

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA, ESTIMACIÓN DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS,  
Y DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIÓN ACTUAL CON FINES DE  
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA CANCHA  
DE FÚTBOL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**FABIÁN ANTONIO BARRERA RENZA  
JHON EDUARD RAMOS CANO**



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2014**

**EVALUACIÓN HIDRÁULICA, ESTIMACIÓN DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS,  
Y DETERMINACIÓN DEL SISTEMA DE OPERACIÓN ACTUAL CON FINES DE  
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LA CANCHA  
DE FÚTBOL DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**FABIÁN ANTONIO BARRERA RENZA  
JHON EDUARD RAMOS CANO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero  
Agrícola**

**Director:  
MIGUEL GUERMAN CIFUENTES PERDOMO  
Ing. Agrícola-Especialista en Ingeniería de Irrigación**



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA  
2014**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

Firma del Director  
**MIGUEL GERMÁN CIFUENTES PERDOMO**  
Esp. Ingeniería de Irrigación

---

Firma del Jurado  
**RODRIGO ALBERTO PACHÓN BEJARANO**  
M.Sc. Educación y Desarrollo Comunitario

---

Firma del Jurado  
**JAIME IZQUIERDO BAUTISTA**  
M.Sc. Ingeniería Civil

Neiva, Junio 2014

## **DEDICATORIA**

### **Jhon E. Ramos**

Agradezco a Dios por permitirme realizar este proyecto de grado, doy gracias a mi familia, a mi mamá Martha Cano, por su amor de madre, por su apoyo y simplemente por creer en mí, a mi papá Carlos Ramos, por su constante lucha y gran esfuerzo, mi hermano que lo adoro, a mi tío Aldemar por sus consejos y reproches, a mi abuelita Alicia a quién considero como mi segunda mamá y a Sandra por su incondicionalidad. A mi hermano Q.E.P.D y mi compañero de proyecto de grado.

### **Fabián A. Barrera**

A Dios todo poderoso por guiar mi camino, permitirme aprender y estar dando un gran paso en mis aspiraciones y deseos de convertirme cada día en un hombre más capacitado y útil para la sociedad.

A mis familiares por estar a mi lado siendo siempre tan unidos y serviciales.

A mis padres GERARDO BARRERA Y ALBA LUZ RENZA por su incondicional y amoroso apoyo.

A mis hermanos DORIAN MAURICIO, GERARDO ANDRES Y DIEGO ALEJANDRO por su gran amabilidad, ayuda y consejos.

A mis amigos, muchos de ellos han sido como hermanos, en especial a JHON EDUARD RAMOS CANO parcerero incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios y a nuestras familias por su orientación y dedicación.

MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO, Ingeniero Agrícola, Especialista en Ingeniería de irrigación, Docente de la facultad de ingeniería, Universidad Surcolombiana, por su amplio conocimiento y experiencia, el tiempo dedicado al proyecto y por su constante apoyo en el transcurso de la realización de este.

RODRIGO PACHON BEJARANO, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Docente de la Universidad Surcolombiana por colaboración en el desarrollo del proyecto.

JAIME IZQUIERDO, Ingeniero Agrícola, M.Sc. Ingeniería Civil, Docente de la Universidad Surcolombiana por sus consejos durante toda la carrera.

A Pipe, la Tata, Buitrago, Velez, Chumi, el Flaco, Rafinia, el gordo Tovar, Sanmiguel, el Che, Trompeta Silva, Serrato, Diana, Don Rafael, Don Mario, Adriana, Barrios, el Pana, Nini, Milena, Hanny y demás personas que influyeron durante el proceso de formación académica.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>15</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>16</b>
<b>1 REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>17</b>
1.1 EL CÉSPED DE LA CANCHA DE FÚTBOL	17
1.2 FRECUENCIA DE RIEGO	18
1.3 RIEGO	18
1.4 SISTEMAS DE RIEGO INTEGRADO	18
1.5 VOLUMEN APLICADO POR RIEGO	19
1.6 LA MEJOR HORA PARA REGAR	19
1.7 DISEÑO AGRONÓMICO	20
1.8 SISTEMA Y TIPOS DE RIEGO	20
1.9 RIEGO POR ASPERSIÓN	20
1.9.1 Componentes de un sistema de riego por aspersión	21
1.9.1.1 Presión en el agua	21
1.9.1.2 Red de tuberías	21
1.9.1.3 Aspersores	21
1.9.1.4 Depósito del agua	22
1.9.2 Ventajas y Desventajas del Sistema de Riego por Aspersión	22
1.9.2.1 Ventajas del Sistema de Riego por Aspersión	22
1.9.2.2 Desventajas del Sistema de Riego por Aspersión	22
1.10 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN	23
1.11 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO	23
1.11.1 Conductividad Eléctrica (CE)	24
1.11.2 Salinidad Efectiva (SE)	24
1.11.3 Salinidad Potencial (SP)	24
1.11.4 Relación Absorción Sodio (RAS)	24

1.11.5	Carbonato de sodio residual (CSR)	24
1.11.6	Porcentaje de sodio posible (PSP)	24
<b>2</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
2.1	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	25
2.2	METODOLOGÍA DE CAMPO	26
2.2.1	Puntos de muestro	26
2.2.2	Análisis de muestras	26
2.2.3	Infiltración básica (Vib)	26
2.2.4	Conductividad Hidráulica (Ks)	26
2.2.5	Cálculo de las necesidades de riego	27
2.2.5.1	Cálculo de Requerimientos Hídricos	27
2.2.5.1.1	Cálculo de la Evapotranspiración (ETP) según la ecuación de HARGREAVES en Cultivo de Pastos	27
2.2.5.1.2	Lámina de agua realmente aprovechable (LARA)	27
2.2.5.1.3	Volumen de agua realmente aprovechable (VARA)	27
2.2.5.1.4	Volumen de agua rápidamente aprovechable (VARARL)	28
2.2.5.1.5	Frecuencia de Riego (Fr)	28
2.2.5.1.6	Volumen Neto Ajustado (VNA)	28
2.2.5.1.7	Volumen Bruto (VB)	28
2.2.5.1.8	Tasa de Aplicación del Aspersor (Ta)	28
2.2.5.1.9	Grado de aplicación del sistema de riego (Ga)	29
2.2.5.1.10	Tiempo de Riego por posición (TR)	29
2.2.5.1.11	Nuevo Nivel de Agotamiento (NA)	29
2.2.5.1.12	Humedad del suelo a regar (HS)	30
2.2.6	Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen CU	30
2.2.7	Análisis de calidad de agua	30
2.2.7.1	Alcalinidad	31
2.2.7.2	Índices Fundamentales que definen Calidad de Agua para Riego	31
2.2.7.2.1	Salinidad Efectiva	31
2.2.7.2.2	Salinidad Potencial	32
2.2.7.2.3	Porcentaje de Sodio Posible	32

2.2.7.2.4	Índice de Magnesio-----	32
2.2.7.2.5	Carbonato de Sodio Residual-----	33
2.2.7.3	Determinación de la RAS -----	33
2.2.7.4	Clasificación de la Calidad de Agua con fines de riego -----	33
2.2.7.4.1	Clasificación de la Calidad de Agua según la norma Riverside 33	
2.3	RESULTADOS-----	35
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS-----</b>	<b>36</b>
3.1	CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE RIEGO -----	36
3.1.1	Características Generales del sistema de riego -----	37
3.1.2	Propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo -----	38
3.2	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CHRISTIANSEN-----	41
3.3	ANÁLISIS FISICO-QUIMICO DEL AGUA DEL POZO SUBTERRÁNEO CON FINES DE RIEGO -----	42
3.3.1	pH-----	42
3.3.2	Temperatura-----	43
3.3.3	Alcalinidad -----	43
3.3.4	Dureza -----	43
3.3.5	Turbiedad -----	43
3.3.6	Sólidos-----	43
3.3.7	Índices Fundamentales que definen Calidad de Agua para Riego----	43
3.3.7.1	Salinidad Efectiva -----	44
3.3.7.2	Salinidad Potencial-----	44
3.3.7.3	Porcentaje de Sodio Posible -----	44
3.3.7.4	Índice de Magnesio -----	45
3.3.7.5	Carbonato de Sodio Residual -----	45
3.3.8	Determinación de la RAS -----	45
3.3.9	Clasificación de la Calidad de Agua con fines de riego -----	45
3.3.9.1	Clasificación de la Calidad de Agua según la norma Riverside --	45
<b>4</b>	<b>CUADRO COMPARATIVO-----</b>	<b>46</b>

**5 CONCLUSIONES -----47**  
**6 RECOMENDACIONES-----48**  
**BIBLIOGRAFÍA -----49**  
**ANEXOS -----50**  
**PLANOS-----64**

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Coeficiente de Uniformidad según Sistema de aspersión .....	30
Tabla 2. Rango de alcalinidad .....	31
Tabla 3 Cationes y Aniones .....	31
Tabla 4 Clases de Agua de acuerdo a la Salinidad Potencial .....	32
Tabla 5 Clases de Agua de acuerdo a la Salinidad Potencial .....	32
Tabla 6 Clases de Agua de acuerdo al Por ciento de Sodio Posible.....	32
Tabla 7 Clases de Agua de acuerdo al Carbonato de Sodio Residual .....	33
Tabla 8 Clases de Aguas de acuerdo a la Relación de Adsorción de Sodio .....	33
Tabla 9 Rendimientos Aspensor .....	36
Tabla 10 Características Generales del Sistema de Riego .....	37
Tabla 11 Propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo .....	38
Tabla 12 Requerimientos Hídricos .....	39
Tabla 13 Evapotranspiración Decadal - Mensual.....	40
Tabla 14 Jornada de Riego para los meses críticos.....	40
Tabla 15 Datos de campo Coeficiente de Uniformidad .....	41
Tabla 16 Parámetros de Calidad de Agua para Riego determinados en el Laboratorio .....	42
Tabla 17 Valores de Cationes y Aniones .....	44
Tabla 18. Clasificación del Agua de Riego según la Norma Riverside .....	45
Tabla 19 Costos de Operación .....	46

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 Sistemas de Riego Integrado.....	19
Figura 2 Localización General del Proyecto.....	25
Figura 3. Norma Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego.....	35

## **LISTA DE GRÁFICAS**

Gráfica 1 Curva Característica del Aspensor 1501 Golondrina ASPERCOL.....	36
---	----

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	51
ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS.....	55
ANEXO C. CLASIFICACIÓN DE LA INFILTRACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	57
ANEXO D.PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS – LUZ (p) BLANEY – CRIDDLE (1950).....	58
ANEXO E. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA.....	59
ANEXO F TABLAS DE RENDIMIENTO DEL ASPERSOR .....	63

## LISTA DE PLANOS

Plano 1 Plano del Diseño General .....	65
Plano 2 Plano de Isolíneas de Pluviometría del Emisor .....	66

## INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo el ser humano ha buscado la forma de poder suministrar un uso racional del agua, a pesar de que en muchos sitios no se ha logrado, permitiendo que se generen conflictos al respecto debido a su mal manejo hídrico.

El riego adecuado y controlado, es una manera excelente del cuidado que se debe tener al agua, basados en evaluaciones y cálculos hidráulicos que manifieste que cualquier sistema de riego se comporte de forma indicada.

Sin embargo, se realizarán estudios hidráulicos e hídricos en la cancha de futbol de la Universidad Surcolombiana para determinar análisis de suelo, agua, clima, cultivo que nos permita garantizar la mejor evaluación del sistema de riego aplicado.

Es por ello, que es de gran importancia evaluar las fuentes de agua para el riego, bien sea de pozos, quebradas, que garanticen un estudio amplio y confiable, que permita comparar estos estudios y optimizar el adecuado, con esto se está mostrando la viabilidad del sistema de riego de la cancha de futbol de la Universidad Surcolombiana.

Se sabe que existen estas fuentes para el riego pero además se debe tener en cuenta en la cancha la programación de riego que logre un excelente control del agua manifestando un coeficiente de uniformidad adecuado en cada unidad de riego.

Este sistema de evaluación ayuda a que la universidad cuente con un sitio de recreación y que permita mostrarse como un proyecto excelente para las demás universidades y tener un conocimiento amplio acerca de riegos y las evaluaciones técnicas y económicas que mejoren las condiciones de la cancha de fútbol de la Universidad Surcolombiana.

## RESUMEN

La cancha de fútbol se encuentra ubicada en la Universidad Surcolombiana la cual no dispone de una actualización y evaluación hidráulica e hídrica que permita que el sistema sea optimizado, que muestre la posibilidad de regar con la mejor modalidad de abastecimiento, ya que se tiene una fuente de riego que lograría adecuarse a las posibilidades de requerimiento hídrico y permitir que el sistema sea manejado de la mejor manera, cumpliendo con parámetros de evaluación técnica, económica y coeficiente de uniformidad para un buen diseño hidráulico proceso que se pretenden realizar mediante estudios hecho en ingeniería.

El estudio se plantea bajo la necesidad de que se genera limitaciones de utilización al aplicación de riego a la cancha de fútbol de la Universidad Surcolombiana debido a que no cuenta con una programación de riego que muestre un manejo adecuado del sistema actual; por otra parte, dispone de dos fuentes de abastecimiento para el riego que pueden generar un manejo adecuado teniendo en cuenta los requerimiento hídricos y aplicaciones hidráulicas que se manejen en la cancha de la Universidad Surcolombiana.

El proyecto busca optimizar el sistema actual de riego por aspersión de la USCO, implementando estudios hidrodinámicos y fisicoquímicos que se realizan en la cancha con análisis de laboratorios que muestren resultados óptimos. El sistema actual no cuenta con estudios de evaluación hidráulica y requerimientos hídricos actuales que garanticen el óptimo manejo del riego en la cancha. Ante este problemática se vio la necesidad de evaluar y realizar estudios en las dos fuentes de riego, en la cancha con el fin de garantizar el mejor abastecimiento, gracias a programación de riego y evaluaciones hidráulicas a realizar y así lograr adecuarse a las posibilidades de requerimiento hídrico y permitir que el sistema sea manejado de la mejor manera, cumpliendo con parámetros de evaluación técnica, económica y coeficiente de uniformidad para un buen diseño hidráulico.

Palabras claves: pruebas hidrodinámicas y fisicoquímicas, riego por aspersión, fuentes de abastecimiento, programación de riego, coeficiente de uniformidad.

## ABSTRACT

The soccer field is located in the University Surcolombiana which does not have an update and hydraulic evaluation and water to allow the system to be optimized, showing the possibility of water with the best mode of supply, as it is a source achieved irrigation possibilities suit water requirement and allow the system to be operated in the best manner, meeting benchmarks technical, economic and uniformity coefficient for a good hydraulic process that is intended to be performed by engineering studies done in .

The study raises under the necessity of constraints generated using the irrigation application to the field of college football since Surcolombiana not have a watering schedule that shows proper management of the current system, as it favors that has two sources of supply for irrigation that can generate appropriate management taking into account the water requirement and hydraulic applications are handled in court University Surcolombiana.

The project aims to improve the current system sprinkler of USCO, implementing and physicochemical hydrodynamic studies, carried out in the field with laboratory tests showing results. The current system has no hydraulic evaluation studies and current water requirements to ensure optimal irrigation management in the field. Before this problem was the need to assess and study in the two sources of irrigation in the field in order to ensure better supply, thanks to irrigation scheduling and hydraulic evaluations to perform and achieve fit the possibilities of formal water and allow the system to be operated in the best manner, meeting benchmarks technical, economic and uniformity coefficient for a good hydraulic.

Keywords: hydrodynamic and physicochemical tests, sprinkler irrigation, sources of supply, irrigation scheduling, uniformity coefficient.

# 1 REVISIÓN DE LITERATURA

## 1.1 EL CÉSPED DE LA CANCHA DE FÚTBOL

Para mantener un césped creciendo sano y verde es esencial regarlo en periodos de sequía. A fin de obtener óptimos resultados al regarlo, se debe considerar los siguientes factores: Tipo de cobertura (Césped), lugar geográfico del campo, frecuencias de riego, el volumen de agua a aplicarse de acuerdo a las necesidades, hora del día en que se establece regar y el modo de aplicación en terrenos difíciles, considerando factores edafológicos. (Bravo Mero, Mieleis Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

El césped es uno de los componentes a cuidar en un campo. Para reponer zonas perdidas hay dos formas: mediante semillas y por planchas. La segunda opción es la utilizada para grandes superficies como, por ejemplo campos de futbol. El método de riego más apropiado es el de aspersores, emisores que distribuyen el agua en forma de gotas o pequeños chorros. (Tello Polo, 2002)

Hay plantas que requieren muy poca humedad en el substrato, otras necesitan más. Algunas necesitan una de las dos condiciones anteriores de modo permanente, otras entran mejor si entre riego y riego pasan un periodo de ligera sequía. (Ferri Ramos, 2002)

- La resistencia de las plantas a la falta de agua es muy distinta, según su naturaleza. (Ferri Ramos, 2002)
- Las especies arbóreas y arbustivas, una vez completado su desarrollo, apenas necesitan agua de riego. Sus raíces buscaran la humedad de la tierra, aunque sea lejos de la planta. (Ferri Ramos, 2002)
- El exceso de agua no es perjudicial para la planta, pero si está estancada si, y puede causarle la muerte. (Ferri Ramos, 2002)

Cualquier que sea la naturaleza de la superficie de un terreno de juego, tradicional o estabilizado mecánicamente, la utilización del agua es condición indispensable para su mantenimiento en buenas condiciones, pero como en tantas condiciones los excesos son perjudiciales; el equilibrio dependerá de la existencia de un drenaje que asegure el control del exceso de agua en la superficie, y un subsuelo asociado a un riego eficaz que deberá compensar los déficits hídricos. (Llovet, 1987)

## **1.2 FRECUENCIA DE RIEGO**

La frecuencia de riego varía de un lugar a otro y debe determinarse de acuerdo a la apariencia del césped. La necesidad de agua en el pasto, puede identificarse cuando este se toma de un color verde azulado y cuando las pisadas permanecen marcadas en el, ya que la falta de agua hace que la hoja le cueste recuperar su posición original. Lo ideal sería regar el césped justo en ese momento ya que el deterioro en ese punto es mínimo y, apenas el césped recibe agua, se recupera. Regar el pasto antes de observar estos signos no proporciona beneficio alguno. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

A medida que la sequía del césped aumenta, este se marchita y su color se torna verde grisáceo. Una vez que el pasto está marchito debe regarse de inmediato y se recuperará considerablemente rápido. Si se llega a un cuadro de sequía severa, la planta deja de crecer y las hojas se tornan marrones y mueren. Cuando se riega en este punto el césped puede sobrevivir. Necesitaría un periodo de 3 semanas para producir nuevas hojas para recuperarse totalmente. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

## **1.3 RIEGO**

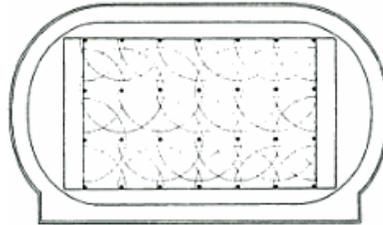
Las exigencias en agua de una superficie encéspedada es sobradamente conocida en lo cual a lo largo del año, la pradera necesita un mínimo de agua en el suelo. La planta consume esta agua al nutrirse de las sales disueltas en ella, por lo que habrá que pensar que se consume más agua cuando la planta está en plena actividad y que además coincide cuando las temperaturas son ligeramente altas, por lo que no se puede olvidar que buena parte del agua se va a perder por evaporación. Conviene pues tener en cuenta siempre que se haga el cálculo de un riego, no solamente lo que la planta consuma, sino lo que se pierde por evaporación y filtración. (Tello Polo, 2002)

La mejor forma de regar es mediante el empleo de aspersores de marcas acreditadas, con lo que sabemos en cada momento el agua que estamos dando y nos aseguramos de su uniformidad en el reparto. Conviene no olvidar que las mejores horas de riego son las de menor insolación y por el contrario, en el invierno, las de mayor temperatura. (Tello Polo, 2002)

## **1.4 SISTEMAS DE RIEGO INTEGRADO**

La solución más simple y barata no exige más que la instalación de bocas de riego tipo plato-válvula, bien distribuidas a lo largo del terreno de juego. El plato-válvula es un aparato muy ligero que puede remplazar a menor precio a la boca de riego tradicional no incongelable. Está integrado por una compuerta provista de un resorte y una válvula accionada por una llave de desvío móvil, a la que se le puede conectarse un cañón o incluso un aspersor. (Llovet, 1987)

Esta solución, más sofisticada, no se prevé generalmente más que para el riego limitado a la superficie de evolución. Ofrece la ventaja de ser más manejable y utiliza un tipo de aparato totalmente distinto: el aspersor de alcance medio, en este tipo de instalación, cuatro aparatos funcionan conjuntamente y exigen un caudal de  $14 \text{ m}^3/h$  con una presión dinámica de 5,5 bars.



**Figura 1 Sistemas de Riego Integrado**

Fuente: Instalaciones deportivas proyecto, construcciones y mantenimiento (Llovet, 1987)

### **1.5 VOLUMEN APLICADO POR RIEGO**

Si se necesita 25 a 35 milímetros de agua por semana, es preferible aplicar esta cantidad en un solo riego o en dos riegos iguales con 2 o 3 días de espacio entre sí, que regar en forma liviana todos los días. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

Después del riego, la tierra debe estar húmeda hasta 15 centímetros de profundidad. Es recomendable humedecer a fondo toda la zona de las raíces. El riego diario y liviano produce raíces poco profundas y exceso de humedad, estimulando así el desarrollo de malezas. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

Los aspersores conectados a mangueras de 3/4 de pulgada aplican poco volumen de agua y por esta razón deben dejarse funcionando en una misma área 2 o 3 horas de manera que humedezcan profundamente la zona de las raíces. Los sistemas de riego automático con salidas de agua en todas las direcciones simultáneamente pueden aplicar un gran volumen en 10 o 15 minutos y los sistemas de aspersores giratorios son capaces de aplicar el agua necesaria en 30 a 40 minutos. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

### **1.6 LA MEJOR HORA PARA REGAR**

De todo lo dicho anteriormente se desprende que la mejor hora para regar es a primera hora de la mañana. Si se riega por la tarde o noche, el agua permanece largo tiempo ahogando las raíces, sin ser utilizadas. (Ferri Ramos, 2002)

La hora ideal para hacerlo es entre las 4:00 y las 8:00 de la mañana. A esta hora el viento no interfiere en el riego y no hay prácticamente evaporación de agua. Una de las complicaciones que ocasiona el riego en horas de la tarde, es la creciente incidencia de enfermedades. Este inconveniente puede reducirse regando únicamente cuando el césped lo necesita y regando esporádica pero profundamente. Regar durante el medio día no es efectivo ya que gran cantidad de agua se evapora siendo por consiguiente muy difícil humedecer la tierra adecuadamente. Si bien no se recomienda regar en estas horas, vale aclarar que hacerlo, no provoca la quemadura del pasto. (Bravo Mero, Mieles Moreira, Velasco Mero, & Vera Lara, 2008)

En el caso de un césped en el que los aspersores pueden estar funcionando durante una hora, habrá que ajustar el programador para que el riego finalice al alba, un rato de que salga el sol. (Ferri Ramos, 2002)

## **1.7 DISEÑO AGRONÓMICO**

Como se sabe, el objetivo del riego es suministrar a los cultivos, de forma eficiente y sin alterar la fertilidad del suelo, el agua adicional a la precipitación que necesitan para su crecimiento óptimo y cubrir las necesidades de lavado de sales de forma que evite su acumulación en el perfil del suelo, asegurando la sostenibilidad del riego.

## **1.8 SISTEMA Y TIPOS DE RIEGO**

Un sistema de riego requiere toda una serie de pasos previo para conseguir un efectivo y óptimo riego de la zona verde elegida. (Ferri Ramos, 2002)

Los pasos principales son:

- Estudio previo.
- Diseño y selección del sistema.
- Instalación.
- Pruebas y ajustes.

## **1.9 RIEGO POR ASPERSIÓN**

Es un sistema de riego mediante el cual el agua se aplica, a los cultivos en forma de lluvia mojando la totalidad de la superficie cultivada. Así el gasto de agua es menor.

Es ideal para el riego de céspedes, mientras que no está recomendado en pequeños jardines, y más en presencia de flores. (Ferri Ramos, 2002)

## **1.9.1 Componentes de un sistema de riego por aspersión**

Para conseguir un buen riego por aspersión son necesarios:

- Presión en el agua.
- Red de tuberías adecuadas a la presión del agua.
- Aspersores adecuados que sean capaces de esparcir el agua a presión que les llega por la red de distribución.
- Depósito de agua que conecte con la red de tuberías.

### **1.9.1.1 Presión en el agua**

Es necesaria por dos motivos: la red de distribución se multiplica en proporción a la superficie que debemos regar y teniendo en cuenta que el agua debe llegar al mismo tiempo y a la misma presión a las bocas donde se encuentran instalados los mecanismos de difusión (aspersores) con el fin de conseguir un riego uniforme. La segunda razón es que la presión del agua debe ser capaz de poner en marcha todos los aspersores al mismo tiempo bien sean fijos o móviles, de riego más pulverizado o menos.

En el caso de que la presión de la red no sea suficiente se deberá instalar un motor que dé la presión suficiente desde el depósito hasta los aspersores.

### **1.9.1.2 Red de tuberías**

En general la red de tuberías que conducen el agua por la superficie a regar se compone de ramales de alimentación que conducen el agua principal para suministrar a los ramales secundarios que conectan directamente con los aspersores.

Todo esto supone un estudio técnico adecuado ya que de él dependerá el éxito de la instalación.

### **1.9.1.3 Aspersores**

Los más utilizados en la agricultura son los giratorios porque giran alrededor de su eje y permiten regar una superficie circular impulsados por la presión del agua, aunque en el mercado los hay de variadas funciones y distinto alcance. Son parte muy importante del equipo del riego por aspersión y por tanto el modelo, tipo de lluvia (más o menos pulverizada) que producen, alcance etc. deben formar parte del estudio técnico antes mencionado.

#### **1.9.1.4 Depósito del agua**

Desempeña dos funciones: la de almacenamiento del agua suficiente para uno o varios riegos y la de ser punto de enlace entre el agua sin presión y el motor de impulsión de esa agua a la presión necesaria para el riego calculado.

### **1.9.2 Ventajas y Desventajas del Sistema de Riego por Aspersión**

#### **1.9.2.1 Ventajas del Sistema de Riego por Aspersión**

- Ahorro de mano de obra, una vez puesto en marcha no necesita tantos operarios (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)
- Adaptación del terreno, se puede aplicar tanto a terrenos planos como a los ondulados, no necesitando demasiada preparación de tierra. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)
- Eficiencia, la eficiencia de riego por aspersión es de un 80-95% frente al 40-50% en los riego por inundación tradicionales, lo que conduce a un ahorro en el uso del agua. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)
- Especialmente útil para distintas clases de suelos ya que permite riegos frecuentes y poco abundantes en superficies poco permeables.

#### **1.9.2.2 Desventajas del Sistema de Riego por Aspersión**

- Daños a las hojas y a las flores, las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre la misma. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)
- Requiere una inversión importante, el deposito, las bombas, las tuberías, las válvulas y la mano de obra calificada hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo asegurada. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)
- El viento puede afectar, en días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en una uniformidad. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)

- Aumento de enfermedades, y propagación de hongos debido al mojado de las plantas en ciertos cultivos. (Cifuentes Perdomo, Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos., 2006)

### 1.10 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE CHRISTIANSEN

Christiansen (1942) ha proporcionado una ecuación para determinar y caracterizar la uniformidad de la distribución del agua por los aspersores. Es un hecho de que, ajustando el espaciamiento de los aspersores la distribución del agua puede mejorar aunque nunca puede alcanzar un 100%, pues el agua se está distribuyendo en forma circular. (Zúñiga Martínez, 2004)

El coeficiente se define mediante la siguiente ecuación:

$$CUc = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{x_{med} * n} \right]$$

Donde:

- CUc = Coeficiente de Uniformidad Christiansen (%)
- $x_i - x_{med}$  = Desviación absoluta de las observaciones de precipitación individual respecto a la media aritmética (mm).
- $x_i$  = Observación de precipitación individual captada en cada punto de la malla (mm).
- $x_{med}$  = Promedio aritmético de las observaciones de pluviometría (mm).
- $n$  = Número total de observaciones.

### 1.11 CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

Cuando se estudia la calidad de un agua para el riego, no basta conocer su contenido de sales; es necesario analizar la naturaleza de éstas, ya que no todas las soluciones salinas producen los mismos efectos, que dependen de su proporción de sodio, solubilidad de las sales, contenido en boro, etc. Además de la composición química, hay que tener en cuenta los siguientes factores: cultivos que se van a regar, suelo, clima y prácticas de riego y drenaje. (Pizarro, 1978)

Para la evaluación del agua de riego es necesario determinar los siguientes parámetros:

### **1.11.1 Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la presión osmótica desarrollada por la sal disuelta. La conductividad eléctrica del agua se expresa como micromhos por centímetro a 25°C, y se simboliza por CE x 10<sup>6</sup>.

### **1.11.2 Salinidad Efectiva (SE)**

La Salinidad Efectiva es un índice que permite estimar mejor la peligrosidad que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar a formar parte de la solución del suelo, ya que ésta tiene en cuenta la precipitación que se puede presentar de las sales menos solubles como los carbonatos de calcio y magnesio, los cuales al precipitarse no causan presión osmótica en la solución del suelo.

### **1.11.3 Salinidad Potencial (SP)**

La Salinidad Potencial es un índice que muestra la peligrosidad del agua de riego a salinizar el suelo cuando se han precipitado todas las sales menos solubles y solo quedan los cloruros y parte de los sulfatos, esto sucede cuando se ha consumido toda el agua fácilmente utilizable por la planta o sea cuando se llega al umbral de riego.

### **1.11.4 Relación Absorción Sodio (RAS)**

La Relación de Absorción de Sodio es un índice que está relacionado con el porcentaje de sodio intercambiable del suelo que está en equilibrio con el agua de riego.

### **1.11.5 Carbonato de sodio residual (CSR)**

El Carbonato de Sodio Residual es un índice que mide la peligrosidad relativa del sodio cuando los carbonatos más los bicarbonatos son mayores que el calcio más el magnesio, formándose carbonato de sodio que es altamente soluble y entraría a desplazar al calcio y el magnesio del complejo de intercambio.

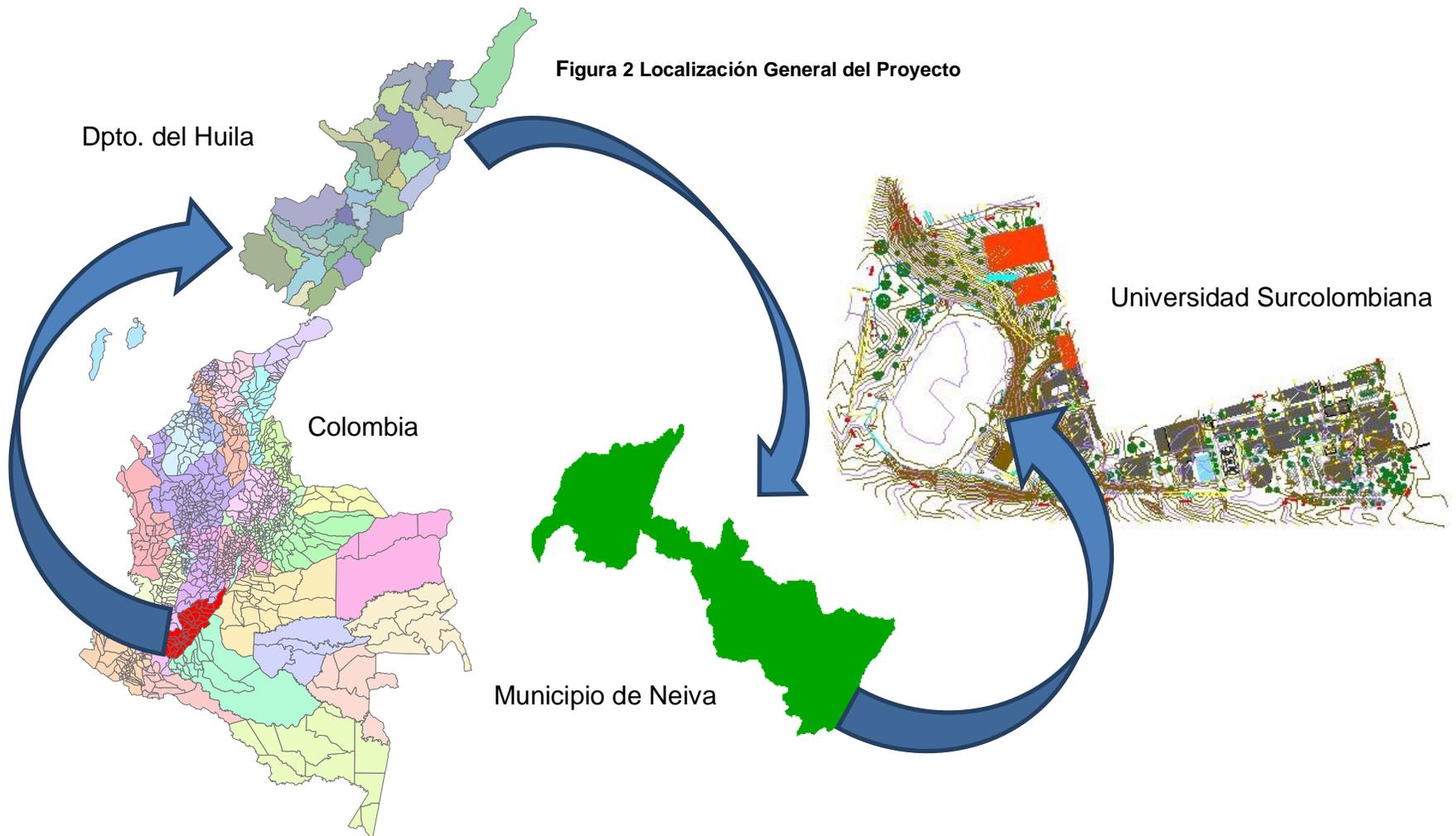
### **1.11.6 Porcentaje de sodio posible (PSP)**

El Porcentaje de Sodio Posible es un índice que nos indica la peligrosidad del sodio a desplazar al calcio y al magnesio después que se ha precipitado parte de las sales menos solubles del agua.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en la Universidad Surcolombiana, ubicada en la ciudad de Neiva, capital del departamento del Huila. (Figura 1).



Ubicada entre la cordillera Central y Oriental, en una planicie sobre la margen oriental del río Magdalena, en el valle del mismo nombre, cruzada por el Río Las Ceibas y el Río del Oro. Con una extensión territorial de 1533 km<sup>2</sup>, altura de 442 metros sobre el nivel del mar y su temperatura promedio de 27.7 °C.

## **2.2 METODOLOGÍA DE CAMPO**

Se recolectó información bibliográfica e información existente en diseños de sistemas de riego para escenarios deportivos, estudios de suelos, climatológicos, análisis de calidad de agua y cartografía relacionada con el lugar de estudio.

Se realizaron pruebas en campo en puntos de muestreo simple para determinar propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo, elaborando pozos de observación para determinar pruebas de infiltración, pruebas de conductividad hidráulica y recogiendo muestras para la obtención de datos requeridos para el diseño, analizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana.

### **2.2.1 Puntos de muestro**

Se seleccionaron 9 puntos de muestreo aleatorio simple en la cancha de fútbol de la Universidad Surcolombiana para determinar la variable de infiltración básica y 4 puntos para determinar la variable de conductividad hidráulica saturada.

### **2.2.2 Análisis de muestras**

Se realizó un muestreo aleatorio para determinar las propiedades del suelo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Surcolombiana. Las variables a evaluar fueron: capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (Da) y textura del suelo.

### **2.2.3 Infiltración básica (Vib)**

La infiltración se determinó mediante los anillos infiltrómetros y los resultados se obtuvieron mediante la ecuación de Kostiakov (1932, Rusia).

### **2.2.4 Conductividad Hidráulica (Ks)**

La conductividad hidráulica se determinó mediante el método del pozo del barreno invertido y los resultados se obtuvieron mediante el método de Porchet.

## 2.2.5 Cálculo de las necesidades de riego

### 2.2.5.1 Cálculo de Requerimientos Hídricos

#### 2.2.5.1.1 Cálculo de la Evapotranspiración (ETP) según la ecuación de HARGREAVES en Cultivo de Pastos

$$EVPT = 17.37 \times Kc \times d \times T (1 - 0.01 \times Hn) \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

EVPT = Evapotranspiración mensual (mm)

Kc = Coeficiente empírico del cultivo (Pastos: 0.85)

d = Coeficiente mensual de duración del día.

T = Temperatura media mensual (°C)

Hn = Humedad relativa al medio día (%)

El cálculo de la variable “Hn” se determina mediante la ecuación:

$$Hn = 1 + 0.4 \times Hr + 0.004 \times Hr^2 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

Hr = Humedad relativa media mensual (%)

El cálculo de la variable “d” se determina mediante la ecuación:

$$d = 0.12P \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

P = Porcentaje mensual de horas – Luz de Blaney Criddle.

#### 2.2.5.1.2 Lámina de agua realmente aprovechable (LARA)

$$LARA = \frac{(CC - PMP)}{100} \times \frac{Da}{Dw} \times PRE \times Na \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

CC = Contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo.

PMP = Contenido de humedad del suelo en Punto de Marchitez Permanente.

Da = Densidad Aparente (gr/cm<sup>3</sup>)

Dw = Densidad del agua (gr/cm<sup>3</sup>)

PRE = Profundidad Radicular Efectiva (75% de la profundidad radicular)

Na = Nivel de agotamiento (50%)

#### 2.2.5.1.3 Volumen de agua realmente aprovechable (VARA)

$$VARA = LARA \times 10m^3/Ha.mm \quad \text{Ec. (5)}$$

#### 2.2.5.1.4 Volumen de agua rápidamente aprovechable (VARARL)

$$VARARL = LARA \times PW \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

PW = Porcentaje de área humedecida.

El cálculo de la variable "PW" se determina mediante la ecuación:

$$PW = \frac{ATH}{10000m^2} \times 100 \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

ATH = Área total humedecida [ $\pi r^2 (m^2)$ ] Ec. (8)

#### 2.2.5.1.5 Frecuencia de Riego (Fr)

$$Fr = \frac{VARARL}{U_{CR}} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

$U_{CR}$  = Uso Consumo Real ( $m^3/\text{día}$ )

El cálculo de la variable " $U_{CR}$ " se determina mediante la ecuación:

$$U_{CR} = \frac{UC \times 10 \frac{m^3}{Ha}}{1 mm} \times PW \quad \text{Ec. (10)}$$

#### 2.2.5.1.6 Volumen Neto Ajustado (VNA)

$$VNA = FrA \times U_{CR} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde:

FrA = Frecuencia de Riego Ajustada, la cual no debe exceder los tres días.

#### 2.2.5.1.7 Volumen Bruto (VB)

$$VB = \frac{VNA}{EA} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

EA = Eficiencia de aplicación del sistema de riego.

#### 2.2.5.1.8 Tasa de Aplicación del Aspersor (Ta)

$$Ta = 115 \frac{gal}{min} \times \frac{60 min}{1 hr} \times \frac{3.78 lt}{1 gal} \times \frac{1 m^3}{1000 lt} = 26.08 \frac{m^3}{hr} \quad \text{Ec. (13)}$$

### 2.2.5.1.9 Grado de aplicación del sistema de riego (Ga)

$$Ga = \frac{3.6 \times q_a(\text{lt/seg})}{EL(m) \times Ep(m)} \times ATH (m^2) \quad \text{Ec. (14)}$$

Donde:

$q_a$  = Caudal del aspersor (Lt/seg)

EL = Espaciamiento de aspersores sobre el lateral (m)

Ep = Espaciamiento de posiciones del lateral sobre la principal (m)

ATH = Área total humedecida ( $m^2$ )

### 2.2.5.1.10 Tiempo de Riego por posición (TR)

$$TR = \frac{VB}{Ga} \quad \text{Ec. (15)}$$

### 2.2.5.1.11 Nuevo Nivel de Agotamiento (NA)

$$VARA = VAA \times NA \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

VAA = Volumen de agua aprovechable ( $m^3/\text{Ha}$ )

El cálculo de la variable "VAA" se muestra en la ecuación:

$$VAA = LAA \times 10 \frac{m^3}{\text{Ha}} (mm) \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

El cálculo de la variable "LAA" se muestra en la ecuación:

$$LAA = \frac{CC-PMP}{100} \times Da \times PRE \quad \text{Ec. (18)}$$

Luego tenemos:

$$\begin{aligned} VARA &= VARARL/PW \\ VARARL &= VNA \end{aligned}$$

Se despeja la variable "NA" en la ecuación "16"

$$NA = \frac{VARA}{VAA} \times 100 \quad \text{Ec. (19)}$$

### 2.2.5.1.12 Humedad del suelo a regar (HS)

$$HS = CC - ARA \quad \text{Ec. (20)}$$

Donde:

ARA = Agua rápidamente aprovechable (%)

El cálculo de la variable “ARA” se muestra en la ecuación:

$$ARA = AA \times NA \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde:

AA = Agua aprovechable (%)

El cálculo de la variable “AA” se muestra en la ecuación:

$$AA = CC - PMP \quad \text{Ec. (22)}$$

### 2.2.6 Determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen CU

La prueba se realizó en el centro del campo de fútbol para un cuarto de circunferencia del diámetro de humedad del área a irrigar por parte del aspersor. En la tabla 1 se muestra la clasificación para los diferentes sistemas y/o tipos de conexión.

Tabla 1 Coeficiente de Uniformidad según Sistema de aspersión

Sistema	CU (%)
Laterales móviles	70 a 86 %
Aspersión fija	70 a 88 %
Laterales autodesplazables	75 a 94 %
Cañones de riego	60 a 75 %

### 2.2.7 Análisis de calidad de agua

Los muestreos se llevaron a cabo en las instalaciones del campo de fútbol y los parámetros para determinar el análisis de calidad de agua para riego se obtuvieron del Laboratorio de Aguas de la Universidad Surcolombiana, Laboratorio de Aguas y Alimentos “AGUATEKNICA LTDA” y del Laboratorio de Análisis Ambiental y Geoquímica “ANTEK S.A.”. Los resultados obtenidos se analizaron para determinar Conductividad Eléctrica (CE), Relación de absorción de sodio (RAS), Porcentaje de sodio posible (PSP), Salinidad Efectiva (SE), Salinidad Potencial (SP), Índice de Magnesio Mg y Carbonato de sodio residual (CSR).

### 2.2.7.1 Alcalinidad

Este parámetro se determinó mediante análisis de la muestra en laboratorio. En la tabla 2 se muestran los rangos de clasificación según el valor de este.

Tabla 2. Rango de alcalinidad

RANGO	ALCALINIDAD (mg/L CaCO <sub>3</sub> )
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

### 2.2.7.2 Índices Fundamentales que definen Calidad de Agua para Riego

Para determinar los índices que definen la calidad de agua para riego, los valores de los aniones y cationes se deben expresar en miliequivalentes por litro; a continuación se presenta la relación de mg/l a meq/l y la clasificación de los índices se presentan en la tabla 3.

$$\frac{mEq}{l} = \frac{\frac{mg}{l} * valencia}{Peso\ átomico} \quad Ec. (23)$$

Tabla 3 Cationes y Aniones

CATIONES	ANIONES
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	Cloruro (Cl <sup>-</sup> )
Sodio (Na <sup>+</sup> )	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	Bicarbonato (CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup> )
Potasio (K <sup>+</sup> )	Carbonato (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> )

#### 2.2.7.2.1 Salinidad Efectiva

La Salinidad Efectiva (S.E.) se calcula mediante una de las siguientes ecuaciones:

1.  $S.E. = \Sigma Cationes - (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$  Ec. (24)  
Cuando:  $Ca > (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$

2.  $S.E. = \Sigma Cationes - Ca$  Ec. (25)  
Cuando:  $Ca < (CO_3 + HCO_3 + SO_4)$  pero  $Ca > (CO_3 + HCO_3)$

3.  $S.E. = \Sigma Cationes - (CO_3 + HCO_3)$  Ec. (26)  
Cuando:  $Ca < (CO_3 + HCO_3)$  pero  $(Ca + Mg) > (CO_3 + HCO_3)$

$$4. S.E. = \Sigma \text{Cationes} - (Ca + Mg) \quad \text{Ec. (27)}$$

Cuando:  $(Ca + Mg) < (CO_3 + HCO_3)$

**Tabla 4 Clases de Agua de acuerdo a la Salinidad Potencial**

Clase	Salinidad Efectiva mEq/L
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

### 2.2.7.2.2 Salinidad Potencial

La Salinidad Potencial (S.P.) se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$S.P. = Cl + SO_4 / 2 \quad \text{Ec. (28)}$$

**Tabla 5 Clases de Agua de acuerdo a la Salinidad Potencial**

Clase	Salinidad Potencial mEq/L
Buena	Menos de 3
Condicionada	De 3 a 15
No recomendable	Más de 15

### 2.2.7.2.3 Porcentaje de Sodio Posible

El Porcentaje de Sodio Posible se calcula mediante la ecuación:

$$PSP = Na / SE \times 100 \quad \text{Ec. (29)}$$

**Tabla 6 Clases de Agua de acuerdo al Por ciento de Sodio Posible**

Clase	P.S.P (%)
Buena	Menos de 50
Condicionada	Más de 50

### 2.2.7.2.4 Índice de Magnesio

Según (Pizarro, 1978) una absorción excesiva de magnesio afecta al suelo desfavorablemente y puede inducir deficiencias de calcio en los cultivos. SZABOLCS y DARAB citados por Pizarro establecen el siguiente índice.

$$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++} + Mg^{++}} \times 100 \quad \text{Ec. (30)}$$

### 2.2.7.2.5 Carbonato de Sodio Residual

El índice de Carbonato de Sodio Residual se calcula mediante la ecuación:

$$CSR = (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg) \quad \text{Ec. (31)}$$

Tabla 7 Clases de Agua de acuerdo al Carbonato de Sodio Residual

Clase	CSR mEq/L
Buena	Menos de 1.25
Condicionada	De 1.25 a 2.50
No Recomendable	Más de 2.50

### 2.2.7.3 Determinación de la RAS

La Relación de Adsorción de Sodio se calcula mediante la ecuación:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad \text{Ec. (32)}$$

Tabla 8 Clases de Aguas de acuerdo a la Relación de Adsorción de Sodio

Clase	R.A.S
Buena	Menos que $18.87 - 4.44 \log (CE \times 10^6)$
Condicionada	Entre $18.87 - 4.44 \log (CE \times 10^6)$ y $43.75 - 8.87 \log (CE \times 10^6)$
No Recomendable	Más de $43.75 - 8.87 \log (CE \times 10^6)$

### 2.2.7.4 Clasificación de la Calidad de Agua con fines de riego

#### 2.2.7.4.1 Clasificación de la Calidad de Agua según la norma Riverside

Según la norma Riverside (U.S. Soil Salinity Laboratory) se establece un diagrama para la clasificación de aguas de riego (Figura 3), a partir de los datos de Conductividad Eléctrica (CE) y Relación Adsorción de Sodio (RAS).

De acuerdo a la norma clasificación se establecen 16 clases de agua. Cada clase de calidad de agua ubicada en la Figura 3 esta designada con dos símbolos: **C** para la concentración de Sales y **S** para la concentración de sodio.

## **Conductividad electrica**

**Clase C1:** Agua de baja salinidad, puede ser utiliza en el riego de la mayoría de los cultivos y en cualquier tipo de suelo, se tiene poca probabilidad de que se desarrolle salinidad la CE varia entre 0- 250.

**Clase C2:** Agua de Salinidad Media, puede ser utilizada en riego siempre y cuando exista un grado moderado de lavado. En casi todos los casos, y sin necesidad de practicas especiales de control de salinidad, CE varia entre 250 - 750

**Clase C3:** Agua Altamente Salina, no puede usarse en suelos cuyo drenaje sea deficiente. Aun con drenaje adecuado se puede necesitar practicas especiales de control de la salinidad, debiendo, por lo tanto seleccionar aquellas especies vegetales muy torelables a las sales. La CE varia entre 750- 2250

**Clase C4:** Agua muy altamente salina, no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede usarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales.

## **Sodio**

**Clase S1:** Agua baja en sodio, puede utilizarse para el riego en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar los niveles peligrosos de sodio intercambiable. No obstante, los cultivos sensibles, como algunos frutales y aguacates, pueden acumular cantidades perjudiciales de sodio.

**Clase S2:** Agua media en sodio, y por lo tanto con cierto peligro de acumulacion de sodio en el suelo de textura fina (arcillosos y franco arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben ser vigiladas las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio intercambiable en el suelo, corrigiendo en caso necesario.

**Clase S3:** Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulacion de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia organica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. Tambien se requiere un buen drenaje y empleo de volúmenes copiosos de riego.

**Clase S4:** Agua con contenido muy alto de sodio. no es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

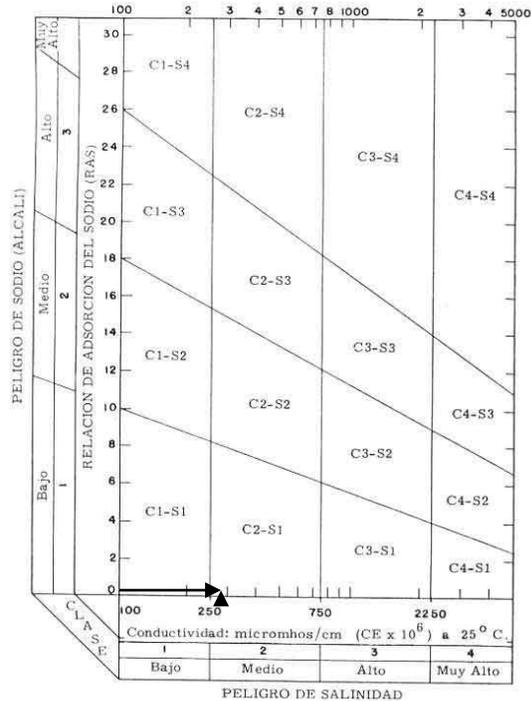


Figura 3. Norma Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de riego.

## 2.3 RESULTADOS

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de la unidad de riego y propiedades del suelo se determinó el cálculo de requerimientos hídricos, el cual se llevó a cabo mediante la metodología utilizada por el Ing. Miguel German Cifuentes Perdomo. Posteriormente se calculó la Evapotranspiración mediante la ecuación de Hargreaves en cultivo de pastos y se determinó las necesidades de riego de acuerdo a las propiedades del suelo donde se propone una programación de riego con el fin de optimizar la calidad del riego.

De igual forma se llevó a cabo el análisis de calidad de agua, donde se identificaron los parámetros característicos que definen la optimización de la fuente hídrica para riego.

Después de todo el proceso de diseño se elaboró un cuadro comparativo donde se muestra la relación costo beneficio donde se selecciona la mejor fuente de abastecimiento lo que indica el valor que significa regar con cada una de las fuentes existentes justificando el costo de la mano de obra.

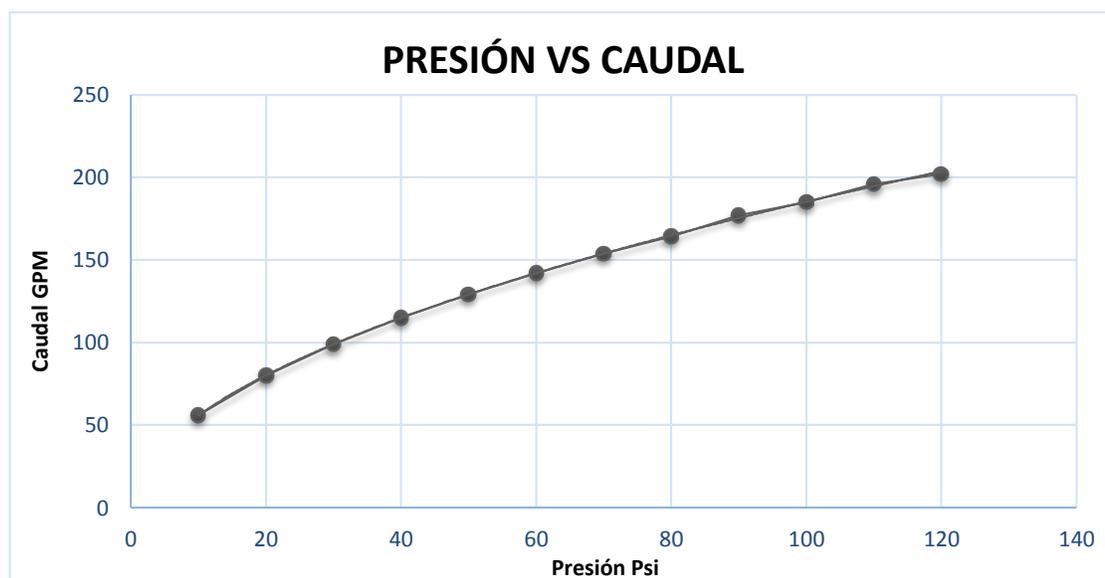
### 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

#### 3.1 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE RIEGO

Tabla 9 Rendimientos Aspersor

<b>PRESIÓN (Psi)</b>	<b>CAUDAL (GPM)</b>	<b>DIÁMETRO HÚMEDO (m)</b>
10	56	54
20	80	64
30	99	71
<b>40</b>	<b>115</b>	<b>77</b>
50	129	81
<b>60</b>	<b>142</b>	<b>85</b>
70	154	88
80	164	91
90	177	94
100	185	97
110	196	99
120	202	101

Gráfica 1 Curva Característica del Aspersor 1501 Golondrina ASPERCOL



La tabla de rendimientos del Aspersor se muestra en el Anexo F.

### 3.1.1 Características Generales del sistema de riego

Tabla 10 Características Generales del Sistema de Riego

DESCRIPCIÓN		CARACTERÍSTICAS	
FUENTE DE ABASTECIMIENTO			
UNIDAD DE RIEGO	Modalidad	Aspersión Fija	
	Unidad de Riego	Cañón 1501 Golondrina ASPERCOL Circulo Parcial	
	Presión de Trabajo	Valor Teórico	Valor Real
		60 Psi	40 Psi
	Caudal	142 GPM	115 GPM
	Diámetro Húmedo	78 -85 m	77 m
Diámetro de Boquilla	Cónica 0.79 Pulg.		
CULTIVO	Especie	Gramma	
	Densidad de Siembra	Alta	
	Edad	Adulta	
	Área	7140m <sup>2</sup>	
	Prof. Radicular	0.30 m	
	Prof. Radicular efectiva (75%)	0.225 m	
UNIDAD DE BOMBEO	<b>ACUEDUCTO</b>	<b>POZO SUBTERRANEO</b>	
	Bomba IHM 30A - 9.0; Ø rotor 180mm; succión y descarga 3" x 3" Motor Siemens 9.0 hp trifásico; 3500 RPM.	Bomba: Jacuzzi- Referencia: AP-4008 Motor Franklin 3 (HP)-3(lit/seg)-60 (psi) Prof. pozo: 26m Voltaje: 220	

### 3.1.2 Propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo

Tabla 11 Propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo

<b>NOMBRE</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
Textura				Franco Arenoso
Conductividad Hidráulica	K	m/día	1.21	Moderada
Infiltración básica	I	cm/hr	0.95	Moderadamente Lenta
Densidad Aparente	Da	gr/cm <sup>3</sup>	1.55	-
Capacidad de Campo	CC	%	33.7	-
Punto de Marchitez Permanente	PMP	%	12.91	-

La clasificación de los parámetros (K, I) se encuentra en el anexo C.

En la tabla 12 se muestra el resumen de los cálculos mensuales de Requerimientos Hídricos para el cultivo de pastos (Gramma)

Tabla 12 Requerimientos Hídricos

PARÁMETRO	SIMBOLO/UND	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Coefficiente Empírico del Cultivo (Pasto) (FAO, 2006)	Kc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Porcentaje Mensual de horas - Luz Blaney Criddle	P	8.32	7.58	8.47	8.27	8.57	8.32	8.59	8.56	8.20	8.44	8.06	8.32
Coefficiente Mensual de duración del día	d	1.00	0.91	1.02	0.99	1.03	1.00	1.03	1.03	0.98	1.01	0.97	1.00
Temperatura Media Mensual (IDEAM)	T (°C)	27.80	28.10	27.50	27.20	27.40	27.70	28.10	29.00	29.00	27.90	26.80	27.00
Humedad Relativa Media Mensual	Hr (%)	69.00	68.00	72.00	73.00	71.00	66.00	60.00	55.00	57.00	66.00	75.00	74.00
Humedad Relativa al medio día	Hn (%)	47.64	46.70	50.54	51.52	49.56	44.82	39.40	35.10	36.80	44.82	53.50	52.50
Evapotranspiración Mensual	EVPT (mm/mes)	214.65	201.11	204.02	193.25	209.95	225.28	259.14	285.45	266.44	230.22	178.02	189.12
Capacidad de Campo	CC (%)	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70	33.70
Punto de Marchitez Permanente	PMP (%)	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91	12.91
Densidad Aparente	DA gr/cm3	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
Profundidad Radicular Efectiva	PRE (mm)	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00	225.00
Nivel de Agotamiento	NA (%)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Lámina de agua realmente aprovechable	LARA (mm)	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25	36.25
Volumen de agua realmente aprovechable	VARA (m3/Ha)	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53	362.53
Área Total Humedecida	ATH (m2)	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63	4656.63
Porcentaje de Área Humedecida	PW (%)	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57	46.57
Volumen de agua rápidamente aprovechable	VARARL (m3)	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81	168.81
Uso Consumo	UC (mm/día)	6.92	7.18	6.58	6.44	6.77	7.51	8.36	9.21	8.88	7.43	5.93	6.10
Uso Consumo Real	UCR (m3/día)	32.24	33.45	30.65	30.00	31.54	34.97	38.93	42.88	41.36	34.58	27.63	28.41
Frecuencia de Riego	Fr (días)	5.24	5.05	5.51	5.63	5.35	4.83	4.34	3.94	4.08	4.88	6.11	5.94
Frecuencia de Riego Ajustada	FrA (días)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Volumen Neto Ajustado	VNA (m3)	96.73	100.34	91.94	89.99	94.61	104.90	116.78	128.63	124.07	103.74	82.90	85.22
Eficiencia de aplicación del sistema de riego	EA	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
Volumen Bruto	VB (m3)	107.48	111.49	102.15	99.99	105.12	116.56	129.76	142.93	137.86	115.27	92.11	94.69
Tasa de aplicación del Aspersor	Ta (m3/hr)	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08	26.08
Grado de aplicación del sistema de riego	Ga (m3/hr)	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35	99.35
Tiempo de riego	Tr (Hr)	1.08	1.12	1.03	1.01	1.06	1.17	1.31	1.44	1.39	1.16	0.93	0.95
Lámina de agua aprovechable	LAA (mm)	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51	72.51
Volumen de agua aprovechable	VAA (m3/Ha)	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05	725.05
Volumen de agua realmente aprovechable	VARA (m3/Ha)	207.72	215.48	197.44	193.25	203.18	225.28	250.78	276.24	266.44	222.79	178.02	183.02
Nuevo nivel de agotamiento	NA (%)	28.65	29.72	27.23	26.65	28.02	31.07	34.59	38.10	36.75	30.73	24.55	25.24
Agua aprovechable	AA (%)	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79	20.79
Agua rápidamente aprovechable	ARA (%)	5.96	6.18	5.66	5.54	5.83	6.46	7.19	7.92	7.64	6.39	5.10	5.25
Humedad del suelo a regar	HS (%)	27.74	27.52	28.04	28.16	27.87	27.24	26.51	25.78	26.06	27.31	28.60	28.45

**Tabla 13 Evapotranspiración Decadal - Mensual**

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Evapotranspiración Mensual EVPT (mm/mes)	214.65	201.11	204.02	193.25	209.95	225.28	259.14	285.45	266.44	230.22	178.02	189.12
1 Década (día)	69.24	71.83	65.81	64.42	67.73	75.09	83.59	92.08	88.81	74.26	59.34	61.01
2 Década (día)	69.24	71.83	65.81	64.42	67.73	75.09	83.59	92.08	88.81	74.26	59.34	61.01
3 Década (día)	76.16	57.46	72.39	64.42	74.50	75.09	91.95	101.29	88.81	81.69	59.34	67.11

Como programación de riego se considera una jornada de operación (Jr) de 8 horas con una frecuencia de riego (Fr) de cada 3 días ajustando el tiempo de cada posición o turno (Tr) según los requerimientos hídricos para cada mes. A continuación se considera la programación para el mes más crítico y menos crítico como se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14 Jornada de Riego para los meses críticos**

PARÁMETRO	SIMBOLO/UND	AGOSTO	NOVIEMBRE
Frecuencia de Riego Ajustada	FrA (días)	3.00	3.00
Tiempo de riego	Tr (Hr)	1.44	0.93
Lámina de agua aprovechable	LAA (mm)	72.51	72.51
Volumen de agua realmente aprovechable	VARA (m <sup>3</sup> /Ha)	276.24	178.02

### 3.2 COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD CHRISTIANSEN

En el cálculo del coeficiente de uniformidad CU se realizó una malla de 14x14 espaciadas a 1.5m, el tiempo empleado para la prueba fue de 60 minutos. Los datos obtenidos se muestran en la tabla 15.

Tabla 15 Datos de campo Coeficiente de Uniformidad

DATOS PRUEBAS DE CAMPO														
FILA \ COLUMNA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	59	57	36	38	16	5	2	0	0	0	0	0	0	0
2	84	80	82	70	67	42	18	2	0	0	0	0	0	0
3	95	86	80	76	81	78	56	38	20	4	1	0	0	0
4	88	76	79	80	81	91	100	100	58	37	6	0	0	0
5	72	78	81	87	84	97	115	117	118	95	65	16	3	0
6	55	58	60	62	64	77	80	87	105	125	107	91	25	0
7	70	62	57	55	61	66	77	83	87	93	107	135	84	14
8	145	135	95	72	63	63	72	74	88	112	120	118	89	54
9	219	220	208	175	117	71	75	75	85	92	108	108	127	97
10	148	197	241	224	172	114	77	76	84	95	105	100	121	113
11	75	144	230	246	235	128	89	74	65	85	94	93	93	86
12	149	107	171	247	213	139	75	67	65	85	94	93	93	86
13	63	93	155	204	185	126	75	67	67	76	85	94	94	95
14	57	103	149	128	162	115	90	77	89	95	102	94	85	87

Teniendo en cuenta los datos obtenidos y aplicando la siguiente ecuación se obtuvo:

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}|}{x_{med} * n} \right] \quad \text{Ec. (33)}$$

Donde:

$$\sum_{i=1}^n |x_i - x_{med}| = 7539$$

$$x_{med} = 83.8$$

$$n = 196$$

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{7539}{83.8 * 196} \right]$$

$$CUC = 54.1\%$$

El valor obtenido para el coeficiente de uniformidad según la clasificación de Keller 1990 (ver Tabla 1), no es óptima en un rango por debajo del establecido para el sistema de aspersión fija.

### 3.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA DEL POZO SUBTERRÁNEO CON FINES DE RIEGO

Una vez recolectadas las muestras de agua del pozo subterráneo de la Universidad Surcolombiana y evaluadas por los laboratorios ya mencionados, se determinaron parámetros que intervienen en la clasificación del agua con fines de riego. En la tabla 16 se relacionan los resultados obtenidos para los parámetros que fueron medidos en los laboratorios. (Anexo E)

Tabla 16 Parámetros de Calidad de Agua para Riego determinados en el Laboratorio

PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO		
PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDADES	RESULTADO
pH	Unidades de pH	8.02
Temperatura	°C	25
Color	PtCo	5
Turbiedad	NTU	4.5
Conductividad	μS/cm	329
Alcalinidad	mg/L CaCO <sub>3</sub>	32
Dureza	mg/L CaCO <sub>3</sub>	96.4
Hierro Total	mg/L Fe	0.14
Cloruros	mg/L Cl	ND
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	7.27
Sodio	mg/L	9.5
Magnesio	mg/L	36.8
Calcio	mg/L CaCO <sub>3</sub>	59.6
Potasio	mg/L	4.93
Bicarbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	32
Carbonatos	mg/L CaCO <sub>3</sub>	0
Nitratos	mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.11
Fosfatos	mg/L PO <sub>4</sub>	0.15
Sólidos Suspendidos	mg/L	12
Sólidos Disueltos	mg/L	250
Sólidos Sedimentables	mg/L	2
Sólidos Totales	mg/L	262

ND: No detectado

#### 3.3.1 pH

El pH como parámetro de análisis de calidad de agua para riego indica la condición ácida o alcalina de la solución. En este caso se tiene un **pH=8.02** el cual indica que el comportamiento del agua del pozo subterráneo es alcalina.

### **3.3.2 Temperatura**

El parámetro de Temperatura no presenta normatividad para determinar rangos óptimos en cuanto análisis de calidad de agua, pero se determinó un valor para este parámetro de **T=25°C**.

### **3.3.3 Alcalinidad**

Los resultados obtenidos para la alcalinidad del agua arrojaron un contenido de 32 mg/L CaCO<sub>3</sub>, según la clasificación Kevein 1989, el muestreo mantiene un rango bajo de alcalinidad (ver Tabla 2). Según (Rojas Puentes, 2007), es importante para determinar la capacidad de mantener procesos biológicos. Para la mayoría de las aguas naturales y sobre todo aquellas que poseen valores altos de alcalinidad, resisten mejor los cambios drásticos de pH propicios para el desarrollo de la biótica acuática.

### **3.3.4 Dureza**

El resultado obtenido en el análisis de laboratorio fue de 96.4 mg/L CaCO<sub>3</sub>. La dureza del agua está determinada por la concentración de cationes divalentes, principalmente calcio y magnesio (Rojas Puentes, 2007). Este valor permite clasificarla como aguas semiduras.

### **3.3.5 Turbiedad**

Los valores registrados para este parámetro describen la presencia de partículas en suspensión presentes en el agua. De acuerdo al valor obtenido de 4.5 NTU se determinó la poca presencia de sólidos en suspensión en el agua.

### **3.3.6 Sólidos**

Según los resultados del análisis de laboratorio se observó una cantidad pequeña de sólidos suspendidos y una gran cantidad de sólidos disueltos, relacionados directamente con la turbidez del agua influyendo de esta manera la variable en los resultados de laboratorio.

### **3.3.7 Índices Fundamentales que definen Calidad de Agua para Riego**

El efecto de las sales solubles del agua de riego se debe a que una vez en el suelo se concentra como consecuencia de la evaporación y transpiración, con lo que aumenta la salinidad y ocasiona que para las plantas sea más difícil absorber el agua afectando el cultivo. Se pueden determinar mediante el cálculo y la medición de índices como la Conductividad Eléctrica, Salinidad Efectiva y Salinidad Potencial.

Tabla 17 Valores de Cationes y Aniones

POZO SUBTERRÁNEO				
ELEMENTO	PESO ATÓMICO	VALENCIA	PARÁMETRO mg/L	PARÁMETRO mEq/L
<b>CATIONES</b>				
Calcio	40.078	2	59.6	2.974
Sodio	22.989	1	9.5	0.413
Magnesio	24.305	2	36.8	3.028
Potasio	39.098	1	4.93	0.126
<b>ANIONES</b>				
Cloruro	35.453	1	ND	ND
Sulfatos	96.063	2	7.27	0.151
Bicarbonatos	61.015	1	32	0.524
Carbonatos	60.015	2	0	0
<b>OTROS</b>				
Nitratos	62.05	1	0.11	0.0017

### 3.3.7.1 Salinidad Efectiva

Para el muestreo realizado se cumple la condición 1 (ver Ec.24), luego:

$$\begin{aligned} \text{Cuando: } Ca &> (CO_3 + HCO_3 + SO_4) \\ 2.974 &> (0+0.524+0.151) \\ \mathbf{2.974 > 0.675} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S.E. &= \Sigma \text{Cationes} - (CO_3 + HCO_3 + SO_4) \\ 2.974+0.413+3.028+0.126 &- (0+0.524+0.151) \\ S.E. &= 6.541-0.675 \\ \mathbf{S.E. = 5.866 \text{ mEq/L}} \end{aligned}$$

El valor obtenido para la salinidad efectiva es de **5.866 mEq/L**, según la Tabla 4 el resultado se encuentra en los rangos de 3 a 15 (mEq/L) clasificándola como condicionada.

### 3.3.7.2 Salinidad Potencial

Según la Ec.(28) el valor obtenido para la salinidad potencial es de **0.0755 mEq/L**, de acuerdo a la Tabla 5 la muestra se clasifica como buena.

### 3.3.7.3 Porcentaje de Sodio Posible

Según la Ec. (29) el valor obtenido para el porcentaje de sodio posible es de **7.04%**, de acuerdo a la Tabla 6 la muestra se clasifica como buena.

### 3.3.7.4 Índice de Magnesio

De acuerdo a la Ec. (30), el valor obtenido para el índice de magnesio es de **50.45%**. (Pizarro, 1978) afirma que el agua para riego se considera peligrosa cuando el índice de Magnesio es superior a 50.

### 3.3.7.5 Carbonato de Sodio Residual

Según la Ec. (31), el resultado para el carbonato de sodio residual es **-5.478 mEq/L**. Este valor clasifica la muestra como buena. (ver Tabla 7)

### 3.3.8 Determinación de la RAS

Según la Ec. (32), el resultado para la RAS es **0.24**. Este valor clasifica la muestra como buena. (ver Tabla 8)

$$RAS = 0.24$$

### 3.3.9 Clasificación de la Calidad de Agua con fines de riego

#### 3.3.9.1 Clasificación de la Calidad de Agua según la norma Riverside

Con el valor de la conductividad eléctrica del análisis de laboratorio y con la Relación de Absorción de Sodio RAS calculada y con el diagrama de clasificación según la norma se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 18. Clasificación del Agua de Riego según la Norma Riverside

MUESTREO	RAS	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	CLASIFICACION DEL AGUA
1	0.24	329	C2S1

El agua del pozo subterránea se clasifica según la norma Riverside como **C2S1**, determinando que el agua es de salinidad media permitiendo su uso para el riego del campo de fútbol de la Universidad, tiene poca probabilidad de que se desarrolle salinidad, igualmente, con poca probabilidad de alcanzar los niveles peligrosos de sodio intercambiable.

## 4 CUADRO COMPARATIVO

Tabla 19 Costos de Operación

ITEMS	Acueducto Municipal Electrobomba	Pozo Subterráneo Electrobomba
Frecuencia de riego (Días)	3	3
Jornada de Operación (Hr)	8	8
Horas de Operación a la semana	24	24
Potencia de la bomba (HP)	9	3
Consumo de energía bomba (Kw/Hr)	6.71	2.24
Tarifa de Energía (Kw/Hr)	\$ 385.43	\$ 385.43
Costo del consumo de energía por hora	\$ 2,586.24	\$ 863.36
Costo del consumo de energía por jornada	\$ 20,689.88	\$ 6,906.91
Costo del consumo de energía por semana	\$ 62,069.65	\$ 20,720.72
Costo del consumo de energía por mes	<b>\$ 248,278.59</b>	<b>\$ 82,882.87</b>
Caudal de Riego (GPM)	115	115
Consumo de Agua Aspersor (m3/min)	0.44	0.44
Tarifa de Agua (m3)	\$ 2,012.14	-
Costo consumo de agua por (m3/min)	\$ 885.34	-
Costo consumo de agua por jornada	\$ 7,082.73	-
Costo consumo de agua por semana	\$ 21,248.20	-
Costo consumo de agua por mes	<b>\$ 84,992.79</b>	-
<b>Costo Riego por hora</b>	<b>\$ 3,471.58</b>	<b>\$ 863.36</b>
<b>Costo Riego por jornada</b>	<b>\$ 27,772.62</b>	<b>\$ 6,906.91</b>
<b>Costo Riego por semana</b>	<b>\$ 83,317.85</b>	<b>\$ 20,720.72</b>
<b>Costo Riego por mes</b>	<b>\$ 333,271.38</b>	<b>\$ 82,882.87</b>

## 5 CONCLUSIONES

- $\pi$  Se logró determinar y obtener los valores de las propiedades físicas e hidrodinámicas del suelo (textura, conductividad hidráulica, infiltración básica, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente) y las variables climáticas (temperatura, precipitación, brillo solar, humedad relativa y horas luz) las cuales permitieron realizar la evaluación hidráulica y requerimientos hídricos con fin de optimizar el sistema de riego por aspersión, en la cancha de fútbol de la universidad Surcolombiana.
- $\pi$  Se realizaron análisis fisicoquímicos para el agua utilizada en el riego de la cancha de fútbol de la universidad Surcolombiana, la cual es extraída por bombeo del pozo subterráneo, dando como resultado un agua sin presencia de cloruros, con poca probabilidad de que se desarrolle salinidad y alcance niveles peligrosos de sodio intercambiable permitiendo el uso para el riego de la misma.
- $\pi$  El sistema de riego utilizado actualmente no satisface las condiciones de diseño debido a las bajas presiones que se presentan en la red, aproximadamente entre 30 y 40 psi, muy por debajo de la presión para la que está diseñado el Cañón 1501 Golondrina que es de 60Psi, esta condición que se ve también afectada por el desgaste en la boquilla y la falta de mantenimiento del aspersor, afecta el resultado del coeficiente de uniformidad para el riego por aspersión lo cual no garantiza el riego uniforme en el campo.
- $\pi$  Los costos operacionales estimados mensualmente para el riego mediante el acueducto fueron de \$ 333,271.38 y el pozo subterráneo \$ 82,882.87; de esta manera, se recomienda el riego para el campo de fútbol mediante el abastecimiento del pozo subterráneo.
- $\pi$  Se generó una programación de riego para permitir un buen funcionamiento por parte del operario con el fin de evitar que se presenten sobre costos y desperdicios de agua al momento de aplicar riego, haciendo un uso racional del agua en la cancha de la Universidad Surcolombiana.

## 6 RECOMENDACIONES

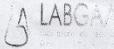
- $\pi$  Se recomienda la implementación de seis posiciones más de riego como se especifica en el diseño planteado, con el fin de evitar que se presenten sectores secos (conejos) dentro de la cancha de fútbol.
- $\pi$  Para garantizar la uniformidad en el riego y presiones en el sistema se recomienda utilizar las dos fuentes de abastecimiento. (Acueducto y Pozo Subterráneo)
- $\pi$  Con el fin de mantener un óptimo funcionamiento en el sistema de riego, se recomienda realizar mantenimiento a la unidad de riego aproximadamente cada (6) meses y adaptar un sistema de control de presión (manómetro) para garantizar la misma, permitiendo así un control periódico.
- $\pi$  Para garantizar un óptimo desempeño en el funcionamiento de la electrobomba del pozo subterráneo es necesario realizar un mantenimiento al equipo debido a su tiempo de instalación.
- $\pi$  Realizar un cronograma de actividades deportivas, respetando la programación de riego con el fin de evitar el deterioro del césped debido a la sobrecarga de trabajos realizados sobre el terreno de fútbol.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bravo Mero, T. B., Mieles Moreira, J. J., Velasco Mero, A. C., & Vera Lara, M. G. (2008). *Diseño, cálculo e instalación de un sistema de riego para la cancha de fútbol del complejo deportivo de la Universidad Técnica de Manabí del Cantón Portoviejo*. Portoviejo, Manabí: Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ingeniería Agrícola.
- Cifuentes Perdomo, M. G. (1999). *Diseño y Construcción del Centro Experimental Piloto de Riego a Presión "CEPRAP" y formulación de requerimientos hídricos*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Cifuentes Perdomo, M. G. (2006). *Aspersión, Una alternativa de Riego en proyectos productivos*. Neiva.
- FAO, 5. (2006). Evapotranspiración del Cultivo. *ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE* 56, 112.
- Ferri Ramos, M. (2002). *Jardineros. Temario General para OPOSICIONES (Tema 7)*. Alcalá de Guadaira (Sevilla): MAD, S.L.
- Llovet, J. M. (1987). *Instalaciones Deportivas: Proyecto, construcción y mantenimiento*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados. S.A.
- Pizarro, F. (1978). *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Madrid: Agrícola Española S.A.
- Rojas Puentes, J. (2007). *Fundamentos de Calidad del Agua*. Neiva-Huila: Facultad de Ingeniería.
- Tello Polo, J. M. (2002). *Jardineros. Temario General para OPOSICIONES (Tema 1)*. Alcalá de Guadaira (Sevilla): MAD, S.L.
- Zúñiga Martínez, É. (2004). *Diseño y Evaluación del Riego a Presión*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.

# **ANEXOS**

## ANEXO A. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

	<b>ENTREGA DE RESULTADOS</b>						
<b>INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS</b>							
<b>CÓDIGO</b>	<b>ER-FR-01</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>3</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>Página</b>	<b>1 de 1</b>

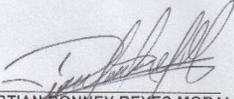
DATOS DEL CLIENTE		
Solicitante: Fabián Barrera	Ciudad: Neiva	Dirección: Cl 58 N° 1w 98
Teléfono: 3142102224	email: fabianz06@hotmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
Finca: No aplica	Matriz: Suelo	<b>N° Muestra: 111-14</b>
Vereda: No aplica	ID cliente: cancha futbol USCO	
Municipio: Neiva	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 29/04/2014	
Cultivo: Grama	Fecha análisis: 06/05/2014	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 07/05/2014	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°: 119-14	

PARAMETROS FISICOS	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	Capacidad de campo (0.03Mpa)	%	Membranas Richards
	Punto de marchitez permanente (1.5 MPa)	gravimetría	
Fracción mineral	Arena (A)	75.0	Bouyoucos
	Limo (L)	16.0	
	Arcilla (Ar)	9.0	
Textura	Franco Arenoso		
Granulometría	g	-	Juego de tamices
Densidad aparente	g.cm <sup>-3</sup>	-	Terrón parafinado
Densidad real	g.cm <sup>-3</sup>	-	Picnómetro
Porosidad total	%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural		-	Yoder
Límites de Atterberg (Líquido y plástico)		-	Cazuela de Casagrande
Coef		-	Estándar
Permeabilidad	cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	-	Carga constante
Conductividad hidráulica saturada	m.día <sup>-1</sup>	-	Pozo barrenado
Infiltración	cm.h <sup>-1</sup>	-	Anillos infiltrómetros

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.

NOTA 3: Los datos del cliente y la información de la muestra es suministrada por quien radica la muestra en el Laboratorio LABGAA.

  
**CRISTIAN RONNEY REYES MORALES**  
 Analista Físico

FIN DEL INFORME

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA		
	NIT. 891.180.084-2		
	CODIGO: RS-FR-02	FECHA	VERSION 002
			Pág. 1 de 1
INFORME ENSAYOS ANALISIS DE SUELO			

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitante: Fabián Antonio Barrera	Ciudad: Neiva
Teléfono: 314 210 22 24	email: fabianz@hotmail.com
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Finca: Cancha de Futbol	N° Muestra Laboratorio: 180
Municipio: Neiva	ID Cliente: Muestra 1
Departamento: Huila	Fecha muestreo: No Reporta
Cultivo: Pasto	Fecha recepción: 2013/08/23
Último cultivo: Pasto	Fecha análisis: 2013/09/16
N° Plan de muestreo:	Fecha entrega: 2013/10/11
INFORME DE RESULTADOS N°: 016	

PARAMETROS FISICOS		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	Capacidad de campo (0.03Mpa)	%	35.57	Membranas Richards
	Punto de marchitez permanente (1.5 MPa)		12.71	
Fracción mineral	Arena (A)	%	-	Bouyoucos
	Limo (L)		-	
	Arcilla (Ar)		-	
Textura			-	
Granulometría		g	-	Juego de tamices
Densidad aparente		g.cm <sup>-3</sup>	1.6	Terrón parafinado
Densidad real		g.cm <sup>-3</sup>	-	Picnómetro
Porosidad total		%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural			-	Yoder
Límites de Atterberg (Líquido y plástico)			-	Cazuela de Casagrande
Coel			-	Estándar
Permeabilidad		cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	-	Carga constante
Conductividad hidráulica saturada		m.día <sup>-1</sup>	-	Pozo barrenado
Infiltración		cm.h <sup>-1</sup>	-	Anillos infiltrómetros

NOTA1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.



ARMANDO TORRENTE TRUJILLO  
Coordinador Laboratorio

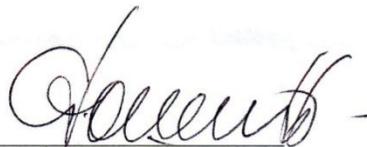
 <b>LABGAA</b> Laboratorio de Recursos Geoambientales	<b>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA</b> NIT. 891.180.084-2		
	<b>CODIGO:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>VERSION 002</b>
	RS-FR-02		Pág. 1 de 1
<b>INFORME ENSAYOS ANALISIS DE SUELO</b>			

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitante: Fabián Antonio Barrera	Ciudad: Neiva
Teléfono: 314 210 22 24	email: fabianz@hotmail.com
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Finca: Cancha de Futbol	Nº Muestra Laboratorio: 181
Municipio: Neiva	ID Cliente: Muestra 2
Departamento: Huila	Fecha muestreo: No Reporta
Cultivo: Pasto	Fecha recepción: 2013/08/23
Último cultivo: Pasto	Fecha análisis: 2013/09/16
Nº Plan de muestreo:	Fecha entrega: 2013/10/11
<b>INFORME DE RESULTADOS Nº: 017</b>	

PARAMETROS FISICOS		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	Capacidad de campo (0.03Mpa)	%	32.62	Membranas Richards
	Punto de marchitez permanente (1.5 MPa)		9.52	
Fracción mineral	Arena (A)	%	-	Bouyoucos
	Limo (L)		-	
	Arcilla (Ar)		-	
Textura			-	
Granulometría		g	-	Juego de tamices
Densidad aparente		g.cm <sup>-3</sup>	1.4	Terrón parafinado
Densidad real		g.cm <sup>-3</sup>	-	Picnómetro
Porosidad total		%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural			-	Yoder
Límites de Atterberg (Líquido y plástico)			-	Cazuela de Casagrande
Coel			-	Estándar
Permeabilidad		cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	-	Carga constante
Conductividad hidráulica saturada		m.día <sup>-1</sup>	-	Pozo barrenado
Infiltración		cm.h <sup>-1</sup>	-	Anillos infiltrómetros

NOTA1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.



**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
 Coordinador Laboratorio

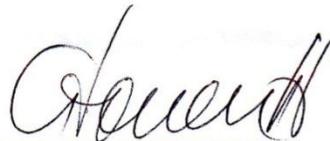
 <b>LABGAA</b> Laboratorio de Recursos Geotécnicos	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA NIT. 891.180.084-2		
	<b>CODIGO:</b> RS-FR-02	<b>FECHA:</b> 2013 10 11	<b>VERSION 002</b> Pág. 1 de 1
	<b>INFORME ENSAYOS ANALISIS DE SUELO</b>		

DATOS DEL CLIENTE	
Solicitante: Fabián Antonio Barrera	Ciudad: Neiva
Teléfono: 314 210 22 24	email: fabianz@hotmail.com
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	
Finca: Cancha de Futbol	Nº Muestra Laboratorio: 182
Municipio: Neiva	ID Cliente: Muestra 3
Departamento: Huila	Fecha muestreo: No Reporta
Cultivo: Pasto	Fecha recepción: 2013/08/23
Último cultivo: Pasto	Fecha análisis: 2013/09/16
Nº Plan de muestreo:	Fecha entrega: 2013/10/11
INFORME DE RESULTADOS Nº: 018	

PARAMETROS FISICOS		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	Capacidad de campo (0.03Mpa)	% gravimetría	33.52	Membranas Richards
	Punto de marchitez permanente (1.5 MPa)		14.82	
Fracción mineral	Arena (A)	%	-	Bouyoucos
	Limo (L)		-	
	Arcilla (Ar)		-	
Textura			-	
Granulometría		g	-	Juego de tamices
Densidad aparente		g.cm <sup>-3</sup>	1.6	Terrón parafinado
Densidad real		g.cm <sup>-3</sup>	-	Picnómetro
Porosidad total		%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural			-	Yoder
Límites de Atterberg (Líquido y plástico)			-	Cazuela de Casagrande
Coef			-	Estándar
Permeabilidad		cm <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	-	Carga constante
Conductividad hidráulica saturada		m.día <sup>-1</sup>	-	Pozo barrenado
Infiltración		cm.h <sup>-1</sup>	-	Anillos infiltrómetros

NOTA 1: Los resultados son válidos únicamente por la muestra analizada.

NOTA 2: El presente informe no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización del laboratorio.



**ARMANDO TORRENTE TRUJILLO**  
 Coordinador Laboratorio

## ANEXO B. DATOS CLIMATOLÓGICOS

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION  
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)

FECHA DE PROCESO : 2013/05/21			ESTACION : 21115020 APTO BENITO SALAS												
LATITUD	0256 N	TIPO EST	SS <th>DEPTO</th> <td>HUILA <th>FECHA-INSTALACION</th> <td>1930-ENE </td></td>	DEPTO	HUILA <th>FECHA-INSTALACION</th> <td>1930-ENE </td>	FECHA-INSTALACION	1930-ENE								
LONGITUD	7517 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	NEIVA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	0439 m.s.n.m	REGIONAL	04 HUILA-CAQUET	CORRIENTE	LAS CEIBAS										
AÑO	EST	ENT	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
1993	2	01	72 1	75 3	78	76 1	75	66 1	67 1	57 1	62 1	68 1	80	79 1	71 3
1994	2	01	75 1	73 1	78	75 1	76 1	68 1	59 1	50 1	52 1	70 1	77 1	73 1	69
1995	1	01	60 1	61 1	73 1	72 1	69 1	64 1	61 1	57 1	51 1	68	76 1	76 1	66
1996	1	01	74 1	76 1	75 1	70 1	71 1	64 1	58 1	53 1	55 1	70 1	72 1	72 1	68
1997	1	01	75 1	68 1	64 1	70 1	64 1	65 1	53 1	48 1	51 3	57 1	66 1	65 1	62 3
1998	1	01	60 3	58 1	70	76	71	63	61 1	58	59 1	63	77 1	77 1	66 3
1999	1	01	75 1	76 1	72	73 1	71 1	70	59 1	54 1	66 1	73 1	77 1	76 1	70
2000	1	01	71 1	74 1	77 1	76 1	75 1	67	57	57	64 1	63 1	71 1	72 1	69
2001	1	01	66	61	72	67 1	72	63 1	61 1	51	59 3	59 1	75 1	78 1	65 3
2002	1	01	65 3	70 1	71	75 1	74 1	71 1	65 1	60 1	58 1	61 1	70 1	71 1	68 3
2003	1	01	65 1	66 1	70 1	74 1	68	66 1	57 1	52 1	57 1	67 1	77	73 1	66
2004	1	01	69 3	66 1	65 1	73 1	71 1	61 1	62 1	54 1	58 1	68 1	76	75 1	67 3
2005	1	01	68 1	69 1	70 1	68 1	75 1	65 1	58 1	55 3	58 1	69 1	74 1	77 1	67 3
2006	1	01	75 1	71 1	77 1	77 1	64 1	64	55 1	51 1	53 1	65 1	77 1	76 1	67
2007	1	01	65 1	59 1	68 1	75 1	74 1	69 1	57 1	58 1	53 1	72 1	76 1	77 1	67
2008	1	01	72 1	69 1	75 1	75 1	73 1	68 1	61 1	63 1	63	72 1	80 1	75 1	71
2009	1	01	74 1	72 1	78 1	75 1	71 1	63 1	59 1	58 1	50 1	61 1	70 1	68 1	67
2010	1	01	56 1	57 1	61 1	70 1	71 1	71 1	68 1	52	62 1	69 1	79 1	77	66
2011	1	01	68 1	74 1	75 1	76 1	73 1	70 1	63 1	53 1	54 1	67 1	76 1	75 1	69
2012	1	01	72 1	67 1	70 1	73 1	64 1	53 1	53	49 1	48 1	66 1	76 1	75 1	64
MEDIOS			69	68	72	73	71	66	60	55	57	66	75	74	67
MAXIMOS			75	76	78	77	76	71	68	63	66	73	80	79	80
MINIMOS			56	57	61	67	64	53	53	48	48	57	66	65	48

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION  
NACIONAL AMBIENTAL

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)

FECHA DE PROCESO : 2013/05/21			ESTACION : 21115020 APTO BENITO SALAS												
LATITUD	0256 N	TIPO EST	SS	DEPTO	HUILA	FECHA-INSTALACION	1930-ENE								
LONGITUD	7517 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	NEIVA	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	0439 m.s.n.m	REGIONAL	04 HUILA-CAQUET	CORRIENTE	LAS CEIBAS										
A#O	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *
1993	2	01	27.4	27.5 3	26.3	27.2	27.0	28.1	27.7	29.1	28.9	27.8	26.3	26.9	27.5 3
1994	2	01	26.7	27.1	26.4	26.9	27.0	27.6	28.0	28.5	29.0	27.1	26.4	27.3	27.3
1995	2	01	29.0	28.8	27.3	27.2	27.3	27.9	28.0	28.4	29.7	27.7	26.7	26.4	27.9
1996	2	01	26.8	26.3	26.8	27.5	27.2	27.3	27.4	28.5	29.3	27.1	27.1	26.8	27.3
1997	2	01	26.5	27.9	28.4	27.4	28.0	27.8	28.4	29.6	30.1	29.7	28.3	28.8	28.4
1998	1	01	30.2 3	30.8	28.8	28.3	28.2	28.5	28.1	28.9	29.3	29.0	26.7	26.7	28.6 3
1999	1	01	26.9	26.3	27.4	27.0	26.9	27.1	28.0	28.9	27.4	26.5	26.5	26.6	27.1
2000	1	01	27.2	26.6	26.4	26.2	26.5	27.4	28.2	28.6	27.8	28.0	27.1	27.0	27.3
2001	1	01	27.7	28.9	27.6	28.2	27.8	27.9	28.4	29.4	29.0 3	29.8	27.1	27.0	28.2 3
2002	1	01	28.7 3	28.6	28.4	27.2	27.4	27.0	28.2	29.2	29.5	29.1	27.7	28.1	28.3 3
2003	1	01	29.1	29.2	28.1	27.2	28.4	28.0	28.7	29.9	29.2	28.1	26.8 3	27.3	28.3 3
2004	1	01	28.1 3	28.5	29.2	27.3	27.6	28.4	28.1	29.4	29.2	27.7	26.8	27.1	28.1 3
2005	1	01	27.8	28.2	27.9	28.0	27.3	28.6	28.7	29.5 3	29.3	27.2	27.0	26.6	28.0 3
2006	1	01	27.1	28.1	26.9	26.8	28.3	27.7	28.4	29.4	29.6	28.4	26.5	26.9	27.8
2007	1	01	28.8	29.3	28.0	26.9	27.1	26.8	28.8	28.2	29.5	27.0	26.6	26.4	27.8
2008	1	01	27.0	27.4	26.6	26.4	26.5	27.0	27.7	27.8	27.7	26.8	26.0	26.7	27.0
2009	1	01	27.0	27.3	26.4	26.9	27.4	28.1	28.5	29.0	29.9	28.7	27.8	28.2	27.9
2010	1	01	29.8	30.5	29.4	28.3	27.8	26.8	27.1	28.8 3	27.8	27.1	25.9	25.9	27.9 3
2011	1	01	27.6	26.8	26.4	26.3	26.8	26.9	27.6	29.2	28.8	27.4	26.6	26.6	27.3
2012	1	01	27.3	28.0	27.4	26.8	28.2	29.1	28.7	29.1	29.9	28.0	27.0	26.8	28.0
MEDIOS			27.8	28.1	27.5	27.2	27.4	27.7	28.1	29.0	29.0	27.9	26.8	27.0	27.8
MAXIMOS			30.2	30.8	29.4	28.3	28.4	29.1	28.8	29.9	30.1	29.8	28.3	28.8	30.8
MINIMOS			26.5	26.3	26.3	26.2	26.5	26.8	27.1	27.8	27.4	26.5	25.9	25.9	25.9

### ANEXO C. CLASIFICACIÓN DE LA INFILTRACIÓN Y LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

<b>INFILTRACIÓN (cm/hr)</b>	<b>CONDUCTIVIDAD (m/día)</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
< 0.1	< 0.03	<b>MUY LENTA</b>
0.1 – 0.5	0.03 – 0.12	<b>LENTA</b>
0.5 – 2.0	0.12 – 0.38	<b>MOD. LENTA</b>
2.0 – 6.3	0.38 – 1.20	<b>MODERADA</b>
6.3 – 12.7	1.20 – 2.90	<b>MOD. RÁPIDA</b>
12.7 – 25.4	2.90 – 4.30	<b>RÁPIDA</b>
> 25.4	> 4.30	<b>MUY RÁPIDA</b>

**ANEXO D.PORCENTAJE MENSUAL DE HORAS – LUZ (p) BLANEY – CRIDDLE (1950)**

LATITUD NORTE	MESES											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
40°	6.73	6.73	8.30	8.92	9.99	10.08	10.34	9.56	8.41	7.78	6.73	6.53
38°	6.83	6.79	8.34	8.90	9.92	9.95	10.10	9.47	8.38	7.80	6.82	6.66
36°	6.99	6.86	8.35	8.85	9.31	9.83	9.99	9.40	8.36	7.85	6.92	6.79
34°	7.10	6.91	8.36	8.80	9.72	9.70	9.88	9.33	8.36	7.90	8.02	6.92
32°	7.20	6.97	8.37	8.72	9.36	9.60	9.77	9.28	8.34	7.93	7.11	7.05
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
28°	7.40	7.02	8.39	8.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.27	7.27
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.37	9.30	9.49	9.10	8.32	8.06	7.36	7.35
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.19	9.41	9.05	8.31	8.10	7.43	7.46
22°	7.76	7.22	8.41	8.57	9.22	9.12	9.31	9.00	8.30	8.13	8.50	8.56
20°	7.73	7.26	8.20	8.52	8.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.98
18°	7.88	7.26	8.40	8.46	9.06	8.99	9.20	8.81	8.29	8.24	7.27	7.80
16°	7.94	7.30	8.42	8.45	8.98	8.98	9.07	8.80	8.28	8.24	7.72	7.90
14°	7.08	7.39	8.43	8.49	8.90	8.73	8.99	8.79	8.28	8.28	7.85	8.04
12°	8.08	7.40	8.44	8.43	8.54	8.64	8.90	8.79	8.27	8.28	7.85	8.05
10°	8.11	7.40	8.44	8.43	8.81	8.57	8.84	8.74	8.26	8.29	7.89	7.08
8°	8.13	7.49	8.45	8.39	8.75	8.52	8.77	8.79	8.25	8.31	7.89	8.11
6°	8.19	7.49	8.47	8.39	8.73	8.48	8.75	8.70	8.25	8.41	7.95	8.19
4°	8.20	7.53	8.46	8.33	8.65	8.40	8.67	8.63	8.21	8.43	7.95	8.20
2°	8.43	7.62	8.47	8.22	8.51	8.25	8.52	8.50	8.20	8.45	8.16	8.43
0°	8.49	7.67	8.49	8.22	8.22	8.49	8.49	8.49	8.19	8.49	8.22	8.49
<b>LATITUD SUR</b>												
0°	8.49	7.67	8.49	8.22	8.49	8.22	8.49	8.49	8.19	8.49	8.22	8.49
2°	8.55	7.71	8.49	8.19	8.44	8.17	8.43	8.44	8.19	9.52	8.27	8.55
4°	8.64	7.76	8.50	8.17	8.34	8.08	8.20	8.41	8.19	8.56	8.33	8.65
6°	8.71	7.81	8.50	8.12	8.30	8.00	8.19	8.37	8.18	8.59	8.38	8.74
8°	8.79	7.84	8.57	8.11	8.24	7.91	8.13	8.32	8.18	8.62	8.47	8.84
10°	8.85	8.76	8.52	8.09	8.18	7.84	8.11	8.28	8.18	8.65	8.52	8.90

## ANEXO E. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE AGUAS



Hoja 1 de 1

Solicitante: **Hugo Ernesto Perdomo**

Municipio: **Neiva – Huila**

Fecha de recibo: Octubre 27 de 2009.

Fuente: **Pozo USCO-1. Agua Subterránea**

Fecha de entrega: Octubre 28 de 2009.

### ANALISIS FISICOQUIMICO

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO N°Lab. 0080
pH	Unidades	8.02
Temperatura	°C	27
Color	PCo	5
Turbiedad	NTU	4.5
Conductividad	µS/cm	329
Alcalinidad	mg/l CaCO <sub>3</sub>	140
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	110
Hierro Total	mg/l Fe	0.14
Cloruros	mg/l Cl <sup>-</sup>	ND
Sulfatos	mg/l SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7.27
Nitratos	mg/l NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.11
Fosfatos	mg/l PO <sub>4</sub>	0.15
Sólidos suspendidos	mg/l	12
Sólidos disueltos	mg/l	250
Sólidos Sedimentables	ml/l	2
Sólidos Totales	mg/l	262

ND: No detectado

➤ Muestra tomada por el laboratorio.

**JAIME ROJAS PUENTES**  
Coordinador Laboratorio de Aguas.

LABORATORIO DE AGUAS - FACULTAD DE INGENIERIA - U. SURCOLOMBIANA  
e-mail: [laboratoriodeaguas@usco.edu.co](mailto:laboratoriodeaguas@usco.edu.co) - Tels. 8754753 ext. 284 y 8758775



## AQUATEKNICA LTDA

NIT. 900.127.670-6

Laboratorio de Aguas y Alimentos

AQUATEKNICA LTDA

Autorizado por el Ministerio de Salud y Protección Social Según Resolución No 431/2012

RESULTADOS DE LABORATORIO				
INFORMACION DEL CLIENTE				
CLIENTE: JHON EDUAR RAMOS				
NUMERO DE IDENTIFICACION: 1,075,236,476				
CIUDAD: NEIVA				
EMAIL: j_ramos26@hotmail.com				
INFORMACION GENERAL				
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: MC479 - 14				
TIPO DE ANÁLISIS SOLICITADO: FISIQUÍMICO				
TIPO DE MUESTRA: AGUA SUBTERRANEA				
PUNTO DE MUESTREO: POZO UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA				
FECHA DE TOMA DE MUESTRA: jueves, 06 de marzo de 2014				
HORA DE TOMA DE MUESTRA: 09:40 a.m.				
FECHA DE ENTREGA AL LABORATORIO: jueves, 06 de marzo de 2014				
HORA DE ENTREGA AL LABORATORIO: 10:15 a.m.				
RESPONSABLE DEL MUESTREO: ESTUDIANTE: FABIAN BARRERA				
RESULTADOS DE ANALISIS FISIQUÍMICO				
PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO	UNIDADES	METODO	ANALISTA
SODIO	9,5	mg/L	ELECTRODO SELECTIVO	William C.

ESTE INFORME NO PUEDE SER REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DE AQUATEKNICA LTDA. ESTE RESULTADO ES VÁLIDO ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE PARA LOS ELEMENTOS ENSAYADOS IDENTIFICADOS.

  
**DORA PATRICIA LOSADA**  
 GERENTE - MICROBIÓLOGA



  
**WILLIAM CASTRO**  
 ING. QUÍMICO

ELABORÓ: ING. DIEGO OLIVEROS GARCIA

Calle 23 N° 5A - 58 Barrio Sevilla teléfono: 8741229 celulares: 3117357573 - 3203393021 [aquateknica@gmail.com](mailto:aquateknica@gmail.com) Neiva - Huila

**REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO No. A-2527-14**

Bogota D.C., Marzo 29 de 2014

Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE		IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	
FUNDACION DESARROLLO DE LAS INGENIERIAS Y LAS CIENCIAS DE LA SALUD PARA LA PROTECCION OSCAR GUTIERREZ OLAYA AV 26 No 27 - BAJO 108 CONJUNTO SANTA LUCIA BT4ND46 fundeprca@gmail.com		PRODUCTOMATRIZ: AGUA SUBTERRANEA MUESTREO A CARGO DE: CLIENTE PROCEDIMIENTO DE MUESTREO: N.E. PLAN DE MUESTREO ANTEK No.: N.E. IDENTIFICACION DE MONITOREO: N.E. NUMERO TOTAL DE MUESTRAS: 1 LUGAR DE MUESTREO: NEVA - NEVA TIPO DE MUESTREO: N.E.	
FECHA DE MUESTREO: 2014-03-18		FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS: 2014-03-19	
FECHA DE ANALISIS: 2014-03-19 AL 2014-03-20			

PARAMETRO	UNIDADES	TECNICA ANALITICA	METODO	POZO SUBTERRANEO MUESTRA #1	LIMITE DECRETO 1846/14 MIN. DE SALUD Y MIN. DE AGRICULTURA		
				ANTEK 82293	Art. 30	Art. 33	Art. 42
POTASIO	mg/L	E.E.A.	SM 2211 B	4,93	N.E.	N.E.	N.E.

N.E. : NO ESTABLECIDA. NO APLICA. E.E.A. - ESPECTROMETRIA DE EMISION ATOMICA

**OBSERVACIONES:**

METODO DE ANALISIS UTILIZADO: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER & WASTEWATER 22nd EDITION 2012, APHA, AWWA, WEF.

RESULTADOS VALIDOS UNICAMENTE PARA LAS MUESTRAS ANALIZADAS

PROHIBIDA LA REPRODUCCION PARCIAL DE ESTE REPORTE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS NO DEBEN SER UTILIZADOS COMO UNA CERTIFICACION DE CONFORMIDAD CON NORMAS DE PRODUCTO O COMO CERTIFICADO DEL SISTEMA DE SALUD DE LA ENTIDAD QUE LO PRODUCE

ANTEK S.A. - SOLUCIONES ANALITICAS PARA LA INDUSTRIA

AUTORIZADO

AUTORIZADO

AUTORIZADO

AUTORIZO

**LUIS ARTURO SUSPES**  
Direccion Tecnica y Laboratorio





**Universidad Surcolombiana**

**- USCO -**

**NIT 891.180.084-2**

FECHA: ABRIL 26/2014.

PARA: FABIANO A. BARRERA  
JOHN EDUARDO RAMOS. ESTUDIANTES DE ING. AGRÍCOLA.

REFERENCIA: RESULTADOS DE LABORATORIO  
MUESTRA DE AGUA POZO - USCO

PROYECTO: EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y ESTIMACIÓN DE  
REQUERIMIENTOS HÍDRICOS Y DETERMINACIÓN DEL  
SISTEMA DE OPERACIÓN ACTUAL CON FINES DE OPTIMIZA-  
CIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN  
LA CANCHA DE FÚTBOL DE LA USCO.

RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS:

$T = 25^{\circ}\text{C}$

DUREZA = 96.4 mg/l  $\text{CaCO}_3$

CALCIO = 59.6 mg/l  $\text{CaCO}_3$

ALCALINIDAD TOTAL 32 mg/l  $\text{CaCO}_3$

CARBONATOS 0.0

BICARBONATOS 32 mg/l  $\text{CaCO}_3$

JAIKE ROTAS P  
COORDINADOR LAB. AGUAS  
USCO.

Avenida Pastrana Borrero - Carrera 1a. A.A. 385 y 974 - PBX 8754753 - Fax 8758890 - 8759124 - 8752374 - 8752436  
Carrera 5 No. 23 - 40 - Edificio de Postgrados - PBX 8753686  
www.usco.edu.co  
NEIVA - HUILA

## ANEXO F TABLAS DE RENDIMIENTO DEL ASPERSOR



# TABLAS DE RENDIMIENTO

### MODELO 1001

Círculo Total 31210000  
Círculo Parcial 31210001

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA CÓNICA							
	0.6"		0.7"		0.8"		0.9"	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	374	74	253	105	252	130	268	165
60	223	81	247	110	246	143	281	183
70	227	88	261	120	261	155	294	197
80	247	94	271	128	260	168	308	210
90	257	100	280	135	300	175	318	223
100	268	108	290	143	309	185	328	236
110	275	111	300	150	318	195	338	247

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA DE ANILLOS							
	No.1 (70°)		No.2 (70°)		No.3 (81°)		No.4 (81°)	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	209	74	213	88	218	100	228	110
60	223	81	228	96	232	110	247	120
70	232	88	237	104	247	118	261	130
80	242	94	251	111	261	127	270	140
90	251	99	261	117	270	134	280	154
100	258	105	268	124	280	142	289	162
110	261	110	275	130	289	148	298	170

TABLA DE CONVERSIONES

Para pasar de PSI a Atmosferas multiplicar por 0.06804

Para pasar de pies a metros multiplicar por 0.3048

Para pasar de G.P.M. a Mts cúbicos por hora (m<sup>3</sup>/h) multiplicar por 0.2267

• Boquilla regular

### MODELO 1501

Círculo Total 31215010  
Círculo Parcial 31215011

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA CÓNICA							
	0.6"		0.7"		0.8"		0.9"	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	256	110	278	142	287	165	313	226
60	267	118	289	154	308	190	320	245
70	276	127	300	164	319	214	328	263
80	285	136	309	177	320	227	340	276
90	295	142	317	185	328	235	348	290
100	304	150	325	195	347	249	367	305
110	314	157	333	202	356	262	375	323

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA DE ANILLOS							
	No.1 (81°)		No.2 (80°)		No.3 (100°)		No.4 (100°)	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	250	110	289	142	289	165	322	226
60	261	118	280	154	296	188	315	243
70	270	127	290	164	308	213	321	262
80	280	136	299	175	320	237	340	276
90	290	142	309	185	328	258	352	290
100	299	150	318	195	328	280	362	305
110	308	157	328	202	347	299	372	323

### MODELO 2001

Círculo Total 31220010  
Círculo Parcial 31220011

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA CÓNICA							
	1.00"		1.00"		1.25"		1.50"	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	381	300	370	364	387	425	408	512
60	365	279	382	381	402	458	423	532
70	378	325	390	420	418	485	437	568
80	384	353	405	421	428	508	447	588
90	394	368	415	441	437	530	457	610
100	401	380	423	458	448	550	470	640
110	408	390	430	468	458	570	480	670

PRESIÓN EN EL CODO PSI	BOQUILLA DE ANILLOS							
	No.1 (30°)		No.2 (45°)		No.3 (50°)		No.4 (50°)	
	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.	DA.	DESC.
	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.	PES.	G.P.M.
50	354	300	365	378	360	429	385	495
60	360	320	380	378	365	450	405	520
70	370	336	390	390	408	477	421	551
80	380	352	400	410	420	498	434	578
90	390	368	410	420	430	518	448	607
100	400	384	420	430	440	538	462	637
110	410	390	430	440	450	558	476	667

# PLANOS