

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE MEZCLA Y SUS  
PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL  
SISTEMA DE DRENAJE Y BALANCE HÍDRICO PARA CALCULAR LAS  
NECESIDADES DE RIEGO DE LA GRAMA DE LA CANCHA DE FUTBOL DE  
TULCÁN



ANDRES FELIPE MONCADA RESTREPO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
AGOSTO DE 2017

ESTUDIO DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE MEZCLA Y SUS  
PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL  
SISTEMA DE DRENAJE Y BALANCE HÍDRICO PARA CALCULAR LAS  
NECESIDADES DE RIEGO DE LA GRAMA DE LA CANCHA DE FUTBOL DE  
TULCÁN



ANDRES FELIPE MONCADA RESTREPO

Modalidad de Trabajo de Investigación para optar por el título de Ingeniero  
Ambiental

Director

Ingeniero Luis Jorge González

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
AGOSTO DE 2017

Nota de aceptación:

El director y los jurados han leído este documento,  
escuchando la sustentación del mismo por sus autores  
y lo encuentran satisfactorio.

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director

Popayán, agosto de 2017

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. OBJETIVOS	5
5.1. GENERAL	5
5.2. ESPECÍFICOS	5
6. ESTADO DEL ARTE	6
6.1. GENERALIDADES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO	6
6.1.1. Localización	6
6.1.2. Características climáticas	7
6.2. GENERALIDADES SOBRE CANCHAS DE FUTBOL	8
6.3. GENERALIDADES SOBRE DRENAJE	10
6.3.1. Método y tipo de sistemas de drenajes para campos deportivos.	10
6.4. GENERALIDADES SOBRE GRAMA O CÉSPED NATURAL	11
7. TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS	13
7.1. TOMA DE MUESTRAS	13
7.1.1. AGREGADO DE MATERIA ORGÁNICA	13
7.1.2. AGREGADO DE RÍO (ARENA)	15
7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS	16
7.3. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN	18
7.3.1. Proporción 70/30 Próctor Estándar	19
7.3.2. PROPORCIÓN 70/30 PRÓCTOR MODIFICADO	21
7.3.3. PROPORCIÓN 50/50 PRÓCTOR ESTÁNDAR	22
7.3.4. PROPORCIÓN 50/50 PRÓCTOR MODIFICADO	24
7.4. PERMEABILIDAD	26
7.5. BALANCE HÍDRICO	29
7.5.1. Información básica	30
8. CONCLUSIONES	35
9. RECOMENDACIONES	37
10. BIBLIOGRAFÍA	38

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 6.1. Perspectiva Centro Deportivo	6
Figura 6.2. Vista en Planta	7
Figura 6.3. Cancha Futbol recomendada por FIFA	9
Figura 6.4. Tipo Paralelo o Rejilla	11
Figura 6.5. Tipo Espina de Pescado	11
Figura 7.1. Muestra suelo con Materia Orgánica	13
Figura 7.2. Granulometría Materia Orgánica	14
Figura 7.3. Granulometría de la arena por tamizado	16
Figura 7.4. Suelo con Materia Orgánica y Arena	16
Figura 7.5. Mezcla con las proporciones determinadas	17
Figura 7.6. Cantidades necesarias para ensayos	18
Figura 7.7. Montaje para permeabilidad	27
Figura 7.8. Capa Vegetal para Permeabilidad	27

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 6.1. Clima de Popayán	8
Tabla 7.1. Granulometría Arena	15
Tabla 7.2. Cantidades necesarias de agregados	17
Tabla 7.3. Próctor Estándar 70/30	19
Tabla 7.4. Próctor Modificado 70/30	21
Tabla 7.5. Próctor Estándar 50/50	22
Tabla 7.6. Próctor Modificado 50/50	24
Tabla 7.7. Humedades Optimas y Densidades Máximas	25
Tabla 7.8. Resultados Permeabilidad	28
Tabla 7.9. Resultados Thornthwaite	31
Tabla 7.10. Cálculos Evapotranspiración	32

## LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafico 7.1. Humedad Vs Densidad, Próctor Estándar 70/30	20
Grafico 7.2. Humedad Vs Densidad, Próctor Modificado 70/30	22
Grafico 7.3. Humedad Vs Densidad, Próctor Estándar 50/50	23
Grafico 7.4. Humedad Vs Densidad, Próctor Modificado 50/50	25
Grafico 7.5. Déficit de Agua en Meses Críticos	33

# 1. RESUMEN

TITULO: ESTUDIO DE LAS CONDICIONES OPTIMAS DE MEZCLA Y SUS PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE Y BALANCE HÍDRICO PARA CALCULAR LAS NECESIDADES DE RIEGO DE LA GRAMA DE LA CANCHA DE FUTBOL DE TULCÁN

AUTOR: Andrés Felipe Moncada Restrepo

PALABRAS CLAVE: Sub-Drenaje, Futbol, Riego

DESCRIPCIÓN: Después de casi 20 años del funcionamiento de la cancha de futbol del Centro Deportivo de la Universidad del Cauca "TULCÁN" la respuesta del sub-drenaje cuando se presentan lluvias es casi nula, como consecuencia, es imposible utilizarla en casi toda la temporada de precipitaciones. El Departamento de Hidráulica de la Universidad realizo el diseño hidráulico del sistema de sub-drenaje para el campo de grama natural, se presentaron algunas inquietudes en el área de equipos de la Universidad, acerca de los agregados que se encuentran en la capa inferior a la vegetal.

Los agregados que sugiere el diseño son: arena gruesa y el material presente en el campo en este momento compuesto principalmente por materia orgánica. En una proporción de 70/30, arena y M.O. respectivamente. Se tomaron muestras con la mezcla sugerida por el diseño y con otras proporciones.

Se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad pruebas de compactación: Próctor Estándar y Próctor Modificado, para determinar la humedad optima y la densidad máxima que es posible alcanzar en un suelo.

Se realizaron pruebas de permeabilidad y filtración para determinar la velocidad a la circula el agua por el lecho filtrante hacia los drenajes.

Se elaboró un balance hídrico para la necesidad de riego en épocas de verano normales y de fenómeno del Niño, cabe recordar que en esta temporada en específico las sequias son bastante prolongadas.

## 2. ABSTRACT

TITLE: STUDY OF THE OPTIMAL MIXING CONDITIONS AND THEIR PHYSICAL PROPERTIES FOR THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF THE DRAINAGE SYSTEM AND HYDRICAL BALANCE TO CALCULATE THE WATER NEEDS OF THE GRASS OF THE FOOTBALL GROUND "TULCAN"

AUTHOR: ANDRES FELIPE MONCADA RESTREPO

KEYWORDS: SUB-DRAINAGE, SOCCER,

DESCRIPTION:

After almost 20 years of operation of the soccer field of the Sports Center of the University of the Cauca "TULCAN" the response of the sub-drainage when there are rains is almost null, as a consequence, it is impossible to use it in almost all the season of Precipitations. The Department of Hydraulics of the University carried out the hydraulic design of the sub-drainage system for the natural grass field. There were some concerns in the area of equipment of the University, about the aggregates that are in the lower layer to the vegetable.

The aggregates suggested by the design are: coarse sand and the material present in the field at this time composed mainly of organic matter. At a ratio of 70/30, sand and M.O. respectively. Samples were taken with the mixture suggested by the design and with other proportions.

Compaction tests were performed in the University's Laboratory of Soils: Standard and Modified Fan, to determine the optimum moisture and the maximum density that can be reached in a soil.

Permeability and filtration tests were performed to determine the rate at which the water flows through the filter bed to the drains.

A water balance was elaborated for the necessity of irrigation in normal summer times and of Niño phenomenon, it is necessary to remember that in this specific season the droughts are quite prolonged.

### 3. INTRODUCCIÓN

La cancha de fútbol del Centro Deportivo Universitario (CDU) "Tulcán" es uno de los escenarios deportivos de mayor importancia e influencia en la ciudad de Popayán, debido a que fue una de las pioneras en cumplir el reglamento para competencias nacionales. En la actualidad en este campo se llevan a cabo encuentros de todo tipo deportivo: intercolegiales, empresariales, universitarios y docentes. Aparte de servir como escenario deportivo para otras modalidades: Rugby y Ultimate.

Es de destacar que este escenario cuenta con un drenaje subterráneo el cual debería tener como uso principal la evacuación del 100% del caudal que se acumula en temporadas de alta pluviosidad, pero que sin embargo no cumple a totalidad, teniendo en cuenta que actualmente es un diseño que cumple casi 30 años, por lo cual se deduce que su continuo uso y el aumento de las precipitaciones en algunas temporadas del año han compactado este suelo a tal grado, que el drenaje inicial prácticamente desapareció.

En este momento la cancha carece de un sistema de drenaje que permita la rápida y eficiente evacuación de los excesos de agua lluvia dando origen a encharcamientos y al deterioro del terreno, que se agrava con el paso de las personas.

Es necesario conocer en que épocas del año la cancha necesita de riego auxiliar, es decir; cuando las precipitaciones no son suficientes para conservar el equilibrio de humedad, para lograr este objetivo se realiza un balance hídrico por el método de Thornthwaite.

## 4. JUSTIFICACIÓN

El uso y el constante paso de las personas en diferentes zonas de la cancha causa a menudo una capa superficial compacta, impermeable del suelo. Esta condición puede ser agravada por el uso del rodillo que se utiliza para aplanar la cancha cuando los suelos están húmedos. La compactación no puede evitarse en tales condiciones, y cuando se desarrolla, se generan deficiencias en el suelo a causa de la falta de humedad y de aire insuficiente para asegurar el funcionamiento normal. Además, se hace más difícil para que el agua y los fertilizantes penetren en el suelo.

La población afectada está constituida por niños, jóvenes y adultos de ambos sexos, cuyas edades oscilan entre los 9 y 60 años, los cuales pertenecen a todos los estratos sociales del municipio, que están en proceso de formación o practican para competencias de tipo recreativo y/o alto rendimiento.

Ante la duda por parte del área de equipos de la Universidad sobre la mezcla recomendada de agregados en el lecho filtrante, ya que se pueden presentar deformaciones, es necesario realizar unos ensayos de laboratorio: Próctor Estándar y Modificado, los cuales son utilizados para determinar la densidad máxima que presenta un suelo ante variaciones progresivas de su humedad. También realizar pruebas de permeabilidad, para estudiar el comportamiento del lecho filtrante después de ser compactado. Se efectuarán en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Cauca

A partir de las precipitaciones medias mensuales y la evapotranspiración de referencia media mensual estimada se realizará el balance hídrico del suelo de la cancha de fútbol. Para determinar la evapotranspiración se utilizará el método de Thornthwaite, con los datos meteorológicos de la estación del aeropuerto Guillermo León Valencia, en la ciudad de Popayán (Cauca) suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Todo esto con el fin de sugerir sistemas de riego para la cancha cuando hay condiciones extremas de sequía y las épocas de aplicación.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. GENERAL**

- Determinar la mejor composición de agregado (arena gruesa y materia orgánica) del lecho filtrante de un diseño realizado del drenaje de la cancha de futbol del Centro Deportivo Universitario y efectuar un balance hídrico.

### **5.2. ESPECÍFICOS**

- Realizar ensayos de laboratorio para identificar cual relación de mezcla es menos susceptible a la deformación teniendo en cuenta el tráfico de deportistas sobre la grama.
- Comparar los tubos de ensayo utilizados para las pruebas de compactación con la capacidad de estas mezclas para drenar el agua que se deposita sobre la grama en temporadas de lluvias críticas.
- Realizar un balance hídrico anual para determinar las necesidades de agua para riego de la cancha de futbol de acuerdo a las propiedades físicas del suelo y las condiciones climáticas.

## 6. ESTADO DEL ARTE

### 6.1. GENERALIDADES SOBRE EL ÁREA DE ESTUDIO

#### 6.1.1. Localización

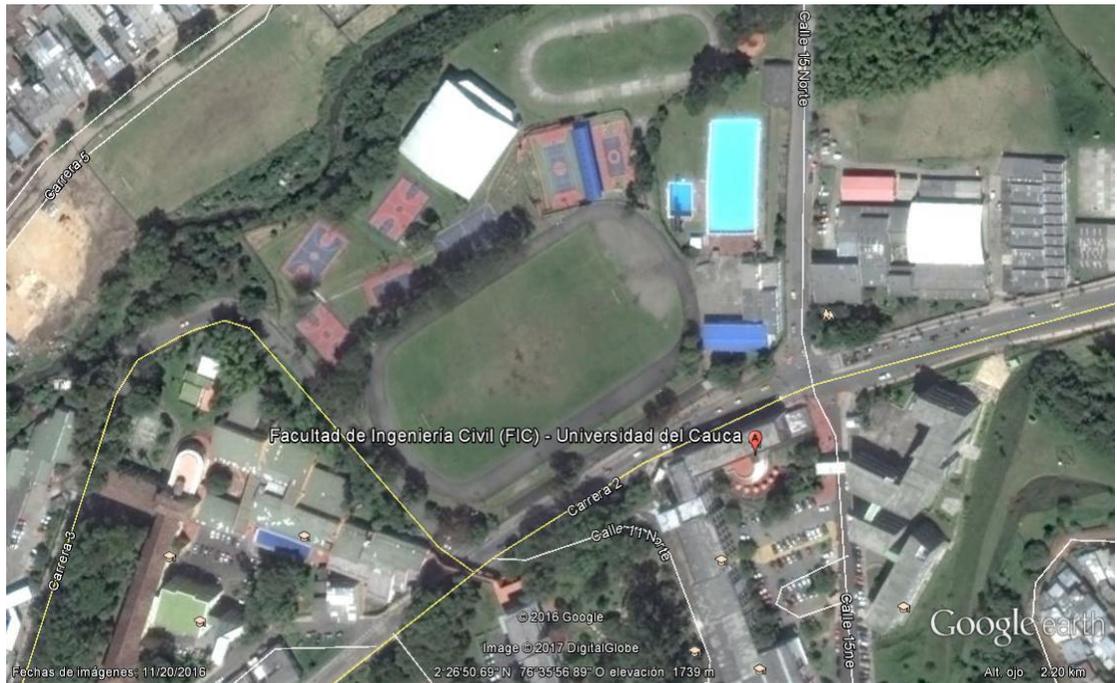
La cancha de fútbol de Tulcán en el CDU. de la Universidad del Cauca, se encuentra localizada en la ciudad de Popayán, entre las instalaciones de la Facultad de Ingenierías Civil y Electrónica, costado Oriental y el Río Molino que fluye de norte a sur por su costado occidental. La cancha se encuentra ubicada en las coordenadas planas 1053171.6586 N y 762690.3013 E. (Figura 6.1 y Figura 6.2)

Figura 6.1. Perspectiva Centro Deportivo



Fuente: Google Earth. 2017

Figura 6.2. Vista en Planta



Fuente: Google Earth. 2017

### 6.1.2. Características climáticas

IDEAM. (2016), El clima de Popayán es templado – húmedo. El promedio de lluvia total anual es de 2121 mm. Durante el año se presenta una temporada seca muy definida durante los meses de junio, julio y agosto. En septiembre las lluvias aumentan paulatinamente y en octubre, noviembre y diciembre se registran las mayores lluvias del año. Los meses de enero a mayo, son de lluvia, aunque no alcanzan la intensidad de los correspondientes al último trimestre del año. En los meses secos llueve alrededor de 10 días al mes. Durante el primer semestre llueve 16 y 20 días y en los meses más lluviosos, la frecuencia de días con lluvia es de 22 a 27 días. (Tabla 6.1)

IDEAM. (2016), La temperatura promedio es de 18.7 °C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 24 y 25°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 12 y 14°C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos; en los meses secos, la insolación es levemente inferior a 6 horas diarias/día. (Tabla 6.1)

IDEAM. (2016), La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 70 y 83 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre. La siguiente tabla muestra las variaciones climáticas a lo largo de un año. (Tabla 6.1)

Tabla 6.1. Clima de Popayán

Tabla climatológica de Popayán												
Temperatura ( °C )												
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Minima promedio	11,9	12,7	13,5	13,8	14,0	13,0	12,1	12,1	12,4	13,4	13,4	12,6
Promedio	18,8	19,0	18,9	18,9	18,8	19,0	19,2	19,4	19,2	19,0	18,6	18,4
Máxima promedio	24,2	24,4	24,6	24,4	24,3	24,6	25,0	25,2	36,2	24,2	24,0	24,0
Humedad relativa (%)	80	79	79	80	80	77	71	69	74	80	82	82
Datos medidos en: Aeropuerto Guillermo León Valencia IDEAM <sup>12</sup>				Promedios anuales				Temperatura				
								Min	Med	Max	Total	Humedad
								°C	°C	°C	mm	%
								13,2	19,0	36,2	1941	77,75

Parámetros climáticos promedio de Popayán													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	29.0	29.0	29.4	29.0	29.3	29.2	29.0	30.1	29.6	29.0	28.4	29.2	30.1
Temp. máx. media (°C)	24.1	24.3	24.6	24.4	24.3	24.6	24.9	25.1	24.8	24.1	23.8	23.9	24.4
Temp. mín. media (°C)	13.2	13.3	13.5	13.7	13.8	12.8	11.9	12.0	12.4	13.4	13.6	13.7	13.1
Temp. mín. abs. (°C)	8.2	7.4	6.4	8.8	8.8	6.8	6.8	6.1	6.1	8.8	8.0	8.0	6.1
Lluvias (mm)	199.8	175.7	216.4	200.9	170.7	76.9	54.8	65.9	122.7	252.6	338.5	252.3	2127.2
Días de lluvias (≥ 1 mm)	17	16	19	20	21	14	10	10	15	23	24	21	210
Horas de sol	160.6	125.9	125.9	106.8	113.0	147.6	172.8	162.3	129.2	108.9	121.4	140.4	1614.8
Humedad relativa (%)	80	79	79	80	80	77	71	69	74	80	82	82	77.8

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES<sup>13</sup>

Fuente: IDEAM. 2016

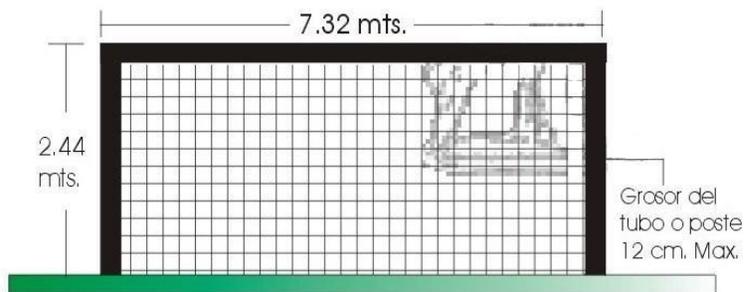
## 6.2. GENERALIDADES SOBRE CANCHAS DE FUTBOL

La primera regla que establece la FIFA es el terreno de juego (Figura 6.3). En la actualidad, los reglamentos internacionales no especifican absolutamente nada sobre la superficie de juego y queda al criterio de las Asociaciones y Ligas utilizar la superficie que deseen.

Existen dos tipos de canchas, una de ellas es en arenilla de superficie descubierta, el cual recomienda un bombeo transversal de (0 – 0.5 %), y otra; con grama artificial o natural, el cual recomienda un bombeo transversal de (0 – 1 %), dicho bombeo consiste en darle al terreno de juego una inclinación inapreciable para la visual tomada desde el centro de la cancha hacia las bandas laterales, con el fin de drenar superficialmente sin causar erosión. (Documento INDER Medellín, 2001)

Las canchas con grama natural, el terreno de juego deberá estar nivelado, que constará de un subsuelo permeable, una capa de suelo vegetal con suficiente porosidad para constituir el medio ideal para el desarrollo del sistema radicular del césped, resistente a cargas, el cual puede estar compuesta por arena pura, suelo vegetal, mezclas de arena-enmienda orgánica, arena-tierra, o en algunos casos por otros materiales, un sistema de drenaje y un sistema de riego eficiente que provea los requerimientos hídricos del gramado. ([www.aegreenkeepers.com/futbol](http://www.aegreenkeepers.com/futbol))

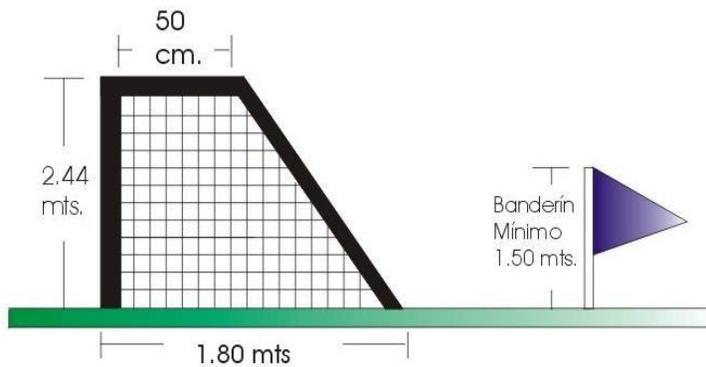
Figura 6.3. Cancha Futbol recomendada por FIFA



Circunferencia 55 cm. Mínimo

El peso no debe ser mayor de 453 gramos ni menos de 395 gramos

La presión del inflado será igual a una atmósfera 1 Kg/cm<sup>2</sup> al nivel del mar



Fuente: FIFA. 2017

### **6.3. GENERALIDADES SOBRE DRENAJE**

Grassi, C. (1981), el drenaje tiene como objetivo eliminar el exceso de agua del suelo, a fin de mantener las condiciones de aireación y la actividad biológica del mismo, indispensable para cumplir los procesos fisiológicos relativos al crecimiento radical. Así mismo, el drenaje tiene como objetivo la remoción de las sales del suelo y el mantenimiento de su balance salino.

El drenaje en campos deportivos es empleado para mantenerlo libre de agua durante y después de una lluvia de gran cuantía evitando la suspensión del partido o el aumento en el tiempo de utilización del escenario (Manual Geodren PAVCO, 2000).

#### **6.3.1. Método y tipo de sistemas de drenajes para campos deportivos.**

El método de drenaje empleado en campos deportivos especialmente en canchas de fútbol, es el subterráneo porque permite el aprovechamiento de toda el área de juego, la red estructural yace por debajo de la superficie del terreno sin afectar las actividades deportivas ni la integridad física de los jugadores.

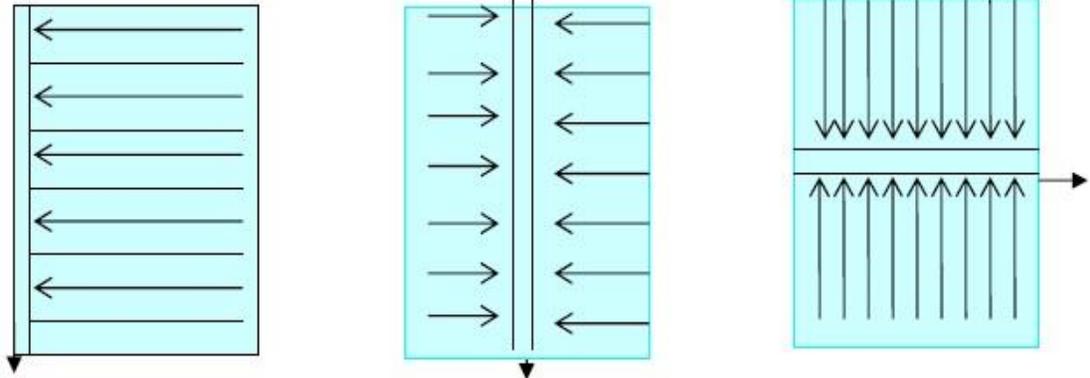
LUTHIN, J. (1972). El sistema de drenaje utilizado en estos escenarios, es el compuesto, que consiste en una serie de líneas laterales de tubos perforados que descargan el agua captada en una línea de tubos colectores, que a su vez descargan en una tubería principal y esta conduce el agua hacia una salida satisfactoria. Los elementos que hacen parte de la red de drenaje compuesto son: laterales, colectores y principal que trabajan en conjunto con una serie de estructuras auxiliares como cámaras de inspección, manjoles y salidas.

La disposición de los tubos de un sistema compuesto depende de la topografía del terreno y de la conexión de los laterales con el colector, las cuales pueden ser de los siguientes tipos:

##### **Tipo paralelo o rejilla**

Los laterales son dispuestos perpendicularmente al colector. (Figura 6.4)

Figura 6.4. Tipo Paralelo o Rejilla

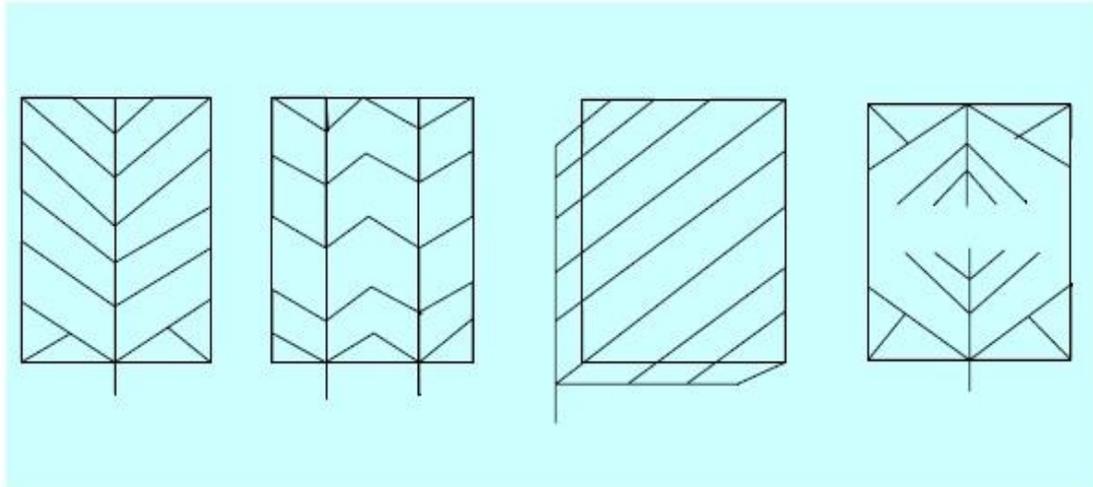


Fuente: ARIAS HERNÁNDEZ, Antonio. 1994

### Tipo espina de pescado

Es uno de los más utilizados, cuya disposición de los drenes laterales, forman ángulos agudos con el dren colector principal. (Figura 6.5)

Figura 6.5. Tipo Espina de Pescado



Fuente: Documento INDER Medellín. 2001

## 6.4. GENERALIDADES SOBRE GRAMA O CÉSPED NATURAL

Bornas, G. (1956), el césped o gramado es un conjunto de especies que por diferente desarrollo y sus características y más o menos adecuadas a las del suelo y clima, se complementan logrando la formación de un tapiz verde de carácter uniforme.

Bornas, G. (1956), Se denomina césped, a las especies herbáceas conformadas generalmente por la familia de las gramíneas y que son capaces de reunir tres características fundamentales como son: soportar las siegas sistemáticas y frecuentes, resistir el pisoteo y arrancamiento, ser capaces de formar un tapiz verde continuo, compacto y uniforme. La importancia del césped en los estadios deportivos es inmensa si tenemos en cuenta que repercute en el desarrollo del espectáculo, y permite la actividad deportiva, influyendo enormemente en las tácticas y sistemas de juegos marcado por los entrenadores y cuerpo técnico de los clubes. Mediante la elección de especies y variedades se puede conseguir un campo lento o rápido, teniendo en cuenta la altura de la poda y la compactación, se pueden estudiar partidos altamente técnicos o de mayor resistencia. También el césped supone la mejor forma de evitar lesiones. El éxito de la conservación de un césped va a depender esencialmente de su alimentación y sanidad, y es por ello que se conozca de las operaciones de mantenimiento como: siega, riego, tratamientos fitosanitarios, aireado, resiembras y fertilización.

Monje, R. (2004). Señala que, a la hora de establecer un césped natural, éste generará no sólo una utilidad estética, recreativa y deportiva, y antierosiva, sino también, un gran número de acciones, todas ellas de algún modo positivas para el medio ambiente. Las partículas de polvo en suspensión se adhieren a la superficie de las hojas de los céspedes, llegando a reducir su presencia de tres a seis veces más que el cristal. Un Km<sup>2</sup> de césped absorbe unos 20 Kg. de dióxido de azufre (SO<sup>2</sup>) cada día. Una hectárea de césped puede liberar más de 5 000 m<sup>3</sup> de oxígeno en un año. El césped suele dar origen a una gran cantidad de materia orgánica y microorganismos mejorando el suelo significativamente donde esté establecido. La reducción de ruidos que una superficie de césped proporciona es manifiesta, pudiendo establecerse en muchos lugares, como en las autopistas, donde proporciona el doble de reducción que se consigue con un revestimiento de piedra, generando una fuente de beneficios a las personas, fuente que genera belleza, calidad de vida, salud mental, y el deseo de practicar los deportes.

Bornas, G. (1956). Para establecer un césped, se debe seleccionar una mezcla de especies compatibles con el fin de proporcionar resistencia a enfermedades, tolerancia al corte, al uso fuerte y continuo y controlar la pérdida de suelo. Además, debe brindársele las mejores condiciones edafoclimáticas que permitan el anclaje de las raíces al suelo y el almacenamiento de agua a consumir por la evapotranspiración.

Bornas, G. (1956). La grama exige cuidados especiales para conservar su color y su vegetación durante todo el año, ya que, si se abandonan o se cuidan erróneamente, aparecen calvas, manchas y zonas amarillas que destruyen absolutamente su valor decorativo, que lleva incluso a desaparecer causando una impresión desagradable.

## 7. TRABAJOS REALIZADOS Y RESULTADOS

### 7.1. TOMA DE MUESTRAS

Figura 7.1. Muestra suelo con Materia Orgánica



Fuente: Autor

Después de excavar y obtener la cantidad requerida para los ensayos previstos, se llevó todo el material al Laboratorio de Suelos de la Universidad del Cauca. (Figura 7.1)

#### 7.1.1. AGREGADO DE MATERIA ORGÁNICA

Se tomaron muestras del material existente en la cancha con el objetivo de obtener un análisis granulométrico, en el Laboratorio de Suelos de la Secretaria de Agricultura del Departamento del Cauca.

Casi 63% del agregado es arena, 17% limo y 20% arcilla, se puede deducir sin necesidad de compactar el material, que va a generar problemas en el momento de filtrar el agua, por la cantidad de agregado fino. En la siguiente figura se encuentra el resultado completo de la granulometría. (Figura 7.2)

Figura 7.2. Granulometría Materia Orgánica



**Gobernación del Cauca**  
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural

Nombre: Andres Felipe Moncada  
Finca: Cancha de Fútbol Tulcan  
Tel / Fax:  
Vereda:  
Municipio: Popayán  
Dpto: 10. Cauca

UNICAUCA

Fecha entrada: 12 10 2016  
Fecha salida: 14 10 2016  
Material: Suelo  
Tipo de análisis: COMPLETO

DD MM AA  
12 10 2016  
14 10 2016



**RESULTADOS DEL ANALISIS**

Nº Muestra	Codigo Lab.	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O.			P (ppm)	Sat Al (%)	Al	Ca	Mg	K	Na	Cl	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Mo	
					0-1000 (%)	1000-2000 (%)	2000-3000 (%)																
								#####															

Interpretación de los resultados: A: Contenido "abundante" o alto más no excesivo. B: Contenido "suficiente" o adecuado. C: Contenido "moderado" o deficiente. D: Contenido "pobre" o deficiente. E: Valor muy alto "Excesivo" que puede ser perjudicial. F: Contenido libre o "muy pobre". Para pH: A: Alcalino, B: Neutro, C: Ligera acidez, D: Moderadamente ácido, F: Fuertemente ácido, E: Muy ácido. Para M.O: A: Alto, M: Medio, B: Bajo

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION**

Nº Muestra: 0    Cod. Lab: 0    Cultivo:    Trazas: T = TRAZAS

TEXTURA POR BOUYOCOS

ARENITA: 62,88%  
ARCILLA: 16,56%  
LIMO: 20,56%

**RECOMENDACION FERTILIZACION**

Nutrientes puros en Kg/Ha/Año	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO

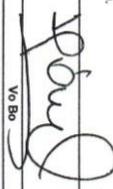
**Metodos de analisis**

Acidez intercanal: KCl 1N, M.O.: Walkley & Black; P: Bray II; Ca: Mg, K y Na: ACOHN4 - IN pH 7  
Cu, Fe, Zn, Mn, Doble Azote.  
B: Absorción Atomica y/o Azotado.

Carretera 6 calle 22N Obras Publicas Departamentales, Tel: Laboratorio (2)8237893 Telefax SADR (2)8231043  
E-mail: lab@seucauca@hotmail.com

Analistas: Ricardo Bonilla - Viviana Muñoz  
Elaboró: Henry Sanchez  
Revisó: Ing. Hernando Sanchez Escobar

Vo Bo



Fuente: Autor

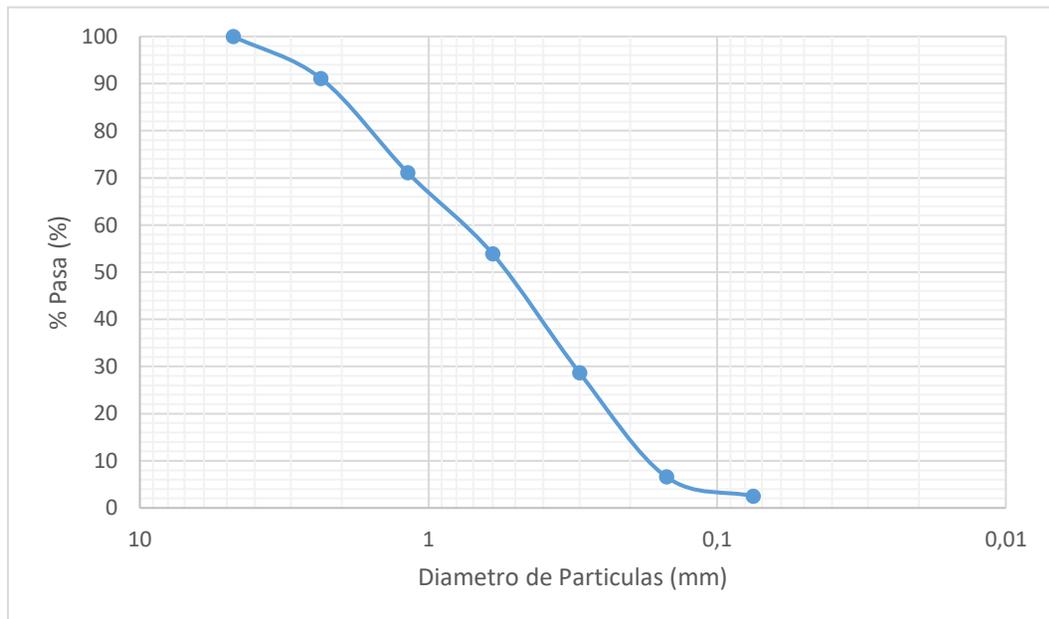
### 7.1.2. AGREGADO DE RÍO (ARENA)

Fue obtenida una muestra representativa de arena, de origen Caucaño, Puerto Tejada. Adquirida directamente en un sitio reconocido en la ciudad de Popayán, específicamente en la Piedra Sur por el monumento a las Chirimías.

Después de tener la arena seca al aire, se tomó una muestra representativa para realizar una granulometría y así determinar la distribución de tamaños de sus partículas. (Tabla 7.1 y Figura 7.3)

Tabla 7.1. Granulometría Arena

TAMICES	TAMICES (mm)	Masa Retenida (g.)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% PASA
# 4	4.75	100	0	0	100
# 8	2.36	83.62	8.9	8.9	91.1
# 16	1.18	187.99	20	28.9	71.1
# 30	0.6	161.75	17.2	46.1	53.9
# 50	0.3	236.63	25.2	71.3	28.7
# 100	0.15	206.85	22.1	93.4	6.6
# 200	0.075	38.58	4.1	97.5	2.5
PASA 200		22.66	2.4	99.9	0.1



Fuente: Propia

Figura 7.3. Granulometría de la arena por tamizado



Fuente: Autor

Los dos materiales fueron extendidos y puestos a secar al aire. (Figura 7.4)

Figura 7.4. Suelo con Materia Orgánica y Arena



Fuente: Autor

## 7.2. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS

Para las pruebas de compactación (Próctor Estándar y Modificado) se necesitan unas proporciones de agregados (arena y suelo orgánico) con sus pesos exactos. Se determina la cantidad de ensayos y el número de puntos que se tienen que obtener en cada ensayo. (Tabla 7.2)

Tabla 7.2. Cantidades necesarias de agregados

	Proporción	Puntos	Cantidad por Punto (Kg)	Material Total (Kg)	Arena (Kg)	M.O. (Kg)
<b>Próctor Estándar</b>	70/30	5	3	15	10.5	4.5
	50/50	5	3	15	7.5	7.5
	40/60	5	3	15	6	9
<b>Próctor Modificado</b>	70/30	5	3	15	10.5	4.5
	50/50	5	3	15	7.5	7.5
	40/60	5	3	15	6	9
<b>TOTAL</b>		30	18	90	48	42

Fuente: Autor

Se realizaron todas las mezclas de acuerdo a las proporciones mencionadas en la Tabla 7.2, para poder empezar con los ensayos Próctor Estándar y Modificado. (Figura 7.5 y Figura 7.6)

Figura 7.5. Mezcla con las proporciones determinadas



Fuente: Autor

Figura 7.6. Cantidades necesarias para ensayos



Fuente: Autor

### 7.3. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

La compactación consiste en un proceso repetitivo, cuyo objetivo es conseguir una densidad específica para una relación óptima de agua, al fin de garantizar las características mecánicas necesarias del suelo. En primer lugar, se coloca sobre la base del cilindro, dispuesto por las normas INV E-141 e INV E-142, generalmente en capas sucesivas, un terreno con granulometría adecuada; a seguir se modifica su humedad por medio de adición de agua y, finalmente, se le transmite energía de compactación por el medio de golpes o de presión. Para esto se utilizan diversos tipos de máquinas, generalmente rodillos lisos, neumáticos, pie de cabra y vibratorios entre otros, en función del tipo de suelo.

Con los ensayos se pretende determinar los parámetros óptimos de compactación (humedad óptima y densidad máxima) lo cual asegurará las propiedades necesarias para el subdrenaje. Esto se traduce en determinar cuál es la humedad que se requiere, con una energía de compactación dada, para obtener la densidad seca máxima que se puede conseguir para un determinado suelo. La humedad que se busca es definida como humedad óptima y es con ella que se alcanza la máxima densidad seca, para la energía de compactación dada.

El suelo se compacta a la medida en que aumenta su humedad, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto de máximo, cuya humedad es la óptima.

Los análisis son realizados en laboratorio por medio de probetas de compactación a las cuales se agrega agua. Los ensayos más importantes son el Próctor Normal o estándar y el Próctor modificado. En ambos análisis son usadas porciones de la muestra de suelo mezclándolas con cantidades distintas de agua, colocándolas en un molde y compactándolas con una masa, anotando las humedades y densidades secas correspondientes. En poder de estos parámetros, humedad/ densidad seca (humedad en %), se colocan los valores conseguidos en un gráfico cartesiano donde la abscisa corresponde a la humedad y la ordenada a la densidad seca. Es así posible diseñar una curva suave y conseguir el punto donde se produce un máximo al cual corresponda la densidad seca máxima y la humedad óptima.

La diferencia básica entre el ensayo Próctor Normal y el Modificado es la energía de compactación usada.

En el Normal se hace caer un peso de 2.5 kilogramos de una altura de 30 centímetros, compactando el suelo en 3 capas con 25 golpes y, en el Modificado, un peso de 5 kilogramo de una altura de 45 centímetros, compactando el suelo en 5 capas con 50 golpes.

### 7.3.1. Proporción 70/30 Próctor Estándar

Tabla 7.3. Próctor Estándar 70/30

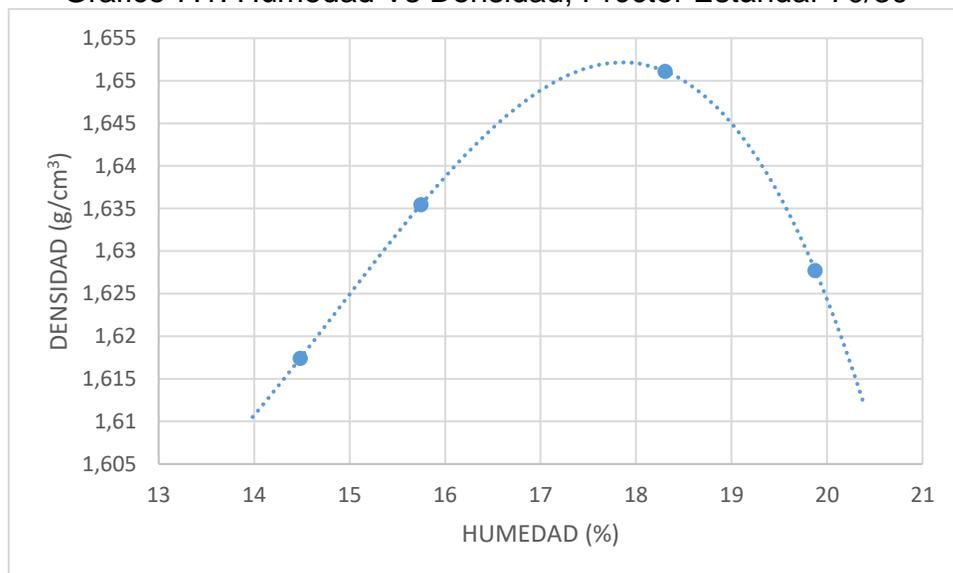
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>				
<b>Obra</b>				
<b>Descripción</b>			<b>Muestra N°</b>	
<b>Método</b>			<b>Fecha</b>	
<b>Prueba N°</b>				
<b>N° de golpes</b>	25	25	25	25
<b>Humedad deseada (%)</b>	14	16	18	20
<b>Humedad inicial de la muestra (%)</b>	6	6	6	6
<b>Humedad adicional (%)</b>	8	10	12	14
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	2500	2500	2500	2500
<b>Peso muestra seca (g)</b>	2358	2358	2358	2358
<b>Agua adicional (cm3)</b>	189	236	283	330
<b>Molde N°</b>	9	4	4	4
<b>Peso muestra húmeda más molde (g)</b>	3753	3743	3800	3798
<b>Peso molde (g)</b>	2005	1956	1956	1956
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	1748	1787	1844	1842
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1533	1540	1562	1535

Densidad teórica (%)	1.624	1.631	1.655	1.626
Peso Recipiente (g)	42.78	45.8	43.23	44.2
Peso Recipiente + muestra húmeda(g)	254.77	240.87	256.24	306.25
Muestra húmeda (g)	211.99	195.07	213.01	262.05
Peso Recipiente + muestra seca (g)	227.95	214.33	223.28	262.8
Muestra seca (g)	185.17	168.53	180.05	218.6
Humedad de Horno (%)	14.48	15.75	18.31	19.88
Peso muestra seca (g)	1527	1544	1559	1537
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	944	944	944	944
Densidad muestra seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.617	1.635	1.651	1.628

Fuente: Autor

La Tabla 7.3 corresponde al ensayo Próctor Estándar con una relación de agregados de 70/30.

Grafico 7.1. Humedad Vs Densidad, Próctor Estándar 70/30



Fuente: Autor

Interpolando en el Gráfico 7.1 se obtiene una humedad óptima de 17.8 % y una densidad máxima de 1.652 g/cm<sup>3</sup>.

### 7.3.2. PROPORCIÓN 70/30 PRÓCTOR MODIFICADO

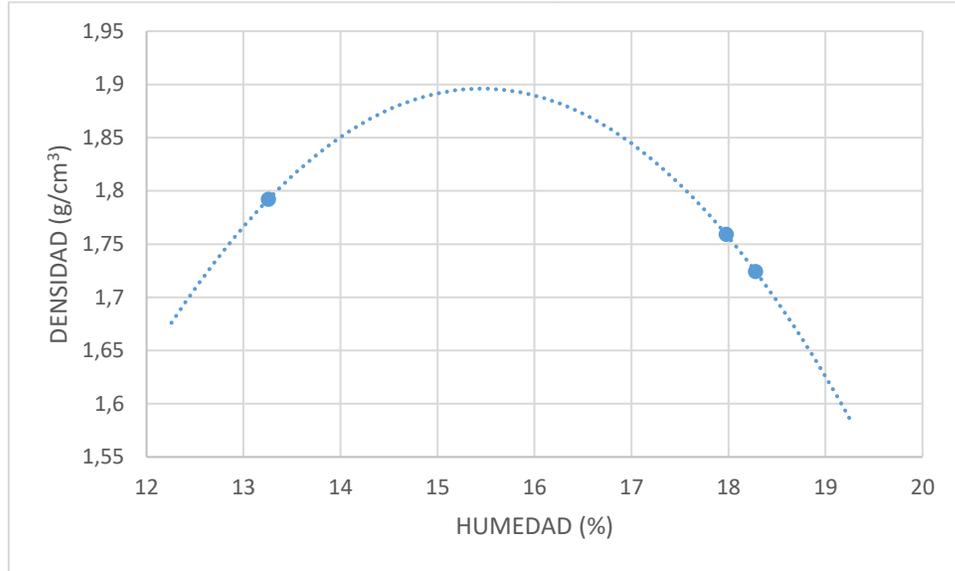
Tabla 7.4. Próctor Modificado 70/30

<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>				
<b>Obra</b>				
<b>Descripción</b>			<b>Muestra N°</b>	
<b>Método</b>			<b>Fecha</b>	
<b>Prueba N°</b>				
<b>N° de golpes</b>	25	25	25	25
<b>Humedad deseada (%)</b>	12	14	16	18
<b>Humedad inicial de la muestra (%)</b>	6	6	6	6
<b>Humedad adicional (%)</b>	6	8	10	12
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	3000	3000	3000	3000
<b>Peso muestra seca (g)</b>	2830	2830	2830	2830
<b>Agua adicional (cm3)</b>	170	226	283	340
<b>Molde N°</b>	4	9	4	9
<b>Peso muestra húmeda más molde (g)</b>	3819	3921	3915	3930
<b>Peso molde (g)</b>	1956	2005	1956	2005
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	1863	1916	1959	1925
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1663	1680	1688	1631
<b>Densidad teórica (%)</b>	1.762	1.780	1.789	1.728
<b>Peso Recipiente (g)</b>	45.37	47.92	45.07	49.92
<b>Peso Recipiente + muestra húmeda(g)</b>	215.27	243.39	286.11	280.19
<b>Muestra húmeda (g)</b>	169.9	195.47	241.04	230.27
<b>Peso Recipiente + muestra seca (g)</b>	197.51	220.51	249.38	244.6
<b>Muestra seca (g)</b>	152.14	172.59	204.31	194.68
<b>Humedad de Horno (%)</b>	11.67	13.26	17.98	18.28
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1668	1691	1660	1627
<b>Volumen del molde (cm3)</b>	944	944	944	944
<b>Densidad muestra seca (g/cm3)</b>	1.767	1.792	1.759	1.724

Fuente: Autor

La Tabla 7.4 corresponde al ensayo Próctor Modificado con una relación de agregados de 70/30.

Grafico 7.2. Humedad Vs Densidad, Próctor Modificado 70/30



Fuente: Autor

Interpolando en el Grafico 7.2 se obtiene una humedad optima de 15.4 % y una densidad máxima de 1.895 g/cm<sup>3</sup>.

### 7.3.3. PROPORCIÓN 50/50 PRÓCTOR ESTÁNDAR

Tabla 7.5. Próctor Estándar 50/50

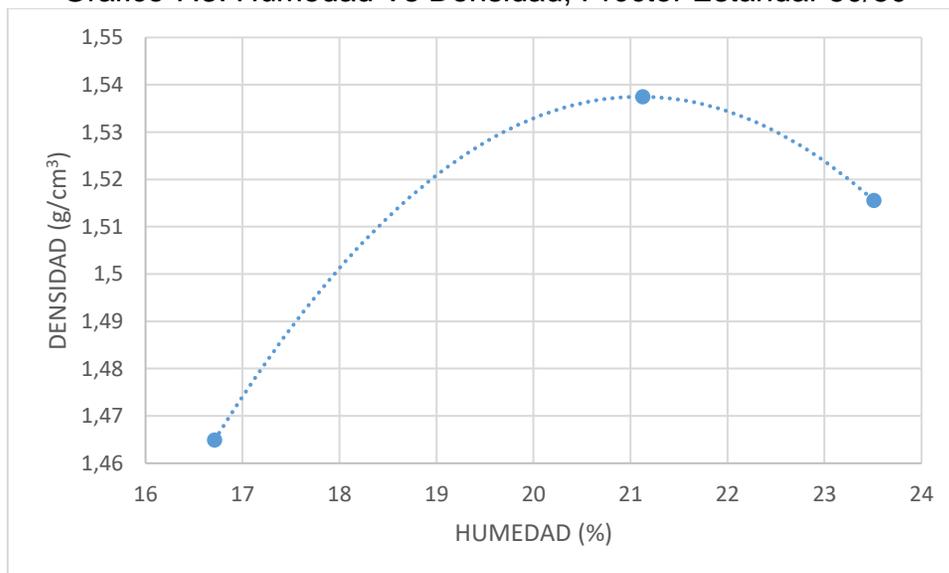
<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>				
Obra				
Descripción			Muestra N°	
Método			Fecha	
Prueba N°				
N° de golpes	25	25	25	25
Humedad deseada (%)	17	20	23	26
Humedad inicial de la muestra (%)	10	10	10	10
Humedad adicional (%)	7	10	13	16
Peso muestra húmeda (g)	2500	2500	2500	2500
Peso muestra seca (g)	2273	2273	2273	2273
Agua adicional (cm3)	159	227	295	364
Molde N°	4	4	9	9
Peso muestra húmeda más molde (g)	3570	3659	3763	3772

<b>Peso molde (g)</b>	1956	1956	2005	2005
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	1614	1703	1758	1767
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1379	1419	1429	1402
<b>Densidad teórica (%)</b>	1.461	1.503	1.514	1.486
<b>Peso Recipiente (g)</b>	45.07	44.29	49.92	43.22
<b>Peso Recipiente + muestra húmeda(g)</b>	235.64	157.74	229.89	264.81
<b>Muestra húmeda (g)</b>	190.57	113.45	179.97	221.59
<b>Peso Recipiente + muestra seca (g)</b>	208.35	138.33	198.5	222.63
<b>Muestra seca (g)</b>	163.28	94.04	148.58	179.41
<b>Humedad de Horno (%)</b>	16.71	20.64	21.13	23.51
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1383	1412	1451	1431
<b>Volumen del molde (cm3)</b>	944	944	944	944
<b>Densidad muestra seca (g/cm3)</b>	1.465	1.495	1.537	1.516

Fuente: Autor

La Tabla 7.5 corresponde al ensayo Próctor Estándar con una relación de agregados de 50/50.

Grafico 7.3. Humedad Vs Densidad, Próctor Estándar 50/50



Fuente: Autor

Interpolando en el Gráfico 7.3 se obtiene una humedad óptima de 21.2 % y una densidad máxima de 1.538 g/cm<sup>3</sup>.

### 7.3.4. PROPORCIÓN 50/50 PRÓCTOR MODIFICADO

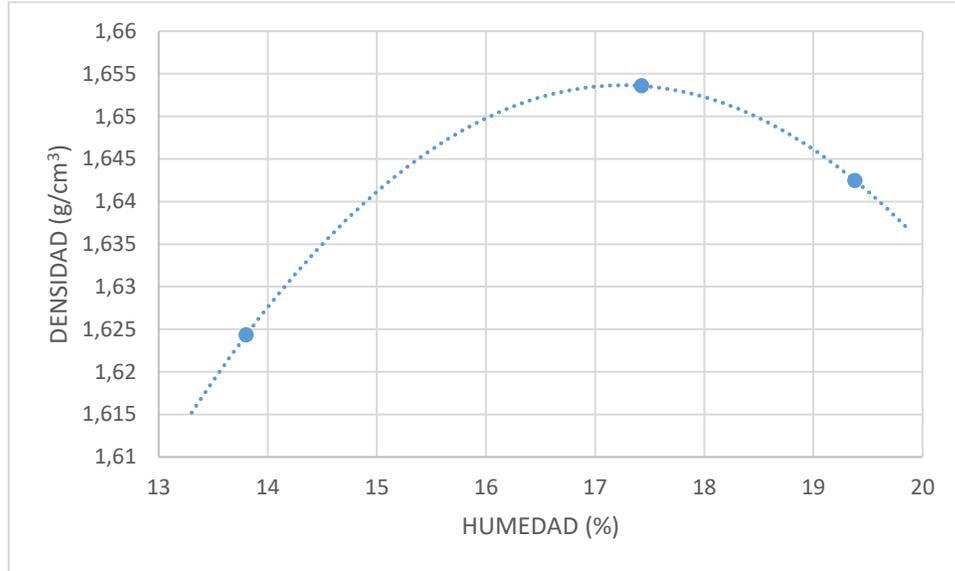
Tabla 7.6. Próctor Modificado 50/50

<b>ENSAYO DE COMPACTACIÓN</b>			
<b>Obra</b>			
<b>Descripción</b>			<b>Muestra N°</b>
<b>Método</b>			<b>Fecha</b>
<b>Prueba N°</b>			
<b>N° de golpes</b>	25	25	25
<b>Humedad deseada (%)</b>	14	17	20
<b>Humedad inicial de la muestra (%)</b>	10	10	10
<b>Humedad adicional (%)</b>	4	7	10
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	3000	3000	3000
<b>Peso muestra seca (g)</b>	2727	2727	2727
<b>Agua adicional (cm3)</b>	109	191	273
<b>Molde N°</b>	9	9	4
<b>Peso muestra húmeda más molde (g)</b>	3750	3838	3807
<b>Peso molde (g)</b>	2005	2005	1956
<b>Peso muestra húmeda (g)</b>	1745	1833	1851
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1531	1567	1543
<b>Densidad teórica (%)</b>	1.622	1.660	1.634
<b>Peso Recipiente (g)</b>	42.78	47.9	45.78
<b>Peso Recipiente + muestra húmeda(g)</b>	257.15	249.51	236.54
<b>Muestra húmeda (g)</b>	214.37	201.61	190.76
<b>Peso Recipiente + muestra seca (g)</b>	231.15	219.59	205.57
<b>Muestra seca (g)</b>	188.37	171.69	159.79
<b>Humedad de Horno (%)</b>	13.80	17.43	19.38
<b>Peso muestra seca (g)</b>	1533	1561	1550
<b>Volumen del molde (cm3)</b>	944	944	944
<b>Densidad muestra seca (g/cm3)</b>	1.624	1.654	1.642

Fuente: Autor

La Tabla 7.6 corresponde al ensayo Próctor Modificado con una relación de agregados de 50/50.

Grafico 7.4. Humedad Vs Densidad, Próctor Modificado 50/50



Fuente: Autor

Interpolando en el Grafico 7.4 se obtiene una humedad optima de 17.4 % y una densidad máxima de 1.654 g/cm<sup>3</sup>

Antes de iniciar los ensayos para la proporción 60/40 se hizo una prueba de permeabilidad en una muestra 70/30 compactada por Próctor Estándar. (Tabla 7.8)

Tabla 7.7. Humedades Optimas y Densidades Máximas

PROPORCIÓN	TIPO DE ENSAYO	HUMEDAD OPTIMA (%)	DENSIDAD MÁXIMA (G/CM3)
70/30	Próctor Estándar	17.8	1.652
70/30	Próctor Modificado	15.4	1.895
50/50	Próctor Estándar	21.2	1.538
50/50	Próctor Modificado	17.4	1.654

Fuente: Autor

La Tabla 7.7 muestra que la proporción donde se logra la mayor densidad es de 70% arena gruesa y 30% suelo orgánico, compactando con el ensayo Próctor Modificado, alcanzando una densidad de 1.895 g/cm<sup>3</sup> con una humedad de 15.4 %.

## 7.4. PERMEABILIDAD

Para determinar la capacidad que tiene el campo para filtrar el agua que puede llegar en determinada época del año, se va a medir el tiempo que tardan los cilindros de prueba para evacuar una cantidad determinada de agua para las diferentes mezclas de agregados después de estar saturados previamente.

Se realizaron cálculos utilizando el régimen de lluvias máximo para Popayán: 74 mm\*hora/m<sup>2</sup>, dato obtenido de la estación meteorológica de la Universidad del Cauca, el objetivo es obtener la cantidad necesaria para el área del cilindro donde se realiza la prueba de resistencia.

$$\text{Area del cilindro} = 81.07 \text{ cm}^2 = 0.008107 \text{ m}^2$$

$$\frac{74 \text{ mm}}{\text{m}^2} = \frac{74 \text{ lt}}{\text{m}^2} = \frac{74000 \text{ cm}^3}{\text{m}^2} * 0.008107 \text{ m}^2 = 600 \text{ cm}^3$$

Se utilizaron 600 cm<sup>3</sup> para los ensayos.

El procedimiento a seguir para determinar los tiempos que tarda la muestra en evacuar esta cantidad de agua calculada es el siguiente:

- Después de realizar la prueba de compactación, se instala el sistema. (Figura 7.7)
- Se hidrata la muestra hasta conseguir una saturación del 100%
- Se inicia el cronometro y en el mismo instante agregamos los 600 cm<sup>3</sup> al cilindro
- Esperar hasta que desaparezca la película de agua de la superficie de la muestra y se detiene el cronometro
- Se registra el tiempo gastado y se apuntan todas las referencias. (Tabla 7.8)

Figura 7.7. Montaje para permeabilidad



Fuente: Autor

Se aplicó la misma prueba de permeabilidad simulando las condiciones naturales del terreno con una capa vegetal obtenida directamente de la grama presente en la cancha de futbol, se determinó el tiempo que gasta esta capa en evacuar la cantidad de agua determinada. Como el diámetro del recipiente cambió, se calcula nuevamente la cantidad de agua a emplear. (Figura 7.8)

$$\text{Area del cilindro} = 324.3 \text{ cm}^2 = 0.03243 \text{ m}^2$$

$$\frac{74 \text{ mm}}{\text{m}^2} = \frac{74 \text{ lt}}{\text{m}^2} = \frac{74000 \text{ cm}^3}{\text{m}^2} * \frac{0.03243 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2} = 2400 \text{ cm}^3$$

Figura 7.8. Capa Vegetal para Permeabilidad



Fuente: Autor

Se utilizaron 2400 cm<sup>3</sup> para el ensayo.

El procedimiento a seguir para determinar los tiempos que tarda la muestra en evacuar esta cantidad de agua calculada es el siguiente:

- Se instala el sistema. (Figura 7.8), no se realiza ninguna compactación, ya que es simplemente una capa vegetal.
- Se hidrata la muestra hasta conseguir una saturación del 100%
- Se inicia el cronometro y en el mismo instante agregamos los 2400 cm<sup>3</sup> al cilindro
- Esperar hasta que desaparezca la película de agua de la superficie de la muestra y se detiene el cronometro
- Se registra el tiempo gastado y se apuntan todas las referencias. (Tabla 7.8)

La Tabla 7.8 presenta los resultados de los ensayos de permeabilidad realizados para las diferentes muestras de agregados, sus respectivas proporciones y diferencia de tamaños de partículas, así como para la capa vegetal.

Tabla 7.8. Resultados Permeabilidad

Descripción de los agregados	Energía de Compactación	Proporción	Tiempo Gastado
Arena sin tamizar Materia Orgánica	Próctor Estándar	70/30	5 horas, 14 min
Arena sin tamizar	Próctor Estándar	100 Arena	1 hora, 35 min
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 30	Próctor Estándar	100 Arena	69 seg
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 100	Próctor Estándar	100 Arena	13 min, 44 seg
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 100	Próctor Modificado	100 Arena	55 min
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 100 Materia Orgánica	Próctor Estándar	90/10	21 min, 28 seg
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 100 Materia Orgánica	Próctor Modificado	90/10	1 hora, 51 min
Arena Pasante del tamiz # 4 Retenido tamiz # 100 Materia Orgánica	Próctor Estándar	80/20	49 min, 16 seg
Capa Vegetal			2 min

Fuente: Autor

La proporción que se recomendó inicialmente en el diseño del drenaje realizado por el Departamento de Hidráulica de la Universidad después de ser sometidas a la prueba Próctor Estándar, se tomó más de cinco horas y ni siquiera filtro el 10% del agua seleccionada, razón por la cual, se decidió cambiar las relaciones, y principalmente los tamaños de las partículas, para poder lograr el objetivo de la permeabilidad, evacuar el agua calculada en menos de una hora.

## 7.5. BALANCE HÍDRICO

González, L. (2008). Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración de referencia mensual estimada, se puede estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evacuar la disponibilidad de agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal, o el establecimiento del régimen de humedad de los suelos o de criterios de diferenciación climática.

Existen varios modelos para estimar el balance de agua en el suelo; se seguirá el método directo propuesto por Thornthwaite y Mather, según el cual se va perdiendo agua para poder ganar la evapotranspiración potencial hasta agotar la reserva.

El balance hídrico consiste en definir mes a mes los parámetros en mm o L/m<sup>2</sup>.

P: precipitación media mensual

ETo: evapotranspiración potencial o de referencia

R: Reserva

VR: variación de reserva

ETR: evapotranspiración real

Cuando en un mes se produzcan más entradas que salidas ( $P > ETo$ ), el agua sobrante pasara a engrosar las reservas de agua del suelo; por el contrario, cuando las salidas son menores que las entradas se reducirán las reservas de agua en el suelo.

Cuando el suelo de la cancha de futbol alcance la capacidad de retención del mismo, el agua de precipitación en exceso escurrirá superficialmente hacia los drenajes superficiales o en profundidad hacia los subdrenes diseñados.

Se aclara que el concepto de reserva máxima o cantidad de agua por unidad de superficie "mm", que el suelo es capaz de almacenar en su perfil.

Se modelará la realidad del suelo desde el punto de vista edafológico y se calculará para el perfil del suelo, la capacidad para retener agua como la diferencia entre el

contenido de agua a capacidad de campo y el punto de marchitamiento se considerará que el tipo de vegetación (grama), la profundidad del suelo donde tienen lugar las pérdidas por evapotranspiración la cual está definida por la profundidad del sistema radicular de la grama instalada. Por lo tanto, esa reserva máxima será igual.

$$c. a. = da * \frac{C. C. - P. M}{100} * P. R.$$

Donde:

c.a. = capacidad de almacenamiento del suelo expresado en altura de agua en cm.

C.C. = capacidad de campo en porcentaje

P.M. = punto de marchitez permanente en porcentaje

P.R. = profundidad radicular en cm

da = densidad aparente del suelo en g/cm<sup>3</sup>

### 7.5.1. Información básica

Tamaño del predio: 95 m \* 65 m = 6175 m<sup>2</sup>

Fuente de Agua: Superficial

Evapotranspiración Máxima: 91.7 en Julio

Suelo: Franco Arenoso

Profundidad Radicular: 10 cm = 0.1 m

Profundidad Radicular Efectiva: 15 cm = 0.15 m

Densidad Aparente del Suelo: 1.50 g/cm<sup>3</sup>

Capacidad de Campo: 14%

Punto de Marchitez Permanente: 6%

$$c. a. = d. a. \left( \frac{C.C. - P.M.P.}{100} \right) * P. R = 1.5 \left( \frac{14 - 6}{100} \right) * 15 = 1.8 \text{ cm}$$

tm: Temperatura media (°C)

I = J: Índice calórico anual igual a la suma de los 12 índices calóricos mensuales

$$Ji = \left( \frac{Ta}{5} \right)^{1.514} \quad J = \sum Ji$$

a: Exponente, está en función de J

$$a = (675 \cdot 10^{-9}) J^3 - (771 \cdot 10^{-7}) J^2 + (179 \cdot 10^{-4}) J + 0.492$$

Tabla 7.9. Resultados Thornthwaite

TOTALES	ÍNDICES	
tm	19.05	Ih = 134.31
I	90.94	Ia = 5.45
a	1.99	Im = 131.04
evtp	868.41	
evtpe	267.83	
evtpe	30.84	
Pp	2004.50	
reserva ideal	18.00	A PERHÚMEDO
déficit	47.31	r POCA O NULA FALTA DE AGUA EN VERANO
exceso	1166.40	B'3 MESOTÉRMICO
torrencialidad R	415.84	a'

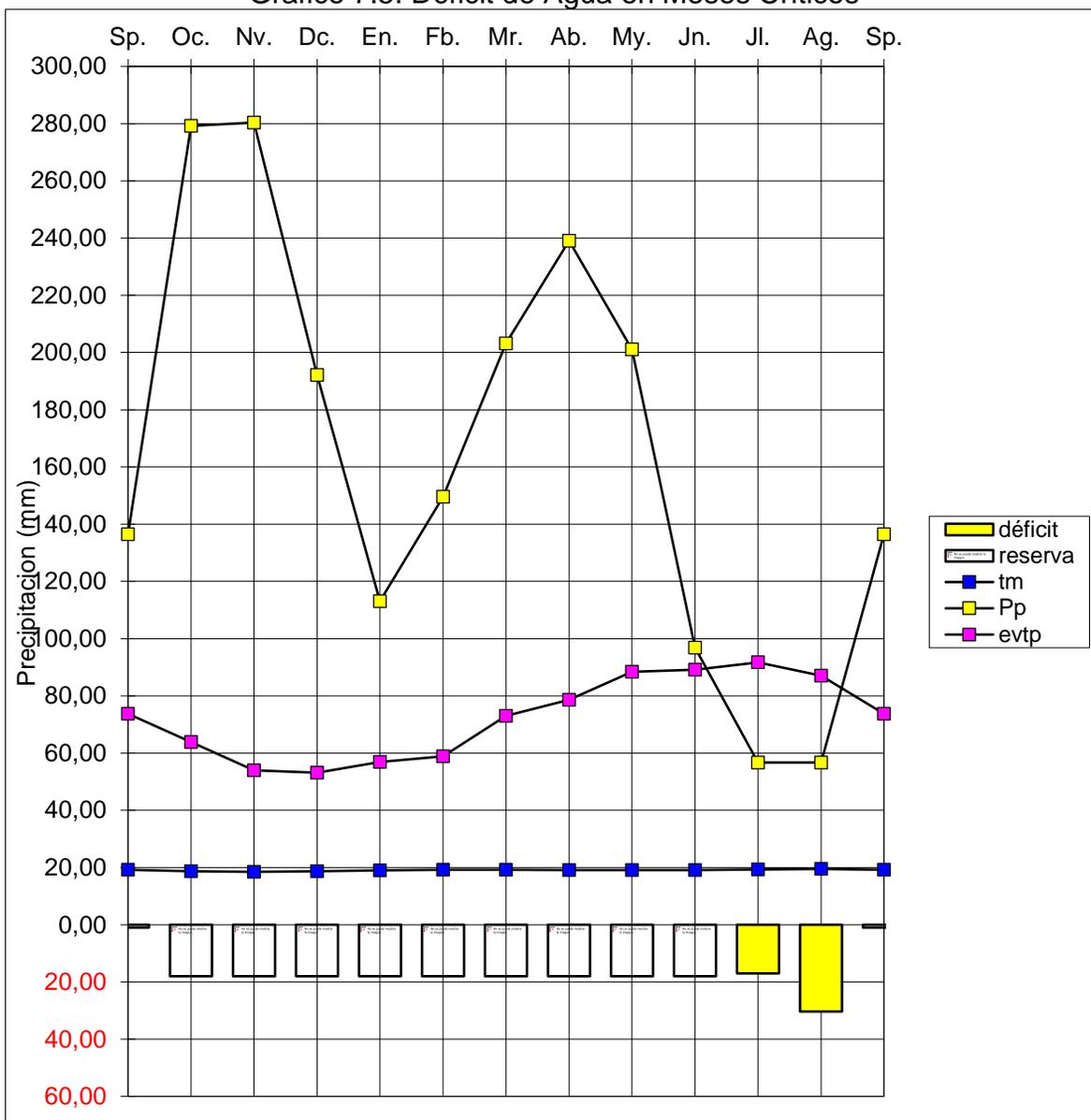
Fuente: GONZÁLEZ, Luis Jorge. Hidrología

Tabla 7.10. Cálculos Evapotranspiración

<b>FICHA CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE</b>												
<b>Estación:</b>	<b>Fuente: IDEAM</b>				Clasificación				<b>A</b>	<b>r</b>	<b>B'3</b>	<b>a'</b>
Log.	7636		W		Altura				1,749	metros.		
Lat.	227		N		Período				1942-2016			
	<b>Sp.</b>	<b>Oc.</b>	<b>Nv.</b>	<b>Dc.</b>	<b>En.</b>	<b>Fb.</b>	<b>Mr.</b>	<b>Ab.</b>	<b>My.</b>	<b>Jn.</b>	<b>Jl.</b>	<b>Ag.</b>
<b>tm</b>	<b>19.2</b>	<b>18.7</b>	<b>18.5</b>	<b>18.7</b>	<b>19</b>	<b>19.2</b>	<b>19.2</b>	<b>19.1</b>	<b>19.1</b>	<b>19.1</b>	<b>19.3</b>	<b>19.5</b>
<b>i</b>	7.67	7.37	7.25	7.37	7.55	7.67	7.67	7.61	7.61	7.61	7.73	7.85
<b>evt</b>	70.90	67.27	65.84	67.27	69.44	70.90	70.90	70.17	70.17	70.17	71.64	73.12
<b>ajuste</b>	1.04	0.95	0.82	0.79	0.82	0.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19
<b>evtp</b>	73.74	63.91	53.99	53.14	56.94	58.85	73.03	78.59	88.41	89.11	91.70	87.02
<b>Pp</b>	<b>136.5</b>	<b>279.2</b>	<b>280.4</b>	<b>192.1</b>	<b>113.1</b>	<b>149.6</b>	<b>203.2</b>	<b>239.1</b>	<b>201.1</b>	<b>96.8</b>	<b>56.7</b>	<b>56.7</b>
<b>humedad</b>	62.76	215.29	226.41	138.96	56.16	90.75	130.17	160.51	112.69	7.69	-35.00	-30.32
<b>reserva</b>	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	0.00	0.00
<b>evtr</b>	73.74	63.91	53.99	53.14	56.94	58.85	73.03	78.59	88.41	89.11	74.70	56.70
<b>déficit</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	30.32
<b>exceso</b>	44.76	198.29	226.41	138.96	56.16	90.75	130.17	160.51	112.69	7.69	0.00	0.00

Fuente: GONZÁLEZ, Luis Jorge. Hidrología

Grafico 7.5. Déficit de Agua en Meses Críticos



Fuente: GONZÁLEZ, Luis Jorge. Hidrología

Con el balance hídrico realizado (Tabla 7.10) la variación de la precipitación con relación a la evapotranspiración media anual (Grafico 7.5). Durante los meses de junio, Julio y agosto la evapotranspiración es mayor que la precipitación y se consideran unos meses secos. Los demás meses del año se consideran húmedos. Esta situación se puede agravar con la presencia del fenómeno del Niño, que se caracteriza por disminución de las precipitaciones.

El resultado del balance hídrico muestra los meses donde el déficit de agua en el suelo se incrementa a medida que disminuye la reserva, todo esto por la disminución de las precipitaciones.

En estos meses crítico es necesario suministrar agua por riego manual, ya que no se cuenta con riegos automatizados o mecánicos. El agua será tomada directamente de la red de acueducto de la empresa municipal de la ciudad de Popayán.

## 8. CONCLUSIONES

- Después de realizar las pruebas Próctor Estándar y Modificado a las mezclas de agregados escogidas, interpolando en los resultados de estos ensayos, se determinaron las densidades óptimas y las humedades máximas en las curvas de compactación.
- La energía de compactación utilizada en los ensayos Próctor es muy elevada, teniendo en cuenta que los esfuerzos que transmite una persona al campo de juego son mínimos comparados con los que deja un vehículo, objetivo de los ensayos antes mencionados.
- Utilizando esta energía no solo se asegura una acomodación ideal de las partículas compactadas haciendo casi nula la deformación, también se forma un lecho casi impermeable. Problema adicional, al no poder drenar la lámina de agua antes calculada. Cinco horas más tarde no habría drenado ni el 10% del cálculo realizado.
- Después de realizar los ensayos a las mezclas planteadas inicialmente, se concluye que no es posible utilizar una mezcla de arena y materia orgánica sin por lo menos eliminar las partículas más finas. Ni siquiera utilizando solo arena, tardo una hora y media en drenar el agua seleccionada. Cabe recordar que esta cantidad calculada debe filtrarse en una hora o menos.
- Obteniendo un agregado mal gradado, producto de pasar el material por varias series de tamices, se toman muestras para realizar nuevamente los ensayos de compactación y permeabilidad y así elegir el óptimo.
- Comparando todos los ensayos realizados se determina que las partículas finas pasantes del tamiz # 100 son los responsables de impedir el paso del agua por el lecho filtrante después de la compactación. En el laboratorio fue fácil tamizar y obtener el agregado deseado para las pruebas, caso contrario cuando se vaya a recrear la misma situación en campo, incrementaría los costos al requerir un material con una granulometría específica.
- Al momento de hacer la prueba de filtración a la grama natural, se pudo corroborar que esta drena el agua casi al instante, es decir, la responsabilidad de evacuar las precipitaciones es el lecho filtrante que va debajo de esta capa vegetal.
- El método de Thornthwaite es el más usado, utiliza para el cálculo de la evapotranspiración valores medios mensuales de temperatura y precipitación

difuminando así las lluvias que se producen en corto espacio de tiempo y que, sin embargo, contribuyen en gran medida a la infiltración.

- Con los resultados obtenidos del balance hídrico, se determinó que los meses de junio, julio y agosto son críticos, en esta temporada del año las precipitaciones disminuyen a tal punto, de crearse un déficit de agua, aumentando el problema cuando se presenta el fenómeno del Niño, que se caracteriza por sequias prolongadas.

## 9. RECOMENDACIONES

- Los escenarios para competencias oficiales aprobadas por la FIFA utilizan en sus drenajes un material en específico, arena con tamaños de partículas definidos, es decir mal gradados, eliminando todas las partículas finas que puedan impedir el paso del agua cuando el suelo se encuentra compactado y saturado
- Hay que tener en cuenta que la energía utilizada para estas pruebas de compactación es bastante alta, no está de más recordar que estos ensayos se realizan para el diseño de pavimentos, los cuales van a estar sometidos a esfuerzos mayores que los ejercidos en la cancha. Se recomienda encontrar otro método para compactar con una energía similar a la que ejercen los jugadores de futbol en situaciones críticas.
- Teniendo en cuenta que otra opción para no descartar el material existe en la cancha de futbol es utilizar otra energía para compactar. Se podría utilizar las relaciones de agregados definidas al inicio (materia orgánica y arena gruesa), colocar el material ya mezclado y nivelarlo para posteriormente ser compactado con la grama instalada. Se recomienda compactar haciendo uso de un rodillo manual.
- Los resultados del Balance hídrico arrojaron los siguientes resultados: La precipitación media del área urbana del municipio de Popayán tiene un promedio de 2079 mm anuales. El balance hídrico entonces nos muestra que las épocas de almacenamiento son marzo, abril y mayo con un valor total 239.1 mm al igual que los meses de septiembre, octubre y noviembre con un total de 280.4 mm, así como épocas de descarga los meses de diciembre, enero y febrero con un total de 113.1 mm, y junio, julio y agosto con un total de 56.7 mm.
- En los meses que se presenta déficit de agua (junio, julio y agosto), se haría la aplicación de riego artificial por aspersión aplicando la lámina de agua requerida. Para el mes de julio la cantidad sería 17 mm, y para el mes de agosto 30 mm.
- No solo se debe tener en cuenta el balance hídrico para mantener hidratado el campo deportivo, también se puede hacer un riego periódico cuando no se presentan lluvias, aún más cuando se presenta el fenómeno del Niño, que se caracteriza por sequías muy prolongadas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ARIAS HERNÁNDEZ, Antonio. Programa de especialización en ingeniería de regadío. Instituto de Postgrado en vías e ingeniería civil. Popayán: universidad del Cauca. 1994. 233p.

Asociación Española de Greenkeepers. Canchas grama natural. [Consulta: 15 enero 2017]. Disponible en: <https://aegreenkeepers.com/futbol>.

BORNAS, Gabriel. Jardinería. Madrid: Salvat S.A., 1956. p170 – 210.

GONZÁLEZ, Luis Jorge. Hidrología. 1 ed. Popayán (CAUCA). Propiedad intelectual, 2008.

GRASSI, C (1981) Drenaje de Tierras Agrícolas. Mérida, Venezuela: 1ª ed. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT). 1981 pp. 22– 57.

INSTITUTO DE DEPORTE Y RECREACIÓN DE ANTIOQUIA. (INDER). Manual para construcción de Canchas de Fútbol con Grama y en Arenilla. Medellín. 2001. 18p

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [sitio web]. IDEAM. [Consulta: 15 enero 2017]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/>.

LUTHIN, James N. Drenaje de Tierras Agrícolas, Teoría y Aplicaciones, México: LIMUSA, 1972. 276 p.

MANUAL TÉCNICO. GEODREN PAVCO. Santa fe de Bogotá D.C., Colombia. 2000. 6P

MONJE JIMÉNEZ, Rafael J. Céspedes Ornamentales y Deportivos. Junta de Andalucía (España). 2004. ISBN 978-84-8474-255-5

POLANCO, Margarita. Mecánica de Suelos. 1 ed. Popayán (CAUCA). Sello Editorial Universidad del Cauca, 2014. ISBN 978-958-732-017-6.