

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO DE LOS HOYOS 6, 7 Y 12 DEL CAMPO DE
GOLF DE RESERVA CONCHAL, CABO VELAS, GUANACASTE.

ROSMERY QUESADA CAMPOS

CARTAGO, 2021

Optimización del sistema de riego de los hoyos 6, 7 y 12 del Campo de Golf de Reserva
Conchal, Cabo Velas, Guanacaste.

Rosmery Quesada Campos

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciada en Ingeniería Agrícola

Laura Segura Serrano

Isabel Guzmán Arias

Nombre

Nombre

Asesora

Directora Escuela Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2021



This work is licensed under a

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

DEDICATORIA

A mi madre Yamileth Campos Rodríguez por su esfuerzo por velar que nada falte y cuidar de los suyos con sus distinguidos detalles.

A mi crecimiento personal durante mi carrera universitaria que forjó la persona que soy hoy.

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de Reserva Conchal por la atención, ayuda y aprendizaje transmitido durante mi estadía; además de depositar en mí la confianza para desarrollar este proyecto.

A Hubert Morris, Sergio Chaves, Ana Laura Orozco y Francisco Leiva; sepan que admiro profundamente su labor.

A mis compañeros Julio Araya Rodríguez y Valeria Serrano Núñez por impulsarme a continuar y permitirme compartir con ustedes esta etapa.

A los profesores Natalia Gómez Calderón y Fernando Watson Hernández por confiar en mi proceso y a la profesora Laura Segura Serrano por la asesoría durante el proyecto.

A Ana Valverde por inculcar movimiento y creatividad para mi quehacer.

A mi psicóloga Paola Solano Durán por ayudarme a conocer y explotar mi potencial plasmado en este documento.

A mis amigos, que a pesar de la distancia siempre están ahí para escucharme y apoyarme.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	3
1. INTRODUCCIÓN	5
2. OBJETIVOS	7
Objetivo General.....	8
Objetivos específicos	8
3. REVISIÓN DE LITERATURA	9
3.1 Distribución de un campo de golf.....	10
3.2 Variedades de césped comunes en campos de golf.....	12
Césped bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)	13
Césped zoysia (<i>Zoysia sp</i>)	14
3.3 Factores que interfieren en el desarrollo del césped	16
3.4 Prácticas de mantenimiento del césped	17
3.5 Caracterización del suelo.....	20
a. Materia orgánica	21
b. Textura.....	21
c. Densidad aparente	24
d. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	24
e. Infiltración	25
3.6 Evapotranspiración.....	26
3.7 Riego en campos de golf	27
3.8 Parámetros de diseño en un sistema de riego en golf.....	29
Diseño agronómico	29
Diseño hidráulico	31
3.9 Programación y control del sistema de riego en golf	32
3.10 Uniformidad del riego	32
Coeficiente de uniformidad	33
Uniformidad distribuida	33
4. METODOLOGÍA	34
4.1 Levantamiento topográfico.....	35
4.2 Caracterización de las condiciones actuales de los hoyos.....	36

4.3	Caracterización del suelo.....	36
a.	Determinación y oxidación de la materia orgánica.....	37
b.	Textura.....	39
c.	Densidad aparente	40
d.	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	41
e.	Infiltración	42
4.4	Evapotranspiración.....	44
4.5	Caracterización del sistema de riego.....	45
4.6	Modelación hidráulica de la tubería principal	46
4.7	Prueba de uniformidad de aplicación	47
4.8	Láminas de riego.....	48
4.9	Esquema de metodología.....	50
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
5.1	Caracterización previa del lugar	53
	Labores de mantenimiento del césped.....	53
	Labores de conservación del suelo.....	55
5.2	Levantamiento topográfico.....	58
a.	Hoyo 6	58
b.	Hoyo 7	60
c.	Hoyo 12	62
5.3	Caracterización de las condiciones actuales de los hoyos.....	65
a.	Hoyo 6	67
b.	Hoyo 7	Error! Bookmark not defined.
c.	Hoyo 12	71
5.4	Caracterización del suelo.....	75
	Puntos de muestreo	76
a.	Materia orgánica	78
b.	Textura.....	80
c.	Densidad aparente	84
d.	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente	86
e.	Infiltración	87
5.7	Evapotranspiración.....	89
5.8	Caracterización del sistema de riego.....	89

a.	Ubicación de las válvulas de apertura de laterales.....	94
b.	Presión estática y dinámica.....	97
5.9	Modelación hidráulica de la tubería principal	100
5.10	Prueba de uniformidad de aplicación	106
5.11	Láminas, tiempos y frecuencias de riego	112
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
7.	REFERENCIAS.....	123
8.	ANEXOS	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Porcentajes y clases texturales</i>	23
Tabla 2 <i>Porcentajes de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) según la textura del suelo.</i>	25
Tabla 3 <i>Valores de infiltración básica según textura del suelo.</i>	26
Tabla 4 <i>Cotas y área de los hoyos 6, 7 y 12.</i>	64
Tabla 5 <i>Porcentajes de materia orgánica para los puntos muestreados.</i>	80
Tabla 6 <i>Porcentajes de partículas y textura para los puntos muestreados.</i>	81
Tabla 7 <i>Porcentajes de partículas y textura para los puntos muestreados.</i>	85
Tabla 8 <i>Valores de CC y PMP para los puntos de muestreo de los hoyos en estudio.</i>	86
Tabla 9 <i>Agua útil para cada punto de muestreo de los hoyos en estudio.</i>	87
Tabla 10 <i>Valores de infiltración para los puntos de muestreo de los hoyos en estudio.</i>	88
Tabla 11 <i>Evapotranspiración en mm/día de la zona de Cabo Velas, Guanacaste.</i>	89
Tabla 12 <i>Características de los aspersores Rainbird serie 700, 751, 900 y 950.</i>	90
Tabla 13 <i>Presión estática y dinámica en el green y tees de los hoyos 6, 7 y 12</i>	97
Tabla 14 <i>Patrones de apertura de válvulas para la modelación hidráulica de la tubería principal, EPANET</i>	100
Tabla 15 <i>Curva característica de la bomba para la modelación hidráulica en EPANET</i>	101
Tabla 17 <i>Aspersores y especificaciones de los sitios de muestreo, hoyos 6 y 7.</i>	108
Tabla 18 <i>Aspersores y especificaciones de los sitios de muestreo, hoyo 12.</i>	110
Tabla 19 <i>Valores del coeficiente de uniformidad (CU) y uniformidad distribuida (UD) obtenida para cada sitio de muestreo.</i>	112
Tabla 20 <i>Frecuencia de riego para cada área del campo de golf.</i>	113
Tabla 21	114
Tabla 22 <i>Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 6.</i>	116
Tabla 23 <i>Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 7.</i>	118
Tabla 24 <i>Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 12.</i>	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Componentes de un campo de golf</i>	12
Figura 2 <i>Césped Bermuda (Cynodon dactylon)</i>	14
Figura 3 <i>Césped Zoysia (Zoysia sp)</i>	15
Figura 4 <i>Residuos de corte de pasto (clipping)</i>	18
Figura 5 <i>Capa de thatch sobre el césped</i>	19
Figura 6 <i>Triángulo textural, USDA</i>	22
Figura 7 <i>Esquema de metodología propuesta para la optimización del sistema de riego del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	51
Figura 8 <i>Aplicación de agente humectante</i>	54
Figura 9 <i>Aplicación de arena sílica</i>	55
Figura 10 <i>Aireación con pines sólidos</i>	56
Figura 11 <i>Aireación con pines huecos</i>	57
Figura 12 <i>Ubicación del hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	59
Figura 13 <i>Flujo de agua hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	60
Figura 14 <i>Ubicación del hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	61
Figura 15 <i>Flujo de agua hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	62
Figura 16 <i>Ubicación del hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	63
Figura 17 <i>Flujo de agua hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	64
Figura 18 <i>Acumulación de thatch por arrastre del agua</i>	66
Figura 19 <i>Problemáticas tees del hoyo 6 y green, fairway y rough del hoyo 7</i>	68
Figura 20 <i>Problemática para el rough del hoyo 6 y rough del hoyo 7</i>	69
Figura 21 <i>Problemáticas en el rough y green del hoyo 6 y tees del hoyo 7</i>	70
Figura 22 <i>Contraste de la tolerancia al sombreado entre las variedades Bermuda y Zoysia</i>	71
Figura 23 <i>Distribución de los tees del hoyo 12</i>	72
Figura 24 <i>Problemáticas del rough y fairway del hoyo 12</i>	73
Figura 25 <i>Profundidad radicular efectiva para Bermuda 419 (Cynodon dactylon)</i>	75
Figura 26 <i>Puntos de muestreo en el hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste</i>	76

Figura 27 <i>Puntos de muestreo en el hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.</i>	77
Figura 28 <i>Puntos de muestreo en el hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.</i>	78
Figura 29 <i>Clasificación textural para el hoyo 6 del Campo de Golf, Reserva Conchal.</i>	82
Figura 30 <i>Clasificación textural para el hoyo 7 del Campo de Golf, Reserva Conchal.</i>	83
Figura 31 <i>Clasificación textural para el hoyo 12 del Campo de Golf, Reserva Conchal.</i>	84
Figura 32 <i>Anillos de tubería que abastecen los hoyos 6 y 7.</i>	91
Figura 33 <i>Anillos de tubería que abastecen al hoyo 12.</i>	93
Figura 34 <i>Ubicación de las válvulas de apertura de laterales, hoyos 6 y 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal.</i>	94
Figura 35 <i>Ubicación de las válvulas de apertura de laterales, hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal.</i>	95
Figura 36 <i>Ubicación de la estación de bombeo en el Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.</i>	96
Figura 37 <i>Comportamiento de la presión estática y dinámica de los hoyos 6 y 7 y presión estática de algunos hoyos aledaños.</i>	98
Figura 38 <i>Comportamiento de la presión estática y dinámica de los hoyos 6 y 7 y presión estática de algunos hoyos aledaños.</i>	99
Figura 39 <i>Modelación de EPANET en el Patrón 2, puntos críticos en las válvulas 12R7 y 12T6.</i>	102
Figura 40 <i>Modelación de EPANET en el Patrón 5, punto crítico en la válvula 7T8.</i>	103
Figura 41 <i>Ruta del caudal desde la estación de bombeo para abastecimiento de los hoyos 6, 7 y 12.</i>	105
Figura 42 <i>Sitios de muestreo para la prueba de uniformidad de riego, hoyos 6 y 7.</i>	107
Figura 43 <i>Sitios de muestreo para la prueba de uniformidad de riego, hoyo 12.</i>	109

LISTADO DE ABREVIATURAS

CC: capacidad de campo
CDT: carga dinámica total
 $C_5H_{12}O$: alcohol amílico
CU: coeficiente de uniformidad o coeficiente de Christiansen
Dap: densidad aparente
DU: uniformidad distribuida
ET: evapotranspiración
 ET_o : evapotranspiración potencial
 ET_c : evapotranspiración potencial calculada
 ET_{ref} : evapotranspiración de referencia
FAO: Food and Agriculture Organization
 H_2O_2 : peróxido de hidrógeno
Kc: coeficiente de cultivo
LH: lectura del hidrómetro
 LH_{40} : Lectura del hidrómetro a los 40 segundos
 LH_{2h} : Lectura del hidrómetro a las 2 horas
mca: presión expresada en metros columna de agua
MED: Modelo de Elevación Digital
MO: materia orgánica
MS: material en suspensión
 $(NaPO_3)_6$: hexametáfosfato de sodio
PM: peso de la muestra
PMP: punto de marchitez permanente
Psh: peso del suelo húmedo
Pss: peso del suelo seco
UD: uniformidad distribuida
USDA: United States Department of Agriculture
V: volumen del cilindro que contiene la muestra
 ΔZ : cambios de elevación

RESUMEN

El proyecto desarrollado se llevó a cabo en el Campo de Golf de Reserva Conchal, Cabo Velas, Guanacaste en donde se sometieron a estudio los hoyos 6, 7 y 12 para el análisis de sus condiciones actuales en cuanto a topografía, características edáficas y comportamiento de la red hidráulica del sistema de riego que abastece dichos hoyos.

Se realizó la caracterización del sistema de riego tanto de los componentes de la red como del programa de control Stratus II de Rainbird; con ello, se modeló el comportamiento hidráulico de la tubería principal de todo el campo en el programa EPANET con la finalidad de diagnosticar deficiencias enfocadas en dichos hoyos. Con lo obtenido en la modelación, se definieron sitios para la realización de la prueba uniformidad de riego para determinar los coeficientes de uniformidad (CU) y uniformidad distribuida (DU) a lo largo de las áreas de estudio.

Con base en estos análisis, se calcularon las láminas requeridas según el tipo de suelo, evapotranspiración del sitio y necesidades hídricas de *Cynodon dactylon* y se comparó con la pluviometría de los aspersores. A partir de ello, se propuso la calibración de los tiempos de riego e implementación de prácticas de conservación del suelo, cuya finalidad es contribuir a la óptima aplicación de la lámina de riego y el ahorro hídrico.

Palabras clave: *Cynodon dactylon*, *golf*, *modelación hidráulica*, *optimización del riego*.

ABSTRACT

The project was developed on the Golf Course of Reserva Conchal, Cabo Velas, Guanacaste where the holes 6, 7 and 12 were their current conditions regarding their topography, soil characteristics and the behavior of the hydraulic network that supplies these holes.

A characterization of the irrigation system was realized both in terms of the network components and the control system Stratus II of Rainbird, which was a base for the modeling of the hydraulic behavior of the main pipe of all the course done in EPANET with the intent to diagnose deficiencies focused in that holes. These results determined the sites where irrigation uniformity test was performed and with that, calculate the coefficients of uniformity (CU) and distributed uniformity (DU).

Based on these analyses, the irrigation sheets required were calculated according to the type of soil, evapotranspiration, and water requirement of *Cynodon dactylon* and this was compared with the rainfall of the sprinkles. From there, the calibration of the irrigation times and the implementation of soil conservation techniques were proposed in order to contribute to the optimal application of the irrigation sheet and water saving.

Keywords: *Cynodon dactylon*, golf, hydraulic modeling, irrigation optimization.

1. INTRODUCCIÓN

El Campo de Golf de Reserva Conchal ubicado en Cabo Velas, Guanacaste (10°23'52,74", 85°48'03,54") posee un sistema de riego que opera con aproximadamente 1270 aspersores emergentes o *pop ups* de la marca RainBird de las series 700, 751, 900 y 950 distribuidos uniformemente a lo largo del área bajo irrigación del campo.

El accionamiento del sistema de riego se da a través del programa de control Stratus II Versión 8 y Rainbird Freedom NB que dirige la apertura y cierre de los aspersores de forma individual según las necesidades hídricas del área que abastecen y/o ubicación del aspersor dentro del área del campo de golf en el que se encuentren. También a través del programa se realiza el accionamiento del equipo de bombeo, el cual opera a una presión de 73,92 mca, logrando direccionar el caudal necesario para el riego de todo el campo.

Sin embargo, en época de escasez hídrica el volumen disponible para riego se ve reducido en un 33%, siendo la gestión oportuna del recurso hídrico un factor en consideración, pues en condiciones favorables de disponibilidad hídrica el césped es irrigado con la lámina de riego mínima para procurar su supervivencia. Inclusive, la priorización de riego en las áreas con mayor relevancia en el juego de golf se vuelve más rigurosa.

El sistema de riego actual suministra la lámina de evapotranspiración del sitio para el desarrollo del césped Bermuda 419 (*Cynodon dactylon*); césped habitual en campos de golf debido a sus características fenológicas en cuanto a resistencia a temperaturas extremas y bajo requerimiento hídrico.

Pese a las labores de mantenimiento del césped y prácticas de conservación del suelo realizadas en el campo, las condiciones actuales del césped en los hoyos 6, 7 y 12 son deficientes. Por lo que, se requiere el estudio de las características edáficas, topográficas y evapotranspiración del lugar y características del sistema de riego para generar una propuesta de mejoras que optimicen el sistema de riego que abastece los hoyos en estudio.

Dicha propuesta pretende la óptima aplicación de la lámina de riego impulsando a que la empresa continúe operando bajo los estándares de sostenibilidad a través del gestionamiento adecuado del recurso hídrico y a su vez, ofrecer a los jugadores un campo de golf de calidad. De la misma forma, permitir la formación de criterio y la toma de decisiones competentes al campo de la ingeniería agrícola y su aplicación en la irrigación de estos campos.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar las características físicas, climáticas e hidráulicas para la optimización del sistema de riego de tres hoyos del Campo de Golf de Reserva Conchal, Cabo Velas, Guanacaste.

Objetivos específicos

1. Determinar las características topográficas y edáficas de cada hoyo y su influencia en sus condiciones actuales.
2. Identificar deficiencias en el comportamiento hidráulico de la tubería principal de los hoyos en estudio.
3. Analizar la lámina de riego actualmente aplicada según los requerimientos hídricos del suelo, tasa de evapotranspiración y cálculo de coeficientes de uniformidad de aplicación.
4. Proponer ajustes del sistema de riego con base en las láminas requeridas según las características edáficas y agotamiento permisible para *Cynodon dactylon*.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Distribución de un campo de golf

La planificación de las áreas destinadas a la práctica de golf posee un meticuloso diseño y construcción que permiten el ahorro de tiempo y capital para su mantenimiento, ya que el gestionamiento de estas labores se reflejan en el rendimiento del campo ante esta práctica. Algunas de las características que debe tener un área destinada para un campo de golf competente se encuentran: superficie efectiva de juego, topografía, suelo, vegetación y uso del recurso hídrico (McCarty, 2018).

Los campos de golf suelen constar de 18 hoyos que abarcan al menos 61 ha, acompañándose de otras áreas que se utilicen en el esquema del campo de golf; lo que implica un aprovechamiento efectivo de la superficie cuya topografía debe procurar facilidad de acceso, visibilidad durante el juego y realización de labores de mantenimiento de forma segura.

Los campos con suelos de texturas finas (arcillosas) suelen presentar problemas de drenaje, por lo que para facilitar el mantenimiento del césped y procurar su desarrollo idóneo, se prefieren suelos con texturas gruesas (francos y arenosos). Sin embargo, debido a la extensión que presentan estos campos es posible encontrar variedad textural que crea condiciones distintas de manejo o problemáticas puntuales (Conellan, 2013).

Por otro lado, la vegetación posee un valor ecológico en la conservación de especies nativas y la vida silvestre del lugar, además de brindar aporte a la jugabilidad del golf (césped del campo), según Conellan (2013).

El abastecimiento hídrico del campo puede variar según las áreas del campo de golf y la disponibilidad de agua, según Espejo (2004) y Salgot et al. (2012) un hoyo de golf está compuesto por las áreas que se muestran en la Figura 1, correspondientes a:

- *Tee*: conocido también como plataforma de partida es el lugar de salida de un hoyo. La línea de salida (colocación de los *tees*) deben ser movidos frecuentemente para evitar daños en el césped.
- *Fairway*: es una especie de pasillo desde el *tee* hasta el *green* donde debe caer la bola, abarca la mayor área del hoyo hasta el 90% de la superficie verde y es en ellas donde se desarrolla la mayor parte del juego. La altura de corte del césped de esta área

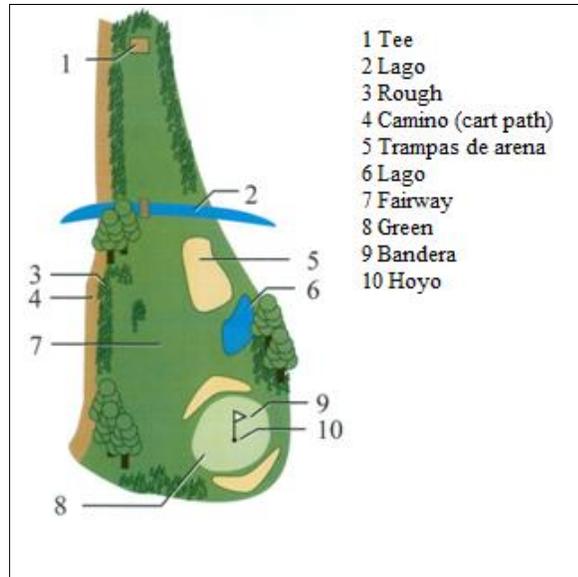
depende de la variedad del césped, condiciones del suelo y presupuesto de mantenimiento.

- Collar del *green*: es un anillo de césped que rodea el *green*, posee una altura de corte ligeramente mayor que la altura de corte del *green*. Puede o no estar presente.
- *Rough*: rodeando el área del *fairway*, se encuentran las áreas del *rough* y *semirough* las cuales se encuentran cubiertas por un césped con altura de corte mayor, variedades de césped más grueso o una vegetación arbustiva o arbórea. Su cuidado es menos riguroso en comparación con las demás áreas del campo.
- *Green*: es el final del recorrido y en donde se encuentra el hoyo en el que debe introducir la bola. En esta área el césped posee cuidados especiales, por lo que en ocasiones el suelo se encuentra modificado con sustratos; además de que es el área con menor altura de corte, lo cual se traduce a una superficie más lisa.

Entre las áreas del *tee* y *green* se pueden encontrar obstáculos como *bunkers* (trampas de arena) u obstáculos de agua (naturales o artificiales) que buscan aumentar la dificultad del juego; estos últimos también cumplen la función de almacenamiento hídrico de aguas regeneradas que suelen tener un tratamiento específico para evitar la eutrofización.

Figura 1

Componentes de un campo de golf.



Nota. Adaptado de Golf course irrigation with reclaimed water in the Mediterranean: A risk management matter, por Salgot et al., 2012 (doi:10.3390/w4020389)

3.2 Variedades de césped comunes en campos de golf

Las áreas de un campo de golf se encuentran diferenciadas por las variedades de césped implementadas y/o altura de corte, según Monje-Jiménez y García-Verdugo (2001) la calidad del mismo es determinada por aspectos visuales y funcionales en el juego tales como densidad, color, suavidad y uniformidad. Además, la profundidad radicular, recuperación al pisoteo, tasa de crecimiento, resiliencia y velocidad de rodamiento son otras de las características importantes a considerar para estos céspedes; los cuales hacen que un césped sea considerado como deportivo.

La selección del pasto a implementar es una inversión a largo plazo que afecta directamente los costos del mantenimiento y características del campo. McCarty (2018) recalca que la selección de las variedades establecidas en un campo de golf se encuentra en función de la disponibilidad hídrica, clima, tipo de suelo y nivel de mantenimiento; dividiéndose en variedades de césped para estación cálida y estación fría.

Costa Rica al ser un país tropical, las variedades de interés corresponden a aquellas de estación cálida siendo las variedades Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Zoysia (*Zoysia sp*) aquellas que han retornado buenos resultados en su instalación en campos de golf. Su preferencia se basa principalmente en su bajo consumo hídrico comparado con otras variedades, según indica Monje-Jiménez y García-Verdugo (2001).

Según Monje-Jiménez y García-Verdugo (2001) y McCarty (2018), estas variedades presentan similitudes y diferencias entre ellas, ampliadas a continuación:

Césped bermuda (*Cynodon dactylon*)

Es una gramínea perenne originaria de climas cálidos es comúnmente utilizada en países tropicales, subtropicales e inclusive en zonas con escasa pluviometría. Es adaptable a lugares cuyas temperaturas oscilan entre 23° y 24°C, sin embargo, su mejor crecimiento se da en zonas que pueden alcanzar temperaturas entre 35° y 37°C. Se caracteriza por su resistencia a periodos largos de sequía, adaptabilidad a zonas cercanas al mar y alta resistencia al desgaste. Su crecimiento es vigoroso, con gran profundidad radicular y propagación competitiva por medio de estolones y rizomas que pueden estabilizarse en suelos salinos, aunque prefiere los suelos arenosos; no obstante, su crecimiento se puede dar en cualquier tipo de suelo siempre y cuando la fertilización sea adecuada.

El consumo hídrico de este césped es muy bajo, inclusive en zonas que posee una precipitación de 600 mm anuales; aunque el césped puede entrar en un periodo de latencia que posteriormente, se ve reflejado en su vigorosidad. La recuperación de su apariencia luego de un extenso periodo seco se da con facilidad una vez propiciadas las cantidades hídricas adecuadas.

Dentro de sus limitantes se encuentran las diversas plagas que lo atacan (en su mayoría, nemátodos) y la baja tolerancia a zonas sombreadas que afectan significativamente su desarrollo y estética. El Bermuda es usualmente utilizado en las áreas del *green* hasta el *tee* del campo de golf, en la Figura 2 se muestra el aspecto del césped.

Figura 2

Césped Bermuda (Cynodon dactylon).



Nota. Apariencia del césped Bermuda 419 con una baja altura de corte.

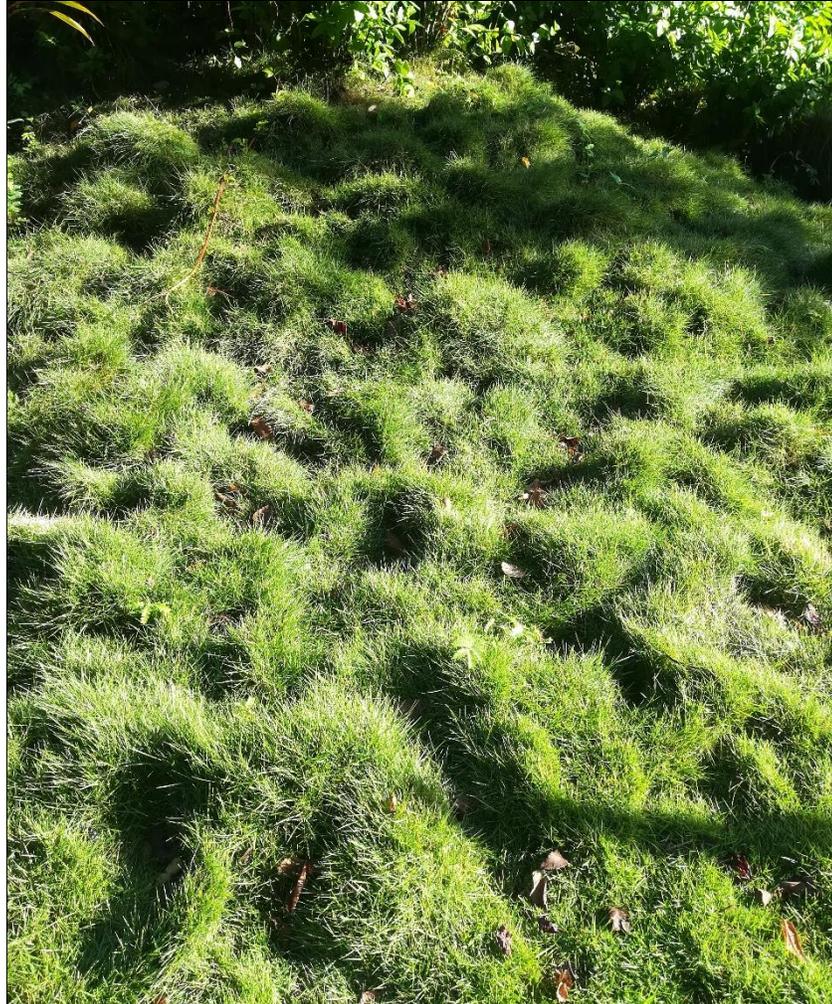
Césped zoysia (*Zoysia sp*)

Es un césped perenne que se propaga por estolones y rizomas. Al igual que el césped Bermuda, posee alta tolerancia al desgaste, salinidad, sequía y capacidad de recuperación luego de largos periodos de sequía.

Sus limitantes corresponden a la lenta propagación y crecimiento, baja capacidad de recuperación (por lo que no debe usarse en zonas con mucho tráfico), acidificación y compactación de los suelos en los que se encuentra. En comparación con el césped Bermuda, este ofrece una mejor tolerancia al sombreado y menor requerimiento de fertilización; sin embargo, requiere de mayor demanda hídrica. Esta variedad se utiliza en las áreas de *fairways*, *tee*, *bunkers* y en algunas ocasiones en los *greens* (Ver Figura 3).

Figura 3

Césped Zoysia (Zoysia sp).



Nota. Apariencia del césped Zoysia sin práctica de corte definida.

Por otro lado, el valor del coeficiente de cultivo [Kc] del césped en consideración es dependiente de si este corresponde a un césped de estación cálida o fría y la altura de corte, según Golf Couser Superintendents Association of America [GCSAA] (s.f.). Al ser los céspedes mencionados de estación cálida, se toma como Kc un valor de 0,7 correspondiente a una altura de corte de 3,81 cm.

3.3 Factores que interfieren en el desarrollo del césped

La importancia de conocer los factores que interfieren en el desarrollo del césped radica en la realización de planes correctivos que disminuyan esa interferencia lo mejor posible. Según McCarty (2018) estos parámetros son principalmente ambientales, y dentro de los más destacados se encuentran:

- *Luminosidad:* este factor está íntimamente relacionado con el crecimiento, pues los céspedes (especialmente los de climas cálidos) que requieren de al menos 1,794 a 2,139 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ para poder realizar sus procesos de fotosíntesis; lo cual se traduce en un 1 a 5% de la energía solar que incide en las hojas de los céspedes. Cuando no se tienen los valores apropiados de luminosidad, el césped comienza a presentar problemas en cuanto a desarrollo de hojas, adelgazamiento de tallos, rizomas y estolones débiles.

En los campos de golf, este problema es recurrente, debido a los árboles que usualmente hay a lo largo del campo que interceptan la luz (por ejemplo, en el área del *rough*), dejando pasar únicamente la luz que se filtra entre ellas. Sin embargo, los árboles también pueden provocar otros problemas como competencia hídrica y nutrimental, intercepción de aireación y bajas temperaturas.

- *Drenaje y riego:* el drenaje y riego deben ir de la mano para lograr un crecimiento oportuno del césped, ambos acordes con las necesidades hídricas del césped, características del suelo y transpiración del cultivo. Una ineficiente aplicación o drenaje del agua altera el desarrollo radicular, con ello el crecimiento y consecuentemente, la estética del césped; interfiriendo en el juego y rendimiento de los campos. Especialmente, el drenaje es uno de los problemas agronómicos más importantes en los campos de golf.
- *Temperatura:* dependiendo de la variedad del césped, la temperatura juega un papel determinante en su desarrollo. Los daños provocados por temperaturas extremas pueden contrarrestarse asegurando la absorción de agua en el suelo y el buen enraizamiento, este último, se encuentra asociado con el mantenimiento de la altura de corte; ya que, a menor altura de corte, menor profundidad radicular y viceversa.

3.4 Prácticas de mantenimiento del césped

El mantenimiento de los campos de golf conlleva una rigurosa serie de actividades de mantenimiento del césped destinadas especialmente a mantener las características de uniformidad, suavidad, vigor y estética determinantes para el juego de golf. Por otro lado, el mantenimiento de una apariencia verde de los campos, densidad del césped, fomento de la resistencia a las enfermedades principalmente hongos, nemátodos y malezas y resistencia a periodos de sequía son algunos de los puntos clave a atacar por medio de estas prácticas.

Algunas de estas prácticas descritas por Connellan (2013) y Pessarakli (2019) son:

- *Corte del césped:* es una de las operaciones más costosas y que requiere mayor mano de obra. El mantenimiento de la altura de corte del césped influye en la demanda hídrica, pues su constante corte demanda mayor agua que un césped con un corte más bajo y menos frecuente. Sin embargo, mantener un corte bajo provoca sistemas radiculares menos profundos e intolerantes a la sequía.

La constancia de corte está determinada por la tasa de crecimiento del césped, el cual es usualmente cortado cuando haya crecido un tercio de su altura de poda (cada 2 o 3 días, aproximadamente, dependiendo del área del campo de golf). De igual manera, los equipos con los que se corta el césped deben tener un riguroso mantenimiento con la finalidad de realizar cortes precisos que eviten daños en la hoja del césped las cuales se vean reflejados en su estética.

- *Reducción de acumulación de materia orgánica:* la eliminación de materia orgánica ya sea por residuos de corta u otros evita el desarrollo de enfermedades. Cuando se realizan las cortas de césped, los residuos cortados se conocen como *clipping* (ver Figura 4) y la acumulación de estos, en conjunto con otros residuos como ramas y restos de hojas se conoce como *thatch*.

Figura 4

Residuos de corte de pasto (clipping).



Según Smiley et al., (2005) el *thatch* (ver Figura 5) provoca una serie de problemas en el suelo que se evidencian en su salud, tales como: disminución de la temperatura del suelo, periodos extensos de sequía o humedad, acidificación del suelo (pH por debajo de 5,5) o excesiva alcalinidad y exceso de nitrógeno.

Además, la acumulación de este puede provocar problemas de infiltración debido a la impermeabilización del suelo, o bien, problemas de drenaje por obstrucción de tuberías. Para disminuir los efectos del *thatch*, se realizan prácticas como la aireación y verticorta.

Figura 5

Capa de thatch sobre el césped.



- *Aireación:* ayuda a la penetración del agua facilitando la infiltración, conservación del agua en el suelo y generación de nuevos estolones. Una apropiada circulación del aire también ayuda a reducir la transpiración del césped especialmente en periodos de estrés por altas temperaturas y a nivel de suelo, mejora las condiciones de compactación. La aireación del suelo se realiza por medio de púas huecas de diámetro de 9,5 mm a 16 mm, espaciados 5 cm aproximadamente y que alcanzan una penetración de hasta 7,5 cm; la frecuencia de esta práctica depende de la cantidad de tráfico que recibe el área del campo de golf, por lo que es una práctica comúnmente realizada en el área del *green*, aunque también puede realizarse en otras áreas que componen el campo, pero con menor frecuencia. Los agujeros que deja esta mecanización son cubiertos con arena (idealmente sílica) para mejorar aún más el movimiento del aire en el suelo.

La aplicación de arena se puede ejecutar sin realizar previamente la aireación; esta se realiza principalmente en los *green* y además de promover la ventilación, provee un cierto grado de fertilización.

Luego de varias prácticas de aireación, se recomienda realizar anualmente una aireación más profunda de 20 a 25 cm con la finalidad de mejorar el drenaje interno del suelo y rompiendo la capa de compactación profunda (análogo al pie de arado en agricultura) que pudo haber formado las aireaciones con menor profundidad. Las púas para este proceso son huecas.

- *Verticorta*: esta práctica ayuda a eliminar los restos de *thatch* y al igual que la aireación promueve mejor movimiento del aire y agua en el suelo. La verticorta se acompaña de otras prácticas para que este sea más efectivo, tales como la fertilización y colocación de arena.
- *Rodamiento*: esta práctica es realizada con ayuda de un rodillo y se realiza con mayor frecuencia en los *greens*, pues al ser el área con mayor relevancia en el juego. Su finalidad es suavizar la superficie y facilitar el rodamiento de la bola sin que se deba tener una altura de corte del césped muy baja.
- *Fertilización*: esta permite el control de necesidades nutricionales asegurando la coloración, salud del césped y eliminación de malezas que puedan competir con el césped.

3.5 Caracterización del suelo

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, aire y agua estas proporciones son influyentes en el comportamiento del suelo y las prácticas a realizar para obtener las proporciones ideales de estos componentes, correspondientes a: 50% de materia orgánica y minerales, 25% agua y 25% aire. Un aumento en el porcentaje de materia orgánica y minerales puede ser significar problemas de compactación en los suelos y un aumento del porcentaje de agua es indicador de suelos anegados (Unruh, s.f.).

Los suelos poseen distintas características tanto químicas y físicas que interfieren en el desarrollo del césped que lo contiene. Centrándose en las propiedades físicas más importantes, se tienen:

a. Materia orgánica

La materia orgánica presente en el suelo proviene de la fase sólida (humus), actividad microbiana del suelo y liberación de sustancias orgánicas de las raíces presentes en el suelo (exudados). La degradación de la materia orgánica [MO] se da gracias a la actividad microbiana, lo que implica que la composición orgánica de un suelo varía mucho más en contraste con su composición mineral, según Millán y Hétier (2015).

Según Matus y Maire (2000) la acumulación de MO está íntimamente relacionado con la textura del suelo pues en suelos con texturas finas retienen más MO que suelos con texturas gruesas; ya que las partículas de arcilla y limo son las que absorben la MO formando microagregados que no pueden destruirse por acción microbiana. El contenido de esta beneficia al suelo en cuanto a incremento de la retención de nutrientes, promueve la formación de agregados en el suelo, mejora la estructura del suelo, incremento de actividad biológica, regulación de la temperatura del suelo y retención hídrica (Minasny y McBratney, 2017). Por lo anterior, es deseable que un suelo contenga como mínimo un 5% de MO.

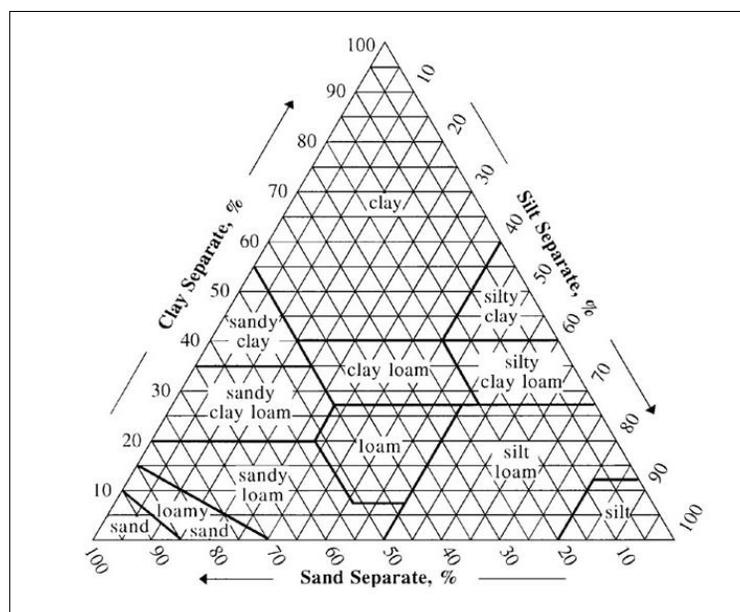
b. Textura

Según cita de Novillo (2018) la Food and Agriculture Organization [FAO], (s.f) define la textura del suelo como la fracción de componentes inorgánicos de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Esta es una de las propiedades más importantes del suelo, ya que es a partir de ella que se pueden determinar otras características del suelo, tanto físicas (como la tasa de infiltración) como químicas (como la capacidad de intercambio catiónico) esta propiedad es influyente en la fertilidad de un suelo y cuanta cantidad de agua, aire y contenido de MO posee, según describe Villalobos y Fereres (2016).

La partículas que componen el suelo son representadas en valores porcentuales, con la finalidad de determinar la textura del suelo mediante el uso del triángulo textural propuesto por United States Department of Agriculture [USDA] (1989) el cual se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Triángulo textural, USDA.



Nota. Triángulo textural, por USDA, 1980 (<https://n9.cl/gw8sd>)

De acuerdo con los porcentajes de cada partícula, los suelos pueden clasificarse en suelos de textura fina, media y gruesa; siendo: suelos arcillosos, francos y arenosos; respectivamente. Lo anterior se resumen en la Tabla 1 junto con la clase textural correspondiente basada en el triángulo textural de USDA.

Tabla 1*Porcentajes y clases texturales*

Textura general	Contenido de partícula (%)			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
Suelos francos (textura media)	23-52	28-50	7-27	Franco
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Nota. “Suelos : guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio”, por Lozano-Rivas, W. A. (2016).

Por otro lado, existen varias pruebas que permiten conocer la textura del suelo, los métodos de laboratorio son bastante utilizados y confiables. El más común es la prueba de Bouyoucos, cuyo método se basa en la velocidad de sedimentación de las partículas y la suspensión del hidrómetro en la mezcla que contiene el suelo (Rucks et al. 2004).

Sin embargo, según León (2001) existe una serie de dilemas ante el análisis mecánico de suelos, los cuales radican en la selección de pretratamientos de las muestras y uso agentes dispersantes para la prueba de Bouyoucos, ya que la presencia de agentes cementantes como materia orgánica, arcilla coloidal y sesquióxidos de hierro y aluminio deben considerarse a la hora de interpretar los resultados obtenidos mediante esta prueba. El pretratamiento de las muestras con peróxido de hidrógeno [H₂O₂] permite el aumento de la dispersión de partículas previo al uso del hexametáfosfato de sodio [(NaPO₃)₆], ya que la varianza de los porcentajes

de una muestra sometida o no al tratamiento de H_2O_2 retorna diferencias significativas especialmente en la fracción arcilla y limo; donde las partículas de limo suelen subestimarse ante el nulo tratamiento de las muestras, según afirma Lund et al. (2017).

c. Densidad aparente

Este parámetro es indicador de la calidad del suelo, a partir de ella se pueden detectar alteraciones producidas por actividades antrópicas que pueden causar problemas de compactación. De la misma manera, se puede determinar la resistencia que ofrece el suelo ante el crecimiento radicular, pues la resistencia a la penetración es directamente proporcional a la densidad aparente e inversamente proporcional al contenido de agua del suelo Villalobos y Fereres (2016).

Según Millán y Hétiér (2015) los valores de densidad aparente [Dap] entre 1 y $1,6 \text{ g/cm}^3$ son indicadores de una condición de suelo favorable para el desarrollo radicular y también, indicador de una equilibrada relación entre estructura y porosidad permitiendo un balance entre agua y aire en el perfil del suelo. En contraste, valores por debajo de 1 g/cm^3 son característicos de suelos con altos contenidos de MO y valores por encima de $1,7$ hasta 2 g/cm^3 son indicio del comienzo de la compactación. Basándose en la textura del suelo, los suelos de textura gruesa como arenosos o areno limosos poseen altos valores de Dap que oscilan entre $1,2$ y $1,8 \text{ g/cm}^3$ y los suelos de texturas medias a finas como los francos limosos, franco arcillosos y arcillosos presentan valores entre 1 y $1,6 \text{ g/cm}^3$.

d. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

El agua en el suelo permanece en la matriz de las partículas del suelo por medio de procesos de absorción y movimiento capilar. Dicha agua siempre se encuentra en movimiento, cuando el movimiento es muy lento, se considera que el suelo retiene el agua para diferentes propósitos; de ahí es donde surgen los conceptos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Según Villalobos y Fereres (2016) la capacidad de campo [CC] es definida como el valor de contenido de agua en el que el suelo se estabilizará una vez drenado y el punto de marchitez permanente [PMP] corresponde al contenido de agua por debajo del cual las raíces

de las plantas no pueden extraer agua. Las raíces de las plantas para poder aprovechar el agua disponible en el suelo bajo estas dos condiciones ejercen una tensión de 0,33 atm y 15 atm, respectivamente para CC y PMP.

Además, Villalobos (2008) relaciona los porcentajes de CC y PMP según la textura del suelo, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Porcentajes de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) según la textura del suelo.

Textura del suelo	CC (%)	PMP (%)
Arenoso	6-12	2-6
Franco arenoso	10-18	4-8
Franco	18-26	8-12
Franco arcilloso	23-31	11-15
Arcillo arenoso	27-35	13-17
Arcilloso	31-39	15-19

Nota. “Fundamentos de Riego”, por Villalobos Araya, 2008, Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico (CDMB).

Es importante recalcar que los valores exactos de estos parámetros son obtenidos mediante el uso de ollas de presión en laboratorios, o bien, se puede hacer uso de ecuaciones, las cuales se basan en los porcentajes de partículas (arena, limo y arcilla) de la prueba de textura.

e. Infiltración

La capacidad de infiltración de un suelo corresponde al movimiento vertical del agua desde la superficie del suelo. La infiltración del agua inicialmente es mayor y con el tiempo alcanza un valor constante, el cual es conocido como tasa de infiltración o infiltración base, cuyo valor es inversamente proporcional al contenido de agua inicial.

Dicha capacidad de infiltración se ve alterada por el porcentaje de porosidad del suelo, densidad aparente y textura del suelo según Karlin et al. (2019), sin embargo, la cobertura

vegetal, compactación, variación climática y acumulación de *thatch*, pueden alterar la capacidad de infiltración de un suelo (Irrigation Association, 2010).

Con respecto al valor de la infiltración básica y la textura del suelo, para suelos arenosos este valor se caracteriza por ser un valor alto mientras que para suelos arcillosos muy bajo. Maldonado (2001) propone los valores de infiltración base según la textura del suelo mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3

Valores de infiltración básica según textura del suelo.

Textura del suelo	Ib (mm/h)
Arenoso grueso	25-60
Arenoso fino	18-25
Franco arenoso	14-18
Franco limoso	10-14
Franco arcilloso	7-10
Arcilloso limoso	4-7
Arcilloso	2-5

Nota. “Manual de riego parcelario” por T. Maldonado, 2001.

3.6 Evapotranspiración

La evapotranspiración [ET] es definida por la Food Agriculture Organization [FAO] (s.f.) como la combinación de los procesos de pérdida de agua en el suelo producto de la evaporación y la transpiración del cultivo. La evaporación sucede cuando el estado del agua en el suelo pasa de líquido a gaseoso, por otra parte, la transpiración está relacionada meramente con la pérdida de agua contenida en los tejidos de la planta (estomas) y ambos procesos ocurren simultáneamente.

La determinación cuantitativa de la ET se basa principalmente en la fracción de radiación solar que incide en la superficie del suelo, la cual disminuye a medida que el cultivo crece y proyecta sombra en el suelo; dando paso a la pérdida de agua por transpiración y en menor escala por evaporación.

Por otro lado, Walter et al. (2005) define la ET como la pérdida de agua de la superficie terrestre a través de los procesos de evaporación (del suelo y de la superficie de las plantas) y la transpiración de la planta (evaporación interna). También amplía en el concepto de evapotranspiración de referencia [ET_{ref}] es la velocidad a la que se vaporiza el agua del suelo fácilmente disponible a partir de vegetación hipotética con características específicas, tales como: uniformidad, densidad, altura de crecimiento, resistencia a la superficie y condiciones hídricas no menores a las presentes en el suelo.

Existen varios factores que pueden alterar su valor, dentro de ellos:

- *Variables climáticas:* la incidencia de la radiación solar directa y la temperatura del aire, influyen directamente en la evaporación. Otros factores como humedad atmosférica y velocidad del viento son considerados dentro del cálculo de la evapotranspiración.
- *Factores de cultivo:* tipo de cultivo, etapa de desarrollo, reflejo de cultivo, cobertura, características radicales son algunas de las características del cultivo que permiten también crear condiciones estándar para cada uno de ellos.
- *Manejo y condiciones ambientales:* la salinidad, baja fertilidad del suelo, compactación, plagas o mal manejo del suelo limitan considerablemente el crecimiento y desarrollo del cultivo por lo que la evapotranspiración se ve reducida.

La capacidad del suelo de conducir y retener agua está relacionada con el aumento de la evaporación sobre el suelo.

3.7 Riego en campos de golf

El consumo de agua de los campos de golf es dependiente del grado de eficiencia de los sistemas de riego empleados en ellos; ya que se debe realizar una sectorización de las áreas pues no toda la superficie está sometida a las mismas condiciones, por ende, el consumo hídrico es diferenciado. Además, los campos de golf son dependientes de la calidad del agua y la vida silvestre en él, por lo que es de gran importancia mejorar y mantener la calidad del agua, lo que conlleva a la implementación de buenas prácticas de manejo del campo, las

cuales han demostrado una mejora en la calidad del agua y distribución de ella a lo largo del campo según Golf Course Superintendents Association of America [GCSAA] (2019).

La utilización de aguas depuradas para el riego de los campos es una opción viable de la mano con el ambiente, que permite la reutilización de aguas residuales y evitar que estas se viertan al mar; con ello, la disminución de costes de tratamiento y vertido (Espejo, 2004).

Por otro lado, el tiempo destinado para el riego de estos campos es muy limitado (ventana de riego), realizándose en las horas del día con menos consumo hídrico (10 pm a 6 am) correspondientes a las horas inactivas de juego. Es por ello que, Connellan (2013) menciona que la eficiencia del riego es fundamental tanto para regar los campos (o la mayor área de los campos) como para asegurar una aplicación uniforme acorde con las condiciones de clima, suelo y uso del área. Además, cada área que compone el campo de golf puede tener distintas necesidades de riego e inclusive labores de mantenimiento, lo que permite la priorización del riego de dichas áreas.

Por lo que para procurar la eficiencia del riego en estos campos es de suma importancia la instalación de la red de riego, pues todas las áreas deben ser cubiertas por el riego (aspersores) y suministrar flujos altos de caudales que oscilan entre 30 L/s a 80 L/s (Connellan, 2013). Asimismo, el sistema debe abastecer las necesidades en cuanto a presión que logre suplir el caudal mencionado, por lo que la regulación de la presión tanto en las tuberías como en las válvulas es fundamental para cerciorar que el sistema trabaje en óptimas condiciones.

El equipo de bombeo debe permitir la flexibilización en la entrega del caudal, por lo que a menudo estos sistemas se operan con múltiples bombas con variadores de velocidad y sistemas de control que incorporan programas para la administración de flujo de caudal. De igual forma, la uniformidad de riego debe ser de al menos 75% según Connellan (2013) considerando factores externos como el viento y la ETr; siendo esto esencial para mantener la calidad de la superficie y una alta eficiencia.

La irrigación en campos ha implicado el uso de tecnología en sistemas automatizados con aspersores emergentes o *pop-up* organizados por bloques y operados por una válvula. Sin embargo, los aspersores accionados individualmente, han permitido que el control del suministro hídrico de cada aspersor sea acorde con el área del campo de golf que se trabaja (*rough, tee, green...*); lo cual ha significado un avance significativo para el riego en estos

campos. El funcionamiento individual de cada aspersor ha permitido la eliminación de bloques, sin embargo, este sistema demanda de condiciones hidráulicas estrictas que permitan el correcto funcionamiento de los aspersores y al operarse con sistemas de control, fortalece la eficiencia del sistema.

Las áreas destinadas a los campos de golf poseen una superficie relativamente plana o uniforme, por lo que Conellan (2013) recomienda realizar una serie de mediciones que busquen evaluar la superficie de césped, tales como: pendiente, compactación, dureza, humedad del suelo y altura y cobertura del césped. Adicionalmente, se realizan una serie de prácticas en el suelo que permiten utilizar el suelo nativo de las áreas y una combinación de suelos (especialmente con arenas o arcillas arenosas) que se incorporan al suelo para procurar el desarrollo del césped.

3.8 Parámetros de diseño en un sistema de riego en golf

El diseño de un sistema de riego tiene que cumplir con el suministro efectivo de la lámina de riego eficiente para abastecer el desarrollo del césped. Según Conellan (2013) previo al diseño, se requiere de la recopilación y análisis detallado de las condiciones del sitio, suelo y equipo de bombeo; estas se pueden sintetizar en:

Diseño agronómico

Características topográficas

A nivel espacial es importante contar con planos precisos del área que se desea irrigar, las cuales pueden ser apoyadas de información geográfica (GIS) con la finalidad de tener información de los planos de ubicación y trazado de la red de tuberías, así como de la topografía del sitio. Esta última varía mucho dependiendo de la naturaleza del sitio (si la topografía es natural o realizada por medio de cortes y rellenos) y es vital contar con coordenadas (latitudes y longitudes) y elevaciones [ΔZ]; las cuales influyen en el diseño hidráulico, control del sistema y aplicación de la lámina y ubicación en general. Las diferencias de elevaciones influyen en la elección del equipo de bombeo y en la implementación de accesorios a lo largo de la tubería; tales como válvulas de aire.

Climáticas

El comportamiento del clima del sitio es vital para optimizar el riego, ya que el uso del agua depende meramente de la tasa de evaporación de la atmósfera. Lo anterior, con la finalidad de determinar la ET_{ref} para la estimación de las necesidades totales del riego; ya que, puede existir una diferenciación de la demanda hídrica ante variedades distintas de céspedes, demanda de evapotranspiración en zonas de exposición directa al sol y sombreado, barreras de viento, carga térmica de estructuras aledañas, edificios o parqueos. También es importante analizar el comportamiento de la precipitación en el sitio.

Por otro lado, la dirección y velocidad del viento es importante en el diseño y operación de los sistemas de riego por aspersión, pues influye en la escogencia de los aspersores, espaciamiento entre estos, selección de las boquillas y radios de alcance. Para el caso de sitios con velocidades altas se utilizan radios de alcance pequeños.

Información del césped

Se debe contar con parámetros de información del césped como el coeficiente de cultivo [Kc], profundidad radicular, ciclo de crecimiento y respuesta del césped al estrés hídrico.

Edáficas

El tipo de suelo puede presentar varianzas en el mismo sitio, lo cual puede influir directamente en el diseño del riego. Conocer la tasa de infiltración del suelo influye en la selección de los aspersores y a su vez en la determinación de los de los tiempos de riego según Conellan (2013). También la capacidad de retención del suelo junto con la profundidad radicular es necesaria para determinan el agua total disponible; dato necesario para establecer la profundidad de aplicación como el momento de riego.

Diseño hidráulico

Una vez obtenidos los parámetros de tipo de césped, coeficiente de cultivo del césped, eficiencia de riego y evapotranspiración del sitio se procede al diseño hidráulico. Este contempla:

- *Selección del aspersor:* considerando la presión de operación, radio o diámetro de alcance, caudal, pluviometría o tasa de precipitación y uniformidad de aplicación.
Un factor clave para la selección del aspersor es la cobertura del aspersor y el radio de alcance, sin embargo, en campos de golf suelen ser seleccionadas de acuerdo con la cobertura máxima efectiva; este último depende de la presión de operación.
De igual forma, el espaciamiento entre aspersores es dependiente de la velocidad del viento del sitio, procurando que no exceda el espaciamiento recomendado por el fabricante.
- *Tasa de precipitación o pluviometría:* de acuerdo con el espaciamiento elegido, se debe calcular este parámetro con la finalidad de tener en consideración varios aspectos como: la operación de aspersores con apertura parcial y completa puede provocar una aplicación desigual debido a las variaciones en las tasas de precipitación, ya que para aspersores que deben operar a apertura completa se reduce a apertura parcial, la tasa de precipitación se duplicará.
- *Selección de tuberías:* el diámetro en tuberías determina la velocidad del flujo, esta está determinada por la longitud de tuberías, accesorios en ella, material y pérdidas. En algunos sistemas de riego para césped, los diámetros de tuberías pueden ser demasiado pequeños, los cuales resultan en una excesiva variación de presión pues de dan mayores pérdidas por fricción.
- *Velocidad en tuberías:* una alta velocidad en tuberías provoca picos de presión (golpes de ariete). Las velocidades máximas deben mantenerse en 1,5 m/s para evitar velocidades erosivas.
- *Sistema de bombeo:* la bomba debe dar la presión para el caudal requerido bajo condiciones deseadas, la cual se conoce como carga dinámica total [CDT]. Esta contempla la altura de descarga estática (resta de la elevación y la succión de la

bomba), carga de succión estática (diferencia de altura entre el nivel del agua y la bomba), fricción, velocidad del fluido y presión de operación del sistema (aspersores).

Otros parámetros por considerar ante el diseño de un sistema de riego son el uso de maquinaria, frecuencias de uso y su posible efecto de compactación en el suelo, profundidades de instalación de las tuberías (procurar no intervención con las prácticas de mantenimiento del campo como la aireación).

3.9 Programación y control del sistema de riego en golf

Para campos de golf, la programación del riego es fundamental para garantizar la irrigación de cada una de las áreas del campo en el momento adecuado según las condiciones del sitio. Por lo que, el riego suele ser automatizado o programado rigurosamente a través de diversos programas de control.

Uno de ellos es el Stratus II de la marca Rainbird, el cual permite la monitorización de la lluvia para la proporción de tasas de aplicación exactas, reducción del desgaste de la estación de bombeo, ajustes temporales de las estaciones de riego, creación de programas de riego, ajustes por evapotranspiración y modificación de la demanda de bombeo (Rainbird, s.f). Lo anterior, se puede realizar a través de distintas funciones que ofrece el programa, tales como Rain-Watch, Flo-Manager, Quick IRR y Simple IRR, Smart Weather y SmartPump. Por otro lado, el sistema Freedom de Rainbird que acompaña al Stratus II, permite la manipulación del sistema de manera remota a través de radios de control.

3.10 Uniformidad del riego

El coeficiente de uniformidad o coeficiente de Christiansen [CU] y uniformidad distribuida [UD] son las mediciones más comunes que determinan qué tan uniforme es la distribución del riego a través de su expresión porcentual. Cada uno de ellos trabaja con los valores críticos o la totalidad de la muestra de las mediciones realizadas en cuanto a aplicación de la lámina de los aspersores, sin embargo, estos coeficientes pueden ser aplicados también a mediciones de presión en el sistema de riego.

Coeficiente de uniformidad

Según Connellan (2013) el CU conocido también como coeficiente de Christiansen, está determinado porcentualmente en la escala de 0 a 100, siendo un valor de 80% considerado como el mínimo aceptable en un sistema de riego. Este coeficiente se calcula a partir de la variación de cada lectura comparada con la lectura promedio de las lecturas, dando como resultado la uniformidad de aplicación considerando tanto datos excesivos como insuficientes.

Uniformidad distribuida

Este parámetro es una media de la uniformidad con la que el agua del riego es aplicada por el sistema. Cuando se obtienen valores bajo UD se tienen zonas en el campo en la que la cantidad de agua aplicada es dispareja, evidenciándose en zonas de sequía o de forma contraria, zonas saturadas.

Según Connellan (2013) la obtención de valores bajos de CU y UD son indicadores de una mala distribución del equipo de riego en el campo (espaciamiento entre aspersores) o bien, mala elección de accesorios como boquillas, provocando localización de zonas secas y zonas húmedas, afectando el rendimiento del riego; pues valores bajos de estos parámetros aumentan el consumo hídrico. Para el cálculo de este coeficiente se realiza una comparación del promedio y el 25% de los datos más bajos de las lecturas realizadas.

La diferencia entre el CU y el DU radica en que el CU utiliza los datos de un área para definir el área crítica y a partir de ello, determinar los parámetros operacionales. En cambio, el DU utiliza el 25% de los datos de forma arbitraria, independientemente de su ubicación, por lo que puede que se consideren o no los datos críticos (Irrigation Association, 2010).

Un valor de 55% de DU se considera como pobre, mientras que un valor de 95% muy bueno, según Carrow y Duncan (2008).

4. METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en los hoyos 6, 7 y 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste latitud $10^{\circ}23'52,74''$, longitud $85^{\circ}48'03,54''$. Para el análisis de cada uno de los hoyos se consideraron varios factores, tales como:

4.1 Levantamiento topográfico

Se realizó un levantamiento topográfico con la finalidad de conocer el relieve de los hoyos, conocer el movimiento del flujo del agua e identificar zonas de acumulación de aguas, zonas susceptibles a erosión, entre otras. Además, conocer los puntos de elevación a lo largo de los hoyos permitió analizar el comportamiento de la red hidráulica principal e influencia del ΔZ en la presión del sistema.

La recolecta de datos se realizó a lo largo del lindero y área cada hoyo mediante el uso del equipo topográfico GNSS (RTK) marca Geomax Zenith 25 Pro-Series facilitado por la Escuela de Ingeniería Agrícola. También se levantó la ubicación de la estación de bombeo y cada una de las válvulas que dan apertura a los laterales de riego; donde el parámetro elevación se utilizó para el análisis de la red hidráulica por medio del programa EPANET (el cual se ampliará más adelante).

El procesamiento de datos se realizó en el programa Quantum Gis [QGIS] (2020) versión 3.14.0-Pi y con herramienta Multilevel-B Spline que ofrece el programa se generó el ráster del Modelo de Elevación Digital (MED) que sirvió de base para conocer el comportamiento de la topografía y el movimiento de aguas. Para este último, se utilizó la herramienta Gradient Vector from Surface de SAGA.

Las parrillas de drenaje dentro del campo se levantaron utilizando un navegador de mano GPS Garmin Montana 680 con la finalidad de correlacionar su ubicación con el flujo de aguas obtenido. Se realizó con este equipo ya que para ello no se requiere una alta precisión como la dada por el equipo GNSS, sino que es meramente de ubicación.

Finalmente, la información se sintetizó en mapas que ayudaron a la representación visual de la ubicación de los hoyos en estudio, topografía, flujo de aguas y ubicación de las válvulas.

4.2 Caracterización de las condiciones actuales de los hoyos

Se realizó una inspección visual de las condiciones actuales de los hoyos 6, 7 y 12 prestando especial atención a zonas con escaso desarrollo del césped, erosión, arrastre de sedimentos, zonas saturadas y secas, entre otros parámetros que permitan el desarrollo de la investigación. Con ello, se extrajeron fotografías con un vehículo aéreo no tripulado de la marca DJI Mavic Mini 1, donde se analizó la evidencia de zonas con mayor afectación, de las cuales se seleccionaron los puntos más críticos para la toma de muestras, colocación de instrumentos de medición y recolecta de datos relevantes que puedan interferir en la aplicación del riego.

Se consultó al superintendente del campo Sergio Chaves y su asistente Francisco Leiva acerca de las labores de mantenimiento del césped, actividades de conservación del suelo y aplicación de agroquímicos en el campo de golf que puedan ayudar o interferir con la infiltración de la lámina de riego, así como también la frecuencia de realización de las prácticas y profundidades de impacto.

4.3 Caracterización del suelo

Para conocer las condiciones actuales del suelo y correlacionar las variables climáticas (evapotranspiración), superficie topográfica de cada hoyo y cálculo la lámina neta según las necesidades hídricas de *Cynodon dactylon*, se realizó la caracterización del suelo mediante las pruebas de textura, Dap e infiltración en los puntos críticos de los 3 hoyos en estudio.

Los puntos de muestreo se definieron según lo observado durante la caracterización de los hoyos y los señalados por los colaboradores como problemáticos ante eventos de sequía o precipitación, apoyado también del relieve obtenido a partir del levantamiento topográfico. Además, se procuró que las muestras (en la medida de lo posible) quedaran distribuidas a lo largo del área del hoyo; es decir, el muestreo se realizó tipo aleatorio.

La profundidad de muestreo para las pruebas de textura y Dap se determinó a través de la extracción de un perfil del suelo y según la mayor concentración radicular observada en el perfil.

Para las muestras de textura, se extrajeron muestras disturbadas mediante el uso del instrumento utilizado para cambiar las banderas del juego (cambia copas), ya que este permitió la extracción de muestras de una forma más factible y superficial en comparación con el uso del barreno. Además, los agujeros de las muestras se rellenaron con arena para mantener la uniformidad visual del césped.

Para las muestras de Dap se extrajeron muestras indisturbadas con cilindros muestreadores de dimensiones 5 cm de diámetro x 3 cm de altura y para la prueba de infiltración se utilizó el Infiltrómetro Minidisk de la marca Decagon Devices, Modelo S facilitado por la Escuela de Ingeniería Agrícola.

Para cada punto de muestreo, se realizaron las pruebas mencionadas. La cantidad total de muestras extraídas fue de 17, siendo la distribución en cada hoyo:

- Hoyo 6: 6 muestras.
- Hoyo 7: 5 muestras.
- Hoyo 12: 6 muestras.

A parte de las pruebas mencionadas se optó por realizar oxidación de materia orgánica [MO] previo a la prueba de Bouyoucos, pues durante la caracterización de los hoyos se observó gran contenido de esta a causa de las prácticas de mantenimiento del césped (corta del césped); ya que en caso contrario, ante la nula oxidación de MO previa a la realización de la prueba de textura, los datos texturales arrojados pueden estar desviados de los resultados reales lo cual se traduce a datos erróneos, según lo mencionado en la revisión de literatura.

El procedimiento de determinación y oxidación de MO se describe a continuación:

a. Determinación y oxidación de la materia orgánica

El procedimiento para la oxidación y determinación de la materia orgánica [MO] fue facilitado por la profesora Karolina Villagra de la carrera de Ingeniería Agrícola y el profesor Federico Masís de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Escuela de Química, ambos del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La preparación de la muestra para la oxidación de MO consistió en pesar 75 g de suelo previamente secado a 105°C y tamizado a 2 mm, luego se transfirió la muestra a un beaker de 600 ml donde se anotó el peso del beaker y el peso de la muestra.

Para la oxidación como tal, se utilizó peróxido de hidrógeno [H₂O₂] al 30%, se añadieron 15 ml de este al suelo contenido en el beaker y se agitó con un agitador de vidrio para asegurar una distribución homogénea del H₂O₂ en toda la muestra. En las ocasiones en que la mezcla tomó una apariencia grumosa que dificultó la agitación de la muestra, se añadieron 30 ml de agua destilada.

Una vez que la muestra dejó de reaccionar (ausencia de vapores y generación de calor) se cubrió con papel aluminio y se dejó reposar por 12 horas. Posteriormente, se calentó la muestra en una plantilla eléctrica, manteniendo un rango de temperatura máximo de 80°C, dicha temperatura fue en la que observó una segunda reacción del H₂O₂. Durante ese tiempo se mantuvo la agitación de la muestra con un agitador de vidrio y constantemente, se añadieron gotas de H₂O₂ para continuar con la oxidación de la MO.

Se procuró que el tiempo de la muestra en la plantilla no fuese mayor a 2 horas y la prueba se culminó cuando no se observó un cambio en la muestra en cuanto a efervescencia y expulsión de vapores.

Posterior a esto, las muestras se introdujeron al horno a 105°C por 24 horas y se pesaron para determinar el porcentaje de MO según la Ecuación 1.

$$MO = \left(\frac{Ps - Ps_{ox}}{Ps_{ox}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 1

Donde;

MO: Materia orgánica (%)

Ps: peso del suelo sin oxidar (g)

Ps_{ox}: peso del suelo oxidado (g)

Una vez secado el suelo, se procedió con la prueba de textura tal cual se describe a continuación.

b. Textura

Para la determinación de textura se realizó la prueba de Bouyoucos, cuyo procedimiento después de oxidada la MO y secadas las muestras de suelo, fue:

Macerar y tamizar el suelo seco utilizando un tamiz de mesh 2 mm. Se pesaron 40 g del suelo seco y tamizado el cual se colocó en la copa dispersadora de la batidora y se añadieron 15 ml de hexametáfosfato de sodio $[(\text{NaPO}_3)_6]$ el cual funciona como dispersante de partículas de arena, limo y arcilla, posteriormente se añadieron 400 ml de agua destilada y esta mezcla se dejó reposar por 10 minutos.

La mezcla reposada se agitó por 5 minutos en una batidora y se transfirió a una probeta de 1000 ml. Para asegurar el correcto trasvase de la mezcla se utilizó una piseta con agua destilada, luego se llenó la probeta hasta el volumen de 1000 ml.

A las muestras que presentaron espuma, se les añadió 2 gotas alcohol amílico $[\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}]$. Luego, se agitó la suspensión con un agitador manual y se introdujo el hidrómetro para la toma de lectura a los 40 segundos correspondiente a la precipitación de arenas y se tomó la temperatura. La segunda lectura se realizó 2 horas después, correspondiente a la precipitación de arcillas. En ambos casos, se introdujo el hidrómetro unos segundos antes de la toma de la lectura para procurar la estabilización del aparato de medición antes de tomar la lectura en el tiempo justo.

Luego de realizar el procedimiento mencionado con las 17 muestras, se procesaron los datos obtenidos, comenzando por la corrección de la lectura del hidrómetro según la temperatura. Se sumó 0,3 a la lectura del hidrómetro por cada grado por encima de $19,4^\circ\text{C}$, no hubo datos con temperaturas menores a $19,4^\circ\text{C}$, por lo que no hubo necesidad de restar 0,3 a la lectura del hidrómetro por cada grado por debajo de dicha temperatura. Posterior a la corrección de temperatura, se utilizó la Ecuación 2 para determinar el material en suspensión.

$$\text{MS} = \frac{\text{LH} \cdot 100}{\text{PM}}$$

Ecuación 2

Donde;

MS: material en suspensión (%)

LH: lectura del hidrómetro (g/L)

PM: peso de la muestra (g)

La Ecuación 3 y 4 se utilizaron para determinar el porcentaje de arena y arcilla, correspondientes a la lectura a los 40 s y a las 2 h; respectivamente.

$$\% \text{ arenas} = 100 - \left(\frac{\text{LH}_{40\text{s}}}{\text{PM}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 3

$$\% \text{ arcillas} = 100 - \left(\frac{\text{LH}_{2\text{h}}}{\text{PM}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 4

Donde;

LH_{40s}: Lectura del hidrómetro a los 40 segundos (g/L)

LH_{2h}: Lectura del hidrómetro a las 2 horas (g/L)

PM: Peso de la muestra (g)

Por diferencia de porcentajes, se determinó el porcentaje de limo con la Ecuación 5.

$$\% \text{ limo} = 100 - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla})$$

Ecuación 5

Los porcentajes obtenidos en las ecuaciones anteriores, se introdujeron la calculadora textural disponible en la página web de USDA (1989) la cual señala la intersección de los porcentajes en el triángulo textural de la Figura 1.

Por otro lado, se realizó una interpolación de las texturas encontradas en cada hoyo a partir de la herramienta IDW de QGis, con la finalidad de representar de manera visual el comportamiento textural a lo largo del área de cada hoyo.

c. Densidad aparente

El valor de Dap para cada punto de muestreo es un dato necesario para el cálculo de láminas en dichos puntos de muestreo, además, de que acorde a su valor se brindó información acerca de la porosidad, aireación y compactación del suelo que facilita o dificulta el desarrollo del césped.

Para el procesamiento de las muestras para esta prueba, se pesaron las muestras de los cilindros muestreadores individualmente, siendo esta lectura correspondiente al peso del suelo húmedo. Se llevaron al horno por 24 h a una temperatura de 105°C y se pesaron nuevamente, esta lectura es el peso del suelo seco.

Con los datos de altura y diámetro del cilindro, se obtuvo el volumen del cilindro. Con estos datos, se procedió a aplicar la Ecuación 6.

$$D_{ap} = \frac{P_{ss}}{V}$$

Ecuación 6

Donde;

Dap: densidad aparente (g/cm³)

Pss: peso del suelo seco (g)

V: volumen del cilindro que contiene la muestra (cm³)

El volumen del cilindro se calculó con la Ecuación 7.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h}{4}$$

Ecuación 7

Donde;

Vs: volumen del cilindro que contiene la muestra (cm³)

D: diámetro del cilindro que contiene la muestra (cm)

h: altura del cilindro que contiene la muestra (cm)

d. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Como se mencionó, los porcentajes de partículas fueron utilizados para la determinación de los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente; estos permitieron calcular el valor de la lámina neta adecuada según el tipo de suelo.

Para obtener dichos valores se utilizó la Ecuación 8 y Ecuación 9 propuestas por Villalobos (2008).

$$CC = 0,6382 \cdot \% \text{ arcilla} + 0,2845 \cdot \% \text{ limo} + 0,0507 \cdot \% \text{ arena}$$

Ecuación 8

$$PMP = 0,4897 \cdot CC + 1,1666$$

Ecuación 9

También se utilizaron las ecuaciones de Peele para obtener CC y ecuación de Briggs para obtener PMP, mencionadas por Calvo (2018) mostradas en la Ecuación 10 y 11.

Se utilizaron ambas metodologías con la finalidad de generar una comparativa y elegir los resultados de CC y PMP más ajustables según valores críticos y porcentajes de literatura según la textura de suelo de trabajo.

$$CC = 0,480 \cdot (\% \text{ arcilla} + 0,162 \cdot \% \text{ limo} + 0,023 \cdot \% \text{ arena}) + 2,62$$

Ecuación 10

$$PMP = 0,302 \cdot \% \text{ arcilla} + 0,102 \cdot \% \text{ limo} + 0,0147 \cdot \% \text{ arena}$$

Ecuación 11

e. Infiltración

La prueba de infiltración permitió la correlación con la textura del suelo, considerando las problemáticas evidenciadas en los puntos de muestreo (sequía y saturación).

El instrumento utilizado para la prueba de infiltración fue el infiltrómetro Minidisk modelo S de la marca Decagon Device, el cual dentro de sus principales partes se encuentra la cámara de control de succión, depósito de agua y un disco de acero. Para su operación se requirieron de 135 ml de agua normal (no se debe utilizar agua destilada, ya que se puede ver alterado el equilibrio iónico del suelo y provocar la floculación o dispersión de las arcillas en el suelo).

Previo a la instalación del equipo en el suelo, se colocó una fina capa de arena sílica en el área de muestreo cuya finalidad es servir de material poroso y permitir un buen contacto suelo-instrumento. Es importante aclarar que se procuró que el instrumento quedara lo más nivelado posible para evitar fuentes de error en la lectura de datos.

La calibración del equipo se realizó llenando la cámara de succión en un 75% y el depósito de agua se llenó la máxima cantidad posible de manera que la apreciación de la altura de agua se tornara legible, finalmente se colocó la presión de succión en 2 cm con base en las recomendaciones brindadas por el fabricante ante el desconocimiento de la textura del suelo en el que se efectúa la prueba. Cada prueba se realizó tomando la lectura cada 2 minutos, cuyo intervalo se fue aumentando a 5 minutos, 10 minutos y 15 minutos según el descenso del agua en el depósito de agua del instrumento. Las pruebas finalizaron cuando existieron variaciones poco significativas o el descenso del agua se mantuvo constante durante las 5 últimas mediciones tomadas.

Se utilizó el archivo de Excel diseñado por la casa comercial del infiltrómetro Decagon Device donde se introdujo el tipo de suelo, las lecturas del infiltrómetro, intervalos de tiempo y presión de succión. Los resultados retornados corresponden al valor de la infiltración básica, el procesamiento de datos realizado por la plantilla de Excel sigue la Ecuación 12, 13, 14 y 15.

$$I=C_1 \cdot t+C_2 \cdot \sqrt{t}$$

Ecuación 12

Donde;

I: infiltración (mm/h)

t: tiempo de lectura (s)

C₁ y C₂: parámetros

C₁: Obtenido de la curva de la acumulación de infiltración vs la raíz del tiempo (m/s)

C₂: Relación con la absorción del suelo o sortividad del suelo (m /s²)

$$k=\frac{C_1}{A}$$

Ecuación 13

Según los parámetros de Van Genuchten mostrados en el Anexo 1 según la succión del infiltrómetro, textura del suelo y valor de n, se tiene:

Para $n \geq 1,9$

$$A = \frac{11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp[2,92(n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0]}{(\alpha \cdot r_0)^{0,91}}$$

Ecuación 14

Para $n < 1,9$

$$A = \frac{11,65 \cdot (n^{0,1} - 1) \cdot \exp[7,95(n-1,9) \cdot \alpha \cdot h_0]}{(\alpha \cdot r_0)^{0,91}}$$

Ecuación 15

Donde;

k: Conductividad hidráulica no saturada del suelo

C₁: Obtenido de la curva de la acumulación de infiltración vs el tiempo (m/s)

C₂: Relación con la absorción del suelo (m /s²)

A: En base a diferentes tipos de suelo de Genuchten y las medidas de los discos

n y α : Está descrito en los valores de diferentes tipos de suelo de Genuchten

r₀: Radio del disco (cm)

h₀: Succión del disco (cm)

4.4 Evapotranspiración

Se utilizaron datos de viento descargados a través de la plataforma Google Earth Engine [GEE] y base de datos ERA5 desde el periodo de enero del 2009 a julio del 2020. Según la información de la base de datos, los datos de viento fueron medidos a 2 m desde el nivel del suelo.

La evapotranspiración se calculó mediante el Método de Torthwaite, el considera únicamente la temperatura media mensual y media anual de la zona en estudio medida a una altura de 2 m sobre el nivel del suelo. La Ecuación 16 muestra su forma de cálculo.

$$Et_o = 0,5333 \cdot \left[10 \cdot \frac{T_m}{I} \right]^a \cdot k$$

Ecuación 16

Donde;

ET_o: evapotranspiración diaria promedio del mes (mm/día)

T_m: temperatura media (°C)

I: índice calórico anual

a: exponente en función de I (adimensional)

k: coeficiente de corrección mensual

El índice calórico anual, se calculó con la Ecuación 17. Como el exponente *a* se encuentra en función de *I* a partir del resultado obtenido se calculó el exponente *a* con la Ecuación 18.

$$I = 12 \cdot \left[\frac{T_{\text{anual}}}{5} \right]^{1,514}$$

Ecuación 17

Donde;

I: índice calórico anual

T_{anual}: temperatura promedio anual (°C)

$$a = 0,000000675 \cdot I^3 - 0,000071 \cdot I^2 + 0,01792 \cdot I + 0,49239$$

Ecuación 18

Cabe mencionar que como el valor fue calculado y no medido in situ, la notación debería ser ET_c (evapotranspiración calculada) y no ET_o (evapotranspiración potencial); donde esta última solo puede tener esta notación si es calculada mediante pruebas de campo.

4.5 Caracterización del sistema de riego

Se solicitaron los planos hidráulicos del Campo de Golf de Reserva Conchal al Ingeniero Hubert Morris, para conocer la red de tuberías, diámetros, ubicación de las válvulas de apertura de laterales y distribución de los aspersores a lo largo de cada hoyo.

A partir de la distribución de tuberías, se analizaron las posibles rutas del flujo de caudal con la finalidad de abastecer los hoyos en estudio; esto fue de gran ayuda para conocer el comportamiento de la red.

Se midió la presión estática con ayuda de un manómetro en los acoples rápidos de los *greens* y *tees* (partes altas y bajas del hoyo, según distribución del hoyo) para corroborar que la presión en esos puntos fuese la mínima necesaria para dar apertura a los aspersores, es decir, la presión estática debe ser al menos la presión de operación del aspersor. También se midió la presión dinámica a partir de la apertura de 3 aspersores en *tees* y 3 aspersores en *green* de forma simultánea para conocer el comportamiento de presiones con y sin accionamiento de aspersores.

Seguidamente, se realizó un inventario de los aspersores de cada hoyo considerando las especificaciones de modelo, ángulo de apertura, presión trabajo, alcance y boquilla. También, se realizó el cálculo de la pluviometría para un espaciamiento en triángulo según la Ecuación 19.

$$P = \frac{Q_{\text{aspersor}} \cdot 1000}{EA \cdot EL \cdot 0,866}$$

Ecuación 19

Donde;

P: pluviometría del aspersor (mm/h)

Q_{aspersor} : caudal del aspersor según el ángulo de apertura (m^3/h)

EA: Espaciamiento entre aspersores (m)

EL: Espaciamiento entre laterales (m)

4.6 Modelación hidráulica de la tubería principal

Para analizar las velocidades de tubería, caudal entregado y comportamiento de presiones de la red de tuberías se realizó una modelación hidráulica en el programa EPANET diseñado por Rossman, (2017).

El esquema de modelación consistió en la exportación de la red de tubería principal de todo el Campo de Golf de Reserva Conchal a partir de los archivos .dwg. Para importar los archivos al programa EPANET se guardó el archivo desde Civil 3D con la extensión .dxf el cual se exportó al programa EPACAD y se seleccionaron las capas de interés; en este caso, solamente la capa que contiene la tubería principal, seguidamente, se seleccionó la exportación de los datos a modo de nodos con una tolerancia de 5, parámetros de conversión sugeridos por el programa EPACAD.

Una vez obtenida la red de tubería y abierto el archivo proveniente de EPACAD en el programa EPANET, se exportó una imagen de fondo en formato .bmp para posteriormente, realizar los debidos ajustes de diámetros a la tubería de toda la red basándose en el plano hidráulico del campo.

De igual forma, la imagen de fondo ayudó a la colocación de las válvulas que dan apertura los laterales de riego únicamente de los hoyos 6, 7 y 12, a las cuales se les introdujo los datos de elevación obtenidos en el levantamiento topográfico y los patrones de apertura y cierre. Finalmente, se colocó la bomba con su respectiva presión y caudal otorgado según la programación del programa Stratus II, así como también la elevación de la caseta de bombeo.

Mediante la modelación se analizaron las velocidades en las tuberías y presión de llegada a cada válvula, lo anterior con la finalidad de corroborar que la presión sea la indicada para dar apertura a cada aspersor.

Los datos arrojados por la modelación sirvieron para corroborar la apertura de los aspersores en campo y con ello, verificar la presión estática y dinámica medidas. Además, la información fue útil para determinar los lugares sometidos a la prueba de uniformidad de aplicación.

4.7 Prueba de uniformidad de aplicación

Una vez obtenidos los lugares de realización de la prueba considerando lo retornado por el levantamiento topográfico, las mediciones de presión estática y dinámica y modelación en EPANET, se realizó un acomodo de los envases en la medida de lo posible en cuadrículas de 4x5 m o 5x5 m según el distanciamiento de los aspersores y su rango de alcance y según se ajustara mejor dentro del área muestreada.

Por otro lado, para el cálculo de la pluviometría del aspersor se tomó el área de muestreo de 18x18 m o 22x22 m según corresponda; esto con fines prácticos.

Los datos recolectados se utilizaron para el cálculo del Coeficiente de Uniformidad (CU) o Coeficiente de Christiansen y la Uniformidad distribuida (DU) siguiendo la Ecuación 20 y la Ecuación 21, respectivamente.

$$CU = \left(1 - \frac{\text{Desv}_{\text{prom}}}{\text{Prom}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 20

Donde;

CU: coeficiente de uniformidad o coeficiente de Christiansen (%)

Desv_{prom}: desviación promedio del total de los datos (decimal)

Prom: promedio del total de los datos (decimal)

$$UD = \left(1 - \frac{\text{Desv}_{\text{prom}}}{\text{Prom}} \right) \cdot 100$$

Ecuación 21

Donde;

UD: uniformidad distribuida (%)

Desv_{prom}: desviación promedio del 25% de los datos más bajos (decimal)

Prom: promedio del total del 25% de los datos más bajos (decimal)

Lo anterior, tuvo como finalidad conocer la lámina actual aplicada actualmente por los aspersores y corroborar que ambos parámetros estuviesen por encima de 80%, valor recomendado para un sistema de riego por aspersión.

4.8 Láminas de riego

El cálculo de la lámina neta adecuada para cada textura se obtuvo mediante el uso de la Ecuación 22.

$$L_n = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \cdot D_{ap} \cdot Prof \cdot Ag$$

Ecuación 22

Donde;

L_n : Lámina neta (mm)

CC: capacidad de campo (%)

PMP: punto de marchitez permanente (%)

D_{ap} : densidad aparente (g/cm^3)

Prof: profundidad radicular efectiva (mm)

Ag: agotamiento permisible (decimal)

A partir del valor de la lámina neta, se obtuvo el valor de la lámina bruta, utilizando la Ecuación 23. La eficiencia de aplicación utilizada fue del 80%, eficiencia mínima característica de los sistemas de riego por aspersión.

$$L_b = \frac{L_n}{E_f}$$

Ecuación 23

Donde;

L_b : lámina bruta (mm)

L_n : lámina neta (mm)

E_f : eficiencia de aplicación (decimal)

Este valor sirvió de comparativa entre la lámina de riego aplicada actualmente (resultados prueba de uniformidad de aplicación) y la lámina de riego requerida.

Posteriormente, se calculó la frecuencia de riego basado en la lámina bruta y la eficiencia de aplicación del sistema, así como también según la pluviometría del aspersor. Lo anterior sigue la Ecuación 24 y Ecuación 25, donde esta última muestra el cálculo de la E_{Tr} la cual considera el coeficiente de cultivo [K_c] extraído a partir de datos de literatura.

$$Fr = \frac{L_n}{E_{Tr}}$$

Ecuación 24

Donde;

Fr: frecuencia de riego (días)

Ln: lámina neta (cm, mm)

Etr: evapotranspiración real del cultivo (cm/día, mm/día)

$$Etr = kc \cdot Eto$$

Ecuación 25

Donde;

Etr: evapotranspiración real del cultivo (cm/día, mm/día)

kc: coeficiente de cultivo

Etr: evapotranspiración potencial (cm/día mm/día)

El tiempo de riego se calculó basándose en la pluviometría del aspersor, según la Ecuación 26.

$$Tr = \frac{Lb \cdot 60}{P}$$

Ecuación 26

Donde;

Tr: tiempo de riego (min)

Lb: lámina bruta (mm)

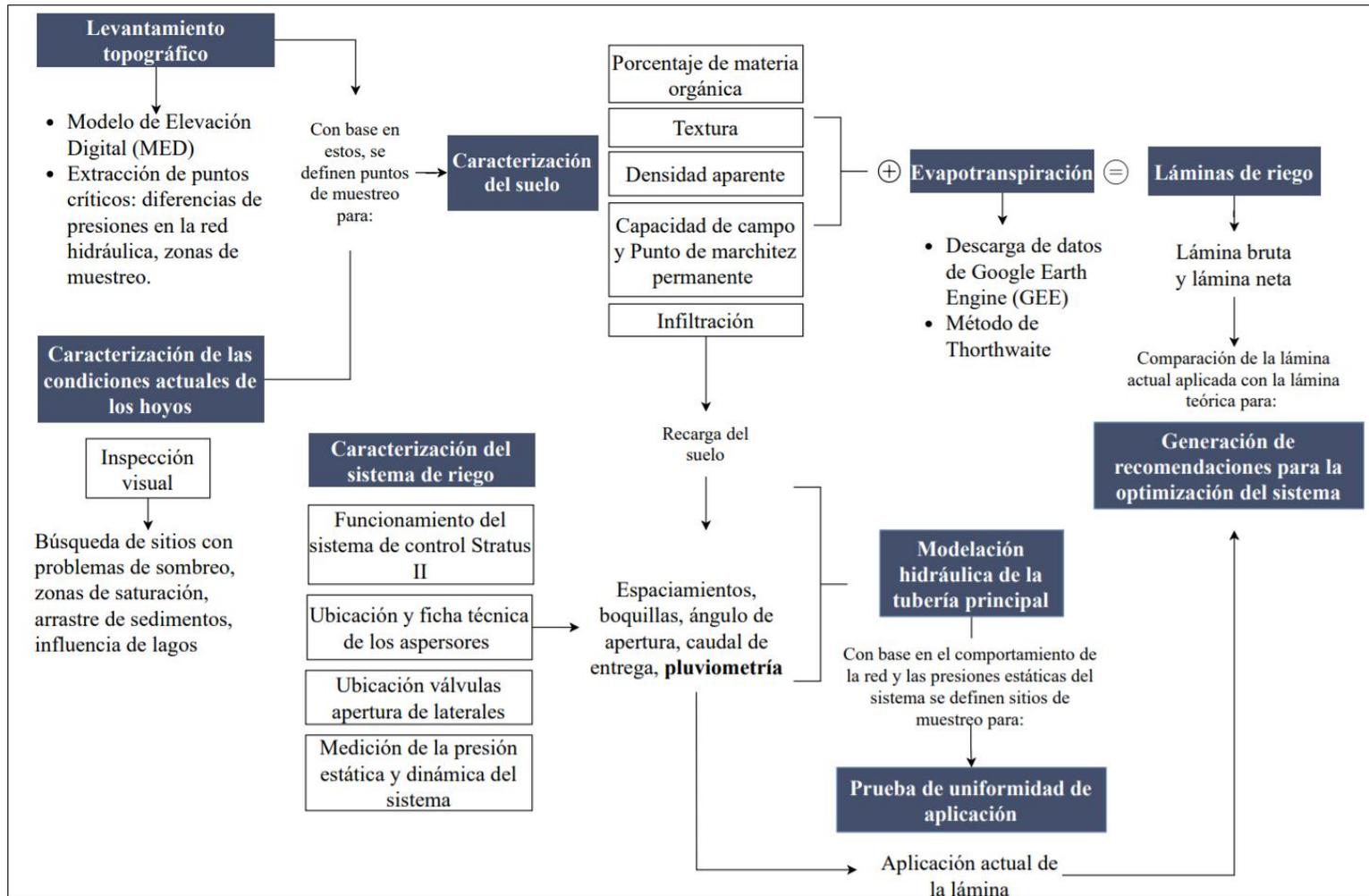
P: pluviometría del aspersor (mm/h)

4.9 Esquema de metodología

En la Figura 7 se muestra un esquema de la metodología a seguida y cómo cada uno de los resultados encontrados en cada apartado se relacionó entre sí para la generación del plan de optimización del sistema.

Figura 7

Esquema de metodología propuesta para la optimización del sistema de riego del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Caracterización previa del lugar

El césped predominante en los hoyos en estudio y a lo largo del Campo de Golf en general, es el Bermuda 419 (*Cynodon dactylon*), en algunas áreas se encuentran parches del césped *Zoysia* (*Zoysia sp*), sin embargo, este último no se encuentra en cantidades significativas por lo que se omitirá.

El mantenimiento del césped y conservación del suelo que lo contiene implica una serie de labores que se realizan periódicamente, las cuales se amplían a continuación:

Labores de mantenimiento del césped

Dentro de las labores que se realizan para el mantenimiento del césped, se encuentran:

- a) *Corta del pasto*: las áreas del campo de golf se encuentran diferenciadas por la altura de corte, la frecuencia de corte se encuentra definida por la importancia del área dentro del juego, siendo: corta diaria para *green*, 2 veces por semana para *tee* y *fairway* y para *rough* según se considere necesario.

Las alturas de corte son de 0,500" (1,27 cm) para el área del *fairway*, 0,135" (0,34 cm) para *green*, 0,450" (1,15 cm) para *tees* y *approach*, 1" (2,54 cm) para *intermediate rough* (collar entre el *fairway* y *rough*) y 1,5" (3,81 cm) para *rough*.

- b) *Aplicación de agentes humectantes*: los agentes humectantes ayudan a la rotura de los enlaces de hidrógeno de las moléculas de agua, por lo que ayudan a que esta penetre mejor en el suelo; esto contribuye a que el agua alcance una mayor profundidad y se mantenga por más tiempo en el perfil del suelo con la finalidad de regar con menor frecuencia o bien, en menor cantidad. A pesar de que estas aplicaciones se realizan principalmente en el área del *green*, ocasionalmente se realizan en el área del *fairway*. (ver Figura 8).

Figura 8

Aplicación de agente humectante.



Nota. Posterior a la aplicación del agente humectante se aplica agua, con la finalidad de asegurar la penetración de este.

- c) *Aplicación de arena:* según lo mencionado en la revisión bibliográfica, el césped Bermuda 419 posee afinidad por los suelos arenosos o con buena aireación, por lo que una de las prácticas es la aplicación de arena sílica para crear mayor espacio poroso en el suelo, promover la generación de estolones y así, la propagación y desarrollo del césped.

Se utiliza específicamente arena sílica pues al ser una arena depurada, evita el crecimiento de malezas que puedan competir con el césped, además actúa como una especie de fertilizante. En la Figura 9, se muestra la aplicación de arena.

Figura 9

Aplicación de arena sílica.



Nota. La arena sílica se aplica principalmente en las áreas del *green*. Ocasionalmente, se aplica en las zonas de los *fairways* que presentan condiciones críticas.

Labores de conservación del suelo

a) *Verticorta*: esta práctica se realiza en *fairway* y *green*, su función es realizar cortes verticales para disminuir la densidad del césped y eliminar estolones para procurar el crecimiento del césped hacia arriba, además de eliminar materia orgánica acumulada y residuos de *thatch*. La periodicidad de realización de esta práctica es de al menos 1 vez al mes principalmente para el área del *green*.

La profundidad de penetración de las cuchillas depende de la cantidad de material que se desee extraer.

b) *Aireación*: posterior al proceso de *verticorta*, se realiza la *aireación*. Esta práctica se realiza de 1 a 2 veces al año, pues es un procedimiento más invasivo y riguroso; ya que luego de realizar la práctica se debe aspirar el material residual. Se realiza

principalmente se realiza en las áreas del *green* y el *fairway*, en el área de *rough* no se realiza esta práctica.

Su finalidad es mejorar la infiltración del agua en el suelo y reducir la MO, ya que se utilizan pines huecos que saca porciones de suelo (y MO) cuya profundidad de trabajo es según el perfil que se desee trabajar. Los agujeros realizados por los pines son rellenados con arena sílica.

La Figura 10 muestra el resultado de la aireación con pines sólidos y la Figura 11 la aireación con pines huecos.

Figura 10

Aireación con pines sólidos.



Nota. Luego de la aireación se aplica arena sílica y se detalla la penetración de esta en los agujeros realizados por la maquinaria.

Figura 11

Aireación con pines huecos.



Las labores de mantenimiento del césped y conservación del suelo cumplen con lo requerido según literatura. La labor de aireación ayuda en gran escala a mejorar la infiltración del suelo, pues se introduce un material poroso (arena sílice), al igual que la aplicación de agentes humectantes, ayuda a que la infiltración de la lámina de riego sea efectiva.

Debido a la realización de todas estas prácticas, existe un tránsito de maquinaria en todo el campo e inclusive, muchas de ellas realizan independientemente si el suelo se encuentra con cierto estado de humedad (como por ejemplo la corta del césped) lo cual ocasiona pérdidas de la primera capa de suelo y puede promover la compactación del suelo.

Por otro lado, ellas alturas de corte influyen en los requerimiento hídricos del césped ya que, según menciona McCarty (2018) a menor altura de corte, menor profundidad radicular y con ello, menores láminas netas; ya que para un mismo tipo de suelo este valor se encuentra determinado por la profundidad radicular.

5.2 Levantamiento topográfico

Es importante recalcar que la topografía del campo de golf es diseñada con fines de juego, es decir, no es natural y está constituida por una serie de cortes y rellenos que buscan dar un relieve que aumente la dificultad del juego. Por lo que, se analizará la topografía desde el punto de vista de elevaciones (en cuestiones de presión), movimiento de aguas e influencia en el suelo de elementos cercanos o propios del hoyo.

a. Hoyo 6

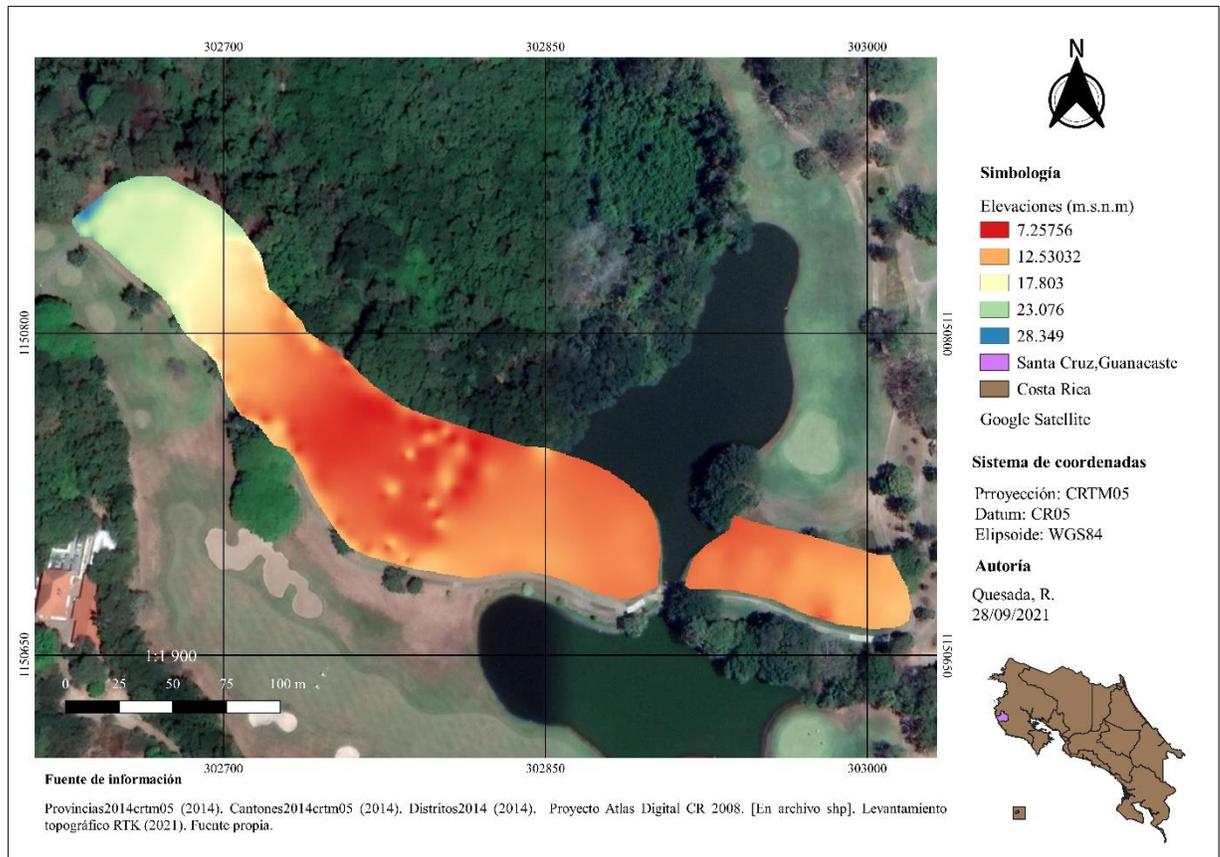
La Figura 12 muestra la ubicación del hoyo 6, sus elementos lindantes y el relieve. En la parte N del hoyo se encuentra una zona boscosa, hacia el NE un lago y toda la parte S colinda con el hoyo 7.

En cuanto a elevaciones, se observa que el área del *tees* (área SE) posee una elevación media según la simbología de color. Mientras que en el *fairway* se observa una depresión importante con cotas mínimas de 7 msnm y conforme se avanza hacia el área del *green* (hacia el NO) se da un aumento de elevación; siendo esta última área la que mayor altitud posee ubicándose entre las cotas 23 msnm y 28 msnm, aproximadamente.

El área que abarca el hoyo 6 es de 2,050 ha.

Figura 12

Ubicación del hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



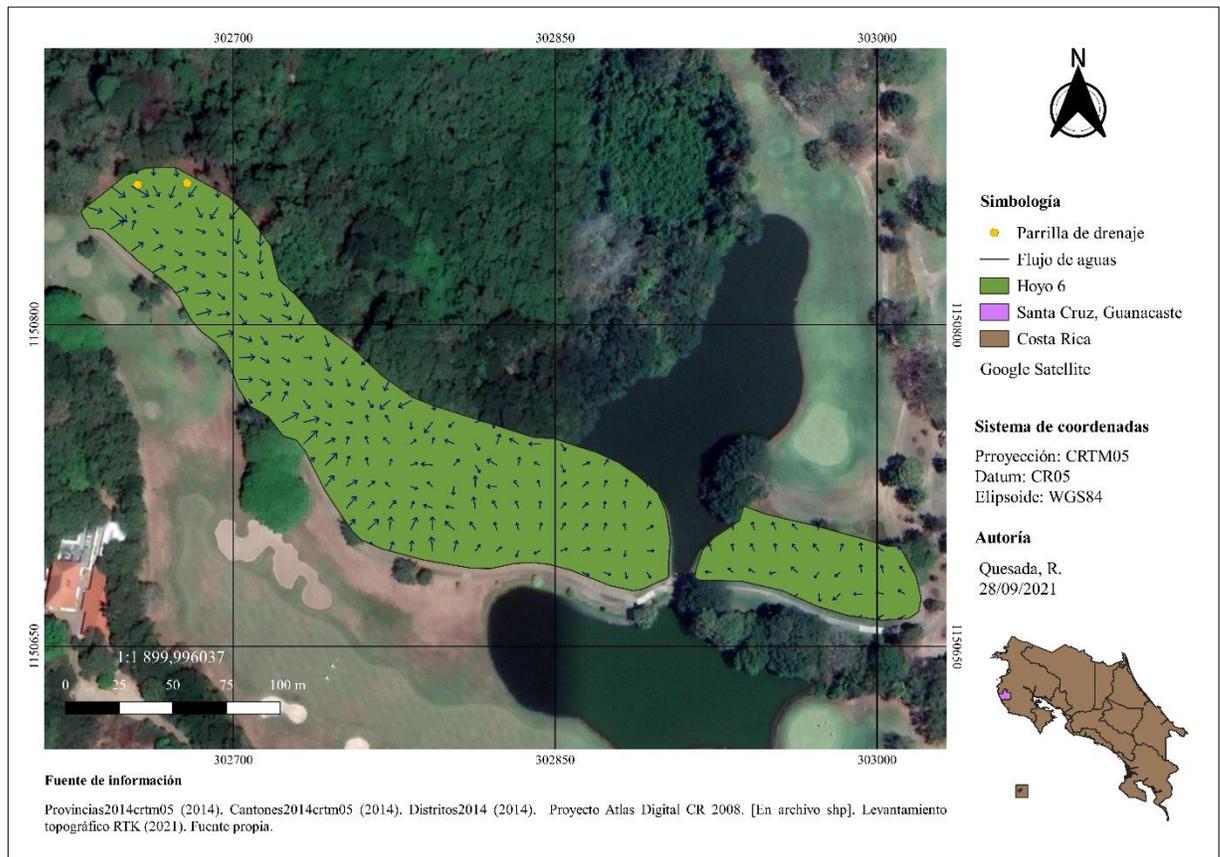
El flujo de aguas en el hoyo se da principalmente en sentido SO-NE. Como es de esperar, existe un punto de convergencia de aguas en la parte central del hoyo provocando una zona de saturación la cual no puede ser drenada debido a que la topografía posee altitudes similares que no permiten la evacuación oportuna de las mismas. De igual forma, como se observa en la Figura 13, no existe una parrilla de drenaje que logre recolectar el agua de dicha área.

Igualmente, las parrillas de drenaje solo logran evacuar las aguas provenientes de la zona boscosa de la parte NO del hoyo. No obstante, el drenaje de aguas del hoyo como tal recae en sobre la parte NE cercana al lago, por lo que la creación de una parrilla de drenaje en la parte central del hoyo podría evacuar efectivamente dichas aguas. Sin embargo, no se evidencian problemas en el césped de dicha zona, indicio de que la saturación no es tan

significativa que logre provocar problemas de desarrollo en este, siendo innecesario un drenaje en dicha área.

Figura 13

Flujo de agua hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



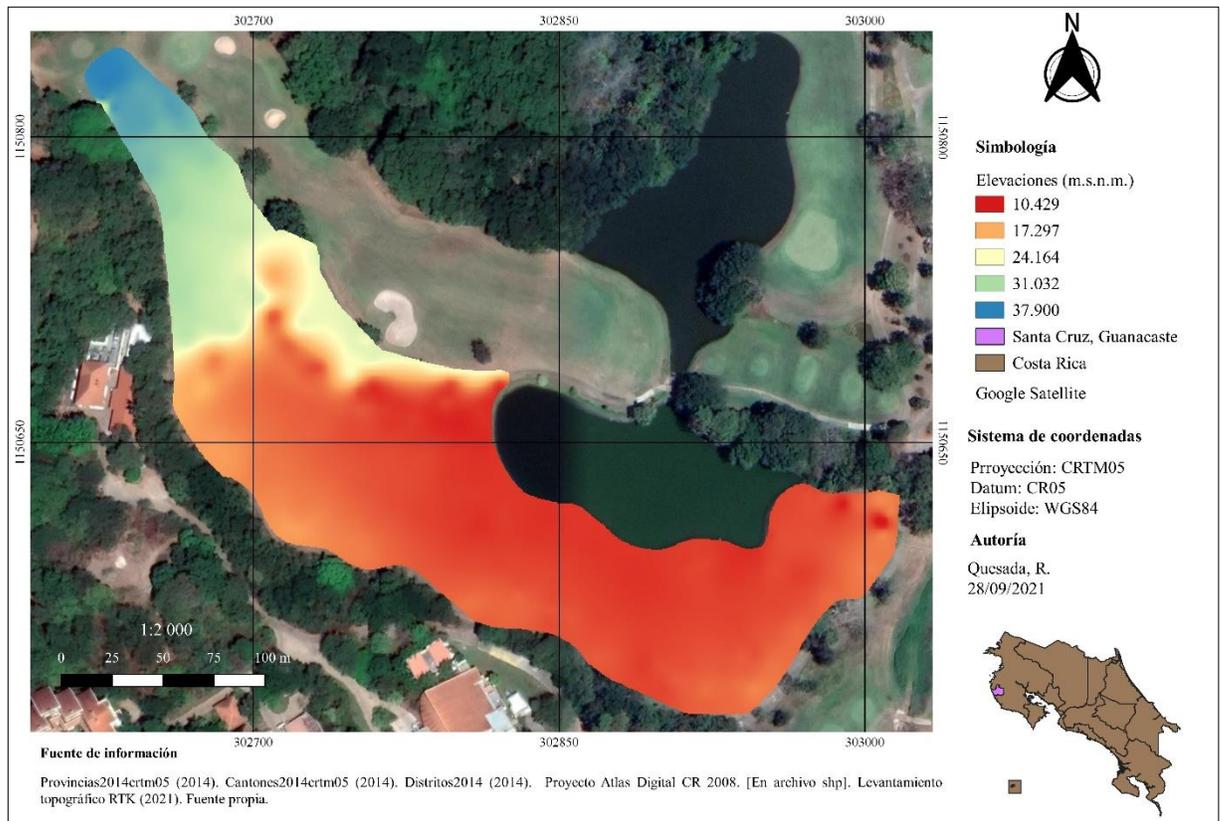
b. Hoyo 7

En la Figura 14 se muestra la ubicación del hoyo 7, el cual se encuentra lindante en la parte N con el hoyo 6, al NE con el lago y hacia el S con edificios del hotel. Este hoyo en su totalidad abarca un área de 3,705 ha.

La topografía de este hoyo es más marcada, presenta una disminución de cotas en el sentido NO-SE, siendo la parte NO donde se concentran las mayores elevaciones. La zona con mayor elevación corresponde al área del *tees* con una cota máxima de 37 msnm, mientras que la densidad de cotas menores se concentra en la mayoría del área del *fairway*.

Figura 14

Ubicación del hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



El movimiento de aguas se da en distintas direcciones, según muestra la Figura 15. Sin embargo, la ubicación de las parrillas de drenaje es efectiva e incluso se encuentran drenajes fuera del área del hoyo, ya que la impermeabilización del área correspondiente al hotel provoca un aumento de la escorrentía que recae en el hoyo.

Figura 15

Flujo de agua hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



c. Hoyo 12

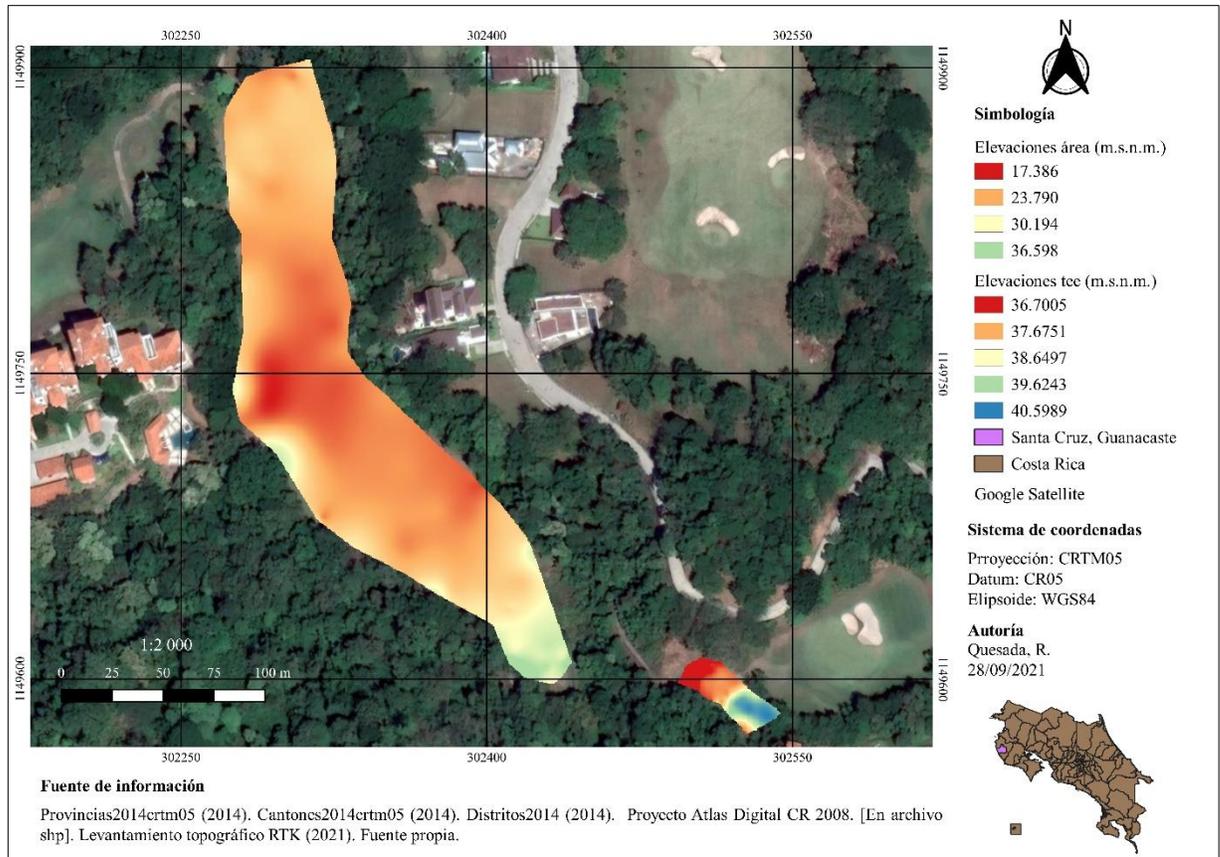
En la Figura 16 se observa que el hoyo se encuentra rodeado por una gran cantidad de árboles a lo largo de su lindero e inclusive cuenta con una separación arbórea del área del hoyo, además limita con edificaciones.

La separación del hoyo por medio del *carpath* y el área boscosa, hace que las elevaciones entre el *tee* alto y el resto del área del hoyo sea abrupta ya que este posee una cota de 43 msnm y el *tees* bajo de 37 msnm, mientras que en el resto del hoyo la topografía es un poco más uniforme. Exceptuando la zona central del *fairway*, la cual presenta las menores elevaciones con cotas de 17 msnm. En general, la elevación disminuye en el sentido SE-NO.

Este hoyo abarca un área de 0,079 ha para el área del *tees* alto y 1,786 ha para el resto del hoyo para un total de 1,865 ha.

Figura 16

Ubicación del hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



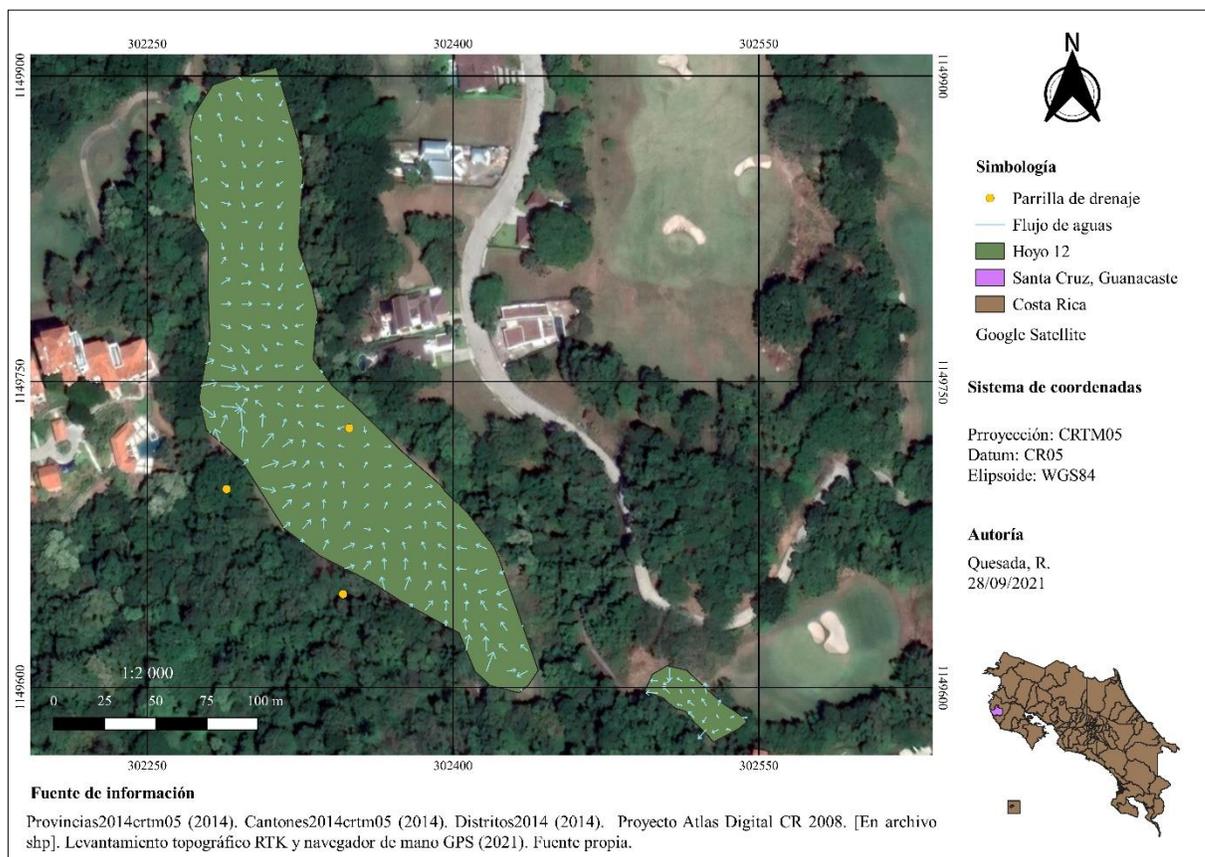
En la Figura 17 se evidencia que el movimiento de aguas a lo largo del campo es en sentido SO-NE. Como es de suponer, en el área central del *fairway* que posee cotas de altitud media (SO del hoyo) y colinda con el área que posee las menores cotas del campo, se observa que se produce la convergencia de agua en la zona de menor elevación, la cual no pueden ser evacuada por los puntos de drenaje actuales del hoyo ni por diferencia de pendientes, en este caso, la instalación de una parrilla de drenaje en el punto donde se observa convergencia de aguas es de utilidad para la evacuación de las aguas.

Por otro lado, el área del *tees* alto, no presenta problemática alguna de movimiento de agua.

Es importante recalcar que los puntos de drenaje que se encuentran fuera del área del hoyo corresponden a puntos de transporte de aguas de escorrentía provenientes de otras zonas del campo de golf.

Figura 17

Flujo de agua hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



A modo de resumen, se observa en la Tabla 4 las cotas máximas y mínimas y el área que abarcan los hoyos 6, 7 y 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal.

Tabla 4

Cotas y área de los hoyos 6, 7 y 12.

Hoyo	Cota mínima (msnm)	Cota media (msnm)	Cota máxima (msnm)	Área (ha)
Hoyo 6	7,257	17,803	28,349	2,050
Hoyo 7	10,428	24,164	37,900	3,705
Hoyo 12	17,000	30,001	43,003	1,865

5.3 Caracterización de las condiciones actuales de los hoyos

Los hoyos 6, 7 y 12 en general presentan problemas de erosión y arrastre de sedimentos por efecto de topografía evidenciándose en zonas con suelo desnudo, sombreo y zonas de saturación. Lo anterior, se apoya de la discusión de las Figuras 12 a 17 de la sección previa.

La problemática en el desarrollo del césped por efecto de sombreo de los árboles lindantes a cada hoyo, es dada por especies pertenecientes a bosque tropical seco transición a húmedo, entre ellas: cenízaros, árbol de guanacaste, guácimo, almendros, madroño, laurel, yayos, higuera y aceitunos; los cuales se encuentran distribuidos a lo largo de todo el campo de golf y son pertenecientes a bosque secundario. Todas estas especies son características por tener copas de gran tamaño.

Igualmente, las zonas de saturación del suelo son dadas por efecto de topografía. Por otro lado, los lagos aledaños a los hoyos cumplen una función estética y de almacenamiento hídrico por lo que su profundidad no supera los 3 m, sin embargo, su aporte de saturación se da principalmente por su rebalse ante fuertes precipitaciones.

No obstante, los hoyos poseen puntos de evacuación de aguas (parrillas de drenaje), aunque su función se ve limitada por la acumulación de *thatch*, el cual provoca su obstrucción y creando lagunas de inundación, las cuales desaparecen por acción de infiltración del suelo o bien, con ayuda de mecanismos de bombeo en los casos más críticos (ver Figura 18).

Figura 18

Acumulación de thatch por arrastre del agua.



A continuación, se describen en qué zonas de cada hoyo se desarrollan dichas problemáticas, cómo afectan al desarrollo del césped y cómo alteran el comportamiento del suelo ante estas. Lo anterior basado en una minuciosa observación de cada uno de los hoyos en estudio y apoyado del movimiento de aguas obtenido mediante el levantamiento topográfico.

Los hoyos 6 y 7 se analizaron en conjunto ya que son contiguos, mientras que el hoyo 12 se analizó en el sentido de las áreas de juego *tee-green*.

a. Hoyo 6 y 7

El hoyo 6 posee influencia de un lago en la parte NE y otro SE (Lago del Hoyo 7), previo al *tee*. A pesar de la cercanía de los lagos al *tee*, no se observan problemas por saturación. Sin embargo, si se observa influencia del sombreado de los árboles presentes, aunque la alteración no es significativa.

En el hoyo 7, en el área del *rough* de la parte S se encuentra rodeada por árboles, sin embargo, el efecto de sombreado en ellas no es significativo, exceptuando algunas partes, donde inclusive no se encuentra césped en crecimiento. Cercano al *green*, se observa la misma problemática por acción del sombreado. Hacia la parte SE, se observan zonas en saturación persistente, ya que la topografía en dicha zona es plana y el agua acumulada por rebalse del lago, únicamente se evacúa por efecto de la infiltración del suelo

Es importante recalcar que, a nivel de riego, las áreas de sombreado se puede realizar una sectorización de la lámina de riego en comparación con las zonas de exposición directa al sol cuya finalidad es realizar un manejo oportuno y diferenciado según las necesidades del área tratada. Por otro lado, se debe recordar que el sombreado es uno de los factores limitantes para el desarrollo del césped.

En la Figura 19 se muestra la distribución del hoyo 6 y 7 y la puntualización de las problemáticas mencionadas.

Figura 19

Problemáticas tees del hoyo 6 y green, fairway y rough del hoyo 7.



Nota. Las letras en amarillo corresponden a la señalización de las problemáticas.

En el área del *rough* del hoyo 6 de toda la parte N del hoyo, se observa una influencia significativa en el sombreado, ya que el lindero dispone de una hilera de árboles. La alteración del césped en esta área se da tanto por sombreado como por efecto de pendiente, ya que se observa una pendiente en sentido S-N abrupta en esa límite, lo que causa también problemas de erosión por arrastre de sedimentos de las aguas del resto del hoyo, evidenciándose en zonas de suelo desnudo o crecimiento pobre del césped.

En el área del *fairway* del hoyo 6 no se observan problemas significativos, más que algunas acciones por efecto de sombreado, muy pequeñas en comparación con los efectos sobre el *rough* mencionados anteriormente. En esta área no coincide con las zonas donde se acumula el agua (ver Figura 13), por lo que no se evidencian daños en el césped por convergencia de aguas.

El área del *fairway* del hoyo 7 contigua al lago, se observan manchas de inundación por rebalse del lago. Al finalizar esta ladera, se observan nuevamente áreas de sombreo, seguido de una ladera que, a su pie, propicia la concentración de aguas por mala evacuación; siendo influenciadas por la cercanía del lago el cual, durante la época lluviosa, suele rebalsarse y extenderse hasta el pie de la ladera. Es este caso, si se evidencia una relación entre las áreas de convergencia de aguas y las zonas del césped que presentan daños. Posteriormente, en el área del *fairway* no se observa otra problemática.

Las problemáticas mencionadas se muestran en la Figura 20.

Figura 20

Problemática para el rough del hoyo 6 y rough del hoyo 7.



Nota. Las letras en amarillo corresponden a la señalización de las problemáticas.

Hacia la parte NE del hoyo 6, el área del *rough* cercana al *green*, presenta pequeños problemas por sombreo donde el césped se encuentra en crecimiento pobre y se evidencia saturación del suelo por efecto de pendiente.

En la parte N del hoyo 7, cercano al *tees*, se observa una hilera de árboles que, en conjunto con la pendiente de la ladera, provocan áreas significativas de suelo desnudo por arrastre de sedimentos.

En la Figura 21 se muestra lo mencionado.

Figura 21

Problemáticas en el *rough* y *green* del hoyo 6 y *tees* del hoyo 7.



Nota. Las letras en amarillo corresponden a la señalización de las problemáticas.

En el hoyo 6 observaron algunos parches con césped *Zoysia* principalmente debajo de árboles. En la Figura 22 se observa un contraste significativo entre la resistencia al sombreado entre esta variedad y el césped *Bermuda*.

Figura 22

Contraste de la tolerancia al sombreado entre las variedades Bermuda y Zoysia.



Nota. El cordón verde alrededor del árbol corresponde a la variedad Zoysia, mientras que el césped marrón a la variedad Bermuda.

En el hoyo 7 se observó una única variedad de césped, el cual es Bermuda 419 y pequeños parches de malezas en el área del *fairway* cercana al lago y en el área SE del *rough* no significativa debido a su tamaño.

b. Hoyo 12

Este hoyo se caracteriza por una topografía abrupta entre el *tee* alto y el *tees bajo*, ninguno de ellos presenta problema alguno (ver Figura 23).

Figura 23

Distribución de los *tees* del hoyo 12.



La topografía es marcada con dirección O-E, lo que hace que la evacuación de las aguas contenga más energía y ocasiones problemas de erosión y arrastre de sedimentos.

El área del *rough* se encuentra afectada por sombreado a lo largo de las partes E y O, la presencia de estos árboles a lo largo del lindero NE actúa como una barrera corta viento que impide la circulación del aire a lo largo del *fairway* (ver Figura 24).

El mismo problema de sombreado se encuentra también en el *fairway* debido a la presencia de un árbol de gran copa que interfiere en el paso de la luz; donde esa misma zona cuenta con una pequeña depresión que acumula agua y usualmente se encuentra saturada, coincidente con un punto de convergencia de aguas según lo analizado en el levantamiento topográfico.

En la parte central del hoyo, en el área del *fairway* se observa a parte de una planicie apoyado por un árbol, esta zona es la zona más afectada por problemas de saturación del suelo y en la que el césped se encuentra en un estado más crítico, coincidente con un punto de convergencia de aguas según lo analizado en el levantamiento topográfico. El *fairway* cercano

al *green* posee una pequeña planicie, donde se acumulan las aguas provocando la saturación del suelo.

El área del *rough* cercana al *green*, presenta problemas de sombreo y arrastre de sedimentos por efecto de la topografía (ver Figura 24).

Figura 24

Problemáticas del *rough* y *fairway* del hoyo 12.



Nota. Las letras en amarillo corresponden a la señalización de las problemáticas.

En general, para los 3 hoyos es importante recalcar que las zonas que cuentan con sectores amplios de sombreado pueden tratarse por aparte ante la aplicación de la lámina de riego, ya que la evapotranspiración en estas zonas es menor en comparación con una zona de exposición directa al sol y, por ende, la lámina requerida es menor.

Además, se debe recordar que la luminosidad es uno de los factores que afecta el desarrollo del césped por lo que si este no recibe la cantidad de luminosidad necesaria se presentarán problemas en su desarrollo, al igual que tener en cuenta si los árboles aledaños pueden competir hídrica y nutrimentalmente con el césped. Sin embargo, pensar en la combinación del césped Zoysia que posee mayor resistencia al sombreado y el césped Bermuda el cual es menos resistente, no es una opción viable, ya que el Zoysia compite hídricamente con el Bermuda y comienza a reemplazarlo (competencia interespecífica).

Los problemas por sombreado se evidencian mayormente en las áreas del *rough* (área del campo de colinda con árboles), como se pudo evidenciar en las fotografías de las condiciones actuales de cada uno de los hoyos y en la Figura 12, 14 y 16 del Levantamiento topográfico.

De igual forma, se debe detectar cuales zonas poseen problemas por factor sombreado o drenaje. La primera de ellas ya se comentó, en cuanto al drenaje se encuentra apoyado por las Figuras 13, 15 y 17 del Levantamiento topográfico donde se puede identificar fácilmente las zonas de convergencia de aguas y, por ende, las zonas en las que el césped presenta problemas por saturación.

En cuanto al riego, este debe tratarse en conjunto con la detección de puntos de sombreado, saturación y zonas de sequía, para realizar una diferenciación de la lámina de riego de acuerdo con el tipo de suelo y la infiltración de este (lo cual se analizará más adelante). Sin embargo, para este caso, no se observaron problemáticas en el césped por falta de agua (zonas de sequía).

5.4 Caracterización del suelo

La profundidad radicular observada corresponde a 10 cm, la cual será utilizada tanto para la extracción de muestras como para el cálculo de láminas. La Figura 25 muestra el perfil de suelo extraído y en donde la mayor profundidad radicular se da a los 10 cm.

Figura 25

Profundidad radicular efectiva para Bermuda 419 (Cynodon dactylon).

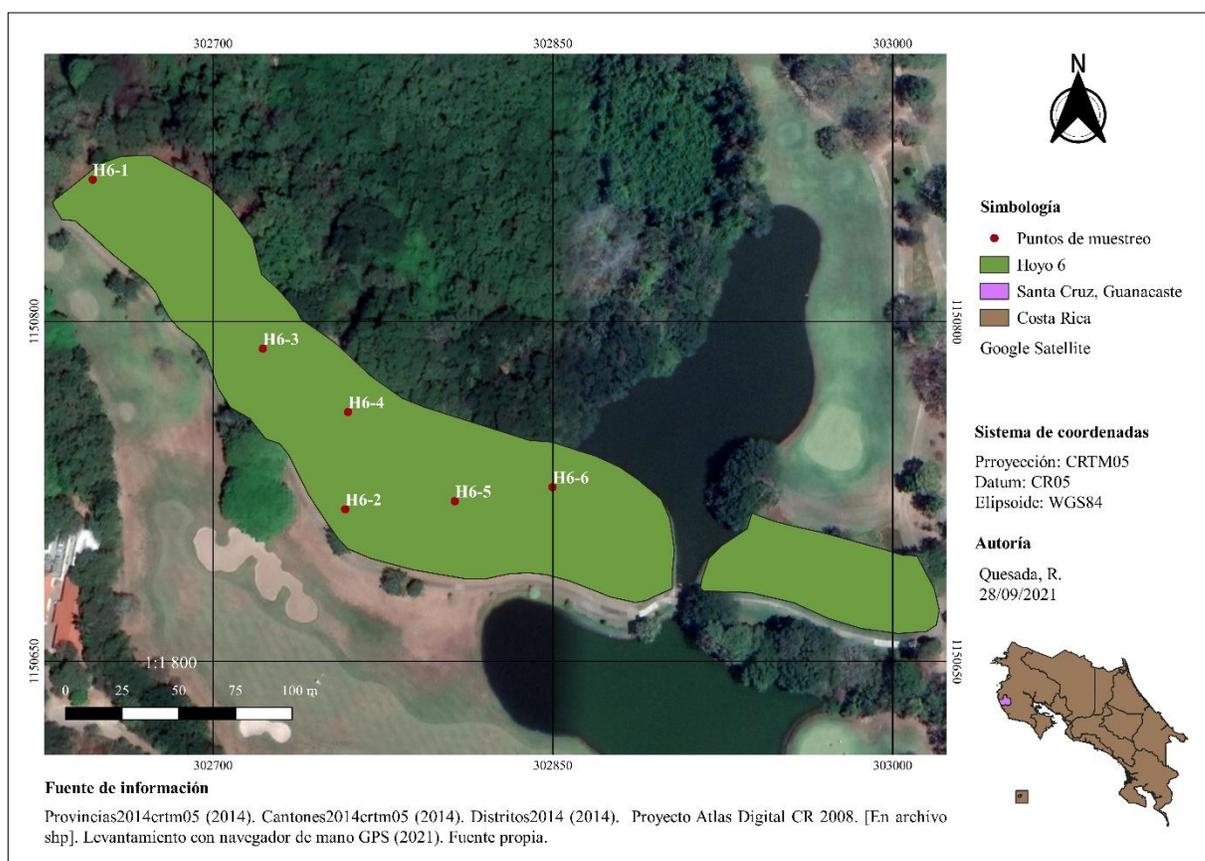


Puntos de muestreo

Los puntos muestreados en el hoyo 6 son los señalados en la Figura 26, en estos se evidenciaron las problemáticas mencionadas anteriormente.

Figura 26

Puntos de muestreo en el hoyo 6 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



Para el hoyo 7, los 5 puntos de muestreo se ubican según la Figura 27.

Figura 27

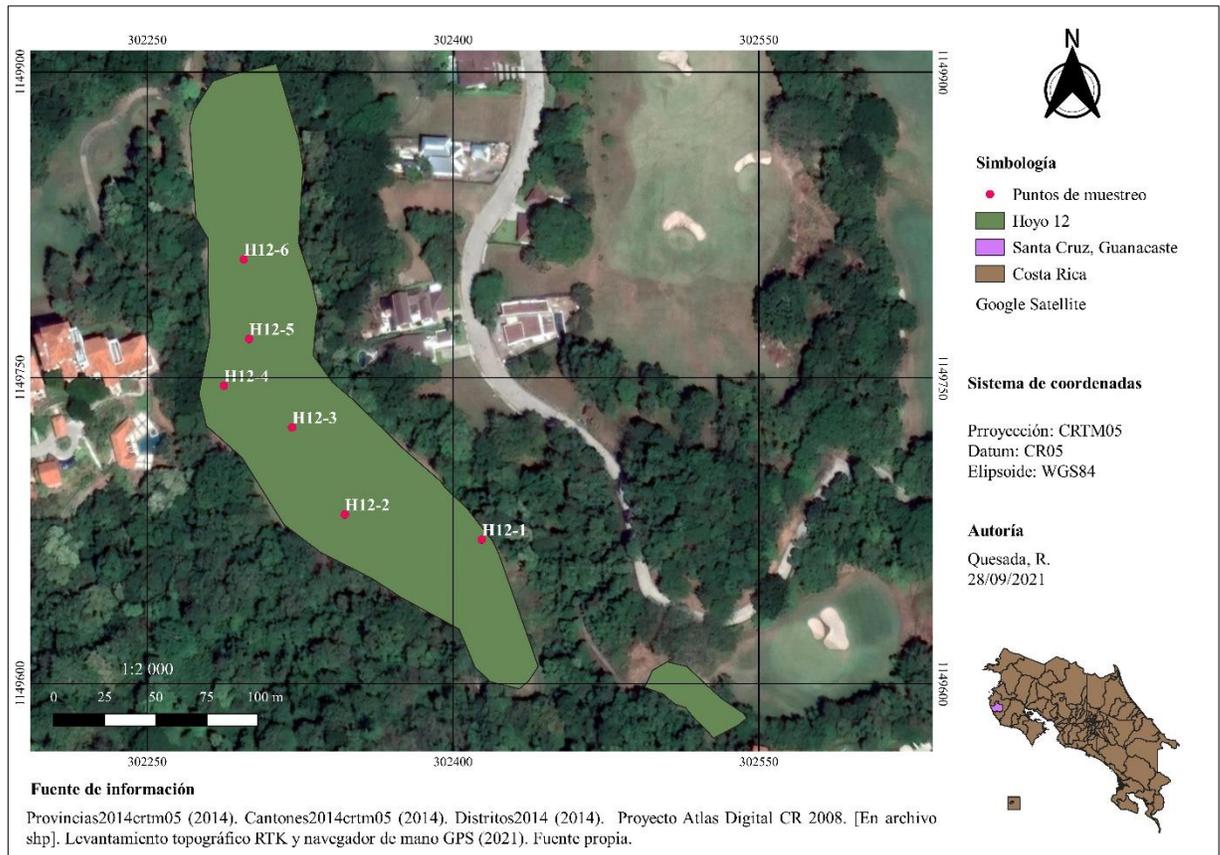
Puntos de muestreo en el hoyo 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



Finalmente, la Figura 28 muestra los 6 puntos muestreados en el hoyo 12.

Figura 28

Puntos de muestreo en el hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



a. Materia orgánica

Los porcentajes de materia orgánica de cada una de las muestras corresponden a los mostrados en la Tabla 5.

Para el hoyo 6 se evidencia que los puntos de muestreo que retornaron mayores porcentajes de MO son: H6-1 el cual se encontraba en un área de suelo desnudo bajo la copa de un árbol, H6-2 ubicado en la parte alta del hoyo y H6-6 ubicado en las cercanías del lago.

En esta última muestra, su contenido de MO se da debido al arrastre de *thatch* y el rebalse del lago, el cual arrastra consigo otro tipo de material orgánico presente en él.

En el hoyo 7 la muestra que retornó mayor porcentaje de MO es la H7-3 la cual se encuentra en una zona de baja elevación. Seguido de las muestras H7-1 y H7-2, ubicadas en las zonas que el lago suele abarcar cuando se rebalsa.

El hoyo 12 presentó los menores porcentajes de MO especialmente en las muestras H12-1 la cual se encontraba en una zona de suelo desnudo y H12-2 y H12-4 ubicadas cerca de puntos elevados.

En general, los puntos muestreados poseen un contenido de MO alrededor del 10%, el cual es el mínimo recomendado para procurar una aireación y retención de agua en el suelo. Este aporte de MO producto de los residuos de *clipping* y *thatch* que se acumulan a lo largo del campo, los cuales se encuentran a lo largo de todo el campo; por lo que, no existe una diferenciación del contenido de MO en zonas altas y bajas de muestreo.

Según la revisión de literatura, la acumulación del *thatch* puede provocar problemas de impermeabilización del suelo, lo cual implica la inoportuna infiltración de la lámina a aplicar. Una forma de disminuir esta problemática sería la recolección del *clipping* (el cual al degradarse se convierte en *thatch*) luego de la corta del césped, sin embargo, esta no es una opción viable debido a que las cortas se realizan diariamente y la demanda de tiempo que puede demandar esta labor retarda significativamente la realización de otras tareas que se realizan en el campo que poseen mayor importancia.

Tabla 5

Porcentajes de materia orgánica para los puntos muestreados.

Muestra	MO (%)
H6-1	16,2
H6-2	11,4
H6-3	10,4
H6-4	10,2
H6-5	10,8
H6-6	11,4
H7-1	13,4
H7-2	13,0
H7-3	17,6
H7-4	10,8
H7-5	12,4
H12-1	9,6
H12-2	9,6
H12-3	10,6
H12-4	9,6
H12-5	10,4
H12-6	10,2

b. Textura

Los porcentajes de partículas junto con la textura para cada punto muestreado se señala en la Tabla 6. A pesar de que el hoyo 12 se encuentra alejado de los hoyos 6 y 7 se observa que entre ellos comparten suelos de textura medias a finas; siendo la franco arcillosa la textura predominante en los hoyos 6 y 7 y arcillosa predominante en el hoyo 12.

Para el hoyo 6 se puede decir que, según la ubicación de los puntos de muestreo, la textura a se vuelve más fina en sentido NE-SO. Siendo las muestras H6-5 y H6-6 ubicadas en los puntos de menor elevación las que retornaron mayor contenido de arcillas, lo cual se puede relacionar con el arrastre de suelo por movimiento de aguas y depositación en las partes con menor altura.

En el hoyo 7 se evidencia una textura mayormente franca. Para este caso, no se evidencia efecto de depositación de arcillas a causa del rebalse del lago en las muestras H7-1 y H7-2.

Para el hoyo 12 se observa una diferencia marcada de texturas entre la parte N y S y la parte central del *fairway*. Hacia el N y S predominan las texturas arcillosas y en la parte central cuyas elevaciones son las menores del hoyo se encuentran texturas las francas.

Tabla 6

Porcentajes de partículas y textura para los puntos muestreados.

Muestra	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Textura
H6-1	29,425	24,950	45,625	Franco
H6-2	29,800	37,450	32,750	Franco arcilloso
H6-3	31,925	34,950	33,125	Franco arcilloso
H6-4	24,800	38,450	36,750	Franco arcilloso
H6-5	25,175	40,575	34,250	Arcilloso
H6-6	27,675	40,575	31,750	Arcilloso
H7-1	32,050	37,450	30,500	Franco arcilloso
H7-2	27,469	24,020	48,511	Franco
H7-3	32,469	29,127	38,404	Franco arcilloso
H7-4	36,550	32,450	31,000	Franco arcilloso
H7-5	22,300	26,700	51,000	Franco limoso
H12-1	13,050	50,575	36,375	Arcilloso
H12-2	17,300	45,575	37,125	Arcilloso
H12-3	37,300	30,575	32,125	Franco arcilloso
H12-4	27,225	14,230	58,545	Franco limoso
H12-5	38,050	54,450	7,500	Arcilloso
H12-6	19,800	45,950	34,250	Arcilloso

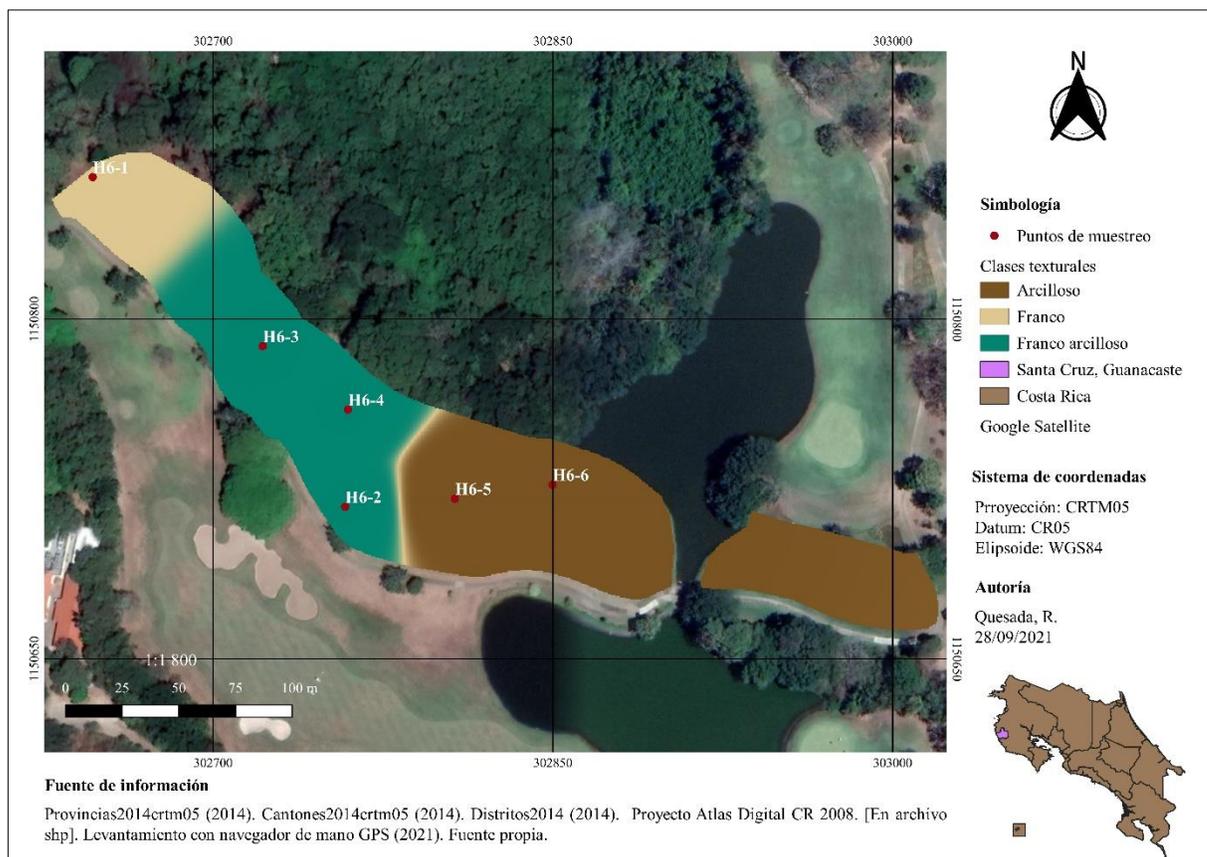
Las texturas predominantes se caracterizan por tener tasas de infiltración bajas (ampliado más adelante) por lo que es usual observar escorrentía o problemas de drenaje. No existe una relación entre las texturas del suelo y las zonas en las que se encuentran problemáticas en el césped, es decir, las problemáticas no se deben a una textura en específico.

Según los datos anteriores y la ubicación de las muestras, se puede realizar una clasificación textural de cada hoyo, a pesar de que las muestras generalizan una gran área se puede tener una noción del comportamiento textural y con ello, los requerimientos hídricos para cada área del hoyo. Además, dicha variación textural se debe a que la topografía del campo no es natural por lo que se encuentran áreas de corte y relleno; donde estas últimas no necesariamente son realizadas con el suelo presente en la zona. Lo anterior se puede visualizar en el Anexo 2 donde se observan diferentes coloraciones en un perfil de suelo extraído.

En la Figura 29 se muestra la variación textural para el hoyo 6 donde se las clases texturales: franco, franco arcilloso y arcilloso.

Figura 29

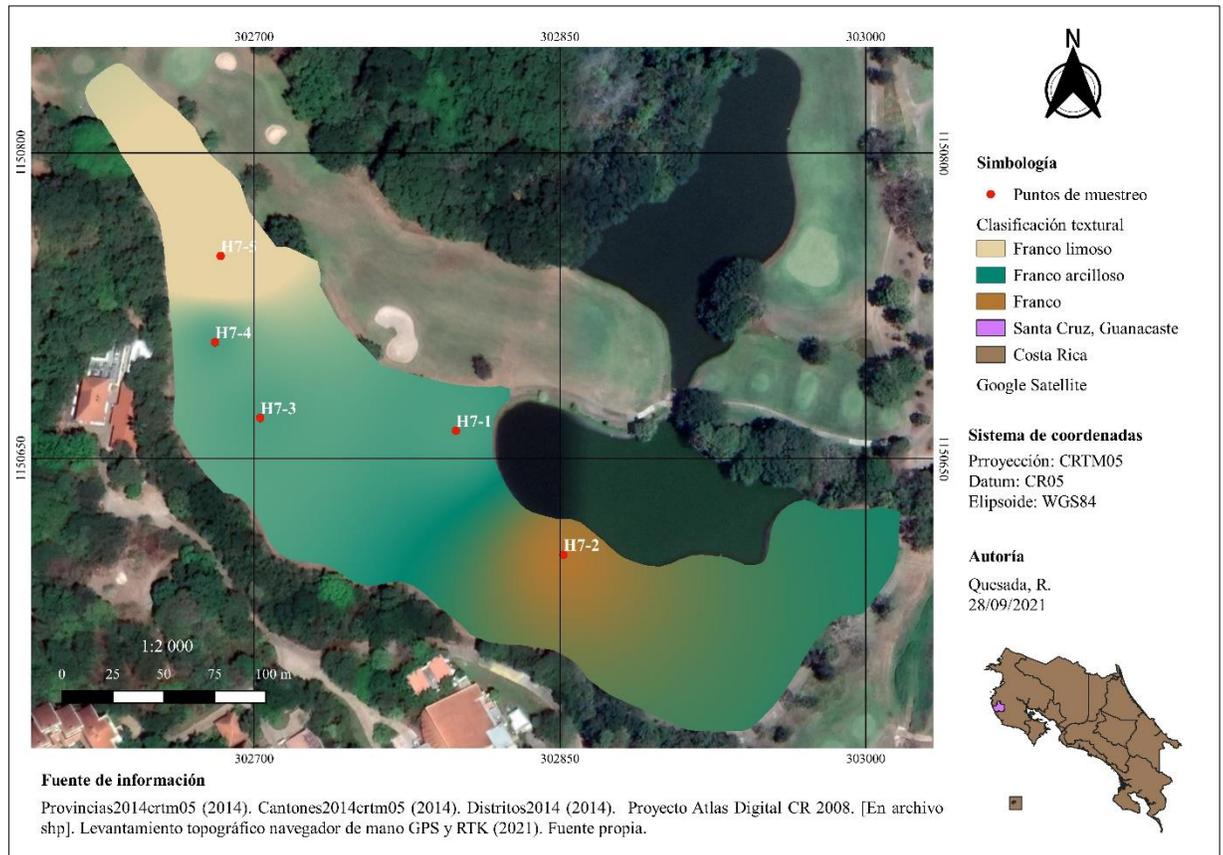
Clasificación textural para el hoyo 6 del Campo de Golf, Reserva Conchal.



De igual forma, la Figura 30 se muestra dicha clasificación para el hoyo 7. Las texturas son: franco arcilloso, arcilloso y franco; este último en una pequeña área.

Figura 30

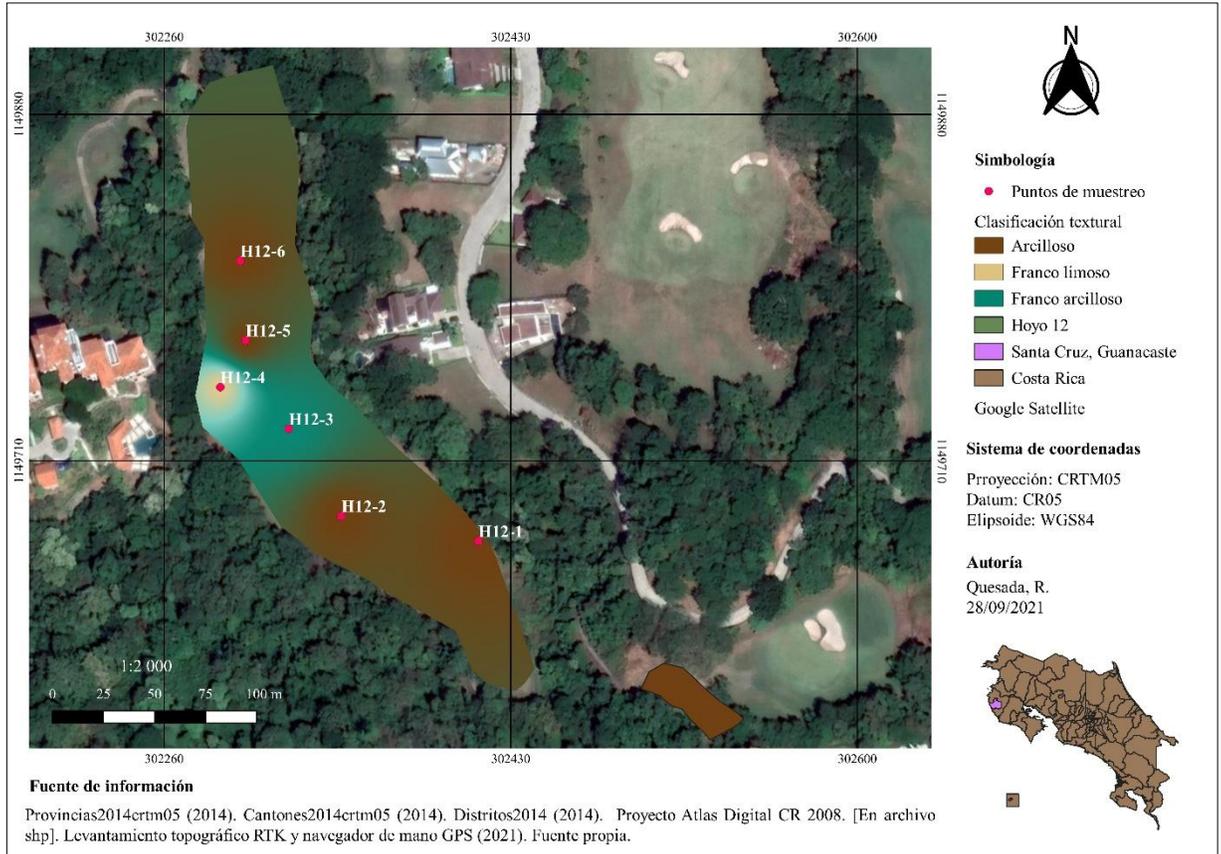
Clasificación textural para el hoyo 7 del Campo de Golf, Reserva Conchal.



En la Figura 31 la clasificación textural para el hoyo 12 muestra la clasificación textural en: franco limoso, franco arcilloso y arcilloso.

Figura 31

Clasificación textural para el hoyo 12 del Campo de Golf, Reserva Conchal.



c. Densidad aparente

La densidad aparente retornada en todas las muestras es satisfactoria, ya que los valores se encuentran entre 1 y 1,6 g/cm³ rango que indica una condición de suelo favorable para el desarrollo radicular y también son valores acordes para suelos de texturas medias a finas. El valor más bajo reportado es de 1,067 g/cm³ de la muestra H6-1 ubicada en una zona donde no se evidencia desarrollo del césped por efecto de sombreado y en la que menor porcentaje de MO se encontró, sin embargo, en cuanto a Dap este valor se encuentra dentro del rango aceptable.

El valor más alto corresponde a las muestras H12-3 y H12-4 con valores de 1,335 y 1,326 g/cm³, respectivamente. En la Tabla 7 se muestran los valores para cada punto de muestreo.

Tabla 7

Porcentajes de partículas y textura para los puntos muestreados.

Muestra	Dap (g/cm³)
H6-1	1,067
H6-2	1,250
H6-3	1,292
H6-4	1,112
H6-5	1,188
H6-6	1,208
H7-1	1,258
H7-2	1,292
H7-3	1,431
H7-4	1,123
H7-5	1,115
H12-1	1,233
H12-2	1,064
H12-3	1,202
H12-4	1,335
H12-5	1,326
H12-6	1,250

d. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Los valores de CC y PMP retornados a partir de los porcentajes texturales se muestran en la Tabla 8. Después de calculados los valores de CC y PMP a partir de dos métodos distintos, se decide trabajar con los valores que más se aproximen a los teóricos según la textura del suelo de la Tabla 2.

En este caso se decide utilizar los valores obtenidos a partir de la ecuación de Peele y la ecuación de Briggs.

Tabla 8

Valores de CC y PMP para los puntos de muestreo de los hoyos en estudio.

Muestra	CC (%)	PMP (%)	CC Peele (%)	PMP Briggs (%)
H6-1	30,395	16,051	18,821	12,621
H6-2	34,729	18,173	23,828	15,088
H6-3	33,348	17,497	22,706	14,403
H6-4	36,252	18,919	24,504	15,725
H6-5	36,915	19,244	25,338	16,117
H6-6	36,331	18,958	25,201	15,899
H7-1	34,203	17,916	23,705	14,892
H7-2	30,524	16,114	18,554	12,606
H7-3	31,161	16,426	20,334	13,191
H7-4	31,382	16,534	21,447	13,499
H7-5	32,680	17,170	19,915	13,593
H12-1	43,287	22,364	30,025	19,176
H12-2	40,525	21,012	27,781	17,805
H12-3	30,544	16,124	20,652	13,059
H12-4	27,118	14,446	14,629	10,669
H12-5	38,813	20,173	30,214	17,768
H12-6	40,073	20,790	27,795	17,661

De acuerdo con los valores de CC y PMP de trabajo, se tiene que el agua total disponible para cada punto de muestreo, son los mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9

Agua útil para cada punto de muestreo de los hoyos en estudio.

Muestra	Agua útil (%)
H6-1	6,199
H6-2	8,740
H6-3	8,303
H6-4	8,779
H6-5	9,221
H6-6	9,302
H7-1	8,813
H7-2	5,948
H7-3	7,143
H7-4	7,948
H7-5	6,321
H12-1	10,849
H12-2	9,976
H12-3	7,593
H12-4	3,960
H12-5	12,446
H12-6	10,133

e. Infiltración

En la Tabla 10 se muestran los valores de infiltración de cada punto de muestreo. Para el hoyo 6 se observa que los valores de infiltración son muy bajos, como era de esperar, pues la textura del suelo en general es fina. La predominancia de textura en este hoyo es de franco arcillosa a arcillosa cuyos valores de infiltración según literatura se encuentran entre 7 y 10 mm/h y 2 a 5 mm/h, respectivamente.

Los valores de las muestras del hoyo 6 cumplen con los rangos mencionados según textura, exceptuando la muestra H6-3 cuya ubicación es en un punto de convergencia de aguas y constante saturación, lo cual se refleja su baja tasa de infiltración de 0,0910 mm/h.

Para el hoyo 7 las texturas predominantes son francas a franco arcillosas, dentro de las cuales las muestras H7-2, H7-4 y H7-5 retornan valores desviados de la textura del suelo,

siendo los valores con tasas de infiltración muy bajas. Lo anterior, al igual que en el caso del hoyo 6 los puntos se encuentran en lugares de convergencia de aguas.

Para el hoyo 12, las muestras H12-3 y H12-6 son las que retornaron tasas de infiltración muy bajas. Estos puntos se encuentran en zona de convergencia de aguas, especialmente el punto H12-3 en el cual se observa una constante saturación del suelo.

Es importante recalcar que las pruebas se realizaron con cierto grado de saturación del suelo, ya que durante el lapso destinado para realizarlas se presentaron precipitaciones.

Por lo que, algunos de los valores de infiltración están fuera del rango característico según la textura del suelo, sin embargo, debido a la predominancia de texturas finas los valores de infiltración son relativamente bajos independientemente de las condiciones en las que se realicen las pruebas de infiltración.

Mediante el mejoramiento de sistema de drenaje se pueden disminuir las zonas de saturación, no obstante, esto aplica únicamente para los hoyos 7 y 12 en donde se propuso la implementación de sistemas de drenaje en determinados puntos.

Tabla 10

Valores de infiltración para los puntos de muestreo de los hoyos en estudio.

Prueba	Infiltración (mm/h)
H6-1	7,8506
H6-2	6,7633
H6-3	0,0910
H6-4	8,2878
H6-5	6,8062
H6-6	3,0605
H7-1	10,9388
H7-2	2,0668
H7-3	8,2994
H7-4	3,4797
H7-5	1,4240
H12-1	4,6424
H12-2	2,8319
H12-3	0,2004
H12-4	3,3942
H12-5	0,4656
H12-6	0,0329

5.7 Evapotranspiración

La evapotranspiración calculada [ETc] diaria de Cabo Velas, Guanacaste considerando los años desde 2009 hasta el 2020 calculada con el método de Thorthwaite, se muestra en la Tabla 11.

Se observa que los meses con mayor ETc corresponden a marzo y abril. El mes de abril posee el valor más alto con una ETc de 6,127 mm/h cuyo valor de utilizará en cálculos posteriores ya que se considera como un mes crítico.

Tabla 11

Evapotranspiración en mm/día de la zona de Cabo Velas, Guanacaste.

Mes	T med prom mensual (°C)	T med prom anual (°C)	I	a	k	ETc (mm/día)
Enero	26,704	25,319	139,882	3,457	0,98	4,888
Febrero	26,975	25,319	139,882	3,457	0,91	4,699
Marzo	27,332	25,057	137,696	3,376	1,03	5,559
Abril	28,099	25,330	139,973	3,461	1,03	6,127
Mayo	27,667	25,349	140,129	3,467	1,08	6,090
Junio	27,186	25,564	141,939	3,536	1,06	5,626
Julio	27,265	25,913	144,882	3,651	1,08	5,793
Agosto	27,162	25,714	143,198	3,585	1,07	5,662
Septiembre	26,756	25,421	140,737	3,490	1,02	5,120
Octubre	26,446	25,420	140,723	3,489	1,02	4,916
Noviembre	26,615	25,642	142,590	3,561	0,98	4,823
Diciembre	26,680	25,812	144,024	3,617	0,99	4,910

5.8 Caracterización del sistema de riego

El sistema de riego que abastece el sistema se encuentra operado por el sistema de control Rainbird Freedom NB y el programa Stratus II Versión 8, ambos de la marca Rainbird.

El sistema es irrigado por aspersores emergentes de las series 700, 751, 900 y 950 de Rainbird; de los cuales las series 700 y 751 se encuentran descontinuados en el mercado y en caso de que algún aspersor de esa serie necesite reemplazo, se sustituye por uno de la serie 752.

En la Tabla 12 se muestran los modelos de aspersores presentes a lo largo del campo, junto con el radio de riego y el caudal dado (en el Anexo 3 y 4 se amplían las especificaciones de estos). Para los hoyos 6, 7 y 12 los aspersores en estudio corresponden a las series 900E70-52, 950E70-24, 700E70-36 y 751E70-36.

Tabla 12

Características de los aspersores Rainbird serie 700, 751, 900 y 950.

Aspersor	Boquillas	Alcance (m)	Caudal (m³/h)
900E70-52	900 Anaranjada-52	22	9,438
950E70-24	950 Amarilla-24	22	9,132
700E70-36	700 Amarilla-36	18	7,501
751E70-36	751 Amarilla-36	18	6,164
751E70-32	751 Azul-32	15	5,455
751E70-22	751 Negra-22	12	2,782

La cantidad de aspersores considerada para el hoyo 6 es de 73 aspersores, para el hoyo 7 es 98 aspersores y para el hoyo 12, 66 aspersores. La apertura y cierre de los mismos se da por medio de la creación de patrones en el programa Stratus II. Cada aspersor funciona de forma independiente, por lo que su apertura y cierre se calibra tomando en cuenta parámetros como: ubicación del aspersor, máxima demanda por lateral, máxima demanda por hoyo y orden de irrigación.

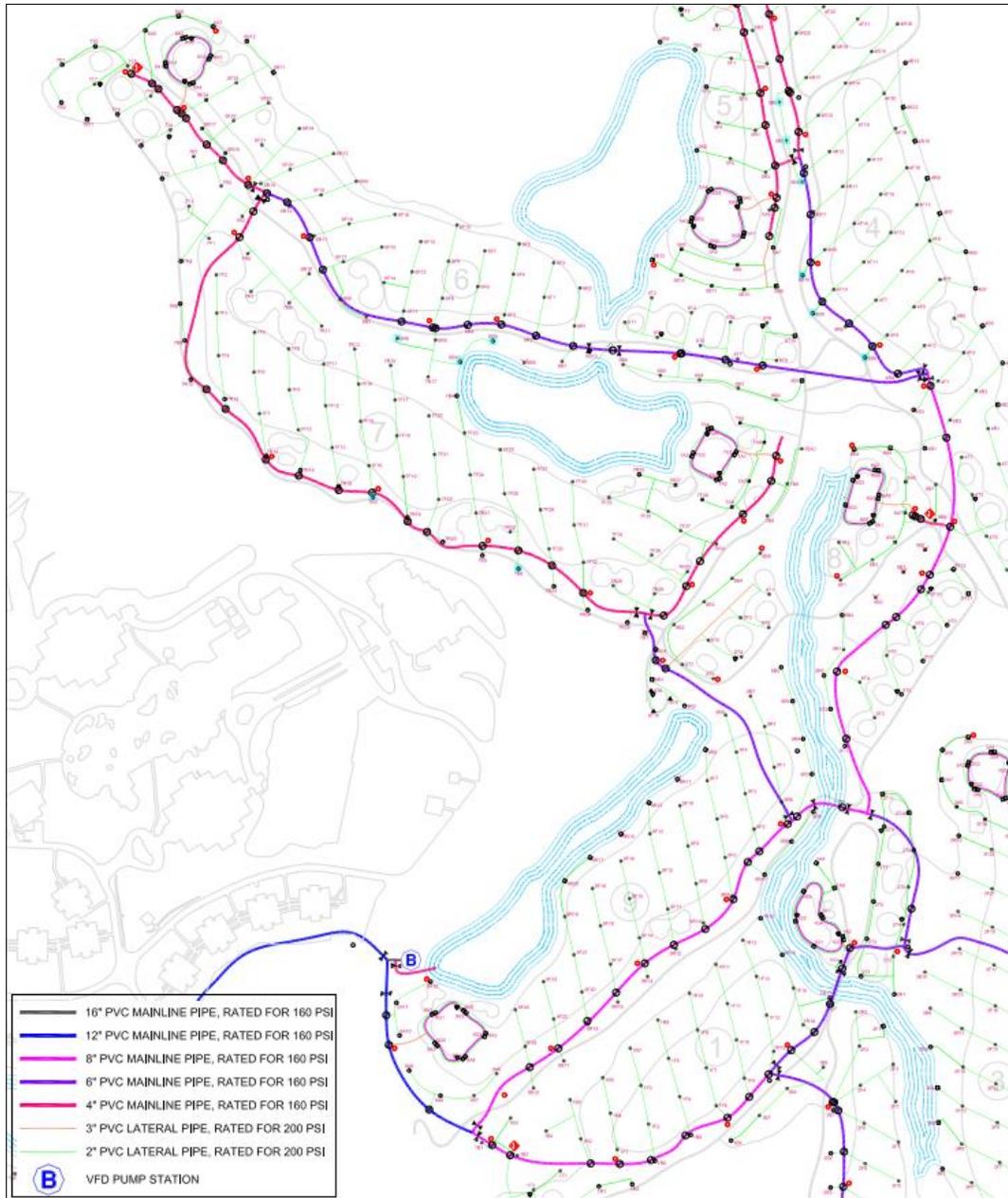
La red hidráulica cuenta con tuberías PVC de diámetros 2", 3", 4", 6" 8", 12" y 16" y válvulas de: acople rápido, cierre de tubería principal, drenaje, aire y válvulas de laterales.

En la Figura 32 y 33 se muestran los diversos caminos que puede tomar el caudal desde la estación de bombeo para poder suplir a los hoyos en estudio, esto debido a la presencia de anillos de tubería que involucran el paso del flujo por otros hoyos.

Para el hoyo 6 la conducción de agua desde la estación de bombeo puede darse a través del anillo que involucra los hoyos 1, 8 y 9. Otra forma es rodeando el hoyo 9 y luego el hoyo 7 hasta llegar al hoyo 6, otras formas pueden ser hoyo 9-8-6, hoyo 1-7-6, o bien, hoyo 1-8-6. Combinaciones similares buscan abastecer el hoyo 7 como por ejemplo hoyo 9-7, hoyo 9-8-6-7, hoyo 1-8-6-7 y hoyo 1-7.

Figura 32

Anillos de tubería que abastecen los hoyos 6 y 7.



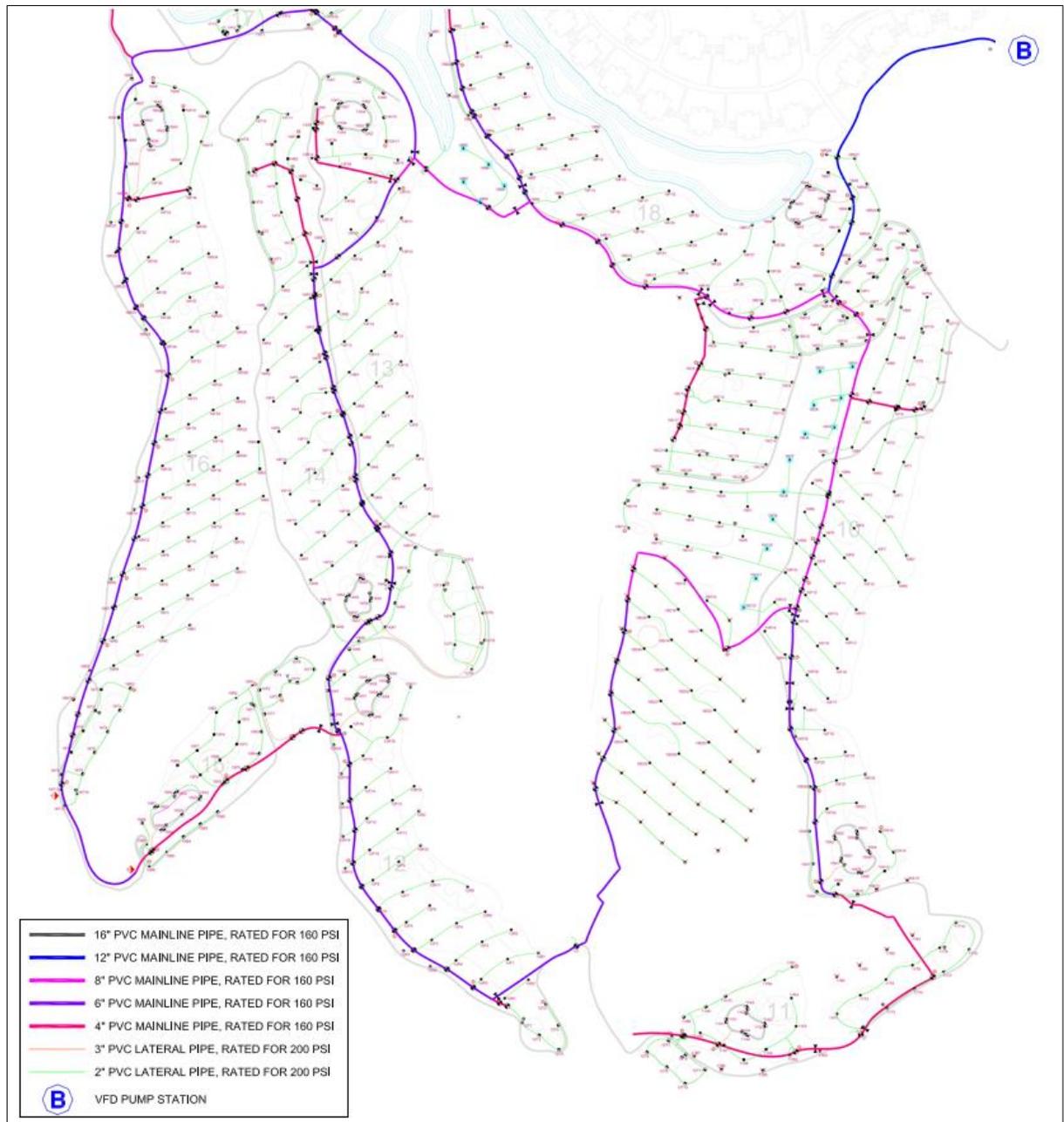
Nota. Modificado del plano hidráulico Front 9 (Hoyos 1-9). Los diámetros internos corresponden a 16" (388,6 mm), 12" (299,0 mm), 8" (202,2 mm), 6" (155,3 mm), 4" (105,5 mm), 3" (82,0 mm), 2" (55,37 mm).

Para el caso del hoyo 12 ubicado en la segunda mitad del campo de golf se tiene una situación similar en la que el agua puede tomar diversos caminos para abastecer el hoyo en estudio, pues al igual que el hoyo 6 y 7 hay un anillo de tubería. En la Figura 33 se observa que el camino que puede tomar el agua desde la estación de bombeo hasta el hoyo 12 pueden ser hoyo 10-Driving range-12 (el Driving range es la zona ubicada al lado izquierdo del hoyo 10) u hoyo 18-14-12.

El abastecimiento hídrico del *tees* alto, se excluye de lo mencionando anteriormente, ya que este es abastecido por la tubería proveniente del hoyo 11.

Figura 33

Anillos de tubería que abastecen al hoyo 12.



Nota. Modificado del plano hidráulico Back 9 (Hoyos 10-18). Los diámetros internos corresponden a 16" (388,6 mm), 12" (299,0 mm), 8" (202,2 mm), 6" (155,3 mm), 4" (105,5 mm), 3" (82,0 mm), 2" (55,37 mm).

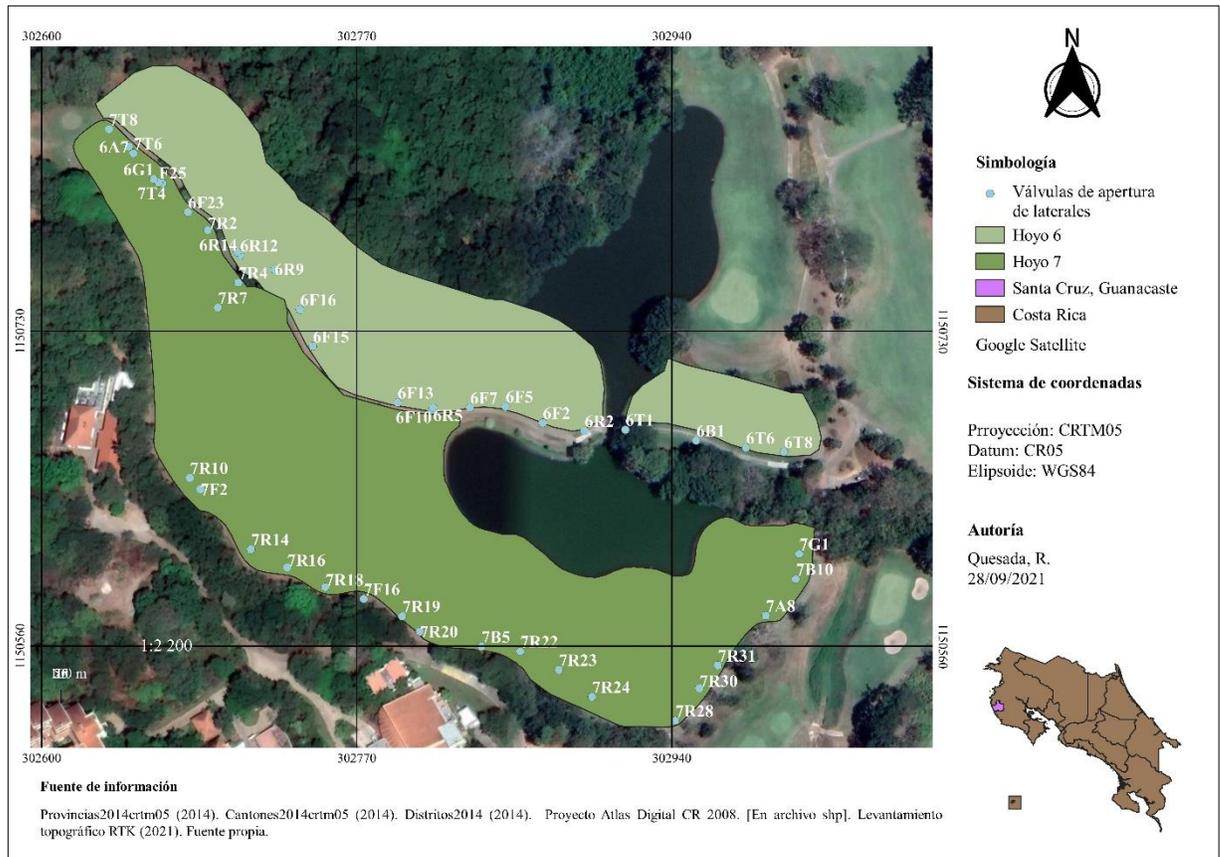
En los planos hidráulicos anexos al documento se puede ver con más detalle la distribución de las válvulas, aspersores y tuberías.

a. Ubicación de las válvulas de apertura de laterales

La ubicación de las válvulas que dan apertura a los laterales de riego de los hoyos 6 y 7 se muestra en la Figura 34, el hoyo 6 posee 20 válvulas de apertura y el hoyo 7 posee 24 válvulas. La simbología presentada corresponde al área dentro del campo de golf a la que da apertura, siendo: R para *rough*, F para *fairway*, T para *tees*, G para *green*, B para *buffer* y A para *approach*.

Figura 34

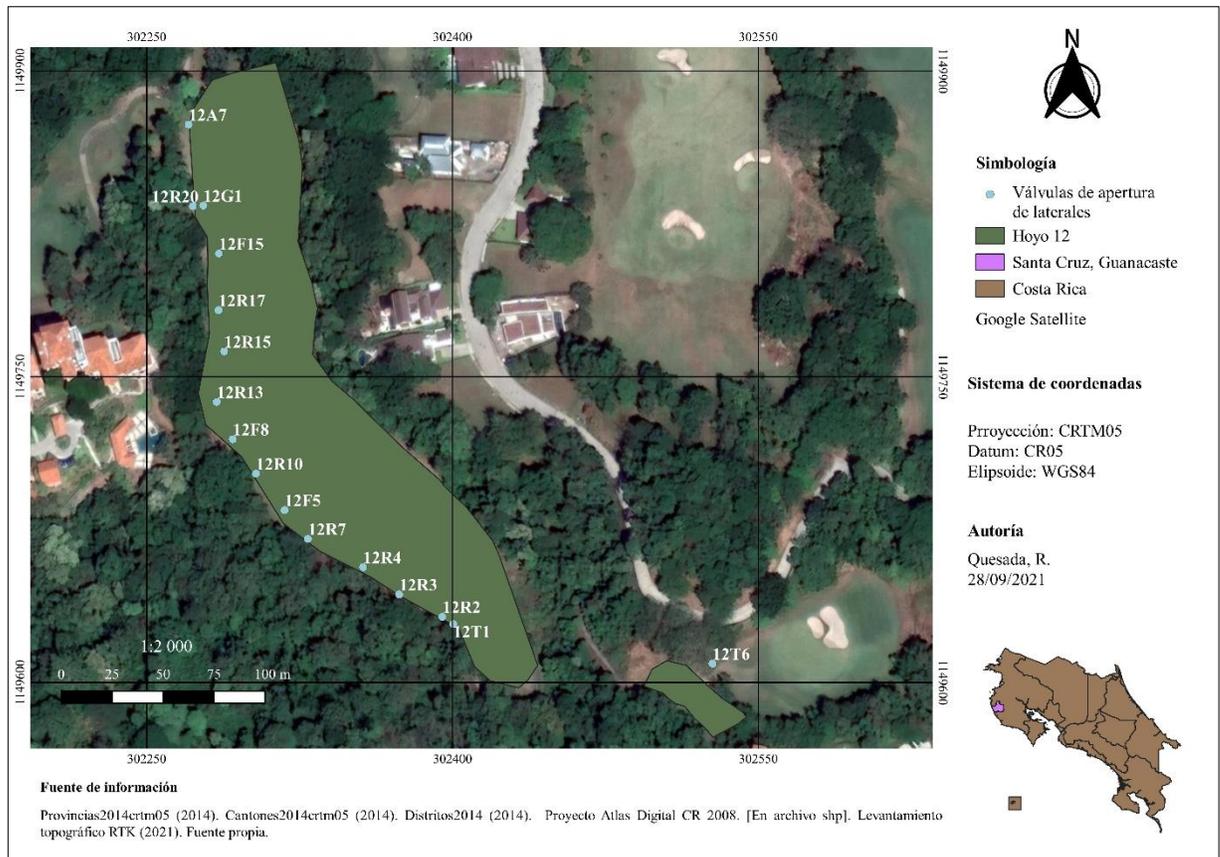
Ubicación de las válvulas de apertura de laterales, hoyos 6 y 7 del Campo de Golf de Reserva Conchal.



De igual forma, en la Figura 35 se muestran las 15 válvulas de apertura de laterales del hoyo 12.

Figura 35

Ubicación de las válvulas de apertura de laterales, hoyo 12 del Campo de Golf de Reserva Conchal.



En la Figura 36 se observa la ubicación de los hoyos con sus respectivas válvulas junto con la ubicación de la estación de bombeo. En esta se observa que el lugar más alejado corresponde a la parte alta del hoyo 12 y parte alta que comparten el hoyo 6 y 7.

Figura 36

Ubicación de la estación de bombeo en el Campo de Golf de Reserva Conchal, Guanacaste.



En el Anexo 5 se muestran las elevaciones de cada una de las válvulas y la estación de bombeo, dichos datos serán necesarios para la modelación hidráulica de la tubería principal en el programa EPANET.

b. Presión estática y dinámica

En la Tabla 13 se muestra la presión estática y dinámica de los hoyos en estudio, la cual debe ser mínimo de 49,28 mca cuya presión corresponde a la presión de operación del aspersor, esto para asegurar que el aspersor emerja.

Como se puede observar la presión crece a medida que se acerca a los puntos bajos de los hoyos, siendo el *tees* el punto bajo para el hoyo 6, el *green* para el hoyo 7 y el *green* para el hoyo 12. Durante la medición de presión se observó salida de aire en los puntos de mayor elevación.

Tabla 13

Presión estática y dinámica en el green y tees de los hoyos 6, 7 y 12.

Hoyo	Presión estática (mca)		Presión dinámica (mca)	
	<i>Tee</i>	<i>Green</i>	<i>Tee</i>	<i>Green</i>
Hoyo 6	70,4	57,73*	77,44	63,36
Hoyo 7	64,76*	70,40	70,40	70,40
Hoyo 12	40,83* y 56,32*	64,77	42,24* y 56,32*	63,36

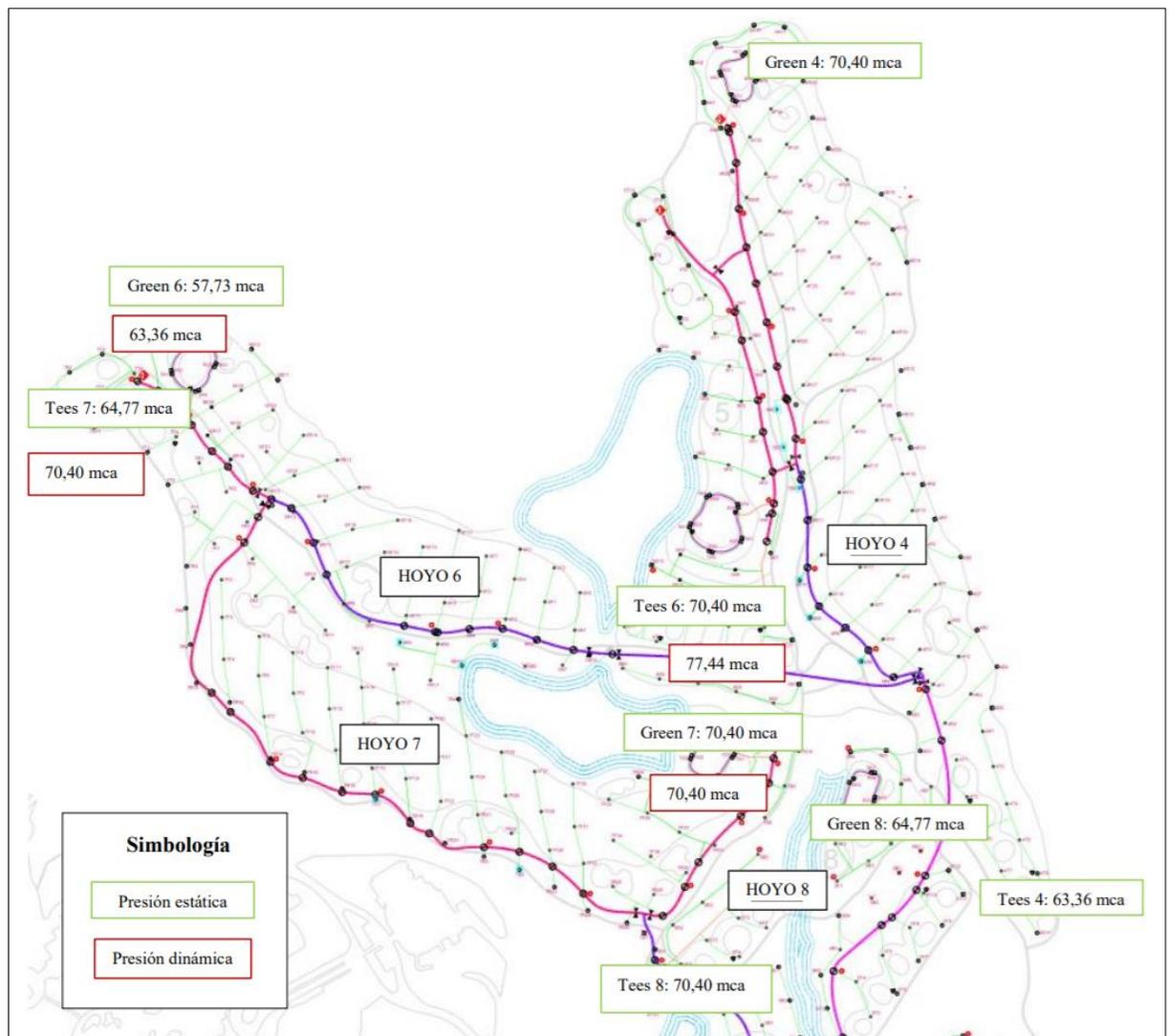
Nota. En los puntos señalados con (*) se observó salida de aire durante la medición. Los valores del hoyo 12 corresponden al *tees* altos y *tees* bajos, respectivamente.

La presión estática se puede tomar como la presión máxima que tendrá el sistema, sin embargo, al observar los datos de la Tabla 14 se puede notar que en la mayoría de los casos la presión estática es igual o menor al valor de la presión dinámica. Los datos no obedecen la regla y las discrepancias pueden darse debido a la presencia de aire en la tubería, evidenciada mediante la explosividad y discontinuidad de la salida del agua durante la medición. Al no haber un flujo continuo los valores de presión estática del sistema son irreales.

En la Figura 37 se muestra un esquema del comportamiento de la presión de los hoyos 6 y 7 tanto estática como dinámica junto con la presión estática de algunos hoyos aledaños donde se observa que, en todos los casos, la presión es la adecuada para asegurar la apertura del aspersor.

Figura 37

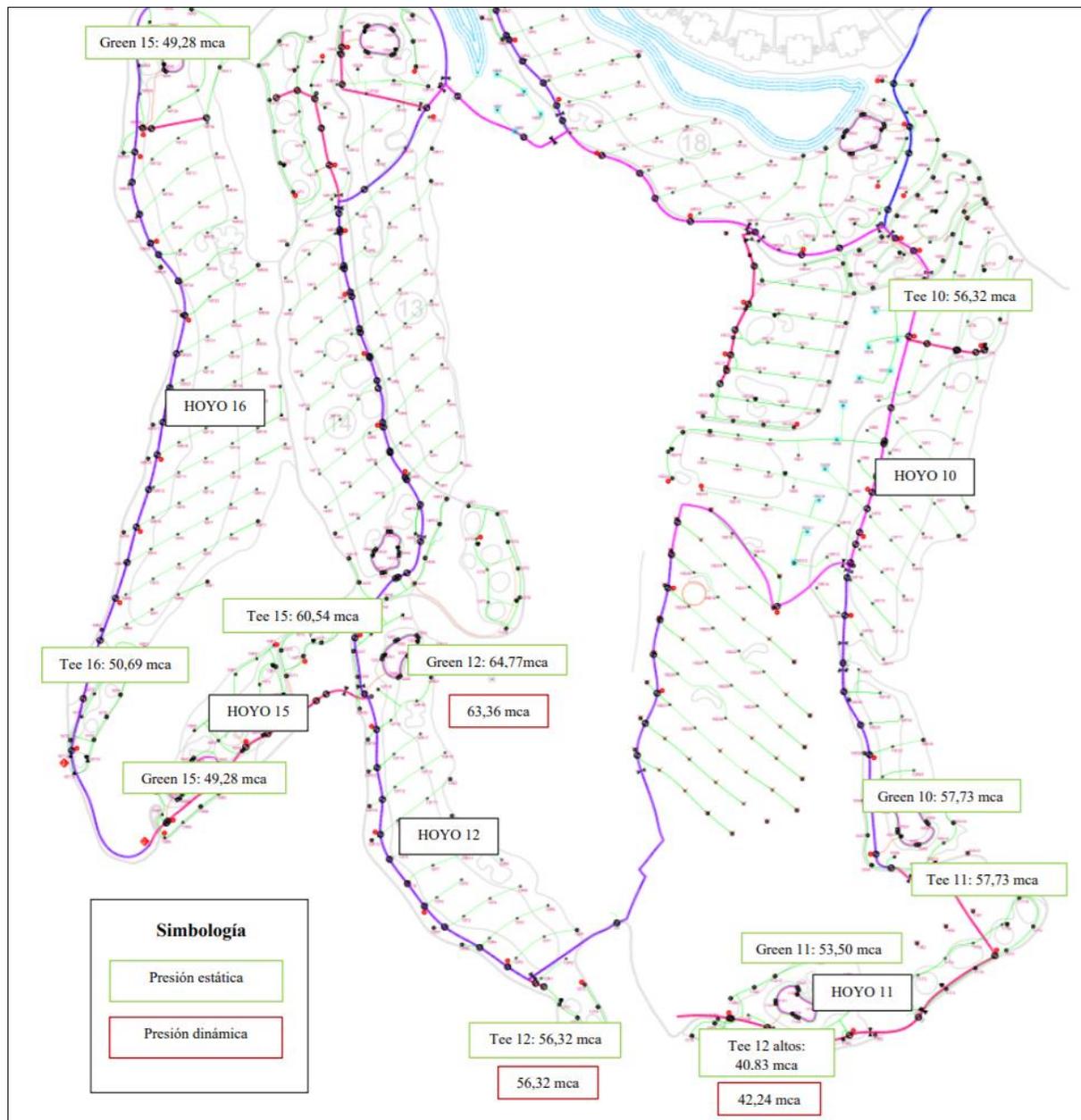
Comportamiento de la presión estática y dinámica de los hoyos 6 y 7 y presión estática de algunos hoyos aledaños.



En la Figura 38 se muestran las presiones del hoyo 12 y presiones estáticas de algunos hoyos aledaños, en donde todas cumplen con la presión de operación de los aspersores.

Figura 38

Comportamiento de la presión estática y dinámica de los hoyos 6 y 7 y presión estática de algunos hoyos aledaños.



5.9 Modelación hidráulica de la tubería principal

Los parámetros de entrada para la modelación hidráulica en EPANET corresponden a las elevaciones de las válvulas laterales mostradas en el Anexo 5 y los caudales de operación de 3 aspersores por válvula y 3 válvulas por hoyo durante un tiempo de riego de 22 minutos; según la programación actual del sistema de control Stratus II. Siendo así el caudal por válvula de 19,91 m³/h y el caudal por hoyo de 70,919 m³/h, ambos bajo operación simultánea.

Con base en las reglas anteriores, los patrones de apertura y cierre de las válvulas son como se muestran en la Tabla 14, donde se obtienen 8 patrones de modelación con intervalos de 1 hora cada uno, para un total de 9 horas de modelación hidráulica (se debe recordar que el programa posee un desfase con las horas y la modelación de los patrones, es por ello que son 9 horas y no 8 horas) con cierre de la bomba a partir de la hora 9:00 para evitar una caída de presión luego de la irrigación de los hoyos en estudio. A pesar de que el tiempo de riego real es de 22 minutos, los patrones se mantienen en lapsos de 1 hora con fines únicamente de practicidad durante la modelación.

Los patrones están diseñados cumpliendo (en la medida de lo posible) una apertura de válvula en la parte alta del hoyo, media y baja con la finalidad de observar el comportamiento de presiones en los tres puntos y en las válvulas más alejadas de la bomba (puntos críticos), velocidades y rutas de llegada de caudal hacia los hoyos demandantes.

Tabla 14

Patrones de apertura de válvulas para la modelación hidráulica de la tubería principal, EPANET.

Patrón	Válvulas hoyo 6	Válvulas hoyo 7	Válvulas hoyo 12
Patrón 1	6T8-6F13	7F2-7B5-7B10	12R10-12A7
Patrón 2	6B1-6F15-6R14	7R20-7G1-7R7	12R7-12F15-12T6
Patrón 3	6T1-6F16-6F25	7R2-7R19-7R30	12R2-12R17-12F8
Patrón 4	6T6-6F7	7R4-7R14-7R28	12T6
Patrón 5	6R2-6F10-6F23	7T8-7R22-7R31	12G1-12R4
Patrón 6	6F2-6R12	7T4-7R23-7A8	12R3
Patrón 7	6F5-6R5-6R9	7T6-7R18-7R24	12F5-12R15
Patrón 8	6A7-6G1	7R16-7F16-7R10	12R13-12T1

La curva característica de la bomba obedece los puntos de operación mostrados en la Tabla 15. La bomba en condiciones reales opera a presión constante de 73,92 mca y caudal variable, sin embargo, el programa EPANET no responde a una curva característica con presión constante, por lo que se hicieron pequeños ajustes de presión para cumplir con lo requerido por el programa.

El comportamiento caudal en la curva toma los valores de 1,364 m³/h y 8,183 m³/h como el accionamiento de la *bomba jockey* cuya función es evitar la caída de presión en el sistema o bien, darle al sistema cierto grado de presión antes de accionar la bomba principal. El resto de los valores corresponden al caudal normal de entrega de la bomba.

La elevación a la que se encuentra la estación de bombeo es de 9,072 msnm.

Tabla 15

Curva característica de la bomba para la modelación hidráulica en EPANET.

CDT (mca)	Q (m ³ /h)
73,92	1,364
72,92	8,183
71,92	54,553
70,92	81,830
69,92	109,106
68,92	136,383
67,92	163,660
66,88	190,936
63,36	218,213
59,84	245,489

Con base en la introducción de estos parámetros y la modelación aplicada se observan problemas de presión en el momento de demanda de caudal en las válvulas 6G1,7T6, 7T8, 12R2, 12R3, 12R4, 12R7, 12T1 y 12T6; todas ubicadas en los puntos altos de cada hoyo. El hoyo 12 presenta mayores problemas de presión especialmente en toda su parte alta además de ser el sitio en análisis más alejado de la estación de bombeo (reparar Figura 38).

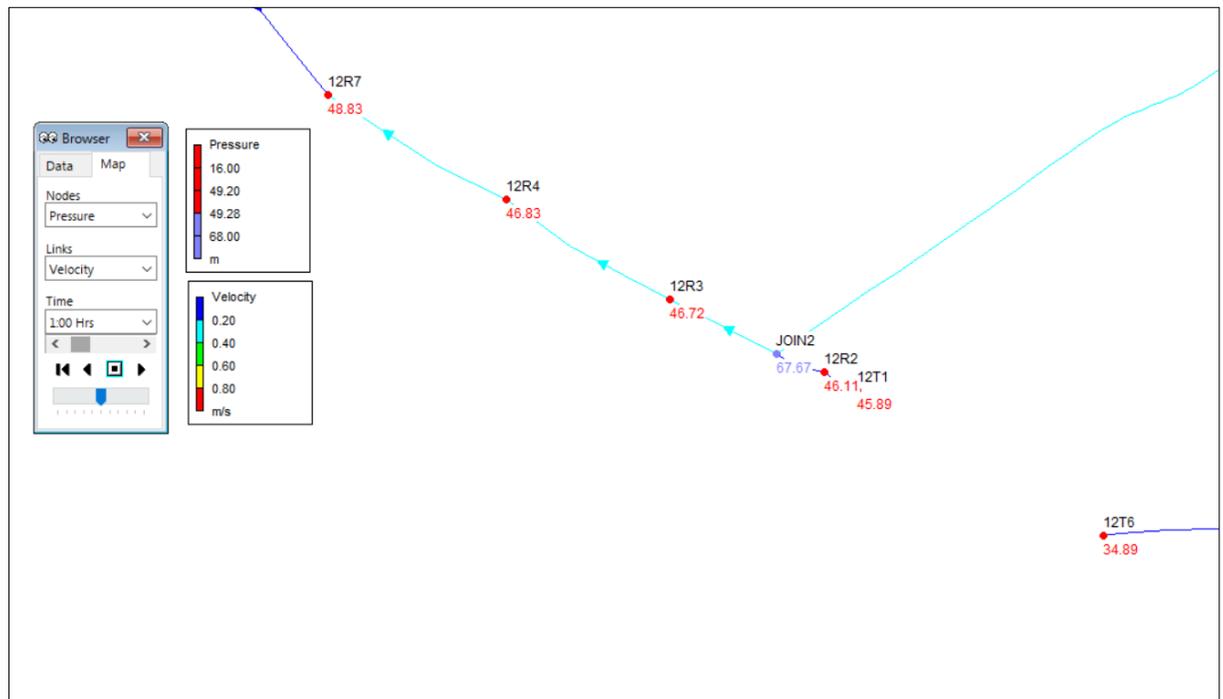
Existe un caso particular con la válvula 12T6 cuya elevación es de 42,044 msnm pues considerando que la bomba puede suplir 73,49 mca de presión como máximo, se encuentra a una elevación de 9,072 msnm y la presión de operación del aspersor es de 49,28 mca se tiene

que para poder suplir la presión adecuada a esta válvula se requieren de al menos 82,252 mca de presión por parte de la bomba, lo cual no es posible pues se sale de su rango de operación (Ver Figura 39).

Sin embargo, ante esta diferencia de elevaciones las válvulas que se encuentran con cotas alrededor de 30-33 msnm comienzan a presentar problemas de presión, ya que corresponde a la cota máxima a la cual la bomba puede suplir la presión de operación del aspersor; tal es el caso de las válvulas 12T1, 12R2, 12R3 y 12R4 cuya elevación ronda los 30 msnm (ver Anexo 5).

Figura 39

Modelación de EPANET en el Patrón 2, puntos críticos en las válvulas 12R7 y 12T6.



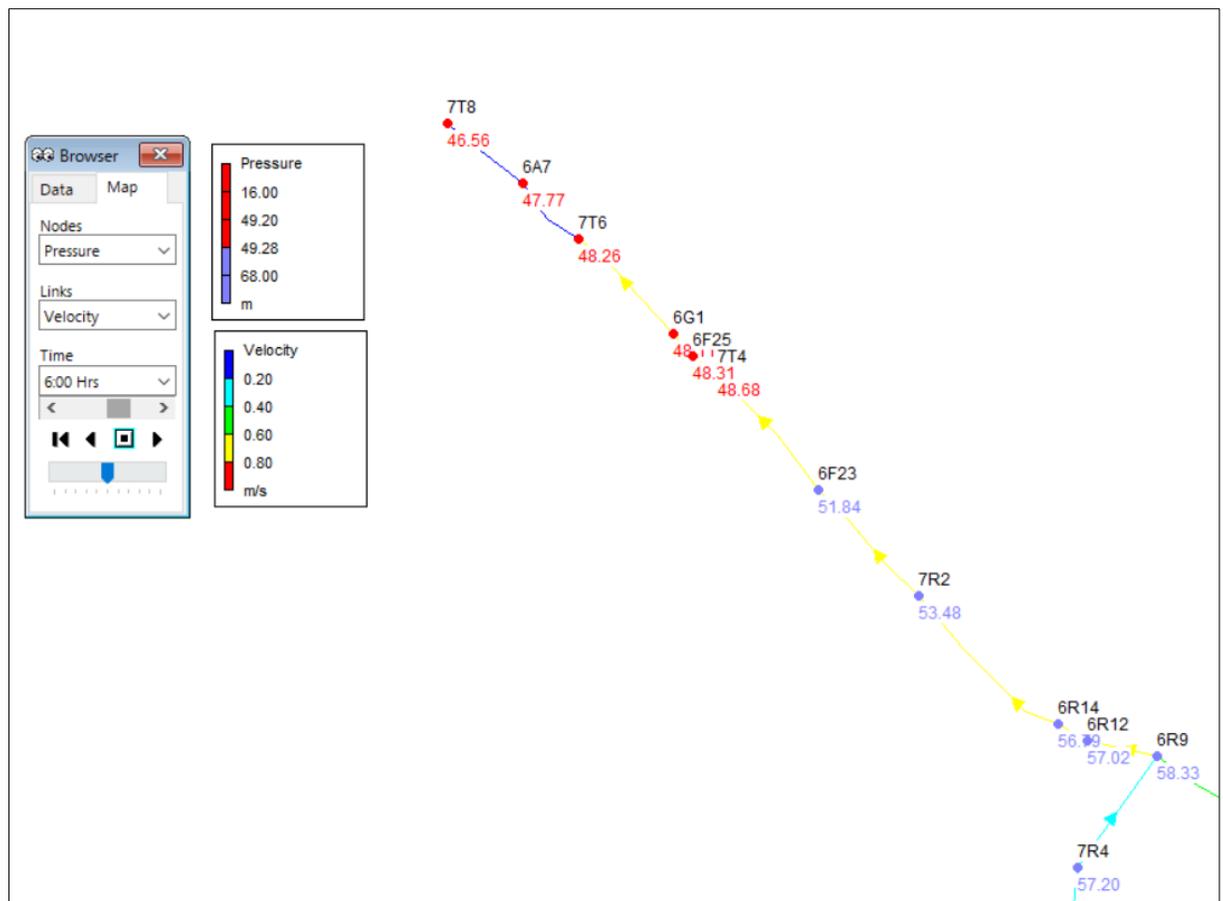
Nota. EPANET posee un desfase en la modelación de los patrones, es decir, el Patrón 1 se modela en la hora 0:00, el Patrón 2 en la hora 1:00 y así sucesivamente.

Por otro lado, las válvulas 6G1, 7T6 y 7T8 corresponden al segundo sitio más alejado de todo el sistema en análisis (reparar Figura 36) por lo que la deficiencia de presión en ellas no corresponde a una diferencia de altura pues sus cotas son 25,385 msnm, 25,176 msnm y

26,881 msnm respectivamente, estando fuera del rango de cotas crítico mencionado anteriormente (30-33 msnm). Por lo que, su deficiencia de presión se da por lejanía de la estación de bombeo; ya que el flujo al tener que recorrer una mayor distancia, las pérdidas son mayores, provocando que el flujo pierda presión conforme se vaya alejando de la estación de bombeo (ver Figura 40).

Figura 40

Modelación de EPANET en el Patrón 5, punto crítico en la válvula 7T8.



Nota. Las válvulas 6G1, 7T6 y 7T8 no alcanzaron la presión requerida durante la mayor parte de la modelación.

Comparando los valores de presiones retornados por la modelación y los medidos en campo mostrados en la Tabla 14, se observa que en los *tees* del hoyo 12 la deficiencia de

presión se da también por salida de aire, al igual que con las válvulas críticas del hoyo 6 y 7 las cuales se encuentran en el *green* y *tee* de cada hoyo, respectivamente. Los valores de presión estática y dinámica podrían estar alterados por la presencia de aire en la tubería, dichas alteraciones se afirman mediante la modelación, ya que las presiones dinámicas observadas durante la modelación se encuentran por debajo de los valores medidos en campo.

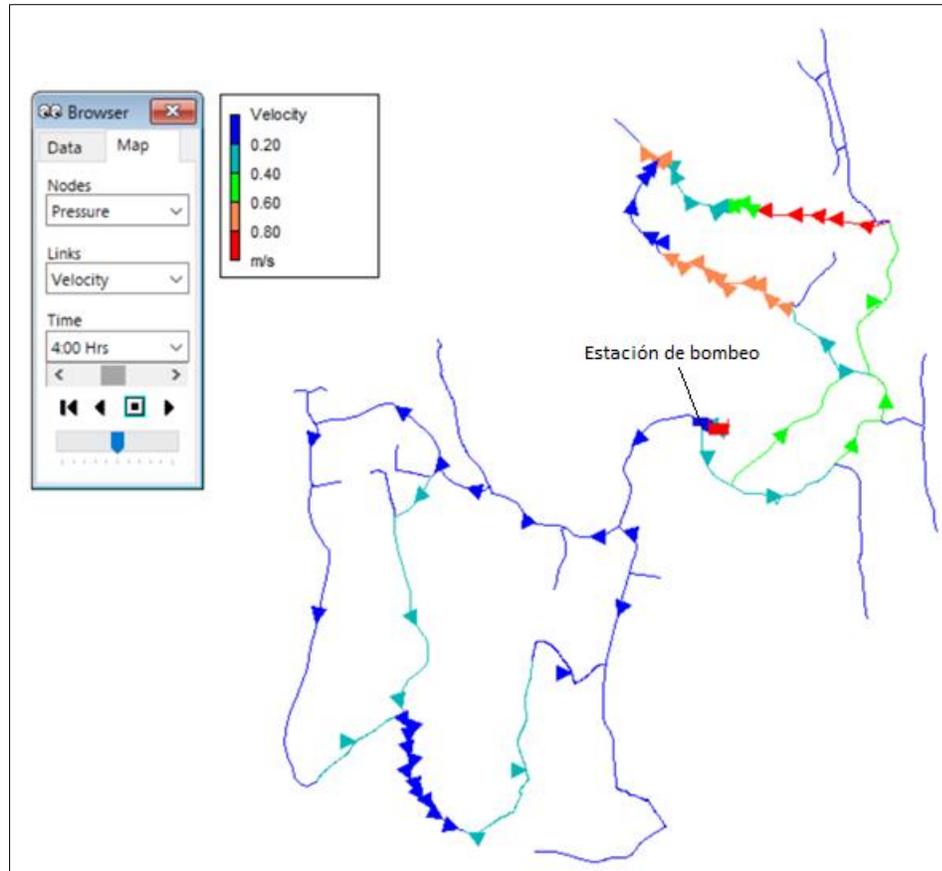
En la caracterización del sistema de riego se observa que el caudal puede tomar distintas direcciones para abastecer los hoyos en estudio. Durante la modelación se observa que desde la estación de bombeo hasta los hoyos 6 y 7 el agua siempre pasa por el anillo de tubería que rodea al hoyo 1 (reparar Figura 32), tomando en consideración las pérdidas se sabe que el agua tomará prioritariamente el camino que le genere menores pérdidas y con mayor diámetro, en este caso sería la tubería entre el hoyo 1 y hoyo 9 cuyo diámetro es de 202,2 mm (tubería señalada en el mapa con color rosado) y posteriormente, seguirá el camino de la tubería que le genera mayores pérdidas y la cual posee un menor diámetro de 155,3 mm (tubería señalada en el mapa con color morado).

Para el abastecimiento del hoyo 12 se observa que el agua llega tanto por la zona baja como por la zona alta del hoyo, ya que por cuestión de diámetros (independientemente de la dirección que tome el flujo) las condiciones son las mismas. Ya sea el ingreso del flujo por la parte alta o baja del hoyo, en cierto punto se evidencia una reducción de diámetros de 202,2 mm a 155,3 mm.

En la Figura 41 se muestra la ruta de abastecimiento de los hoyos en estudio y su paso por los anillos de tubería.

Figura 41

Ruta del caudal desde la estación de bombeo para abastecimiento d ellos hoyos 6, 7 y 12.



Nota. Durante toda la modelación predomina la ruta de caudal que aparece en la imagen.

Finalmente, las velocidades en las tuberías mantienen en un máximo en 0,80 m/s según se muestra en la simbología de la figura anterior, siendo 1,5 m/s el máximo permitido para evitar velocidades erosivas (Conellan, 2013).

5.10 Prueba de uniformidad de aplicación

La elección de los lugares muestreados considera sitios con elevaciones alta, media y baja. Se omitió el área del *green* como sitio de muestreo ya que durante el lapso destinado para realizar la prueba de uniformidad simultáneamente se estaba realizando la aireación en los *greens* de todo el campo, lo cual imposibilita el tránsito y la apertura de los aspersores en ellos. Lo anterior, obliga a tomar un sitio de muestreo cercano al *green*.

En la Figura 42 se muestra la ubicación de los sitios de muestreo elegidos para el hoyo 6 y 7. En la Tabla 17 se especifican los aspersores de cada sitio y sus características en cuanto a alcance, boquillas, caudal entregado, intensidad de aplicación y el volumen esperado para el espaciamiento de los sitios de muestreo. También se muestra cuales sitios poseen igualdad de modelo de aspersor (sitio esperado) y cuales sitios poseen aspersores de distintos modelos (sitio transición).

Es importante recalcar que previo a la realización de las pruebas se verificó en campo que el espaciamiento entre los aspersores sea el recomendado según la ficha técnica del aspersor con ello, se notó que los espaciamientos no eran exactos, por lo que en lugar de tener una cuadrícula de muestreo se tenían arreglos tipo romboide. Esto implica que el acomodo de los envases para recolección de la lámina fuese el que mejor se acomodara dentro del área que irrigan los aspersores.

Figura 42

Sitios de muestreo para la prueba de uniformidad de riego, hoyos 6 y 7.

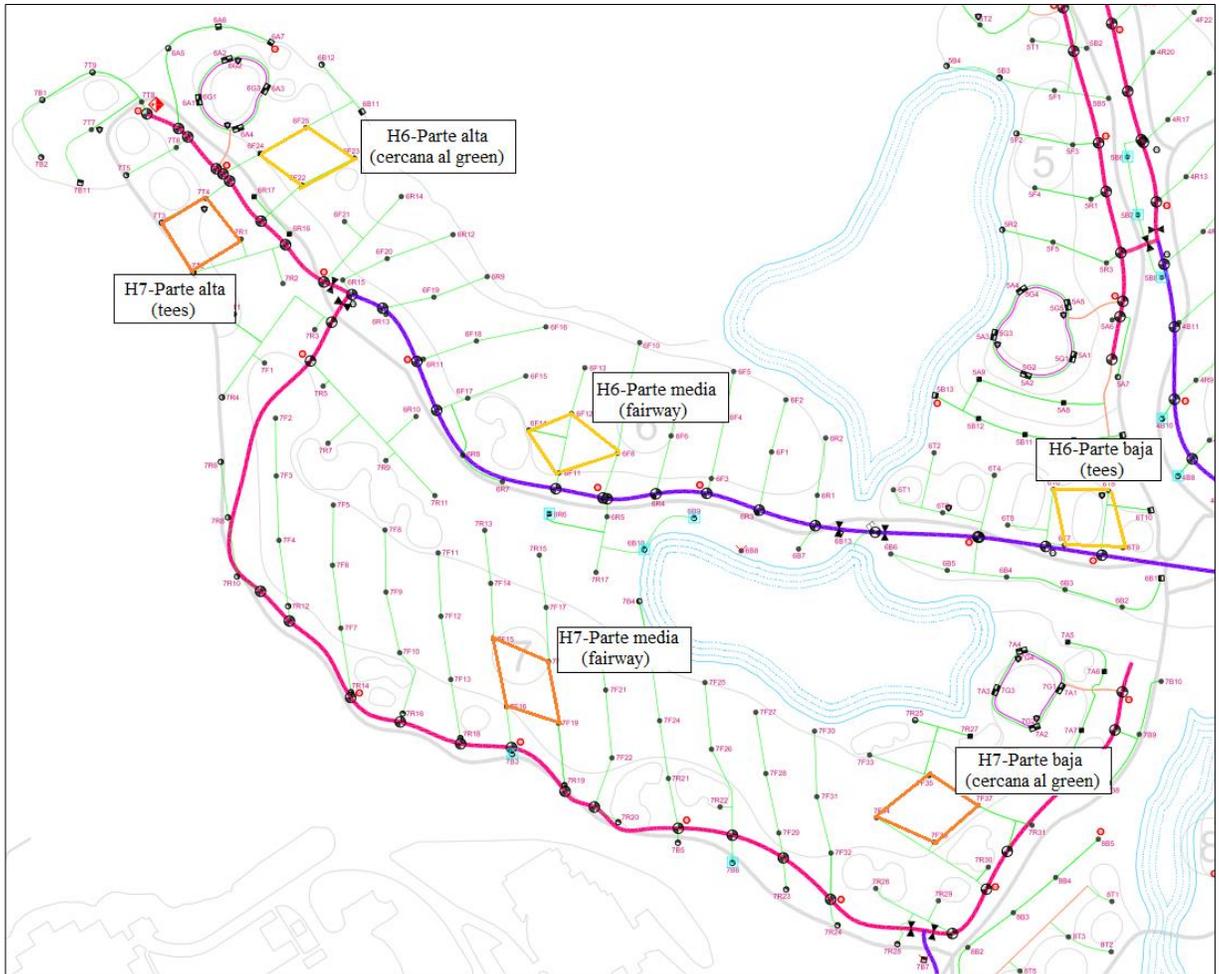


Tabla 16*Aspersores y especificaciones de los sitios de muestreo, hoyos 6 y 7.*

HOYO 6								
	Sitio	Aspersor	Modelo aspersor	Ángulo	Boquilla	Alcance (m)	Caudal (m³/h)	Pluviometría (mm/h)
Parte alta (cercana al green)	Transición	6F22	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6F23	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6F24	700E70-36	Completo	700 Amarilla-36	18	7,501	26,734
		6F25	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
Parte media (fairway)	Esperado	6F12	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6F11	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6F14	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6F8	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
Parte baja (tees)	Esperado	6T8	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6T9	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6T6	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		6T7	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
HOYO 7								
Parte alta (tees)	Esperado	7T3	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7T4	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7T2	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7R1	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
Parte media (fairway)	Esperado	7F16	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7F15	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7F19	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7F18	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
Parte baja (cercana al green)	Transición	7F35	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7F37	700E70-36	Completo	700 Amarilla-36	18	7,501	26,734
		7F34	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		7F36	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517

En la Figura 43 se muestran los sitios de muestreo del hoyo 12 y en la Tabla 18 sus especificaciones.

Figura 43

Sitios de muestreo para la prueba de uniformidad de riego, hoyo 12.

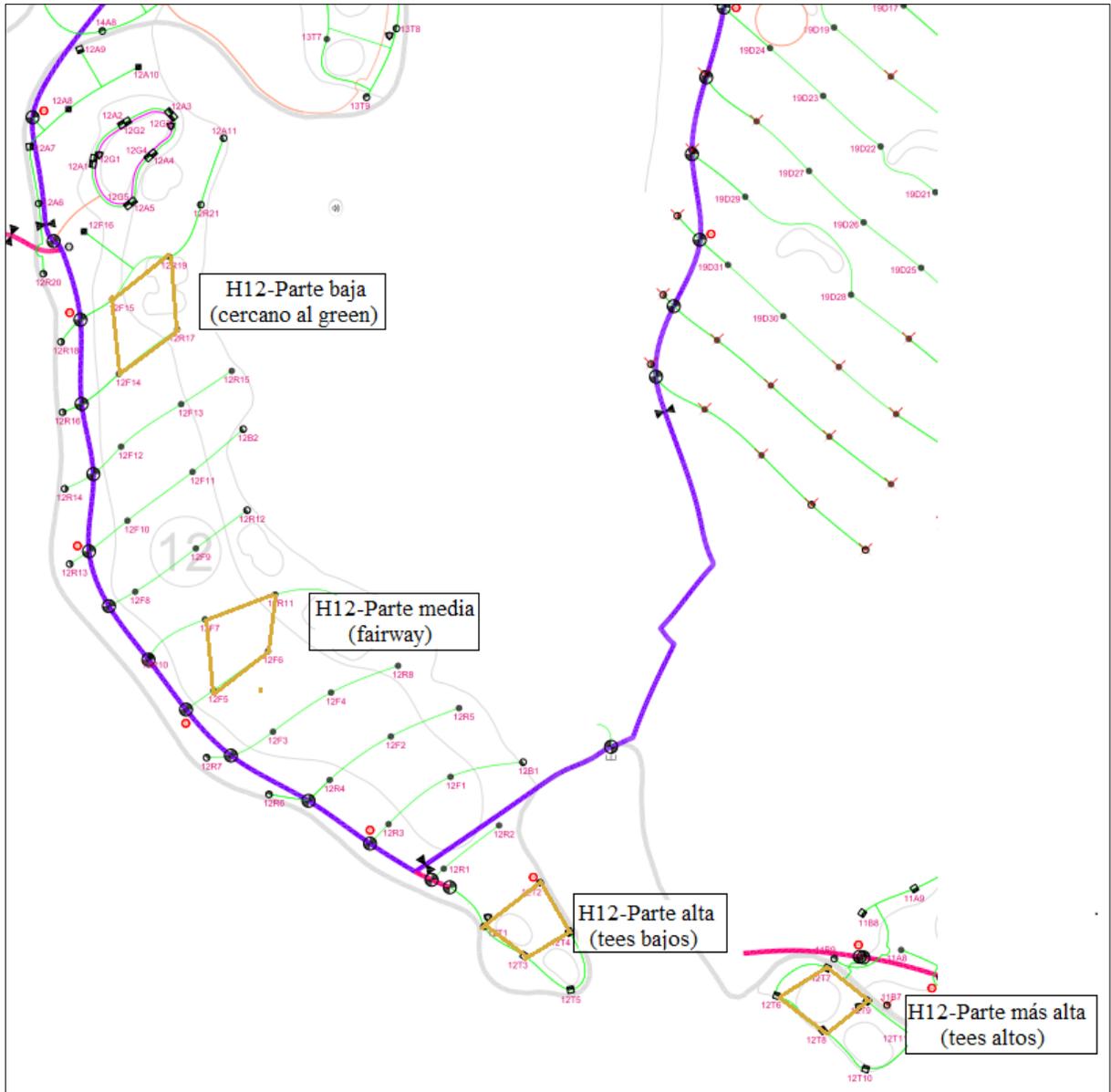


Tabla 17*Aspersores y especificaciones de los sitios de muestreo, hoyo 12.*

HOYO 12								
	Sitio	Aspersor	Modelo aspersor	Ángulo	Boquilla	Alcance (m)	Caudal (m ³ /h)	Pluviometría (mm/h)
Parte más alta (tees altos)	Esperado	12T6	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
		12T7	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
		12T8	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
		12T9	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
Parte alta (tees bajos)	Transición	12T1	950E70-24	Parcial	950 Amarilla-24	22	9,132	21,788
		12T2	950E70-24	Parcial	950 Amarilla-24	22	9,132	21,788
		12T3	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
		12T4	751E70-36	Parcial	751 Amarilla-36	18	6,165	21,970
Parte media (fairway)	Esperado	12R11	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12F7	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12F5	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12F6	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
Parte baja (cercana al green)	Esperado	12F14	900E70-52	Parcial	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12R17	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12F13	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517
		12F12	900E70-52	Completo	900 Anaranjada-52	22	9,438	22,517

Es importante mencionar que durante la realización de las pruebas en algunos sitios se evidenció escorrentía, choque del radio del aspersor con árboles, choque del radio entre aspersores (aunque fuera del área muestreada), pendientes y viento; aunque este último no fue muy significativo.

La escorrentía se evidenció durante la prueba en la parte baja del hoyo 6 (*tees*), parte alta del hoyo 7 y parte alta del hoyo 12 (*tees altos*), también se observan zonas de saturación (charcos) aunque sin escorrentía en la parte media y baja del hoyo 7. El choque del chorro del aspersor con árboles se evidenció en la parte media del hoyo 6, parte alta y media del hoyo 7 y parte media del hoyo 12. Lo anterior debido a que el aspersor se encuentra regulado con apertura 360° y no 180°.

En la Tabla 19 se muestran los valores porcentuales del coeficiente de uniformidad (Coeficiente de Christiansen) y uniformidad distribuida, donde la mayoría de ellos cumplen con el porcentaje mínimo aceptado de CU el cual es de 80%. Exceptuando el sitio de muestreo de la parte baja del hoyo 6, parte alta del hoyo 7 y parte más alta del hoyo 12; correspondientes a un sitio esperado, transición y esperado, respectivamente, cuyos valores de CU rondan el 70% considerado como regular.

Tabla 18

Valores del coeficiente de uniformidad (CU) y uniformidad distribuida (UD) obtenida para cada sitio de muestreo.

Hoyo	Sitio	Sitio muestreo	CU (%)	UD (%)
Hoyo 6	Transición	Parte alta (cercana al green)	86,33	76,82
	Esperado	Parte media (fairway)	83,64	73,30
	Esperado	Parte baja (tees)	70,81	60,50
Hoyo 7	Transición	Parte alta (tees)	69,74	60,37
	Esperado	Parte media (fairway)	90,14	84,35
	Esperado	Parte baja (cercana al green)	82,00	80,00
Hoyo 12	Esperado	Parte baja (cercana al green)	84,96	86,33
	Esperado	Parte media (fairway)	90,00	80,00
	Transición	Parte alta (tees bajos)	82,58	72,52
	Esperado	Parte más alta (tees altos)	73,39	53,43

Además, no se observa una correlación significativa entre los valores bajos de CU y el hecho de que el sitio sea transición (diferentes aspersores) o sitio esperado (igualdad de aspersores), lo mismo sucede con los valores bajos de CU y los sitios con deficiencia de presión (partes altas del hoyo 6, 7 y 12). Ya que, la parte alta del hoyo 6 arrojó un buen resultado de CU estando fuera de esta relación.

Por otro lado, los valores de UD indican que la cantidad de agua aplicada es relativamente pareja, exceptuando la parte más alta del hoyo 12 (*tees*) donde también se presenta un CU bastante bajo.

El volumen recolectado en cada sitio de muestreo de cada hoyo se muestra en el Anexo 6, 7 y 8.

5.11 Láminas, tiempos y frecuencias de riego

Una vez conocido el comportamiento de la red hidráulica y los valores de CU y DU, se procede a comparar las láminas, tiempos de riego y frecuencias de riego manejadas actualmente y, por otro lado, las características edáficas, climáticas (evapotranspiración) y las especificaciones de los aspersores.

Con respecto a las condiciones de riego actuales, se tiene que tiempo de apertura del aspersor (o tiempo de riego) está diferenciado según el modelo del aspersor, siendo un tiempo de riego de 22 minutos para los aspersores de apertura completa correspondientes los modelos Rainbird serie 700 y 900 y 11 minutos para los aspersores con apertura parcial correspondiente a los modelos Rainbird serie 751 y 950. De igual forma, la frecuencia de riego se encuentra diferenciada por el área del campo a irrigar según lo mostrado en la Tabla 20.

Tabla 19

Frecuencia de riego para cada área del campo de golf.

Área del campo de golf	Frecuencia de riego (días)
<i>Green</i>	1
<i>Tee</i>	2
<i>Fairway y approach</i>	2,3
<i>Buffer y rough</i>	7

Nota. Para efectos de análisis no se considera el área del *green*, pues es un área con prácticas de mantenimiento distintas a las demás. Sin embargo, esta se considera dentro de las frecuencias de riego para resaltar que, entre menor es la frecuencia de riego mayor relevancia tiene el área del campo en el juego.

En la Tabla 21 se tienen una comparativa entre la pluviometría que da el aspersor (según modelo) y la infiltración del suelo (según la textura del suelo) para cada hoyo; este último es un parámetro base ante la elección de un aspersor. Como se observa las texturas del suelo en cada hoyo son muy finas, por ende, su infiltración es baja.

Comparando la tasa de infiltración del suelo con la pluviometría del aspersor, se tiene que esta última es mucho más alta que la tasa de infiltración del suelo lo cual se evidenció en la escorrentía visualizada durante las pruebas de uniformidad de aplicación.

Tabla 20*Comparativa entre la tasa de infiltración del suelo y pluviometría del aspersor.*

Hoyo	Textura	Infiltración (mm/h)	Modelo aspersor	Pluviometría (mm/h)
Hoyo 6	Franco	7,851	751E70-36	21,970
			950E70-24	21,788
	Franco arcilloso	6,763	900E70-52	22,517
			700E70-36	26,734
			751E70-36	21,970
	Arcilloso	3,061	900E70-52	22,517
751E70-36			21,970	
Hoyo 7	Franco	2,067	900E70-52	22,517
			950E70-24	21,788
			700E70-36	26,734
	Franco arcilloso	10,939	751E70-36	21,970
			900E70-52	22,517
			950E70-24	21,788
	Franco limoso	1,424	900E70-52	22,517
			950E70-24	21,788
	Hoyo 12	Franco limoso	3,394	900E70-52
950E70-24				21,788
Franco arcilloso		0,200	900E70-52	22,517
			950E70-24	21,788
			700E70-36	26,734
Arcilloso		0,466	751E70-36	21,970
			900E70-52	22,517
			950E70-24	21,788

Las láminas de riego para cada hoyo se calcularon considerando una profundidad radicular observada de 10 cm, una eficiencia de aplicación de 80% (mínimo sugerido según literatura) y un agotamiento del 50%, este agotamiento también se considera con la finalidad de que el césped no alcance un estrés hídrico significativo. También se utilizó un coeficiente de cultivo [Kc] de 0,7 según literatura de GCSAA, (s.f.) y el valor de E_{tc} crítica de 4,289 mm/día.

Además, para su cálculo se utilizaron los datos obtenidos en la sección de Caracterización del suelo.

En la Tabla 22 se muestran las láminas, frecuencias y tiempos de riego según la textura del suelo, aspersores y su ubicación dentro de cada una de las áreas del campo de golf para el hoyo 6.

Como se observa, las frecuencias de riego obtenidas en son 1 o 1,5 días; una frecuencia de riego similar se maneja actualmente únicamente para el área del *green* y *tees* (ver Tabla 20) por lo que según las características del suelo lo ideal sería mantener frecuencias de riego mucho más bajas. Debido a la disponibilidad hídrica y que la priorización del riego se realiza según las áreas del campo más importantes en el juego, se realizan frecuencias mucho más amplias a las recomendadas según las características edáficas; lo anterior se traduce en que se tienen agotamientos mayores al 50% provocando en el césped un estrés hídrico.

Con respecto a los tiempos de riego, estos difieren mucho a los trabajados actualmente ya que, el tiempo de riego actual está basado únicamente en el modelo de aspersor y no considera las características edáficas.

Tabla 21*Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 6.*

Textura	Modelo aspersor	Ubicación	Ln (mm)	Lb (mm)	Fr calculada (días)	Fr redondeada (días)	Ln recalculada (mm)	Lb recalculada (mm)	Tr (min)	Tr redondeado (min)
Franco	751E70-36	<i>Approach/Rough/Buffer</i>	3,306	4,132	0,7709	1	4,289	5,361	14,640	15
	950E70-24	<i>Approach</i>				1	4,289	5,361	14,763	15
Franco arcilloso	900E70-52	<i>Fairway</i>	5,462	6,828	1,2736	1,5	6,433	8,041	21,427	21
	700E70-36	<i>Buffer</i>			1,2736	1,5	6,433	8,041	18,047	18
	751E70-36	<i>Fairway/Rough</i>			1,2736	1,5	6,433	8,041	21,960	22
Arcilloso	900E70-52	<i>Rough/Fairway/Tees/Buffer</i>	5,617	7,021	1,3098	1,5	6,433	8,041	21,427	21
	751E70-36	<i>Tees/Buffer</i>			1,3098	1,5	6,433	8,041	21,960	22

Bajo el criterio anterior, se muestran en la Tabla 23 y 24 las láminas, frecuencias y tiempos de riego para los hoyos 7 y 12; donde teóricamente, las frecuencias de riego deberían ser mucho menores a las actuales y los tiempos de riego difieren a los utilizados actualmente. Ambos hoyos presentan el mismo caso que el hoyo 6 discutido anteriormente.

Tabla 22*Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 7.*

Textura	Modelo aspersor	Ubicación	Ln (mm)	Lb (mm)	Fr calculada (días)	Fr redondeada (días)	Ln recalculada (mm)	Lb recalculada (mm)	Tr (min)	Tr redondeado (min)
Franco	900E70-52	<i>Fairway/rough</i>	3,843	4,804	0,896	1	5,289	6,611	17,616	18
	950E70-24	<i>Rough/buffer</i>							18,205	18
Franco arcilloso	700E70-36	<i>Approach</i>	5,545	6,931	1,293	1,5	5,789	7,236	16,240	16
	751E70-36	<i>Approach</i>							19,761	20
	900E70-52	<i>Rough/fairway/tees</i>							19,281	19
	950E70-24	<i>Tees/Rough</i>							19,926	20
Franco limoso	900E70-52	<i>Fairway</i>	3,523	4,403	0,821	1	5,289	6,611	17,616	18
	950E70-24	<i>Rough</i>							18,205	18

Tabla 23*Láminas, frecuencias y tiempos de riego para el hoyo 12.*

Textura	Modelo aspersor	Ubicación	Ln (mm)	Lb (mm)	Fr calculada (días)	Fr redondeada (días)	Ln recalculada (mm)	Lb recalculada (mm)	Tr (min)	Tr redondeado (min)
Franco limoso	900E70-52	<i>Fairway</i>	2,642	3,303	0,616	1	4,289	5,361	14,285	14
	950E70-24	<i>Rough</i>							14,763	15
Franco arcilloso	900E70-52	<i>Fairway/rough</i>	4,564	5,704	1,064	1	4,289	5,361	14,285	14
	950E70-24	<i>Rough</i>							14,763	15
Arcilloso	700E70-36	<i>Approach</i>	8,253	10,316	1,924	2	8,577	10,721	24,063	24
	751E70-36	<i>Approach/tees</i>							29,280	30
	900E70-52	<i>Fairway/rough</i>							28,569	28
	950E70-24	<i>Rough/buffer</i>							29,525	29

Cabe resaltar que se realizó el mismo procedimiento tomando como base el tiempo de riego para calcular las láminas a aplicar y conocer la frecuencia de riego, al igual que el caso expuesto anteriormente, las frecuencias para cada hoyo oscilan entre 1-2 días. Esto se puede observar con mayor detalle en el Anexo 9.

Se sabe que por cuestiones de escasez hídrica no es posible mantener las frecuencias de riego calculadas, por lo que, considerando que el riego se trabaja por prioridad de las áreas del campo con más relevancia en el juego de golf, se propone realizar la calibración del tiempo de riego de al menos del área del *tees* y las zonas problemáticas (ya sea por saturación constante o sequía, en caso de presentarse) de las áreas del *fairway*, *approach*, *buffer* y *rough* y, en aquellas que no presentan una problemática puntual, mantener las condiciones actuales de riego en cuanto a tiempos de riego y frecuencia de riego.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La variación textural de cada hoyo se debe a la construcción del campo y efectos de corte y relleno para la elaboración de la topografía, la cual tiene fines meramente competentes al juego de golf. Los mapas presentados en la sección de resultados pueden presentar varianzas de acuerdo con la densidad de muestreo que se realice.
- Se da un aporte importante de MO por parte de las prácticas de mantenimiento del césped (*thatch* y *clipping*), por lo que previo al análisis textural se debe realizar la oxidación de MO ya que esto es determinante para obtener resultados más certeros de los porcentajes de partículas del suelo en análisis.
- La presencia de sombreado posee una relación ambigua con el césped, por un lado, afecta el crecimiento del césped debido a la carencia de luminosidad para realizar sus procesos fotosintéticos. Por otro lado, a nivel de riego se puede realizar una diferenciación entre zonas de exposición directa al sol y zonas con sombreado, ya que en estas últimas la evapotranspiración es menor y, por ende, la lámina requerida es menor; logrando un gestionamiento hídrico oportuno y diferenciado en dichas zonas.
- La presencia de aire en la tubería indefine las presiones reales de operación del sistema. No se observa correlación entre la uniformidad de aplicación de la lámina y las oscilaciones de presión, sino que el déficit de presión afecta en la cantidad de aspersores que pueden abrirse por lateral o cantidad de aspersores que puede abrirse en laterales contiguos.
- Los aspersores instalados en campo poseen una pluviometría mucho mayor a la tasa de infiltración del suelo, por lo que se propone la aplicación de la lámina en dos tractos especialmente en las zonas donde se evidenció escorrentía o encharcamiento (zonas de saturación). Sin embargo, la calibración en campo del sistema de riego es fundamental para conocer el comportamiento del suelo y la respuesta del césped ante los ajustes propuestos, además de verificar el ángulo de apertura de los aspersores que se encuentran en el lindero; ya que algunos de ellos se encuentran trabajando a ángulo completo, chocando con árboles lindantes.

Recomendaciones

- Para lograr una segmentación más detallada de las láminas requeridas en zonas con exposición directa al sol y zonas sombreadas, se recomienda realizar mediciones in situ de la evapotranspiración y radiación en dichas zonas. Así como también de observar el comportamiento del campo en verano con la finalidad de detectar zonas problemáticas por sequía; ya que el proyecto se ejecutó durante la época lluviosa y se observó principalmente la respuesta del suelo ante precipitaciones.
- Se recomienda realizar un muestreo de suelos de forma sistemática que abarca una determinada área por m², ya que los mapas texturales propuestos pueden generalizar la textura en muchas áreas.
- Con el fin de resolver la escorrentía o saturación constante en algunas zonas se recomienda la implementación de prácticas como la aireación, donde se dé la sustitución del suelo por otro material de textura porosa (como la arena) para favorecer la infiltración del agua y de paso, el desarrollo del césped; ya que las texturas con gran aireación favorecen su desarrollo.
- Para tener una noción de cómo puede ser el comportamiento del CU y DU en todo el hoyo (a modo de extrapolación), se recomienda realizar un análisis estadístico de los datos de volumen recolectado en la prueba de uniformidad. Lo anterior, mediante un análisis de varianza para conocer la relación entre promedios de las distintas áreas (alta, media y baja) y posteriormente, analizar si se pueden inferir los datos para todo el hoyo mediante un análisis de intervalos de confianza. Sin embargo, la prueba se realizó durante el mes de octubre donde las condiciones de viento pueden ser menores en comparación con otros meses del año.
- Para disminuir los problemas de acumulación de aire en la tubería y evitar las oscilaciones de presión, se recomienda colocar válvulas de aire en los puntos con cambios abruptos en el recorrido de la tubería y/o puntos con mayor nivel piezométrico (suma de la altura topográfica y presión en ese punto).

7. REFERENCIAS

Association Irrigation. (2010). *Recommended audit guidelines*.

https://www.irrigation.org/IA/FileUploads/IA/Certification/CLIA-CGIA_AuditGuidelines.pdf

Calvo, L. (2018). *Apuntes de clase*.

Carrow, R. y Duncan, R. (2008). *Turfgrass and landscape irrigation water quality:*

assessment and management. CRC Press. <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1201/9781420081947>

Conellan, G. (2013). *Water use efficiency for irrigated turf and landscape*. CSIRO Publishing. Proquest Central.

Decagon Devices. (2011). *Mini disk infiltrometer*.

Espejo Marín, C. (2004). Campos de golf y medio ambiente: Una interacción necesaria.

Cuadernos de Turismo, (14), 67-111.

<https://revistas.um.es/turismo/article/view/18581/17921>

Golf Course Superintendent Association of America. (s.f.). *Golf irrigation auditor*.

Golf Course Superintendent Association of America.. (2019). *Best management practices for*

iowa golf courses. https://www.gcsaa.org/docs/default-source/environment/iowa-bmps.pdf?sfvrsn=bc02f83e_4

Karlin, M., Bernasconi Salazar, J., Cora, A., Sánchez, S., Arnulphi, S., y Accietto, R.

(2019). Cambios en el uso del suelo: capacidad de infiltración. *Ciencia del suelo*, 37(2),

196-208.

León, R. (2001). Comparación de métodos de análisis mecánico de suelos. *Terra Latinoamericana*, 19(3), 219-225. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57319303.pdf>

Lozano Rivas, W. A. (2016). *Suelos : guía de prácticas simplificadas en campo y laboratorio*. Universidad Piloto de Colombia.

Lund Jensen, J., Schjonning, P., Watts, C., Christensen, B., y Munkholm, L. (2017). Soil texture analysis revisited: Removal of organic matter matters more than ever. *PLOS One*, 12 (5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178039>

Maldonado, T. (2001). *Manual de riego parcelario*.

<https://es.scribd.com/document/318043233/Manual-Riego-Maldonado-pdf>

Matus, F. J., y Maire G., C. (2000). Relación entre la materia orgánica y la textura del suelo y las tasas de mineralización del carbono y nitrógeno. *Agricultura Técnica*, 60(2), 112-126.

<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/28470/NR25116.pdf?sequence=1&i>

sAllowed=y

McCarty, L. (2018). *Golf turf management* . CRC Press.

Millán, F. y Hétier, J. (2015). *Métodos de análisis de suelo*. Consejo de Publicaciones, Universidad de los Andes.

https://www.researchgate.net/publication/305731419_Apendice_Analitico_METODOS_DE_ANALISIS_DE_SUELO_Descripciones_y_reflexiones_Fernando_Millan_Jean-Marie_Hetier

Minasny, B., y McBratney, C. (2017). Limited effect of organic matter on soil available water capacity: Limited effect of organic matter on soil water retention. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>

Monje Jiménez, R. (2006). *Manejo de céspedes con bajo consumo de agua*. (2a ed.).

Junta de Andalucía. Conserjería de Agricultura y Pesca.

https://www.juntadeandalucia.es/sites/default/files/202004/1337163240Manejo_de_cxspe-des.pdf

Monje Jiménez, R., y García Verdugo, J. C. (2001). *Céspedes en campos de golf*.

Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

<https://personal.us.es/monje/Publica010903.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.).

Evapotranspiración del cultivo-Guías para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>

Pessaraki, M. (2019). *Handbook of turfgrass management and physiology*.

QGIS: A Free and Open Source Geographic Information System. (2021, 25 de noviembre).

QGIS. <https://www.qgis.org/en/site/>

Rain Bird Corporation. (2021). *Rain Bird Support: EAGLE™ Serie 900/950*. Rain Bird.

<https://www.rainbird.com/es/products/eagletm-serie-900950/support>

Rain Bird Corporation. (2021). *Stratus™*. Rain Bird.

<https://www.rainbird.com/es/products/stratustm-ii>

Rossman, L. (2017). *Epanet 2 manual de usuario*. US Environmental Protection Agency.

https://www.iiama.upv.es/iiama/src/elementos/Software/2/epanet/EN2Manual_esp_v20012_ext.pdf

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Universidad de la República.

<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Salgot, M., Priestley, G., y Folch, M. (2012). Golf course irrigation with reclaimed water in the mediterranean: A risk management matter. *Water*, 4(2), 389–429.

<https://doi.org/10.3390/W4020389>

Smiley, R., Dernoeden, P., y Clarke, B. (2005). *Compendium of Turfgrasses Diseases* (3a ed.).

The American Phytopathological Society. <https://issuu.com/scisoc/docs/43305>

Unruh, B. (s.f.). *The Turfgrass Environment*.

United States Department of Agriculture. (s.f.). *Natural resources conservation service*.

USDA. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/site/national/home/>

United States Department of Agriculture. (s.f.). *Natural resources conservation service*

soils. USDA.

https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167

Villalobos, M. (2008). *Fundamentos de riego*. Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico (CDMB).

Villalobos, F., y Fereres, E. (2016). *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8>

8. ANEXOS

Anexo 1

Parámetros de Van Genuchten para 12 tipos de suelo y valores de A para 2,2 cm de radio de disco y succiones de 0,5 a 6 cm.

			h_o						
			-0.5	-1	-2	-3	-4	-5	-6
Texture		n	A						
sand	0.145	2.68	2.84	2.40	1.73	1.24	0.89	0.64	0.46
loamy sand	0.124	2.28	2.99	2.79	2.43	2.12	1.84	1.61	1.40
sandy loam	0.075	1.89	3.88	3.89	3.91	3.93	3.95	3.98	4.00
loam	0.036	1.56	5.46	5.72	6.27	6.87	7.53	8.25	9.05
silt	0.016	1.37	7.92	8.18	8.71	9.29	9.90	10.55	11.24
silt loam	0.020	1.41	7.10	7.37	7.93	8.53	9.19	9.89	10.64
sandy clay loam	0.059	1.48	3.21	3.52	4.24	5.11	6.15	7.41	8.92
clay loam	0.019	1.31	5.86	6.11	6.64	7.23	7.86	8.55	9.30
silty clay loam	0.010	1.23	7.89	8.09	8.51	8.95	9.41	9.90	10.41
sandy clay	0.027	1.23	3.34	3.57	4.09	4.68	5.36	6.14	7.04
silty clay	0.005	1.09	6.08	6.17	6.36	6.56	6.76	6.97	7.18
clay	0.008	1.09	4.00	4.10	4.30	4.51	4.74	4.98	5.22

Nota: Decagon Devices. (2011). *Manual de usuario Minidisk Infiltrometer, Modelo S.*

Anexo 2

Diferentes coloraciones de un perfil del suelo extraído en el Campo de Golf, Reserva Conchal.



Nota. El perfil fue extraído en un área distinta a las de estudio. Sin embargo, puede dar una noción del por qué la varianza textural encontrada en los hoyos en estudio.

Anexo 3

Presión y caudal de operación para boquillas del aspersor Rainbird 700 y 751.

Datos de rendimientos 700 SERIES																				
Presión de servicio bares		3,4 Bares			4,1 Bares			4,8 Bares			5,5 Bares			6,2 Bares			6,9 Bares			
		Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	
TOBERAS TOLERANTES AL VIENTO	16 - GRIS	-	-	-	1,03	3,7	17,1	1,1	3,97	18,3	1,17	4,2	18,9	1,27	4,59	19,2	1,33	4,79		
	18 - ROJA	-	-	-	17,7	1,2	4,32	18,6	1,32	4,75	19,8	1,41	5,06	19,8	1,46	5,27	19,8	1,53	5,5	
	22 - NEGRA	-	-	-	-	-	-	19,8	1,74	6,27	19,8	2,2	7,9	20,4	2,45	8,81	21,6	2,56	9,2	
TOBERAS DE ALTO RENDIMIENTO	28 - BLANCA	18	1,26	4,54	17,4	1,38	4,97	17,4	1,5	5,38	18,6	1,44	5,18	18,6	1,52	5,47	18,6	1,61	5,79	
	32 - AZUL	18,6	1,38	4,97	19,2	1,44	5,18	19,8	1,55	5,56	19,8	1,73	6,22	20,4	1,83	6,59	20,4	1,87	6,72	
	36 - AMARILLA	19,8	1,46	5,27	19,8	1,61	5,79	19,8	1,73	6,25	20,4	1,86	6,7	19,8	1,97	7,09	20,4	2,08	7,47	
	40 - NARANJA	19,8	1,61	5,79	20,4	1,75	6,31	21,6	1,88	6,77	21,6	2,01	7,25	22,3	2,14	7,7	22,3	2,25	8,09	
	44 - VERDE	-	-	-	21,6	1,94	6,97	21	2,08	7,49	21,6	2,22	7,99	22,9	2,37	8,52	22,9	2,49	8,97	
	48 - NEGRA	-	-	-	-	-	-	22,3	2,33	8,4	23,5	2,49	8,95	24,1	2,64	9,49	23,5	2,76	9,95	

Estos datos no toman en cuenta ninguna regulación de presión.

Datos de rendimientos 751 SERIES																				
Presión de servicio bares		3,4 Bares			4,1 Bares			4,8 Bares			5,5 Bares			6,2 Bares			6,9 Bares			
		Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Alcance (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	
TOBERAS TOLERANTES AL VIENTO	16 - GRIS	-	-	-	18,3	0,99	3,57	18,9	1,05	3,79	18,9	1,12	4,04	19,5	1,19	4,27	20,1	1,29	4,63	
	18 - ROJA	-	-	-	19,2	1,19	4,27	19,2	1,26	4,54	19,8	1,35	4,86	20,4	1,43	5,16	20,4	1,51	5,45	
	22 - NEGRA	-	-	-	-	-	-	19,8	1,74	6,27	19,8	2,26	8,13	20,4	2,37	8,54	21,6	2,59	9,33	
TOBERAS DE ALTO RENDIMIENTO	20 - GRIS	10,7	0,44	1,59	10,7	0,48	1,73	11,3	0,51	1,84	11,9	0,54	1,95	-	-	-	-	-	-	
	22 - ROJA	12,2	0,52	1,89	13,7	0,6	2,16	13,7	0,64	2,32	13,1	0,68	2,45	-	-	-	-	-	-	
	28 - BLANCA	16,8	0,96	3,45	17,4	1,06	3,82	18	1,14	4,11	18	1,22	4,38	18	1,29	4,66	17,4	1,36	4,88	
	32 - AZUL	18	1,08	3,88	18,6	1,17	4,22	18,6	1,26	4,54	18,6	2,01	4,86	19,2	1,42	5,11	19,2	1,51	5,43	
	36 - AMARILLA	18,6	1,21	4,34	19,2	1,31	4,72	19,8	1,43	5,13	20,4	1,51	5,45	21	1,61	5,79	21	1,67	6,02	
	40 - NARANJA	19,2	1,37	4,93	20,4	1,5	5,41	21	1,62	5,81	21	1,73	6,25	21,6	1,82	6,56	21,6	1,94	6,97	
	44 - VERDE	-	-	-	19,8	1,66	5,97	21	1,79	6,43	21,6	1,92	6,9	21,6	2,03	7,29	22,3	2,15	7,74	
48 - NEGRA	-	-	-	-	-	-	21	1,98	7,13	22,3	2,13	7,65	22,9	2,25	8,11	22,3	2,38	8,56		

Nota. Rainbird, (s.f.).

Anexo 4

Presión y caudal de operación para boquillas del aspersor Rainbird 900 y 950.

EAGLE 900 SERIES PERFORMANCE DATA — U.S.													
HIGH PERFORMANCE NOZZLES													
Base Pressure (psi)	#44 BLUE		#48 YELLOW		#52 ORANGE		#56 GREEN		#60 BLACK		#64 RED		
	Radius (ft)	Flow (gpm)											
60	63	21.4	73	28.9	75	31.9	—	—	—	—	—	—	
70	67	23.5	73	31.9	79	34.6	83	40.7	87	43.2	91	47.2	
80	71	24.7	75	34.1	81	37.1	85	43.5	91	46.4	93	51.0	
90	71	26.5	77	35.0	81	39.5	87	46.4	91	49.5	95	54.0	
100	73	27.9	77	36.2	83	41.8	89	49.1	91	52.2	97	57.1	

EAGLE 900 SERIES PERFORMANCE DATA — METRIC																		
HIGH PERFORMANCE NOZZLES																		
Base Pressure (bars)	#44 BLUE			#48 YELLOW			#52 ORANGE			#56 GREEN			#60 BLACK			#64 RED		
	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)
4.1	19.2	1.35	4.85	22.3	1.82	6.56	22.9	2.01	7.25	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5	19.8	1.42	5.11	22.3	1.89	6.81	23.5	2.10	7.57	25.0	2.48	8.94	26.2	2.63	9.47	27.4	2.88	10.35
5.0	20.7	1.50	5.40	22.4	2.00	7.22	24.2	2.22	8.00	25.5	2.61	9.40	26.8	2.78	10.00	27.9	3.04	10.94
5.5	21.6	1.55	5.59	22.8	2.14	7.72	24.7	2.34	8.41	25.9	2.74	9.87	27.7	2.92	10.52	28.3	3.21	11.56
6.0	21.6	1.64	5.90	23.3	2.19	7.88	24.7	2.45	8.81	26.3	2.87	10.34	27.7	3.20	11.86	28.8	3.35	12.06
6.5	21.9	1.71	6.16	23.5	2.24	8.06	24.9	2.55	9.19	26.8	3.00	10.80	27.7	3.20	11.86	29.2	3.49	12.57
6.9	22.3	1.76	6.35	23.5	2.28	8.22	25.3	2.64	9.49	27.1	3.10	11.15	27.7	3.29	11.86	29.6	3.60	12.97

EAGLE 950 SERIES PERFORMANCE DATA — U.S.																
nozzles																
Base Pressure (psi)	#18 WHITE-C		#20 GRAY-C		#22 BLUE-C		#24 YELLOW-C		#26 ORANGE		#28 GREEN		#30 BLACK		#32 BROWN	
	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)	Radius (ft)	Flow (gpm)
60	70	19.5	72	23.0	74	26.5	76	30.8	78	36.0	—	—	—	—	—	—
70	72	21.3	74	25.1	76	28.8	80	33.5	82	38.7	84	42.9	84	47.3	84	50.4
80	74	22.9	76	27.0	80	30.9	84	36.0	84	41.5	86	47.3	86	50.4	85	53.1
90	75	24.4	78	28.7	82	32.9	88	38.4	86	43.4	89	48.5	90	52.9	88	55.6
100	76	25.8	80	30.5	84	34.6	90	40.5	88	46.7	91	52.2	92	55.8	92	59.4

EAGLE 950 SERIES PERFORMANCE DATA — METRIC																								
NOZZLES																								
Base Pressure (bars)	#18 WHITE-C			#20 GRAY-C			#22 BLUE-C			#24 YELLOW-C			#26 ORANGE			#28 GREEN			#30 BLACK			#32 BROWN		
	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)	Radius (m)	Flow (l/s)	Flow (m ³ /h)
4.1	21.3	1.23	4.43	21.9	1.45	5.22	22.6	1.67	6.02	23.2	1.94	7.00	23.8	2.27	8.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5	21.7	1.29	4.64	22.3	1.52	5.48	22.9	1.75	6.29	23.8	2.03	7.32	24.4	2.36	8.50	25.2	2.62	9.44	25.2	2.90	—	25.3	3.10	11.17
5.0	22.1	1.37	4.93	22.7	1.61	5.81	23.5	1.85	6.66	24.7	2.15	7.75	25.1	2.49	8.95	25.8	2.78	10.00	25.8	3.03	10.92	25.7	3.22	11.60
5.5	22.5	1.44	5.19	23.2	1.70	6.12	24.4	1.95	7.01	25.6	2.27	8.16	25.6	2.61	9.41	26.2	2.98	10.72	26.2	3.18	11.43	25.9	3.35	12.05
6.0	22.8	1.51	5.44	23.6	1.78	6.40	24.8	2.04	7.34	26.5	2.38	8.56	26.0	2.70	9.73	26.9	3.04	10.93	27.1	3.29	11.85	26.6	3.46	12.46
6.5	23.0	1.58	5.68	24.0	1.86	6.69	25.3	2.12	7.64	27.1	2.48	8.93	26.5	2.83	10.18	27.4	3.16	11.37	27.7	3.42	12.30	27.3	3.61	13.00
6.9	23.2	1.63	5.86	24.4	1.92	6.93	25.6	2.18	7.86	27.4	2.56	9.20	26.8	2.95	10.61	27.7	3.29	11.86	28.0	3.52	12.67	28.0	3.75	13.49

Thread Type AT
 IC S/H
 Pressure Regulator 70 (4.8) 80 (5.5)

950 Body/Valve E IC S/H
 Thread Type AT
 Pressure Regulator 60 (4.1) 70 (4.8) 80 (5.5)

Nota. Rainbird, (s.f.).

Anexo 5

Válvulas de apertura de lateral de los hoyos 6, 7 y 12 sus elevaciones.

Hoyo	Válvula	Elevación (msnm)
Hoyo 6	6T8	14,128
	6T6	13,280
	6B1	11,720
	6T1	11,471
	6R2	12,513
	6F2	13,128
	6F5	13,944
	6F7	13,543
	6F10	14,638
	6R5	14,717
	6F13	15,644
	6F15	15,411
	6F16	14,251
	6R9	15,439
	6R12	16,723
	6R14	16,936
	6F23	21,746
	6F25	25,197
6G1	25,385	
6A7	25,675	
Hoyo 7	7R2	20,168
	7T8	26,881
	7T6	25,177
	7T4	24,846
	7F2	17,492
	7R14	17,067
	7R16	16,745
	7R18	15,174
	7R19	14,829
	7R20	15,546
	7B5	13,965
	7R22	13,956
	7R23	13,796
	7R24	12,875
	7G1	9,590
	7B10	14,904
7A8	14,589	
7R31	14,123	

	7R30	14,985
	7R28	14,246
	7F16	14,120
	7R10	17,492
	7R7	27,500
	7R4	16,579
	<hr/>	
	12T1	30,852
	12R2	30,630
	12R3	30,014
	12R4	29,894
	12R7	27,872
	12F5	26,827
Hoyo 12	12R10	21,798
	12F8	25,357
	12R13	25,924
	12R15	26,666
	12R17	27,124
	12F15	26,457
	12G1	26,831
	12A7	24,751
	12T6	42,044
	<hr/>	
Estación de bombeo	-	9,072
	<hr/>	

Anexo 6

Datos obtenidos en la prueba de uniformidad de riego para el hoyo 6.

Green/Approach-H6 (parte alta)		Fairway-H6 (parte media)		Tees-H6 (parte baja)	
Aspersores:	6F22-6F23-6F24-6F25	Aspersores:	6F11-6F12-6F8-6F14	Aspersores:	6T7-6T6-6T9-6T8
Tiempo:	11 min	Tiempo:	11 min	Tiempo:	11 min
Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)
1	15	1	15	1	10
2	20	2	19	2	10
3	20	3	20	3	20
4	20	4	20	4	20
5	20	5	20	5	20
6	25	6	20	6	20
7	25	7	25	7	20
8	25	8	25	8	20
9	25	9	25	9	20
10	25	10	25	10	20
11	25	11	25	11	20
12	30	12	30	12	30
13	30	13	30	13	30
14	30	14	30	14	30
15	30	15	30	15	30
16	30	16	30	16	30
17	30	17	30	17	30
18	30	18	30	18	30
19	30	19	30	19	35
20	30	20	30	20	40
21	30	21	30	21	40
22	30	22	30	22	40
23	30	23	30	23	40
24	30	24	30	24	40
25	30	25	30	25	40
26	30	26	30	26	40
27	30	27	30	27	40
28	30	28	30		
		29	40		
		30	50		

Anexo 7

Datos obtenidos en la prueba de uniformidad de riego para el hoyo 7.

Green/Approach-H7 (parte baja)		Fairway-H7 (parte media)		Tees-H7 (parte alta)	
<i>Aspersores:</i> 7F35-7F37-7F34-7F36		<i>Aspersores:</i> 7F16-7F15-7F19-7F18		<i>Aspersores:</i> 7T3-7T4-7T2-7R1	
<i>Tiempo:</i> 11 min		<i>Tiempo:</i> 11 min		<i>Tiempo:</i> 11 min	
Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)
1	20	1	20	1	10
2	20	2	20	2	10
3	20	3	25	3	20
4	20	4	30	4	20
5	20	5	30	5	20
6	20	6	30	6	20
7	20	7	30	7	20
8	20	8	30	8	20
9	20	9	30	9	20
10	25	10	30	10	20
11	25	11	30	11	30
12	25	12	30	12	30
13	30	13	30	13	30
14	30	14	30	14	30
15	30	15	30	15	30
16	30	16	30	16	30
17	30	17	30	17	35
18	30	18	30	18	40
19	30	19	35	19	40
20	35	20	35	20	40
		21	35	21	40
		22	35	22	40
		23	40	23	40
		24	40		

Anexo 8

Datos obtenidos en la prueba de uniformidad de riego para el hoyo 12.

Green/Approach-H12 (parte baja)		Fairway-H12 (parte media)		Tee bajo-H12 (parte alta)		Tee alto-H12 (parte más alta)	
Aspersores:	12F14-12R17-12F13-12F12	Aspersores:	12R11-12F7-12F5-12F6	Aspersores:	12T1-12T2-12T3-12T4	Aspersores:	12T6-12T7-12T8-12T9
Tiempo:	11 min	Tiempo:	11 min	Tiempo:	11 min	Tiempo:	11 min
Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)	Dato	Volumen (mL)
1	30	1	20	1	30	1	20
2	30	2	20	2	30	2	20
3	30	3	20	3	35	3	20
4	30	4	30	4	40	4	40
5	30	5	30	5	45	5	50
6	30	6	30	6	50	6	50
7	30	7	30	7	50	7	50
8	30	8	30	8	50	8	50
9	30	9	30	9	50	9	55
10	30	10	30	10	50	10	55
11	30	11	30	11	55	11	60
12	35	12	30	12	60	12	60
13	40	13	30	13	60	13	60
14	40	14	30			14	65
15	40	15	30				
16	40	16	30				
17	40	17	30				
18	40	18	35				
19	45	19	40				
20	45	20	45				

Anexo 9

Frecuencias de riego para cada textura del suelo basado en los tiempos de riego actuales.

Hoyo	Textura	Modelo aspersor	Pluviometría (mm/h)	Ubicación	Tr actual (min)	Lb actual (mm)	Ln actual (mm)	Fr (días)	Fr (días)
Hoyo 6	Franco	751E70-36	21,9703	Approach/Rough/Buffer	22	8,056	6,445	1,503	1,5
		950E70-24	21,7877	Approach	12	4,358	3,486	0,813	1,0
	Franco arcilloso	900E70-52	22,5166	Fairway	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		700E70-36	26,7338	Buffer	22	9,802	7,842	1,829	2,0
		751E70-36	21,9703	Fairway/Rough	12	4,394	3,515	0,820	1,0
	Arcilloso	900E70-52	22,5166	Rough/Fairway/Tees/Buffer	22	8,256	6,605	1,540	1,5
751E70-36		21,9703	Tees/Buffer	12	4,394	3,515	0,820	1,0	
Hoyo 7	Franco	900E70-52	22,5166	Fairway/rough	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Rough/buffer	12	4,358	3,486	0,813	1
	Franco arcilloso	700E70-36	26,7338	Approach	22	9,802	7,842	1,829	2
		751E70-36	21,9703	Approach	12	4,394	3,515	0,820	1
		900E70-52	22,5166	Rough/fairway/tees	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Tees/Rough	12	4,358	3,486	0,813	1
	Franco limoso	900E70-52	22,5166	Fairway	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Rough	12	4,358	3,486	0,813	1
Hoyo 12	Franco limoso	900E70-52	22,5166	Fairway	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Rough	12	4,358	3,486	0,813	1
	Franco arcilloso	900E70-52	22,5166	Fairway/rough	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Rough	12	4,358	3,486	0,813	1
	Arcilloso	700E70-36	26,7338	Approach	22	9,802	7,842	1,829	2
		751E70-36	21,9703	Approach/tees	12	4,394	3,515	0,820	1
		900E70-52	22,5166	Fairway/rough	22	8,256	6,605	1,540	1,5
		950E70-24	21,7877	Rough/buffer	12	4,358	3,486	0,813	1

