines: Inlet air standard conditions with a total barometric pressure of 100kPa (29.5 in. Hg), with 30% relative humidity and 25° C (77°F).

Dimensions



Length	24.1 in (611 mm)
Width	20.4 in (517 mm)
Height	26.3 in (667 mm)

Note: Dimensions depend on final specifications.

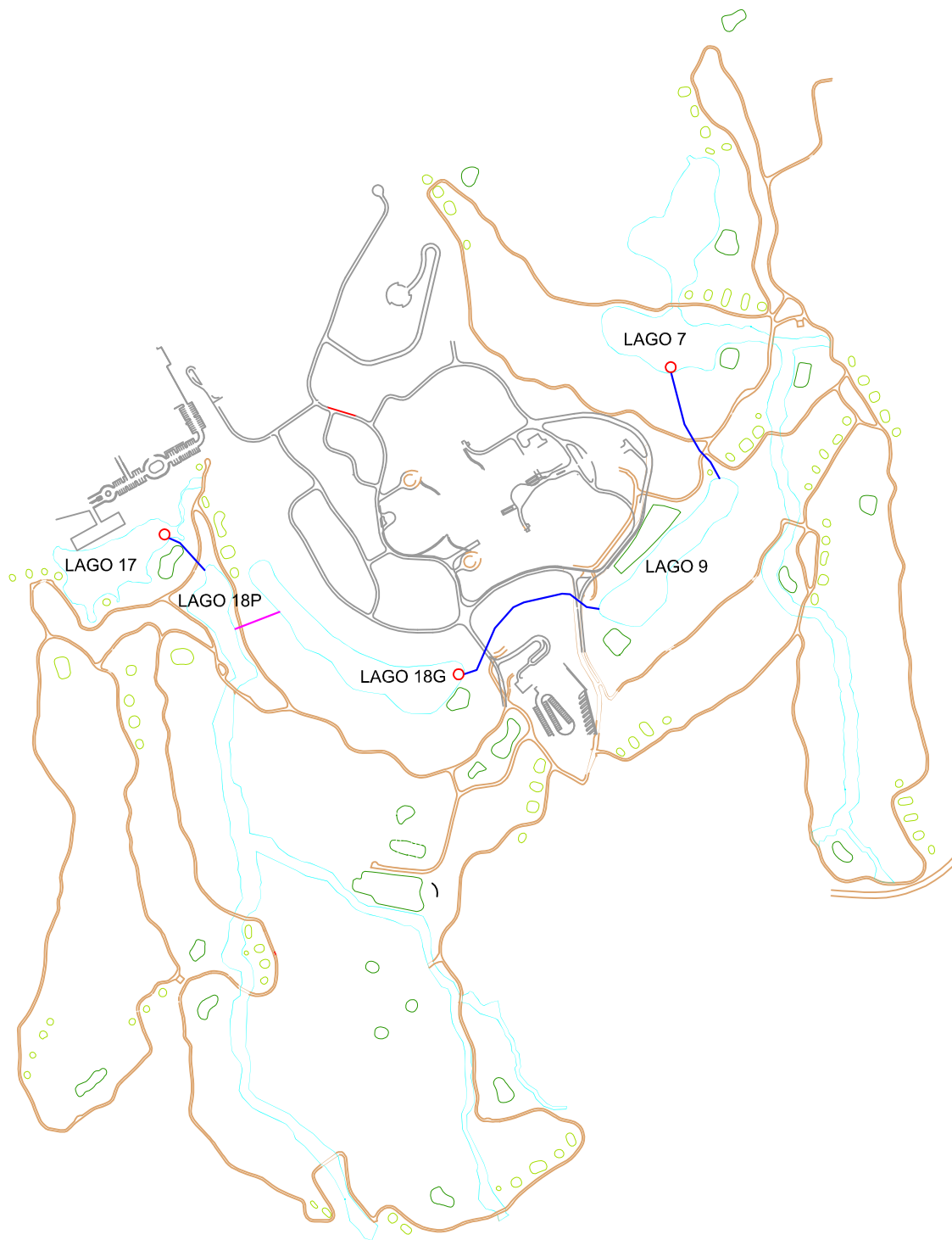
Materials and specifications herein are intended to serve as a guide in engine selection and subject to change without notice. The International System of Units (SI) is used in this publication. Yanmar and its logos, as well as corporate identity used herein, are trademarks of Yanmar and may not be used without permission.

MODELO	3TNV88-BDSA
Nº DE CILINDROS	3
SISTEMA DE COMBUSTIÓN	INYECCIÓN DIRECTA
DESPLAZAMIENTO L (PULGADAS CÚBICAS)	1.64 (100)
DIÁMETRO Y CORRIDA PULG. (mm)	3.46x3.54 (88X90)
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	23.5
TIPO DE MOTOR	EN LÍNEA 4 CICLOS
ASPIRACIÓN	NATURAL
RÉGIMEN DEL MOTOR	3000 RPM
VELOCIDAD	VARIABLE
POTENCIA BRUTA DEL MOTOR A NIVEL DEL MAR HP (KW)	36 (26.9)
TORQUE MÁXIMO (ft-lb)	79.5 @1800rpm
CONSUMO DE COMBUSTIBLE L/hr	8.39
LARGO mm (PULG)	610 (24)
ANCHO mm (PULG)	502(19.7)
ALTO mm (PULG)	654 (25.7)
PESO kg (LB)	154 (341)
SAE (DISCO)	5 (7 1/2)



3TNV88-BDSA

ANEXO 4



- TUBERÍA 6" CONEXIÓN DE LOS LAGOS
- TUBERÍA 12" UNIÓN LAGO 18 PEQ-18G
- BOMBA TSURUMI LH615-61

**DISEÑO DE INTERCONEXIÓN DE LOS LAGOS
CAMPO DE GOLF DE RESERVA CONCHAL**

Rebeca Carvajal Carballo
Universidad Costa Rica 2015