

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 28 de marzo de 2016

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ _____, con C.C. No. 1075254624 _____,

IVAN DARIO MENDEZ GOYES _____, con C.C. No. 1018441699 _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE GUANABANA (*Annona Muricata*) MEDIANTE EL USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de

INGENIERO AGRICOLA;

autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

IVAN DARIO MENDEZ GOYES:

Firma: _____

Firma: _____

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE GUANABANA (*Annona Muricata*) MEDIANTE EL USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
LOPEZ RODRIGUEZ	EDWARD IVAN
MENDEZ GOYES	IVAN DARIO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
TORRENTE TRUJILLO	ARMANDO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
PACHON BEJARANO	RODRIGO
QUIMBAYA LASSO	FELIPE ANDRES

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 88

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS					  	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una **X**):

Diagramas **X** Fotografías **X** Grabaciones en discos **X** Ilustraciones en general **X** Grabados ___ Láminas ___
 Litografías ___ Mapas **X** Música impresa ___ Planos **X** Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas o Cuadros **X**

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Word

MATERIAL ANEXO: Planos Digitales, Software Final, Videos, Fotografía Digital

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Riego	Irrigation
2. Microaspersión	Microaspersion
3. Automatización	Automation
4. Guanábana	Soursop
5. SIG	GIS

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se diseñó un riego por microaspersión para el cultivo de guanábana en el municipio del Pital, siendo la fuente un lago de 54 m³. Se desarrolló el software SISRIEGO para la operación de riego, siendo una aplicación de automatización de fácil manejo, con un único indicador de alerta, un sensor de humedad ubicado en la zona más crítica del sector a profundidad de 60 cm, que permite determinar el momento oportuno de riego. Con SISRIEGO, la jornada de trabajo se extiende a 24 horas, haciendo posible regar y dar tiempo para la recarga del lago. El cultivo de guanábana es considerado un cultivo tropical, de baja producción en el país, capaz de soportar temporadas de sequía cortas y medianas en su etapa adulta, posee un mercado bastante amplio. El sistema de riego se diseñó con un software de la empresa española "Aigües del Segarra Garrigues, S.A." (ASG),

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

quien brindó la asesoría, siendo validado con Epanet. Sigopram utiliza la plataforma ARCGIS 10.1 como base para su funcionamiento.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Designed irrigation by micro for the cultivation of soursop in the municipality of el Pital, being the source of a Lake of 54 m3. Developed the SISRIEGO software for operation of irrigation, being an Automation application of easy to use, with a single alert indicator, a humidity sensor positioned in the most critical area of the sector at depth of 60 cm, which allows to determine the timing of irrigation. With SISRIEGO, the working day is extended to 24 hours, making it possible to irrigate and give time to recharge the Lake. The cultivation of soursop is considered a tropical crop, low production in the country, capable of withstanding drought conditions short and medium in its adult stage, has a very broad market. The irrigation system was designed with a software of the Spanish company "Aigües del Segarra Garrigues, S.A." (ASG), who provided the advice, being validated with Epanet. Sigopram uses the ARCGIS 10.1 as base platform for its function.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: **Armando Torrente Trujillo**

Firma: 

Nombre Jurado: **Rodrigo Pachón Bejarano**

Firma: 

Nombre Jurado: **Felipe Andrés Quimbaya Lasso**

Firma: 

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR
MICROASPERION AUTOMATIZADO PARA EL
CULTIVO DE GUANÀBANA "Annona Muricata"
MEDIANTE EL USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG

TRABAJO DE GRADO

EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ
IVAN DARIO MENDEZ GOYES

2016

NEIVA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN AUTOMATIZADO
PARA EL CULTIVO DE GUANÁBANA "*Annona Muricata*" MEDIANTE EL USO DE LAS
HERRAMIENTAS SIG

EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ
IVAN DARIO MENDEZ GOYES

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2015

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN AUTOMATIZADO
PARA EL CULTIVO DE GUANÁBANA "*Annona Muricata*" MEDIANTE EL USO DE LAS
HERRAMIENTAS SIG

EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ
IVAN DARIO MENDEZ GOYES

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de:
INGENIERO AGRÍCOLA

Director
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
Doctor Ciencias Agrarias

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA
2015

Nota de Aceptación

Rodrigo Pachón

Felipe Quimbaya

Neiva, Febrero de 2016

DEDICATORIA

IVAN MENDEZ

A mis padres Rafael Méndez Morera y Lucila Esperanza Goyes Luna, mis hermanos Julián David y Lourdes Alejandra, a mi ahijado Sebastián Salazar Méndez, y a mi compadre Walter Salazar quienes son el motor de mi vida y el apoyo que nunca me faltó durante mi carrera.

Al Ingeniero Miguel Germán Cifuentes, quien con su método SECO, y su metodología de enseñanza ha formado ingenieros agrícolas de calidad técnica y humana, a Él mil gracias.

A mis familias, mis tíos, tías, primos, primas quienes me enseñaron a ser la persona que soy, y por ende llegar hasta este punto. Quisiera dedicar este trabajo a mis colegas, a quienes me acompañaron en las aulas, y me sacaron adelante en más de un apuro. A todos ellos, les dedico este trabajo.

EDWARD LOPEZ

El presente trabajo de tesis primeramente me gustaría dedicártela a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

Exalto la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis compañeros y docentes, quienes me apoyaron y corrigieron, sin ellos, etapa universitaria no hubiera sido tan maravillosa como lo ha sido en todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

EDWARD LOPEZ

A la UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional. Al Doctor. Armando Torrente, quien con sus conocimientos, su experiencia, su esfuerzo y dedicación han guiado al desarrollo de este proyecto, a mis profesores durante toda mi carrera profesional porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación, y en especial al profe Ing. Rodrigo Alberto Pachón Bejarano por sus consejos, su enseñanza y más que todo por su amistad.

A la familia Méndez Goyes por todo su cariño y apoyo incondicional al abrirme las puertas de su hogar para emprender este proyecto y construir una fuerte amistad.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

IVAN MENDEZ

Agradezco a quienes están en la página anterior, y en especial quiero agradecer al Ingeniero Juan Carlos Salazar, quien sin su ayuda y conocimientos el camino hubiera sido más difícil.

Al Doctor Armando Torrente, quien ha sido paciente y estricto, de no ser así, este proyecto no sería lo que es. Un agradecimiento en mayúsculas para el profesor Jorge Orlando Mayorga, quien ha sido mi tutor en el aprendizaje de los SIG, y mi amigo en todo este tiempo.

Quiero decir gracias y muchas gracias a personas como Jhon Eder Montero, Eder Oliveros, Cesar Quesada y Fabio Toro quienes me han ayudado sin pensarlo y han sido incondicionales.

No olvido el apoyo recibido por la Universidad Surcolombiana, por parte de su oficina de Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social, a ellos gracias, por su gestión y compromiso con la investigación Surcolombiana.

A mis amigos, compañeros, colegas y conocidos, y a quien lea esta tesis, citaré a un titán... Gracias Totales.

CONTENIDO

Pág

INTRODUCCION.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1. MARCO TEORICO	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 CULTIVO DE LA GUANÀBANA.....	17
1.2.1 CONDICIONES GENERALES PARA EL CULTIVO.....	17
1.3 SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION.....	18
1.3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN:.....	19
1.4 ENTORNO DE AUTOMATIZACION	21
1.4.1 MATERIALES Y DISPOSITIVOS.....	22
1.5 HERRAMIENTAS SIG	24
2. DISEÑO METODOLOGICO	26
2.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA.....	26
2.2 LEVANTAMIENTO PLANIALTIMETRICO	26
2.3 DESCRIPCION TECNICA DEL PROYECTO.....	26
2.3.1 ESTUDIO DE SUELOS	26
2.3.2 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA	29
2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	32
2.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES	32
2.4.2 DISEÑO AGRONÓMICO.....	33
2.4.3 DISEÑO HIDRAULICO.....	33
2.5 ENTORNO DE AUTOMATIZACIÓN	36
3. ANALISIS Y RESULTADOS.....	40
4. CONCLUSIONES	61
5. RECOMENDACIONES	62
6. BIBLIOGRAFIA	64

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Características principales sistema de Microaspersión	18
Tabla 2. Filtro según Calidad de Agua.....	19
Tabla 3. Descripción lecturas sensor YL-69.....	24
Tabla 4. Estaciones empleadas para estudio	29
Tabla 5. Parámetros de Diseño	37
Tabla 6. Propiedades Hidrodinámicas y físicas del Suelo.....	43
Tabla 7. Clasificación por categorías, según el contenido de elementos	44
Tabla 8. Calculo de diagrama de doble masa para precipitación anual en mm.....	46
Tabla 9. Calculo del coeficiente pluviométrico (Cp)	48
Tabla 10. Calculo de la evapotranspiración potencial método de THORNTHWAITE	51
Tabla 11. Parámetros Establecidos para el Diseño del Sistema de Riego.....	52
Tabla 12. Requerimiento Hídrico del Cultivo.....	53
Tabla 13: Calibración SENSOR DE HUMEDAD YL-69.....	56

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág
Gráfico 1: Precipitación media mensual multianual de la estación TRES ESQUINAS – PITAL..	47
Gráfico 2. Coeficiente pluviométrico	49
Gráfico 3: Humedad Relativa Media Mensual Multianual	50
Gráfico 4: Temperatura media mensual multianual de la estación LA BETULIA.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Arduino UNO.....	22
FIGURA 2. XBEE Shield.....	23
FIGURA 3. XBEE S2.....	23
FIGURA 4. Sensor de Humedad YL-69.....	24
FIGURA 5. Proceso de descripción del suelo, clasificación, calidad del sitio y evaluación de la aptitud.	27
FIGURA 6. Distribución toma de submuestras	28
FIGURA 7: Prueba de auger hole.....	28
FIGURA 8: Prueba de Infiltración por el método de Anillos Infiltrómetros	29
FIGURA 9. (Izq.) Pozo en construcción. (Der.) Referencia espacial de Ubicación.....	32
FIGURA 10: Parámetros de Funcionamiento de los Emisores entregados por el Fabricante.....	33
FIGURA 11: Ingreso de MDT y definición de la velocidad del sistema.....	34
FIGURA 12: Distribución de emisores por distancia y modalidad de siembra.....	34
FIGURA 13: Selección del material de la tubería.....	35
FIGURA 14: Barra de Herramientas de Sigopram.	35
FIGURA 15: Ventana de Comandos de Sigopram.....	35
FIGURA 16: Ventana de Configuración Xbee.....	36
FIGURA 17: Ventana de Librerías LabView.....	38
FIGURA 18: Ventana Diagrama de Bloque Labview.....	38
FIGURA 19: Ventana Panel Frontal Labview.....	39
FIGURA 20. Ubicación y esquema del pozo de agua subterránea de la Finca Villa Luc 40	
FIGURA 21: Curvas de nivel de la Finca Villa Lucy (Interpolación ArcGIS 10.1).....	41
FIGURA 22: Perfil del Suelo	42
FIGURA 23: Esquema de manejo del pozo de aguas subterráneas para riego	53
FIGURA 24: Visualización de r Resultados.....	54
FIGURA 25: Diámetro Húmedo de los Emisores	55
FIGURA 26: Mapa de Precipitación (mm/h).....	55
FIGURA 27: Diagrama de Bloque, Calibración Sensor.....	57
FIGURA 28: Diagrama de Bloque, Creación Alarma.	57

FIGURA 29: Diagrama de Bloque, Riego Programado.	58
FIGURA 30: Interface, Presentación del Software SISRIEGO v1.0	59
FIGURA 31: Creación Base de Datos SISRIEGO.....	60

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. UBICACIÓN DEL PROYECTO	66
ANEXO B: PLANO TOPOGRAFICO	67
ANEXO C: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO	68
ANEXO D: PRUEBAS HIDRODINAMICAS	71
ANEXO E: CLIMATOLOGIA.....	77
ANEXO F: CALCULOS NECESIDADES HIDRICAS DEL CULTIVO	80
ANEXO G: EQUIPO DE BOMBEO	83
ANEXO H: PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO	84
ANEXO I: PLANO DE DISEÑO DE RIEGO	87

GLOSARIO

Automatización: La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos.

Sistemas de Información Geográfica (SIG): Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica y de sus atributos con el fin de satisfacer múltiples propósitos.

Software de Aplicación: El software de Aplicación es aquel que hace que el computador coopere con el usuario en la realización de tareas típicamente humanas.

RESUMEN

Se diseñó un riego por microaspersión para el cultivo de guanábana en el municipio del Pital, siendo la fuente un lago de 54 m³. Se desarrolló el software SISRIEGO para la operación de riego, siendo una aplicación de automatización de fácil manejo, con un único indicador de alerta, un sensor de humedad ubicado en la zona más crítica del sector a profundidad de 60 cm, que permite determinar el momento oportuno de riego. Con SISRIEGO, la jornada de trabajo se extiende a 24 horas, haciendo posible regar y dar tiempo para la recarga del lago. El cultivo de guanábana es considerado un cultivo tropical, de baja producción en el país, capaz de soportar temporadas de sequía cortas y medianas en su etapa adulta, posee un mercado bastante amplio. El sistema de riego se diseñó con un software de la empresa española "Aigües del Segarra Garrigues, S.A." (ASG), quien brindó la asesoría, siendo validado con Epanet. Sigopram utiliza la plataforma ARCGIS 10.1 como base para su funcionamiento.

Palabras Clave: *Sistema de Riego, Automatización del riego, programación del riego, cultivo de guanábana.*

SUMMARY

Designed irrigation by micro for the cultivation of soursop in the municipality of el Pital, being the source of a Lake of 54 m³. Developed the SISRIEGO software for operation of irrigation, being an Automation application of easy to use, with a single alert indicator, a humidity sensor positioned in the most critical area of the sector at depth of 60 cm, which allows to determine the timing of irrigation. With SISRIEGO, the working day is extended to 24 hours, making it possible to irrigate and give time to recharge the Lake. The cultivation of soursop is considered a tropical crop, low production in the country, capable of withstanding drought conditions short and medium in its adult stage, has a very broad market. The irrigation system was designed with a software of the Spanish company "Aigües del Segarra Garrigues, S.A." (ASG), who provided the advice, being validated with Epanet. Sigopram uses the ARCGIS 10.1 as base platform for its function.

Keywords: *Irrigation, automation of the irrigation, irrigation scheduling, system culture soursop.*

INTRODUCCION

El diseño de un sistema de riego por microaspersión automatizado para el cultivo de guanábana "*anona muricata*" mediante el uso de las herramientas SIG, se fundamenta en la necesidad de facilitar el acceso al agua y el buen manejo de este recurso en zonas donde por razones topográficas o climáticas, dejando atrás ciertos mitos que hasta hace unos años se repetían a diario entre los agricultores. La innovación tecnológica en el campo si es posible, la optimización y ahorro de tiempo en los procesos de riego, no solo es necesaria, sino que también podría resultar económica si se cuentan con las herramientas básicas para lograrlo.

Conceptos tecnológicos aplicados a procesos cotidianos como encender el televisor o el aire acondicionado mediante el accionar de un mando a distancia, ya es posible llevarlo a cabo en el campo Colombiano, gracias a la inclusión de la tecnología inalámbrica en el desarrollo de los sistemas de riego. Países como Perú, México, Ecuador, Brasil, Estados Unidos, Israel, entre otros. Han visto en el uso de esta herramienta un software de aplicación bastante útil, ya que no permite demoras ni contratiempos en un tema tan sensible como es el manejo del agua según los requerimientos hídricos de un cultivo. Este proyecto se enfoca en dos variables fundamentales del riego agrícola: balance hídrico y humedad en el suelo.

Este sistema registra los valores de humedad cada 60 minutos, posteriormente envía los registros a un ordenador, que no solo almacena la información en una base de datos, sino que también envía una alerta al usuario, indicando la necesidad de riego. Si el administrador del cultivo no responde a la solicitud del software, este inicia el riego, según los valores de humedad sensados. O por el contrario, es posible iniciar el riego, según los parámetros establecidos desde la ventana principal del asistente.

El propósito del presente proyecto es diseñar un sistema de riego por microaspersión automatizado para el cultivo de guanábana "*Annona Muricata*" en el municipio de El Pital.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La aparición, en las últimas décadas, de fenómenos mundiales como la globalización, el calentamiento global, los altos costos de los bienes agrícolas, y la seguridad alimentaria, han logrado fijar nuevamente la atención del mundo en la agricultura, incentivado a la industria a invertir en su desarrollo. Sin embargo, dicho desarrollo no se ha dado por igual alrededor del mundo, dejando rezagados a países como Colombia, quien a pesar de poseer un potencial agrícola importante, no ha logrado avances contundentes en esta materia. Esto se debe, quizás, a la poca inversión tecnológica, y el uso continuado de técnicas tradicionales de producción poco competitivas respecto a otros países. (Revista Portafolio, 2015).

Los avances científicos de carácter agrícola, se han direccionado principalmente, en el desarrollo de cultivos resistentes a plagas, enfermedades y ambientes nocivos, sin embargo, es posible introducir otro tipo de tecnologías en el campo, tales que, no solo faciliten el trabajo del agricultor, sino que también optimicen procesos y recursos, a pesar que en Colombia el sector agrícola utiliza el 61% del agua dulce disponible (Informe de Gestión al Congreso de la República Julio 2008 a Junio 2009), existen lugares dentro del territorio nacional, donde dicho recurso no es suficiente para satisfacer las necesidades de producción. Para el debido diseño de riego, se realizaron estudios edáficos e hidroclimáticos con el fin seleccionar el sistema de riego más apropiado según las características de la zona, y además del uso de herramientas informáticas y tecnológicas como sensores y ordenadores para su automatización.

En este proyecto se busca, no solo ofrecer una solución a la problemática del uso racional del agua, sino que también disminuir la brecha existente entre la tecnología y la agricultura. De esta manera, es posible simplificar procesos y reducir el tiempo utilizado para las labores de riego y fertilización, permitiendo al agricultor encargarse de otras labores. Al ser esto posible, el desarrollo de la agricultura sostenible y de precisión se hace viable y posible, reduciendo la brecha de competitividad del agro colombiano, frente a otros países.

La necesidad de optimizar el uso del agua y mejorar las condiciones de trabajo del agricultor mediante la creación del software “Software de aplicación” constituye la propuesta de este trabajo de grado.

1. MARCO TEORICO

1.1 ANTECEDENTES

Existe una gran variedad de paquetes computacionales y equipos de telemetría en el mercado, los cuales se presentan a continuación:

WATERBEE: Es un sistema de irrigación inteligente creado hace dos (2) años por la empresa Irlandesa MAC Ltda financiado por “El Séptimo Programa de la Comisión Europea en el Marco: Investigación para las PYME”, el cual proporciona a los usuarios una interface computacional de acceso rápido a la información de cada cultivo o sector de riego. Dicha información es ingresada de forma automática por sensores y posteriormente enviados a un servidor. El acceso a la información se puede realizar desde el mismo servidor, o desde un dispositivo móvil ya sea un Smartphone o Tableta, sin importar el sistema operativo (iOS o Android). Además de permitir la revisión del comportamiento del cultivo en términos de humedad, WaterBee, también permite la programación de riego desde la aplicación móvil. La principal desventaja de esta plataforma, es que en la actualidad solo se encuentra disponible para 14 países en Europa y Asia.

SEGAR: Software creado por la empresa española iRIEGO.ltd, enfocado en la optimización de la energía utilizada en los procesos productivos agrícolas. La plataforma SEGAR, ofrece la posibilidad de encender y apagar los dispositivos electrónicos dispuestos en el terreno, tales como electroválvulas, electrobomba, bombillos y puertas electrónicas, etc. Además, con la posibilidad de programar futuros riegos y revisar los anteriores. La desventaja de este proyecto, es que actualmente solo se encuentra disponible para países Europeos.

DEHMIC: Un Paquete computacional creado por estudiantes de la Universidad Surcolombiana como proyecto de tesis en el 2004, está compuesto de dos programas, los cuales se ejecutan en forma individual, uno maneja la parte hidráulica (DEHMIC) y el otro la climatológica (HIDRO), formando así una poderosa herramienta para el diseño de sistemas de riego. El ambiente de trabajo que ofrece este software está ligado a los lineamientos del sistema operativo Windows. (Bustos y Montiel, 2004).

IRRISOFT: Es una base de datos de software de irrigación e hidrología, se creó en el departamento de Ingeniería Rural y Protección del Recurso Natural de la Universidad de Kassel (Alemania). Al ser diseñado por diversas entidades como universidades y empresas privadas, se encuentra disponible para el público bajo la denominación de Shareware (programa de prueba) o comercial. Dentro de la base de datos, se pueden resaltar tres (3) programas: IRRIWAT, IRRICAD y AGWATER. Esta poderosa herramienta, es comercial y costosa, además, solo permite evaluar los sistemas de riego, presentando una gran ventaja, la cual es conocer el costo energético actual y el costo

posterior aplicando las recomendaciones que reporta el software (Bustos y Montiel, 2004).

Vàsconez y Chamba 2013, realizaron el diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca en el sector popular de Balerio Estacio.

En Colombia pocas universidades han desarrollado software para riego localizado modalidad microaspersión, destacándose el programa diseñado por Saldarriaga (1999) de la Universidad de los Andes, el cual presenta un paquete complementario denominado RIEGOS (programa para cálculo y diseño de sistemas de riego localizado de alta frecuencia), éste es totalmente gráfico y tiene la desventaja que exige el trazado completo del sistema para calcular alguna parte del diseño, además de ser comercial (Bustos y Montiel, 2004)

1.2 CULTIVO DE LA GUANÀBANA

1.2.1 CONDICIONES GENERALES PARA EL CULTIVO

El requerimiento de luz mínima para el cultivo es de 2000 horas luz/año. El cultivo es susceptible al frío, y es la anonácea cuyos requerimientos de clima más tropical, húmedo y cálido (23 a 30°C), es característico de altitudes inferiores a 1000 msnm. La humedad relativa es el factor crítico en el cultivo siendo propensa a la Antracnosis con la humedad relativa alta. Una humedad relativa baja, dificulta la polinización, afectando, por esta vía, los niveles de producción.

La guanábana crece en suelos con buen drenaje, francos o franco-arenosos, de buena profundidad, ricos en materia orgánica y con pendientes máximas del 50%. Se puede cultivar desde el nivel del mar hasta los 1000 m de altitud, pero su altitud óptima para el perfecto desarrollo está entre 400 y 600 m. El cultivo es exigente en nitrógeno, fósforo y potasio principalmente, y a los micro elementos esenciales, y se desarrolla en suelos con un pH ligeramente ácido de 5.5 a 6.5.

Es un árbol tolerante a la sequía, pero en caso de periodos secos mayores de 30 días, se requiere la aplicación de riego abundante antes durante la floración por cualquier sistema de Fertirrigación. Necesita una estación seca bien definida. La distancia de siembra recomendada en plantaciones comerciales es de 7 m entre hileras y 6 entre plantas, para tener densidades de 238 árboles/ha, pero también se realizan plantaciones a 7 x 7 m (204 árboles) y a 8 X8 (162 árboles), en forma cuadrangular o en tresbolillo. Se recomienda la incorporación de materia orgánica para mejorar la estructura hasta alcanzar valores entre 4% y 5%, los cuales son ideales. Para la siembra es necesario realizar ahoyado de 50 x 50 cm de lados y 70 cm de profundidad donde se colocará la planta procedente del vivero cuando tenga unos 70 cm de altura (SEPHU, 2010).

1.3 SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN

Este método de riego con una eficiencia entre los 85% y 90%, implica una lluvia más o menos intensa y uniforme sobre la parcela con el objetivo de que el agua se infiltre en el mismo punto donde cae. Tanto los sistemas de aspersión como los de goteo utilizan dispositivos de emisión o descarga en los que la presión disponible en el ramal induce un caudal de salida. La diferencia entre ambos métodos radica en la magnitud de la presión y en la geometría del emisor. Sus principales características se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Características principales sistema de Microaspersión

Adaptación a los Cultivos	Se adapta mejor a aquellos cultivos de espaciamiento amplio, cuyos sistemas radiculares no ocupan todo el volumen de suelo y, por lo tanto, el riego localizado es más eficiente. Ejemplo: Frutales arbóreos o no
Adaptación a las Características del terreno	Se adapta mejor a terrenos planos o semi-planos. A medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo, que causa el impacto de las gotas. Además, a medida que aumenta la pendiente, la distribución del agua es cada vez más desigual, formando un círculo de menor radio del lado superior del aspersor, donde se aplica más agua y con más presión. En áreas con pendiente se recomienda utilizar aspersores que producen gotas pequeñas y que requieren menor carga o presión.
Consumo de Agua	Consumen menos que el sistema por aspersión tradicional, principalmente si se trata de cultivos de espaciamiento amplio, en los cuales el riego localizado es mucho más eficiente
Calidad de Agua	Es indispensable contar con unidades de filtrado dado que la presencia de detritos sólidos suele bajar la eficiencia del sistema, porque taponan los picos de los aspersores, cambiándoles el caudal de distribución. Además partículas duras como arena, desgastan las boquillas, afectando la uniformidad de distribución del agua a mediano plazo.
Control de Agua Aplicada	En ambos sistemas se puede controlar bien la cantidad de agua aplicada a través de la relación caudal/tiempo de los micro aspersores o goteros o por el consumo de la estructura de almacenamiento (pila, barriles, etc.) sin embargo, si los micro aspersores son improvisados o adaptados o la presión entre ellos es desigual, la distribución del agua en cada uno es diferente; por lo tanto, se aplica más agua en algunos puntos del área que en otros.
Diferencial de altura para distribución del agua por gravedad	Requiere menor altura que la aspersión común, pero mayor altura que el goteo. - Aspersión común (más o menos 14 m. de cota por cada aspersor). - Goteo (2 m de cota son suficientes para lograr un buen goteo).
Riesgo Ambiental	Como las gotas producidas son pequeñas, no hay riesgos de deterioro por erosión, principalmente si el suelo en el perímetro mojado está cubierto. Como la mojadura es relativamente lenta y localizada es más difícil que se lixivien los nutrientes solubles. Si el agua utilizada está contaminada, el volumen mojado y contaminado es reducido.
Dispersión de plagas y enfermedades	Como el riego es localizado y el agua no entra en contacto con la parte aérea de las plantas, el peligro de dispersión de plagas o enfermedades por el área de mojadura es menor. Además, la cantidad de agua puede ser controlada y evitarse así el exceso de humedad en el suelo.

Utilización de mano de obra	Como se trata de sistemas fijos, gran parte de la mano de obra es utilizada en la instalación del equipo. La operación consiste en una visita diaria para inspeccionar el sistema y, en particular, el funcionamiento de los microaspersores.
Conocimiento y sencillez para la instalación y operación del sistema	La instalación requiere de ciertos conocimientos debido a que estos sistemas se alejan del concepto tradicional de “echar agua al suelo”. Sin embargo, su construcción no es mayormente complicada y su operación es sencilla. Lo que sí requieren es que los cultivos esté sembrados de tal manera que permitan el establecimiento de sectores o ramales de riego a nivel, para evitar diferencias de presión en los diferentes emisores.

Fuente: FAO, 2008.

1.3.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN:

Los componentes principales de la instalación de un sistema de riego por micro-aspersión son:

CABEZAL DE RIEGO: Comprende un conjunto de aparatos que sirven para impulsar el agua (Motobomba o electrobomba) filtrarla (filtros de malla, arena e hidrociclón), comprobar su presión (manómetros) e incorporar fertilizantes.

ESTACIÓN DE BOMBEO: Son obras que se construyen con el objeto de elevar el nivel del agua de la fuente de riego a los sitios donde se desea utilizar. Está compuesto por una o varias bombas según la potencia necesaria. Las bombas centrífugas son las más utilizadas en sistemas de riego por micro-aspersión, ya que proporcionan altas presiones y caudales.

UNIDAD DE FILTRADO: Básicamente la unidad de filtrado depende de la calidad de agua y del tipo de emisor que se utilizará (Tabla 2). Si se desea regar con agua con abundante materia orgánica en suspensión el tipo de filtraje deberá ser diferente a aquel que se utilice con agua con arena en suspensión. Por otro lado, si los emisores presentan orificios de salida de agua muy pequeños, se debe considerar un filtraje más fino, que si se compara con unidades de filtraje para regar por aspersión, donde el diámetro de las boquillas normalmente es superior a 1 mm.

Tabla 2. Filtro según Calidad de Agua

Tipo de filtro	Origen del agua		
	POZO	ESTANQUE	CANAL
Hidrociclón	X		X
Gravas		X	X
Anillas	X	X	X
Malla	X	X	X

FUENTE: Ministerio de Agricultura de Chile, 2010

UNIDAD DE FERTIRRIGACIÓN: La unidad de fertilización es sector del cabezal de riego en donde se desarrolla el proceso mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. Es importante señalar que todos los abonos tanto principales como micro-elementos requeridos por las plantas, pueden ser incorporados al sistema de riego, siempre que estos sean solubles al agua. La fertirrigación se provee mediante Venturi o inyectores electrónicos.

Los dispositivos tipo Venturi son sencillos y consisten en una pieza en forma de T con un mecanismo Venturi en su interior. Este mecanismo aprovecha el efecto vacío que se produce a medida que el agua fluye a través de un pasaje convergente que se ensancha dualmente.

Los inyectores de fertilizantes electrónicos utilizan un tanque abierto sin refuerzos en los que se agrega el fertilizante, siendo luego inyectado a la red a través de algún tipo de bomba como las siguientes: Bomba de inyección eléctrica, Bomba de inyección hidráulica o Bomba del sistema (Ministerio de Agricultura de Chile, 2010).

RED DE DISTRIBUCIÓN: Está constituida por una red de tuberías que distribuyen el agua de riego desde la entrada en el cabezal, donde suele colocarse una llave de paso para regular la presión y a veces un manómetro hasta las unidades de riego (emisores). Las tuberías principales, alimentación y múltiple suelen ser de PVC, estas deben ir enterradas para evitar la acción directa de agentes naturales. Los laterales suelen ser de polietileno de baja densidad.

MECANISMOS EMISORES DE AGUA: El riesgo por micro-aspersión aporta el agua en forma de lluvia sin humedecer toda la superficie de cultivo. En él, la difusión de agua se realiza a través del aire, al contrario que en el riego por goteo en el que la difusión del agua se consigue a través de la superficie del suelo.

Los microaspersores más conocidos son los llamados bailarina. Se trata de un sistema de piezas intercambiables, que permiten la obtención de distintos modelos de micro-aspersores y micro-difusores. Las partes que forman el micro-aspersor son la mariposa, el puente, la boquilla y la bailarina. Los componentes de la unidad de riego son:

- Regulador: Se encuentra debajo del emisor, este regula la presión de trabajo.
- Tubo de conexión: Micro-manguera.
- Mariposa: Sirve para fijar el micro-aspersor a la base.
- Emisor: Se divide en micro-aspersor si es móvil o micro-yet si es fijo.
- Puente: Soporte donde va la tobera del emisor.
- Estaca: Sostén del piso aspersor. (Molina y Ruiz, 2010)

1.4 ENTORNO DE AUTOMATIZACION

La telemetría es un conjunto de técnicas y procedimientos de las comunicaciones que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de la información al lugar donde se encuentre el sistema de procesamiento. Un sistema de telemetría normalmente consiste de un transductor como un dispositivo de entrada, un medio de transmisión en forma de líneas de cable o las ondas de radio, dispositivos de procesamiento de señales y dispositivos de grabación o visualización de datos. Este dispositivo convierte una magnitud física como la temperatura, presión o vibraciones en una señal eléctrica correspondiente, que es transmitida a una distancia para efectos de medición y registro.

Las aplicaciones telemétricas en el campo de la investigación científica está en constante desarrollo, uno de esos campos es la biomedicina, debido a que los datos fundamentales de los órganos internos de un paciente es transmitida a distintos dispositivos de monitoreo, otro apasionante campo es el de la oceanografía, que implica la recopilación de datos remotamente relacionadas con los aspectos bajo el mar, como la composición química de las rocas submarinas o su comportamiento sísmico.

La automatización es el uso de sistemas de control y de tecnología informática para reducir la necesidad de la intervención humana en un proceso. En el enfoque de la industria, automatización es el paso más allá de la mecanización en donde los procesos industriales son asistidos por maquinas o sistemas mecánicos que reemplazan las funciones que antes eran realizada por animales. Mientras en la mecanización los operadores son asistidos con maquinaria a través de su propia fuerza y de su intervención directa, en la automatización se reduce de gran manera la necesidad mental y sensorial del operador. De esta forma presenta grandes ventajas en cuanto a producción más eficiente y disminución de riesgos al operador.

Las principales ventajas de aplicar automatización a un proceso son:

- Reemplazo de operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo.
- Reemplazo de operador humano en tareas que están fuera del alcance de sus capacidades como levantar cargas pesadas, trabajos en ambientes extremos o tareas que necesiten manejo de una alta precisión
- Incremento de la producción. Al mantener la línea de producción automatizada, las demoras del proceso son mínimas, no hay agotamiento o desconcentración en las tareas repetitivas, el tiempo de ejecución se disminuye considerablemente según el proceso.

Un sistema de automatización consiste en cinco niveles y comprende la estructura entera de una industria o una empresa, pero en lo que concierne a la infraestructura física del sistema consta de los tres últimos niveles.

- Nivel de mando: Está compuesta por lo general de ordenadores, para la supervisión y control de maquinaria y procesos de forma remota.
- Nivel de control: Está compuesta por autómatas programables y las diferentes clases de interfaces hombre – máquina, para el control de las maquinas.
- Nivel de campo: Es el nivel más bajo de la jerarquía y están compuesto por los sensores (termocuplas, tacómetros, detectores de proximidad, etc.) y actuadores (motores, electroválvulas, etc.). (Rodríguez y Gonzales, 2014)

1.4.1 MATERIALES Y DISPOSITIVOS

Arduino UNO: Arduino es una plataforma de hardware libre para la creación de prototipos basada en software flexible y fácil de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. El microcontrolador en la placa Arduino (figura 1) se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

Los proyectos hechos con Arduino pueden ejecutarse sin necesidad de conectar a un ordenador, también ofrece la posibilidad de hacerlo y comunicar con diferentes tipos de software (p.ej. Flash, Processing, Max MSP).

Las placas pueden ser hechas a mano o compradas de fábrica; el software puede ser descargado de forma gratuita. Los ficheros de diseño de referencia (CAD) están disponibles bajo una licencia abierta, por lo tanto se pueden adaptar a las necesidades del usuario.



FIGURA 1. Arduino UNO

Fuente: www.fundino.com

Arduino Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. Además, incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

SHIELD Arduino: El Xbee Shield (Figura 2) simplifica la tarea de conectar un módulo XBee con tu Arduino. Esta tarjeta puede ser utilizada directamente con el Arduino Pro o con el Arduino USB y proveyendola de comunicación inalámbrica utilizando el módulo de comunicación XBee. Esta unidad funciona con los módulos Xbee de la serie 1 y 2.5 en sus versiones estandar y pro.



FIGURA 2. XBEE Shield

Fuente: www.fundino.com

Módulo XBEE S2: Los módulos XBee (Figura 3) son soluciones integradas que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos módulos utilizan el protocolo de red llamado IEEE 802.15.4 para crear redes FAST POINT-TO-MULTIPOINT (punto a multipunto); o para redes PEER-TO-PEER (punto a punto). Fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible. Por lo que básicamente XBee es propiedad de Digi basado en el protocolo Zigbee. En términos simples, los XBee son módulos inalámbricos fáciles de usar.



FIGURA 3. XBEE S2

Fuente: www.fundino.com

El módulo Xbee S2 tiene un alcance de 120 metros en línea de vista con el receptor.

Sensor de Humedad YL-69: Es un sensor de resistencia eléctrica. Fue hecho para funcionar con dos electrodos, leyendo el contenido de humedad del suelo alrededor de estos. Una corriente es pasada a los electrodos a través del suelo, y la resistencia al paso determina el contenido de humedad. Si el contenido de agua en el suelo es alto, la resistencia será baja, o por el contrario si el contenido de agua es bajo, la resistencia será alta. Este sensor tiene ambas salidas, digitales y análogas (figura 4).

Para calibrar el sensor debe hacerse según las especificaciones del fabricante. Cada sensor posee su propio procedimiento de calibración (tabla 3). El desarrollo de las plantas también influye en el proceso. El tipo de suelo y requerimientos de agua del cultivo influyen considerablemente en la calibración del sensor.

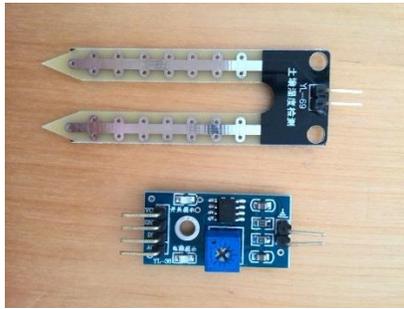


FIGURA 4. Sensor de Humedad YL-69
 Fuente: www.fundino.com

Tabla 3. Descripción lecturas sensor YL-69

Suelo seco	0 – 300
Suelo Húmedo	300 – 700
Suelo mojado (Encharcado)	700 – 950

Fuente: Manual Técnico sensor YL-69 (2015)

1.5 HERRAMIENTAS SIG

Un sistema de información geográfica es un sistema para la gestión, análisis y visualización de conocimiento geográfico que se estructura en diferentes conjuntos de información:

- Mapas interactivos.
- Datos Geográficos.
- Modelos de Geo-procesamiento.
- Modelo de Datos.
- Metadatos.

Existe gran variedad de software que ofrecen diversas herramientas de procesamiento de información espacial, entre los cuales podemos destacar gvSIG, ArcGIS, grass, Idrisi, Sextante, por mencionar a los más utilizados alrededor del mundo. La capacidad de procesamiento depende de la naturaleza de la plataforma, por ejemplo, ArcGIS ofrece una amplia variedad de herramientas para el manejo de todo tipo de información, incluso permite el diseño de modelos de procesamiento y la creación de nuevas herramientas, mediante el uso de expresiones matemáticas simples y complejas.

El ArcGIS 10.1 es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. Con ArcGIS es posible:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes
- Compilar información geográfica
- Crear y administrar bases de datos geográficas
- Resolver problemas con el análisis espacial
- Crear aplicaciones basadas en mapas
- Dar a conocer y compartir información mediante la geografía y la visualización

Sigopram para parcelas pequeñas es una aplicación GIS concebida para la ejecución de proyectos y obras de riego colectivas a demanda SIGOPRAM, fue desarrollado por la empresa Aigües del Segarra Garrigues S.A. (ASG), empresa privada encargada de transformación en regadío de cerca de 70.000 ha (equivalente a una 50 redes de riego) en 6 comarcas de la provincia de Lérida en España.

El SIGOPRAM permite diseñar, dimensionar y simular redes hidráulicas a presión, con la novedad de que todo el proceso se desarrolla en un entorno GIS, lo que permite aprovechar todas las potencialidades de estos sistemas. La aplicación ofrece gran versatilidad, permitiendo calcular redes de riego complejas y sencillas con gran agilidad y considerable ahorro de tiempo. SIGOPRAM está especialmente pensado para:

- Ingenierías que lleven a cabo la redacción de proyectos de regadío;
- Organismos públicos o privados que lleven a cabo la gestión de muchos proyectos y/u obras de regadío;
- Comunidades de regantes y/o empresas gestoras encargadas de la explotación de redes de riego comunitarias.

2. DISEÑO METODOLOGICO

Para el desarrollo de los objetivos propuestos se implementaron una serie de estudios a través de los siguientes pasos.

2.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA.

La Finca Villa Lucy se encuentra localizada en la vereda Chimbayaco al nororiente del municipio de El Pital y occidente del departamento del Huila, a 1 km del casco urbano de este municipio cuya elevación es 921 msnm (anexo A).

2.2 LEVANTAMIENTO PLANIALTIMETRICO

Para la georeferenciación del predio se utilizó un GPS marca Garmin 62SC y en el levantamiento planialtimétrico se utilizó una estación total, marca Gpt 7000i.

Elaboración de plano de levantamiento topográfico. Se realizó el levantamiento del predio, obteniendo 130 puntos distribuidos en el área. Mediante el software ArcGIS 10.1, se realizó la interpolación y triangulación de los valores, obteniendo como resultado las curvas del lugar del proyecto (anexo B).

2.3 DESCRIPCION TECNICA DEL PROYECTO

2.3.1 ESTUDIO DE SUELOS

Descripción de los suelos. En todo estudio agropecuario, es fundamental contar con información clara y confiable, puesto que así mismo serán los resultados obtenidos, y para ello es necesario conocer el ambiente en el cual interactúan los distintos factores que componen el suelo. Un requerimiento básico para lograr ese objetivo, es la disponibilidad de información sobre la morfología de los suelos y otras características obtenidas a través del estudio y la descripción del suelo en campo.

Es importante que la descripción del suelo sea hecha exhaustivamente; esto sirve como base para la clasificación del suelo y la evaluación del sitio, así como para las interpretaciones sobre la génesis y funciones medio-ambientales del suelo. Una buena descripción de suelos y el conocimiento derivado en cuanto a la génesis del mismo, son también herramientas útiles para guiar, ayudar en la explicación y regular el costoso trabajo de laboratorio. Asimismo, puede prevenir errores en el esquema de muestreo. La Figura 5, muestra el papel de la descripción de suelos como paso inicial en la clasificación de suelos y la evaluación de la aptitud de uso del sitio (FAO, 2009).

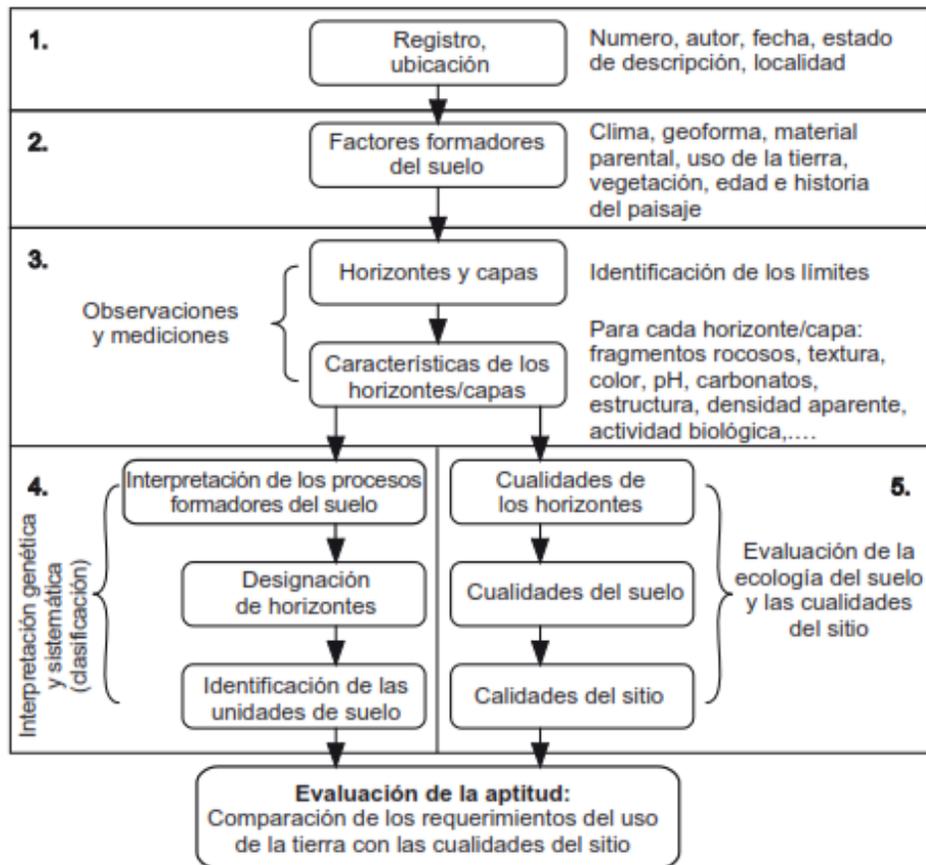


FIGURA 5. Proceso de descripción del suelo, clasificación, calidad del sitio y evaluación de la aptitud.

FUENTE: FAO, 2009

PROPIEDADES DEL SUELO

Determinación de propiedades Físicas y Químicas del Suelo. Se tomaron 2 muestras de suelo de la zona de estudio; siguiendo las especificaciones del Laboratorio de Suelos LABGAA de la Universidad Surcolombiana, se realizó la toma de muestras en la forma que se muestra en la Figura 6 y fueron analizadas en el laboratorio LABGAA como se muestra en el anexo C. Los puntos donde fueron extraídas las muestras se georeferenciaron según el sistema geográfico Datum Magna (Bogotá Zone) que se encuentran en el anexo C.

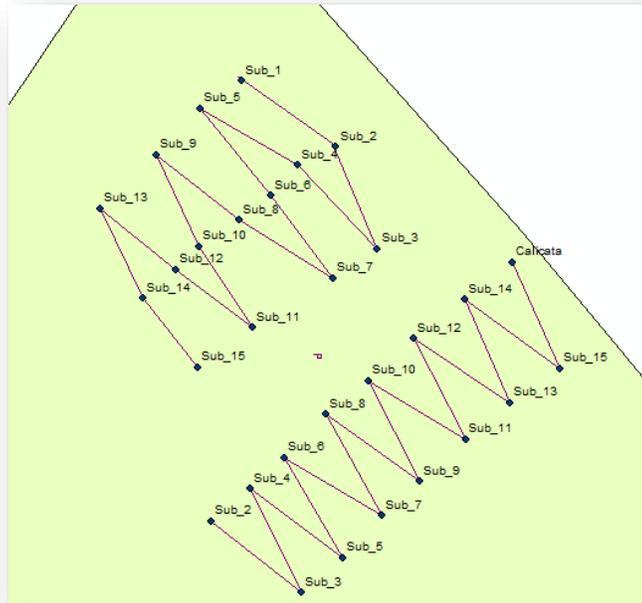


FIGURA 6. Distribución toma de submuestras

FUENTE: Méndez y López

Prueba de conductividad hidráulica. Pizarro (1978) expresa que este método conocido como el pozo barrenado inverso (Figura 7) recibe también el nombre de método de PORCHET, y se utiliza en los casos en que no se encuentra la capa freática (anexo D).



FIGURA 7: Prueba de auger hole

FUENTE: Méndez y López, 2015

Prueba de Infiltración (Método de Anillos Infiltrómetros). El método usado en campo es el descrito por CISNEROS, 2005, y la expresión matemática para expresar el proceso de la infiltración fue el de KOSTIAKOV, de acuerdo a las ecuaciones de NEGRO (1998) descritas en el anexo D. Se realizó una única prueba de infiltración utilizando el método de los anillos Infiltrómetros (figura 8). Los resultados se muestran en el anexo D, al igual que el cálculo de la infiltración básica.



FIGURA 8: Prueba de Infiltración por el método de Anillos Infiltrómetros

FUENTE: Méndez y López, 2015

2.3.2 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA

En la tabla 4 se presenta la ficha técnica de las estaciones climáticas usadas para el proyecto.

Tabla 4. Estaciones empleadas para estudio

ÍTEM	AGRADO	TRES ESQUINAS	LA BETULIA
Código	21040010	21040060	21045010
Área Operativa	04	04	04
Estado	Suspendida	Activa	Activa
Clase	Meteorológica	Meteorológica	Meteorológica
Categoría	Pluviometeorológica	Pluviometeorológica	Climatológica Ordinaria
Departamento	Huila	Huila	Huila
Municipio	Agrado	Pital	Agrado
Corriente	Magdalena	Magdalena	Magdalena
Latitud (N)	2°15'00"	2°11'57.7"	2°16'53.7"
Longitud (W)	75°46'00"	75°46'45.7"	75°42'18.3"
Altitud (msnm)	905	805	780
Fecha Instalación	15/12/1958	15/06/1980	15/12/1985
Fecha Suspensión	15/10/2005	-	-

FUENTE: IDEAM, 2013

Organización, homogenización, estimación y determinación de consistencia de los datos climatológicos. Los datos climáticos recogidos en una determinada estación meteorológica durante un periodo de varios años puede que no sean homogéneos, es decir, el registro de una variable climática en particular puede presentar un cambio repentino en su media y por tanto una variación en lo referente a los valores previos.

Con el objetivo de generar resultados confiables, se hace necesario homogenizar la información proporcionada por el IDEAM, para ello, se debe establecer que los datos sean del mismo origen, tenga la misma naturaleza y hayan sido obtenidos siguiendo procedimientos semejantes. Se hace necesaria la aplicación de métodos que permitan determinar irregularidades producidas por factores como cambios en el entorno y/o errores en las lecturas.

Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de Regresión Lineal. Para la estimación de los datos faltantes de precipitación de la estación meteorológica de TRES ESQUINAS para una serie de 34 años (1980 – 2013), se utilizó el método de regresión lineal con el manejo de las estaciones meteorológicas AGRADO y LA BETULIA.

Este método es uno de los más utilizados; se recomienda para la estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio y las de una estación pluviométrica cercana, que cuente con una estadística consistente y observada. Para ello se requiere establecer una regresión y correlación lineal entre una estación patrón y la estación que tenga carencia de información (UNESCO – ROSTLAC, 1982).

Diagrama de doble masa. El diagrama de doble masa es útil para determinar la homogeneidad de un parámetro climático. Si hay homogeneidad en los datos de la estación de estudio, la gráfica resultara en una línea recta; en el caso contrario se tendrá una serie de líneas con dos o más pendientes, o en materia de inconsistencia total, se tendrá una nube de puntos (Galindo, 2012).

Se sometió la serie de datos de precipitación de la estación TRES ESQUINAS a comprobación por el diagrama de doble masa utilizando las estaciones AGRADO Y LA BETULIA para un periodo de 34 años (1980 – 2013).

Precipitación. A partir de la información obtenida, completada y homogenizada de la estación TRES ESQUINAS, se realizó el estudio de precipitación para un periodo de tiempo de 34 años correspondientes al periodo 1980 - 2013.

Coeficiente Pluviométrico. De acuerdo a Galindo (2012), dada la serie de precipitación mensual multianual debe calcularse el promedio para cada mes, como la media aritmética de los valores, el total de cada año, tomado como la sumatoria de las precipitaciones totales mensuales de cada año, el promedio de las sumatorias anuales y finalmente el coeficiente pluviométrico de cada mes, calculado con el siguiente algoritmo:

$$C_p = \frac{pm/\#días\ del\ mes}{pA/365}$$

Dónde:

C_p = Coeficiente Pluviométrico (adimensional).

pm = precipitación media mensual del mes específico (mm)

pA = precipitación media anual de la serie (mm)

Humedad Relativa. La humedad relativa es el porcentaje de saturación de un volumen específico de aire a una temperatura específica. La humedad relativa del aire depende de la temperatura y la presión del volumen de aire analizado. Como la unidad de humedad relativa es por ciento, varía entre 0 (aire completamente seco) y 100% (aire saturado). La humedad relativa describe la cantidad de agua que se transporta por el aire, es importante para determinar el desarrollo de las nubes y el factor precipitación.

Temperatura. La temperatura es una variable climática importante que controla el nivel de evaporación e indirectamente la evapotranspiración potencial, además, influye en parámetros hidrológicos, biológicos y económicos. El parámetro de precipitación por disponibilidad de información del IDEAM y por cercanía a la zona de proyecto se tomó de la estación LA BETULIA.

Calculo de la evapotranspiración potencial crítica con fines de riego. Debido a que la estación climatológica TRES ESQUINAS Y BETULIA no posee datos de evaporación fue necesario el cálculo de esta, utilizando para tal fin el método de THORNTHWAITE (anexo E). Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se seleccionó la temperatura media mensual multianual en una serie de datos de 28 años de la estación climatológica LA BETULIA.

Calculo del Uso Consumo (Uc). El uso consumo está definido por agua consumida por el cultivo para satisfacer la evapotranspiración y para la formación de tejidos vegetales en las plantas.

2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

2.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Área de riego. La finca Villa Lucy, tiene una vocación de producción de doble propósito (ganado bovino y cultivos), este predio posee una extensión de 7 ha. de las cuales solo 1 ha (14.3 %) hace parte de este estudio. Actualmente la finca cuenta con agua para consumo humano, del acueducto de la vereda Chimbayaco, y para riego por un derecho de agua de la Quebrada Peñas Negras, a pesar de esto, el agua es insuficiente, por lo que se está construyendo un pozo en la cabecera del predio, para explotación agrícola.

CAUDAL DE DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO. Se dispondrán de 204 unidades de riego, microaspersores autocompensados de caudal de 30 l/h y presiones de 1 a 3 bares (10 a 30 mca). Para cumplir con las necesidades de agua de los emisores, se requiere un total de 6.12 m³/h.

ESPECIFICACIONES DEL POZO DE AGUA SUBTERRÁNEA. El pozo de agua subterránea es circular de 2 m de diámetro, construido en concreto de 15 cm de espesor, tiene tubería de PVC de 1 pulgada (Figura 9). Dadas las condiciones topográficas del terreno, y la cabeza hidráulica, actualmente se surte agua a la parte baja de la finca en inmediaciones de la casa principal, mediante una tubería de 1 pulgada, la cual se extrae sin el uso de motobomba. El flujo de agua es continuo.



FIGURA 9. (Izq.) Pozo en construcción. (Der.) Referencia espacial de Ubicación del Pozo, árbol de DINDE

FUENTE: Méndez y López, 2015

2.4.2 DISEÑO AGRONÓMICO

El diseño agronómico consiste primordialmente en determinar las necesidades hídricas del cultivo, es decir se calcula la cantidad de agua que necesita el cultivo para su normal desarrollo sin ocasionar un déficit hídrico, dependiendo primordialmente de factores edafológicos y climatológicos básicamente y otros propios del cultivo.

2.4.3 DISEÑO HIDRAULICO

El diseño hidráulico del sistema de riego, se realizó con la herramienta SIGOPRAM v3.26, y verificada por la metodología de los talleres propuestos por Cifuentes (2006) y el software EPANET. Existen diferencias entre los resultados obtenidos por las tres metodologías, sin embargo no resultan significativas.

Metodología de Diseño. Dado que Sigopram es un software creado por una empresa Europea, su base de datos geoespacial se encuentra referenciada según coordenadas locales de España, por lo que es necesario hacer el traspaso de dicha Base a cartografía Colombiana. Además se realizó una alimentación por parte de productos comerciales referentes al riego; ofertados en territorio nacional tales como PAVCO, Durman, Netafim y Naj Dain Jain, entre otros.

Parámetros de Diseño. Ingresar los parámetros de funcionamiento de los emisores, tales como caudal, presión (mín. y máx.), diámetro húmedo e información dada por el fabricante como coeficiente de descarga, constante K y exponente X que permiten simular el comportamiento del área húmeda (Figura 10).

	C	K	Exp. Descarga	exp2
1	0,001506	3	0,5	0
1	0,001506	3	0,5	0

FIGURA 10: Parámetros de Funcionamiento de los Emisores entregados por el Fabricante.

FUENTE: Méndez y López, 2015

- Sigopram permite incorporar la topografía del terreno en forma de MDT (Modelo Digital del Terreno) como una imagen Ráster, lo que permite una interpolación aproximada en cada uno de los elementos trazados (Tuberías, Emisores, Sectores de Riego), además, de fijar la velocidad mínima (0.7 m/s) y máxima (1.2 m/s) del sistema (Figura 11).

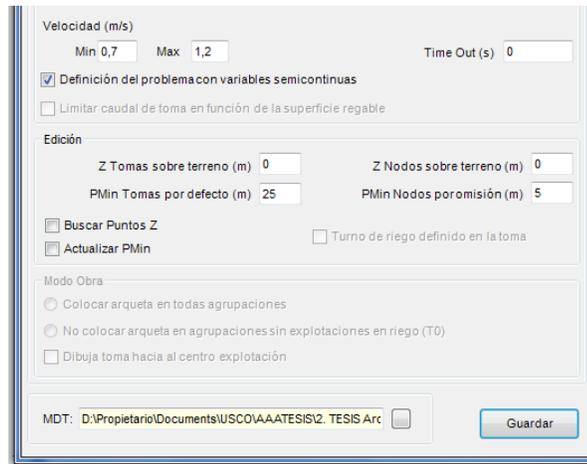


FIGURA 11: Ingreso de MDT y definición de la velocidad del sistema
FUENTE: Méndez y López, 2015

- El valor de exp2 es cero (0) cuando se tratan de emisores autocompensados
- La interface de Sigopram, permite realizar una distribución homogénea de los emisores en el área del proyecto, según la distancia y modalidad de siembra (Figura 12).

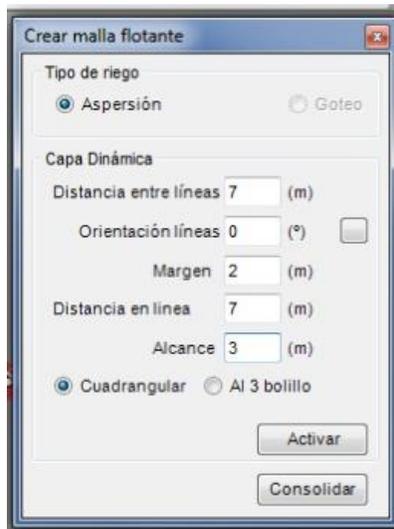


FIGURA 12: Distribución de emisores por distancia y modalidad de siembra
FUENTE: Méndez y López, 2015

- Selección del diámetro de tuberías, material, velocidad y demás valores aportados por el fabricante (Figura 13).

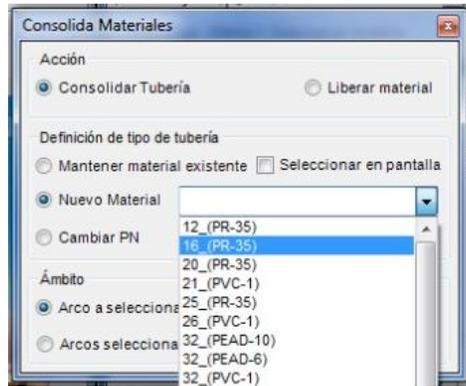


FIGURA 13: Selección del material de la tubería
FUENTE: Méndez y López, 2015

- La Barra de Herramientas de Sigopram permite el trazado de la Tubería de la Red, y la inserción de los emisores, nodos y tomas de agua, creación de perfiles, Válvulas Reguladoras de Presión y por último, permite simular el sistema según las especificaciones ingresadas. (Figura 14)

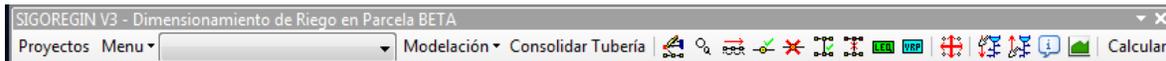


FIGURA 14: Barra de Herramientas de Sigopram.
FUENTE: Méndez y López, 2015

Sigopram permite el manejo de sus aplicaciones mediante una única ventana de comandos (Figura 15)

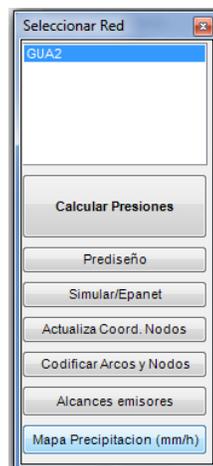


FIGURA 15: Ventana de Comandos de Sigopram
FUENTE: Méndez y López, 2015

2.5 ENTORNO DE AUTOMATIZACIÓN

El “Software de aplicación” (Diagrama 1) fue diseñado con el propósito de liberar al agricultor de tareas tediosas como aquella de recorrer largas distancias para iniciar el riego en un sector determinado. Aunque este sistema puede encargarse de la labor del riego de una finca, no presenta autonomía del 100%.

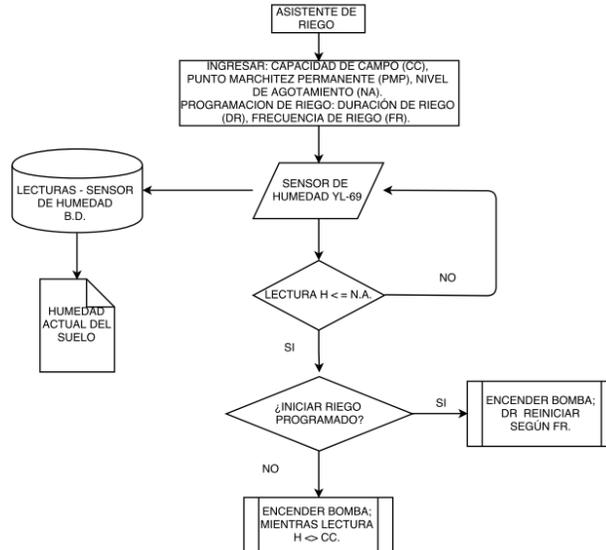


Diagrama 1: Funcionamiento del Software de aplicación.

FUENTE: Méndez y López 2015

X-CTU: Es el programa (Figura 16) con el cual se configuran los módulos Xbee, además de permitir la comunicación entre el coordinador y el router, también permite la transferencia de datos.

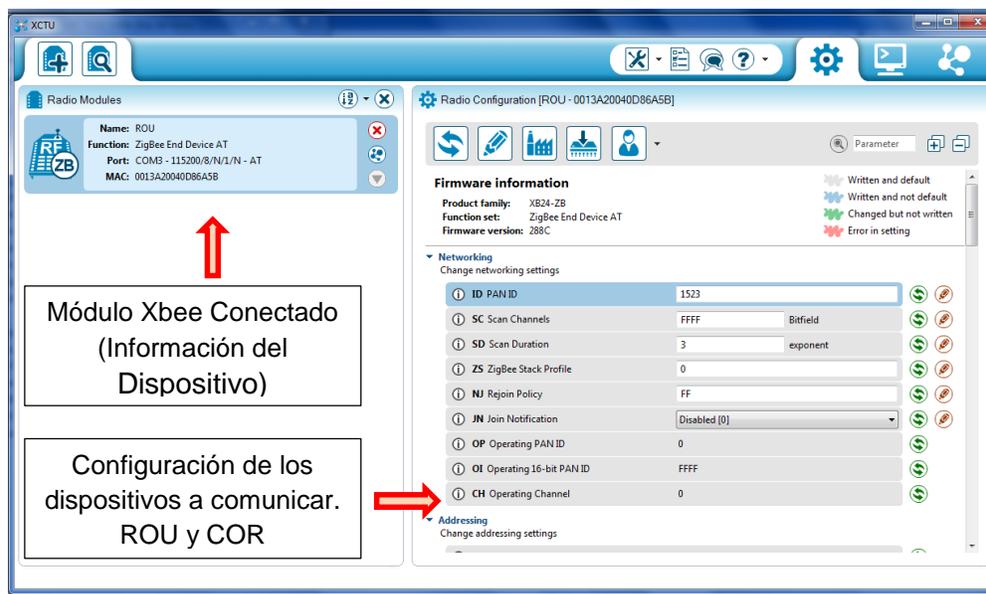


FIGURA 16: Ventana de Configuración Xbee.

FUENTE: Méndez y López, 2015

La comunicación en este caso será Punto a Punto, lo que significa de debe existir un módulo que envíe una señal y uno que la reciba. Para esto, se configuraron los dispositivos de la siguiente manera: Los valores de SL, corresponden al nombre interno de los dispositivos, por lo tanto en el campo DL, deberá ir emparejados según como se desee sea la comunicación, en este caso, al tratarse de un solo par, se emparejaron entre ellos (tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de Diseño

PARAMETROS	COORDINADOR	ROUTER
Pan ID	1523	1523
SH	13A200	13A200
SL	40DC90CF	40D86A5B
DH	13A200	13A200
DL	40D86A5B	40DC90CF
NI	COR	ROU

Fuente: Méndez y López, 2015

LABVIEW: LabVIEW es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el *lenguaje C* o *BASIC*. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los citados lenguajes de programación se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o *lenguaje G* para crear programas basados en diagramas de bloques.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales. LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas (Figura 17) para la adquisición de datos, análisis presentación y guardado de datos.

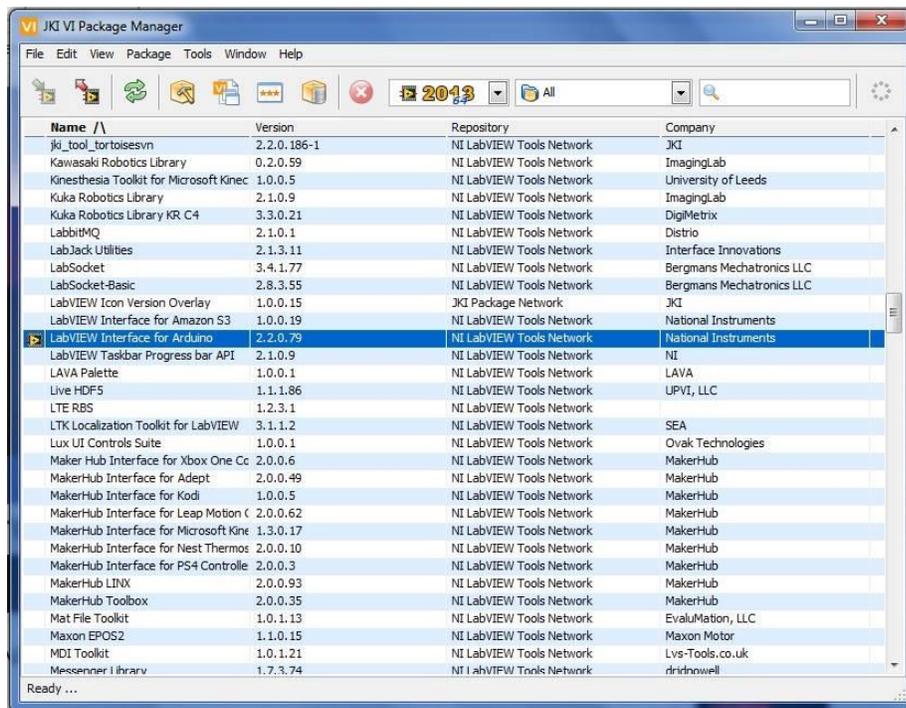


FIGURA 17: Ventana de Librerías LabView.

FUENTE: Méndez y López, 2015

En la Figura 18, se muestran algunos de los comandos utilizados en Labview para el procesamiento lógico.

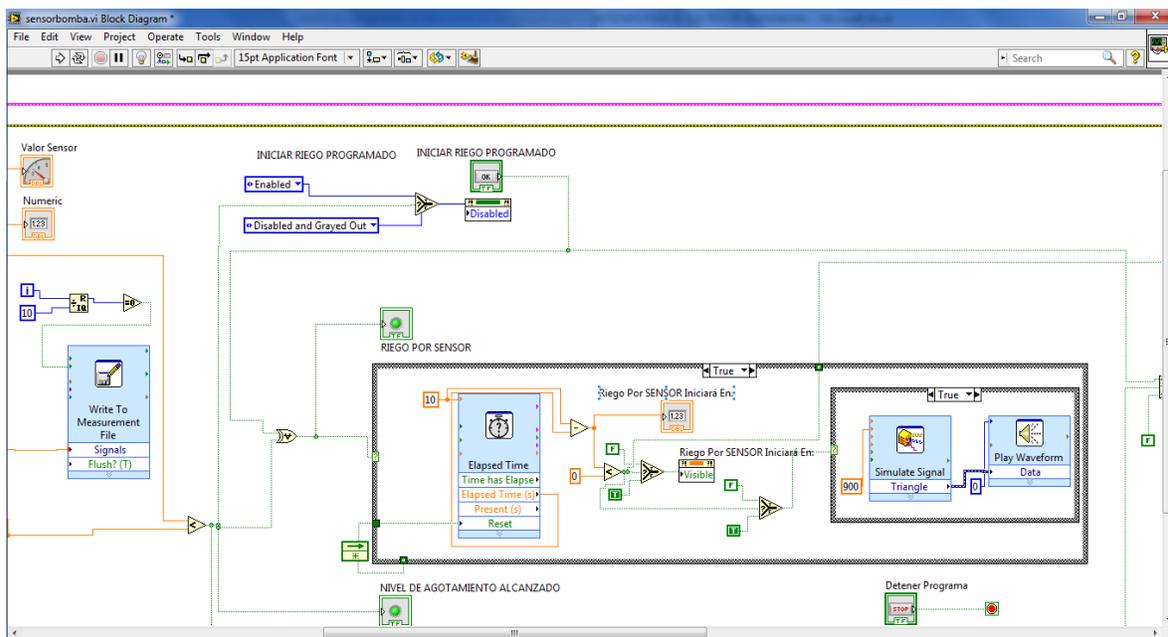


FIGURA 18: Ventana Diagrama de Bloque Labview

FUENTE: Méndez y López, 2015

El programa Labview tiene distintas formas de ejecutar procesos, en estructuras llamadas ciclos, cluster, señales, temporizadores y herramientas de tipo matemático entre otras. Dichas herramientas se utilizaron para conseguir lo descrito en el Diagrama 1. Todo lo diseñado en el Diagrama de Bloque, se puede observar y poner a prueba en el Panel Frontal (Figura 19).



FIGURA 19: Ventana Panel Frontal Labview

FUENTE: Méndez y López, 2015

Metodología de Calibración del Sensor YL-69. Para la calibración del sensor se llevó a cabo la metodología del manual del usuario del sensor de humedad TDR-300 – 6430FS (Manual del Usuario TDR-300, 2015).

3. ANALISIS Y RESULTADOS

3.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA

La finca Villa Lucy tiene una extensión de 7 ha dedicadas a la explotación agrícola y ganadera. En la actualidad se tiene 0.5 ha dedicadas a la producción de maracuyá y 0.5 ha dedicadas a zapallo, el resto de la finca está dividida en sectores dedicado a pastos. El predio cuenta con un aljibe de 2 m de diámetro y 4 m de profundidad (figura 20) del cual se extraerá el agua para riego. La ubicación geográfica del aljibe corresponde a *Longitud 75°47'48,248"W y Latitud 2°16'25,619"N*.

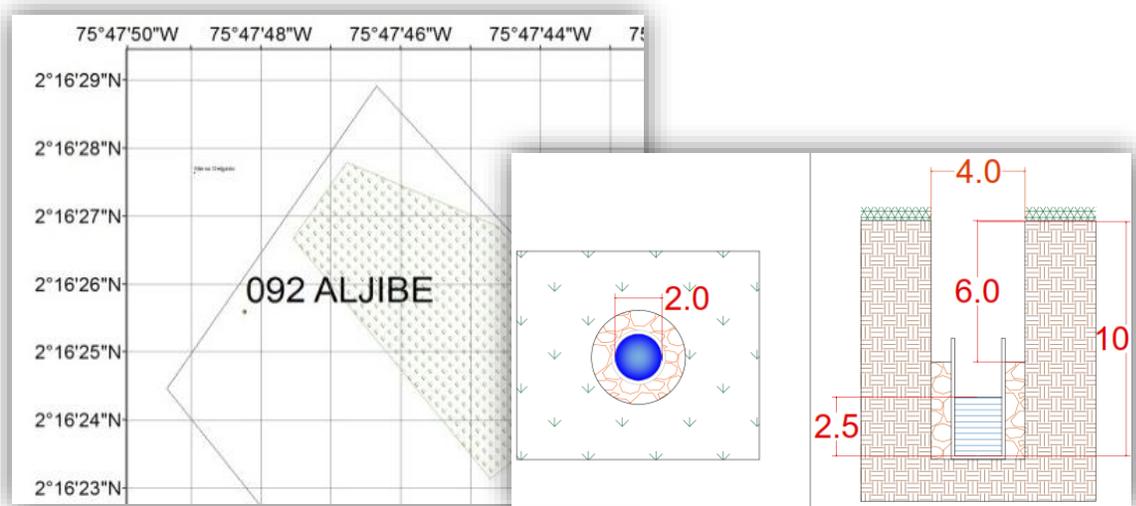


FIGURA 20. Ubicación y esquema del pozo de agua subterránea de la Finca Villa Lucy (medidas en metros)

Fuente: Méndez y López, 2015

El agua del aljibe será extraída por tubería de polietileno de 1" de diámetro utilizando el diferencial topográfico que existe para su extracción, y se almacena en un lago ubicado a 100 m de la casa, el cual funcionará como reservorio y será el punto de bombeo para toda la finca.

3.2 LEVANTAMIENTO PLANIALTIMETRICO

En la figura 21 se observa las curvas de nivel de la finca Villa Lucy con una cota máxima de 951 msnm y mínima de 939 msnm. La forma del lote es rectangular y presenta una pendiente igual a 7% con una depresión en el oriente por el paso de la quebrada denominada “Quebrada Seca”.

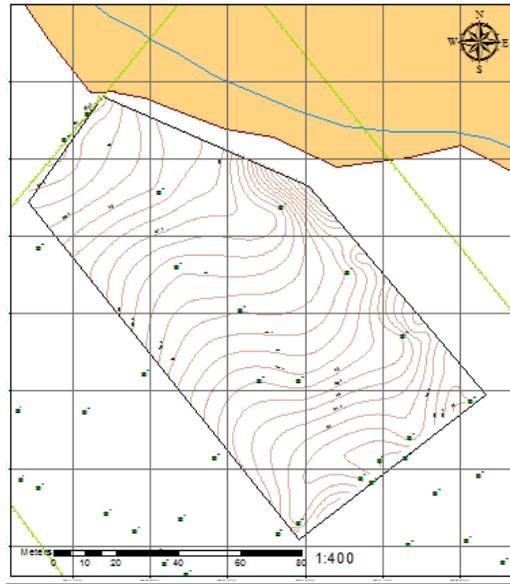


FIGURA 21: Curvas de nivel de la Finca Villa Lucy (Interpolación ArcGIS 10.1)

FUENTE: Méndez y López

3.3 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

3.3.1 Estudio de Suelos

Clasificación del Suelo Unidad Cartográfica PXDb. De acuerdo al mapa de suelos del departamento del Huila, la finca Villa Lucy se encuentra en la unidad cartográfica PXDb ; que corresponde a paisajes en piedemonte y valles, con clima cálido y seco.

Estos suelos son de relieve plano a ligeramente ondulado, con pendientes entre 0 – 12%, texturas moderadamente gruesas hasta finas, superficiales a moderadamente profundo. La actividad agropecuaria está limitada debido a las deficientes precipitaciones, la presencia de piedra, cascajo y material geológico cercano a la superficie, así como la presencia de sales, la susceptibilidad a la erosión y la fertilidad media a baja, suelos bien drenados a excesivamente drenados, ligeramente ácido a neutro.

Descripción del perfil del suelo. El perfil del suelo se geo-referenció en las coordenadas 808806 E - 743360 N, situado en la parte superior del predio, con una altura de 948 msnm, y temperatura del aire de 24°C. En la zona se evidencia presencia de rocas superficiales de gran tamaño como de material grueso y arenas (figura 22), sin evidencia de erosión.



FIGURA 22: Perfil del Suelo

FUENTE: Méndez y López, 2015

- **Horizonte A:** de 0 – 30 cm, negro parduzco 5YR2/2, textura organoléptica, Franco arenosa, estructura blocosa angular, consistencia en seco duro, en húmedo friable, en mojado ligeramente adherente, con poros medianos y grandes, gran actividad de microorganismos y abundantes raíces gruesas y raicillas.
- **Horizonte C/A:** 30 – 80 cm, rojo grisáceo 2.5YR5/2, textura organoléptica arcillo arenosa, estructura de bloques angulares de tamaño grueso, presencia de rocas grandes, consistencia en seco duro, en húmedo firme, en mojado adherente, con poros medios y en mayoría finos, actividad de microorganismos reducida respecto al horizonte A, presencia de raicillas.
- **Horizonte C:** > 80 cm. Rojo grisáceo 2.5 YR5/2, textura arcillo arenosa, sin estructura fuerte cementación y la roca dura, que están poco afectados por procesos pedogenéticos y carece de las propiedades del horizonte A. Se presume es del mismo material parental.

Propiedades Físicas e Hidrodinámicas del Suelo

Los resultados de las propiedades físicas y pruebas hidrodinámicas se encuentran en la tabla 6.

Tabla 6. Propiedades Hidrodinámicas y físicas del Suelo

	MUESTRA 056-15	MUESTRA 057-15	UNIDAD
UBICACIÓN	Sub 1 - Sub 15	sub 2 - Calicat	*
DENSIDAD APARENTE	1,48	1,48	gr/cm ³
TEXTURA	FA	FA	-
POROSIDAD	45,6	45,6	%
HUMEDAD GRAVIMETRICA	19,89	22,4	%
CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA	1,55 - 1,75		m/día
INFILTRACION	21,18		cm/hora
CAPACIDAD DE CAMPO	26,96		%
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	15,07		%
HUMEDAD DISPONIBLE	10,89		%

FUENTE: Méndez y López, 2015

*Ubicación Geográfica de las muestras descritas en el anexo C.

La Densidad Aparente. Una densidad baja generalmente, equivale a más porosidad y mayores agregados del suelo. Un suelo de bosque saludable tendrá una densidad baja, lo que corresponde a mayor estabilidad, menos compactación y, probablemente, mayor contenido de humedad que un suelo con una densidad mayor. Así con una densidad de 1,48 gr/cm³ el suelo se corrobora una **textura** Franco Arenosa y se tiene una **porosidad** en las muestras de suelo de la finca Villa Lucy de **45.6%**. Este tipo de suelos no presenta problemas de drenaje, sin embargo las plantas podrían tener limitaciones para su crecimiento por falta de aireación. En este caso, dicha problemática no es grave, dado que el valor obtenido se acerca al rango óptimo de porosidad que se encuentra entre 46 y 50 %.

El departamento de Edafología de la Fundación Produce Veracruz (FUNPROVER), hace una clasificación de un suelo según el porcentaje de porosidad total, la cual se presenta en el anexo C. Dicha clasificación posiciona al suelo del predio, como un suelo con **Porosidad Medianamente Reducido**.

Conductividad Hidráulica. Las pruebas de conductividad hidráulica arrojaron valores dentro del rango 1.5 a 3.0 que se clasifican como **moderadamente rápida** (anexo D), estableciendo que este tipo de suelos presenta facilidad para que el agua fluya a través de él y no se presenten problemas de drenaje interno.

Infiltración. De acuerdo al resultado y a información de clasificación de infiltración descrita en el anexo D, la infiltración se clasifica como **Infiltración Rápida**.

Propiedades Químicas del Suelo. La Tabla 7, indica la clasificación de los resultados obtenidos, según su contenido de elementos.

Tabla 7. Clasificación por categorías, según el contenido de elementos

Parámetro Químico	Unidad	Resultado LABGAA	Rango			Clasificación
			Bajo	Medio	Alto	
Fosforo (P)	ppm	40,97	< 20	20,0 - 40,0	> 40	Alto
Calcio (Ca)	cmol+ / kg	9,91	< 3	3,0 - 6,0	> 6	Alto
Magnesio (Mg)	cmol+ / kg	1,64	< 1,5	1,5 - 2,5	> 2,5	Medio
Potasio (K)	cmol+ / kg	0,71	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4	Alto
Azufre (S)	ppm	14,64	< 10	10,0 - 20,0	> 20	Medio
Hierro (Fe)	ppm	78,94	< 25	25,0 - 50,0	> 50	Alto
Manganeso (Mn) *	ppm	44,69	< 40 *			Medio *
Cobre (Cu)	ppm	1,1	< 2	2,0 - 3,0	> 3	Bajo
Cinc (Zn)	ppm	4,83	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3	Alto
Boro (B)	ppm	0,26	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4	Medio

FUENTE: Cuesta, 2005

*FUENTE: Universidad de Arkansas (División de Agricultura) 2006

De acuerdo a los análisis de laboratorio, se tienen los siguientes resultados (tabla 7):

Materia Orgánica. El porcentaje que indican los resultados del laboratorio de 2% de materia orgánica y con un clima templado (Medio), se clasifica el contenido de MO como Bajo.

Potencial de Hidrógeno pH. Los rangos establecidos por Cuesta, establecen que la muestra analizada con un pH igual a 6.0, corresponden a un pH adecuado.

Los resultados entregados por el laboratorio de la Universidad Surcolombiana LABGAA, indican que **la relación Ca/Mg es 6.04**, lo que significa que existe un Desbalance de cationes. En este caso el contenido de calcio en el suelo es muy alto en relación con el contenido de magnesio. Otra forma de interpretar el resultado es que el contenido de calcio en el suelo es muy alto, comparado con el contenido de magnesio, por lo tanto la velocidad de absorción del magnesio por las raíces de las plantas se bloquea parcialmente, por el alto contenido de calcio del suelo.

La relación Mg / K, debe estar comprendida entre 3 y 5. Si esta relación es menor de 2, pueden producirse deficiencias de magnesio por efecto antagónico de potasio. En

cambio, si la relación es de alrededor de 10, se puede producir una deficiencia de potasio inducida por el magnesio. Los suelos de la finca Villa Lucy presentan un valor de **2.3**, en cual evidencia un posible desbalance debido a deficiencia de potasio en el suelo.

El Laboratorio de recursos Geoagroambientales (LABGAA) junto con los análisis químicos, realiza una serie de recomendaciones para mejorar las condiciones del suelo, según el cultivo que se desee implementar. En este caso, las recomendaciones fueron las siguientes:

Preparar mezcla homogenizada de gallinaza compostada (2 ton/ha) y Cal dolomita (500 kg/ha) e incorporar en el plato en dosis de 4 kg/árbol. Además de mejorar las características de retención de humedad y nutrientes se suplen deficiencias de calcio y magnesio en el suelo.

Fuentes y dosis de Fertilizantes. Nitrato de amonio: 6 bultos/ha, DAP: 4 bultos/ha, KCl: 4.5 bultos/ha, Sulfato de Cu, Zn y B: aplicar por vía foliar según especificaciones o en forma de quelatos al suelo.

Para el inicio del cultivo, se debe disponer de una buena provisión de N, P, K, esto ayuda a formar adecuadamente el follaje y las raíces de las plantas de guanábana.

Época y forma de aplicación. Realizar la aplicación cada tres meses para procurar que la planta disponga de los nutrientes en forma permanente y dosificada, evitando de esta forma la aplicación masiva (una vez al año) con riesgo de intoxicación a la planta.

Cuando no se dispone de riego, la mejor época para la aplicación de fertilizantes es cuando se inicia el periodo de lluvias con el fin de dar una adecuada disponibilidad de nutrientes en el suelo, listos para ser aprovechados por las plantas. Para el arranque inicial del cultivo, es necesario disponer de una buena provisión de nitrógeno, fósforo y potasio (fórmula 10-30-10), esto ayuda a la planta a formar adecuadamente su follaje y raíces.

Interpretación de Análisis de Suelo y pautas. El suelo estudiado es de textura franco arenoso, medianamente ácido, presenta niveles medios de materia orgánica y se califica de fertilidad media.

3.3.2 INFORMACIÓN CLIMATOLOGICA

A continuación se presentan los datos calculados de precipitación de los meses faltantes en la serie de datos de la estación TRES ESQUINAS (anexo E).

Diagrama de Doble Masa. El diagrama de doble masa es útil para determinar la homogeneidad de un parámetro climático (Galindo, 2012) como se indica en el anexo E (tabla 8).

Tabla 8. Calculo de diagrama de doble masa para precipitación anual en mm

AÑO	P. TRES ESQUINAS	P. EST. VECINAS	S.P TRES ESQUINAS	S. P. EST. VECINAS
2013	1050	1123	1050	1123
2012	1150	1122	2200	2245
2011	1460	1125	3660	3371
2010	839	1132	4499	4502
2009	590	1100	5089	5603
2008	1056	1347	6145	6949
2007	963	974	7108	7923
2006	1328	1365	8436	9288
2005	927	1236	9363	10524
2004	724	1094	10087	11618
2003	889	879	10976	12497
2002	1019	1003	11995	13500
2001	926	938	12921	14439
2000	1222	1325	14143	15763
1999	1390	1485	15533	17248
1998	1032	1143	16565	18392
1997	792	911	17357	19302
1996	1166	1318	18523	20620
1995	1053	1191	19576	21812
1994	1209	1266	20785	23077
1993	1628	1389	22413	24466
1992	829	945	23242	25412
1991	1035	1086	24277	26497
1990	1244	1388	25521	27885
1989	1593	1399	27114	29284
1988	1347	1284	28461	30569
1987	1182	841	29643	31410
1986	1705	1426	31348	32835
1985	1000	1592	32348	34427
1984	1573	2235	33921	36662
1983	1204	1193	35125	37855
1982	1517	1935	36642	39790
1981	1356	2016	37998	41806
1980	1443	1685	39441	43491

FUENTE: Méndez y López, 2015

En el Grafico de doble masa (Anexo E) del método Diagrama de doble masa se concluye que los datos suministrados y estimados en la estación TRES ESQUINAS poseen un coeficiente de correlación del 0,9987, esto indica la óptima representación de la medición de precipitación en el área del proyecto.

Es posible utilizar el coeficiente de correlación como una forma de establecer la calidad de los datos. Con la determinación del coeficiente de correlación (R), se puede estimar el grado de correlación lineal que existe entre las estaciones en estudio, y cuyo valor oscila entre $-1 \leq R \leq 1$, donde el valor 0 indica una correlación nula, en tanto los valores 1 y -1 , denotan una correlación total. En términos hidrológicos, se considera aceptable una regresión cuyo valor de R sea mayor a 0,8 ó menor que $-0,8$ (Pizarro et al, 1993).

Precipitación

De acuerdo al Grafico 1 se determina que en la zona de interés se presenta un régimen de lluvias bimodal presentándose entre los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, siendo noviembre el mes en que se acentúan las precipitaciones con un valor de 151 mm. La época más seca del año se presenta entre los meses de junio y septiembre, donde el mes de agosto presenta los valores más bajos de precipitación con 31 mm, siendo este el mes más crítico y donde se presenta la mayor demanda del recurso hídrico. La precipitación media anual de acuerdo a la serie de datos procesada arroja un valor de 1160 mm.

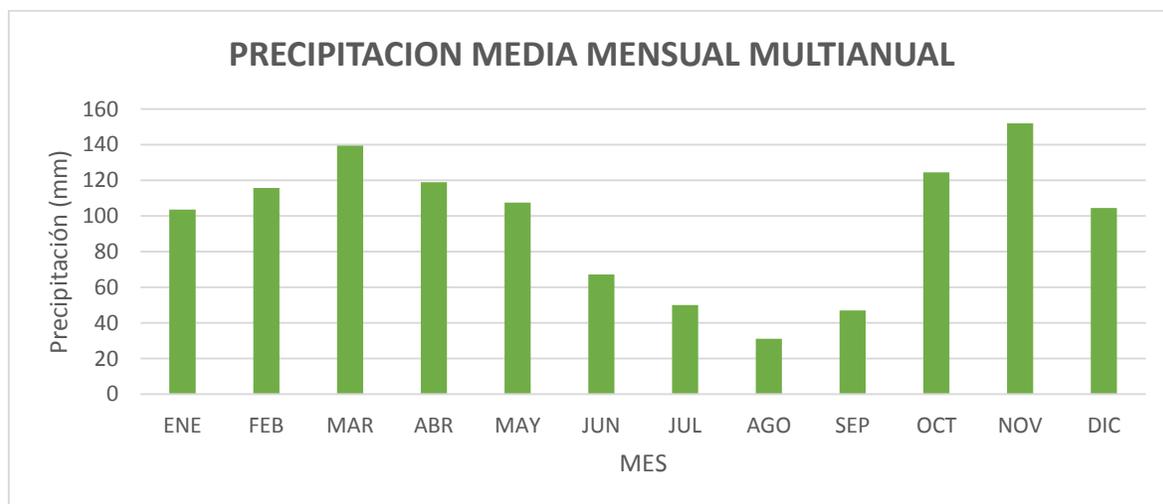


Gráfico 1: Precipitación media mensual multianual de la estación TRES ESQUINAS – PITAL

FUENTE: Méndez y López 2015

Coefficiente pluviométrico

De acuerdo con la definición de coeficiente pluviométrico, se deduce que el valor por debajo de 1.00 es periodo seco, si es mayor será periodo húmedo, y si es aproximadamente 1.00 será periodo indiferente (Galindo, 2012), los resultados se presentan en la tabla 9.

Muestra de Calculo:

$$Cp_{Enero} = \frac{104 \text{ mm}/31 \text{ dias}}{1160/365}$$

$$Cp_{Enero} = 1,05$$

Tabla 9. Calculo del coeficiente pluviométrico (Cp)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	VR ANUAL (mm)
1980	123	117	157	114	120	99	63	97	64	208	224	57	1443
1981	62	213	173	208	202	57	33	17	27	128	196	40	1356
1982	334	226	155	133	156	31	51	27	85	129	70	120	1517
1983	189	87	154	199	52	36	54	33	63	152	84	101	1204
1984	225	74	70	215	267	96	41	40	98	135	239	73	1573
1985	122	22	66	130	94	81	52	53	28	44	140	168	1000
1986	55	292	312	63	86	88	38	10	131	376	169	85	1705
1987	40	30	132	199	158	55	117	48	34	181	129	59	1182
1988	98	175	66	115	36	121	119	30	47	242	234	64	1347
1989	86	168	305	147	206	112	63	62	71	172	86	115	1593
1990	57	138	97	105	137	73	77	29	35	172	126	198	1244
1991	41	25	202	57	68	87	62	82	52	39	182	138	1035
1992	35	79	75	43	32	9	12	54	9	22	209	250	829
1993	153	218	212	52	77	54	80	47	47	179	305	204	1628
1994	153	87	172	164	138	73	47	27	67	55	127	99	1209
1995	32	78	204	185	41	53	80	20	14	105	196	45	1053
1996	138	234	139	78	56	114	51	39	24	128	68	97	1166
1997	172	30	52	60	110	126	21	13	29	91	71	17	792
1998	34	45	80	68	178	76	49	24	31	93	267	87	1032
1999	191	280	228	87	108	87	36	16	79	58	77	143	1390
2000	130	127	175	117	118	128	22	45	61	126	121	52	1222
2001	77	88	140	68	85	29	51	26	44	131	151	36	926
2002	51	72	151	180	135	85	44	31	40	98	55	77	1019
2003	165	88	87	117	51	30	26	4	77	88	111	45	889
2004	104	67	30	98	85	10	16	12	114	41	121	26	724

2005	8	61	92	124	100	24	12	25	61	184	74	162	927
2006	106	93	265	167	84	165	61	21	45	106	121	94	1328
2007	108	34	76	127	53	66	24	15	14	158	163	125	963
2008	34	91	87	193	70	15	55	24	7	111	199	170	1056
2009	87	117	136	61	7	13	19	14	1	40	71	24	590
2010	4	26	23	119	88	45	102	9	8	143	171	101	839
2011	40	157	153	141	208	42	14	5	61	115	236	288	1460
2012	229	135	218	38	27	32	46	34	11	168	100	112	1150
2013	47	138	57	75	218	70	60	25	12	43	225	80	1050
PROM	104	115	139	119	107	67	50	31	47	125	151	104	1160
Cp	1,05	1,17	1,42	1,21	1,09	0,68	0,51	0,32	0,47	1,27	1,53	1,06	-

FUENTE: Méndez y López 2015

Según el Gráfico 2 en el área de interés se registran dos periodos húmedos comprendidos entre los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, de igual manera se registra un periodo seco comprendido entre los meses de junio a septiembre.

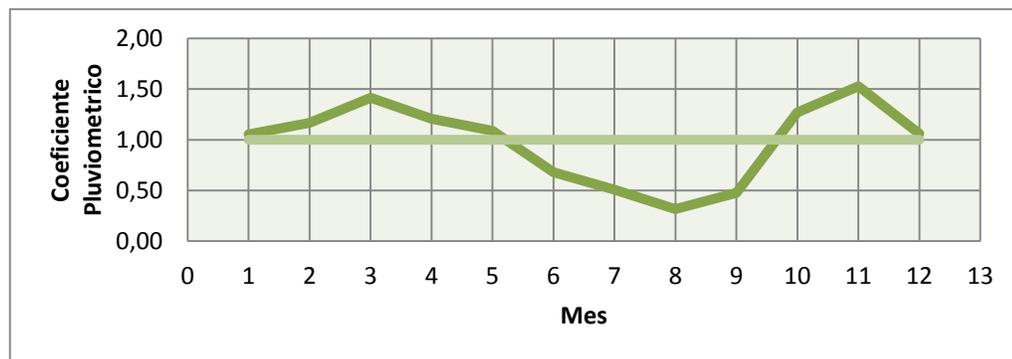


Gráfico 2. Coeficiente pluviométrico

FUENTE: Méndez y López 2015

Humedad relativa

En la Gráfica 3 se observa que se presentan dos periodos húmedos de enero a junio y de octubre a diciembre, evidenciándose el periodo seco de julio a septiembre, correspondiente a la precipitación baja presente en la zona del proyecto.

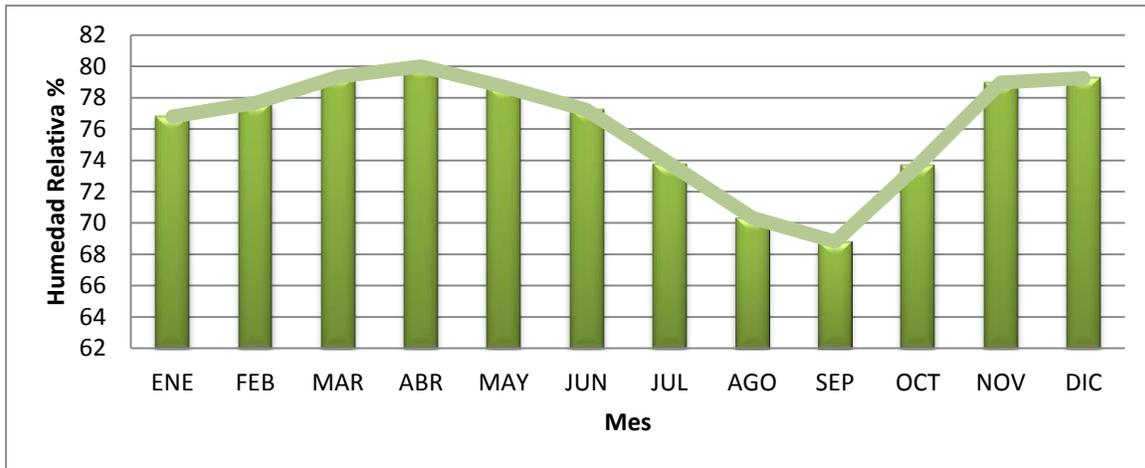


Gráfico 3: Humedad Relativa Media Mensual Multianual

FUENTE: Méndez y López 2015

Temperatura

Se determina que en el año se presentan dos periodos de temperatura altas comprendido de enero a marzo y de agosto a septiembre, donde en el mes de septiembre se muestra la temperatura media mensual más alta correspondiente a un valor de 24,87 °C. Los registros de temperatura más bajos se presentan en los meses de junio y julio con un valor registrado de 23,74 para el mes de julio (Gráfico 4). Los datos analizados de temperaturas máximas y mínimas no coinciden completamente con los datos registrados de periodos húmedos y secos a lo largo de los meses del año, debido a la distancia y elevación que hay de una estación a otra.

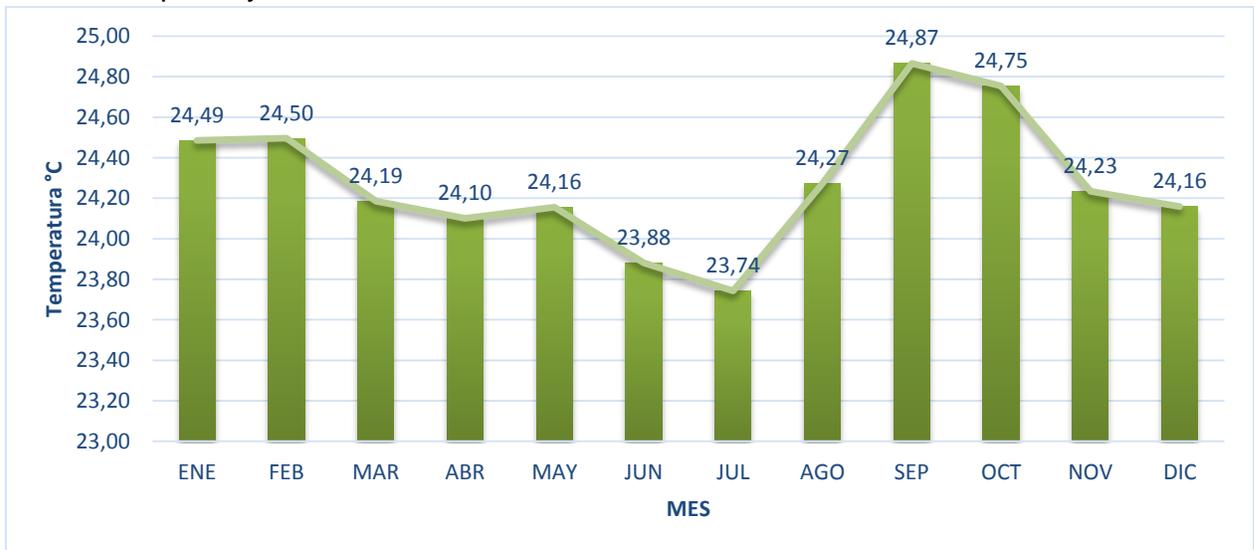


Gráfico 4: Temperatura media mensual multianual de la estación LA BETULIA

FUENTE: Méndez y López 2015

Evapotranspiración

Los resultados de evapotranspiración se indican en la tabla 10.

Tabla 10. Calculo de la evapotranspiración potencial método de THORNTHWAITE

Latitud 2,28° N									
MES	Tm (°C)	i	c	l	a	N	D	K	Etp (mm)
ENERO	24,5	11,08	1,03088	131,27	3,0407	12,0088	31	1,034	114
FEBRERO	24,5	11,09	0,93316			12,0544	28	0,937	93
MARZO	24,2	10,88	1,03772			12,1	31	1,041	111
ABRIL	24,1	10,82	1,01456			12,1456	30	1,012	104
MAYO	24,2	10,86	1,04912			12,2368	31	1,053	113
JUNIO	23,9	10,67	1,0214			12,2368	30	1,019	103
JULIO	23,7	10,58	1,04912			12,1912	31	1,049	107
AGOSTO	24,3	10,93	1,04684			12,1912	31	1,049	114
SEPTIEMBRE	24,9	11,34	1,01228			12,1	30	1,008	114
OCTUBRE	24,8	11,27	1,03544			12,0544	31	1,038	118
NOVIEMBRE	24,2	10,91	1,00316			12,0088	30	1,000	104
DICIEMBRE	24,2	10,86	1,00544			11,9632	31	1,030	106

FUENTE: Méndez y López 2015

Para el diseño del sistema de riego se selecciona la máxima evapotranspiración correspondiente para el mes de septiembre - octubre con un valor de **3.8 mm/día**, esto con el fin de garantizar que el sistema de riego diseñado supla las necesidades del cultivo de guanábana.

Uso consumo. El uso consumo es calculado por la siguiente ecuación:

$$Uc = Ej * Kc$$

Dónde:

Ej = Evapotranspiración critica

Kc = Coeficiente de cultivo

$$Uc = 3.8 * 0.9$$

$$Uc = 3,42 \text{ mm/dia}$$

3.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

3.4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Especificaciones del pozo de agua subterráneo. Para determinar el caudal de recarga, se realizaron tres pruebas de bombeo cuyo valor promedio es de 1.8 m³/h, y dadas las dimensiones la capacidad de almacenamiento es de 7.85 m³. Se construye actualmente un muro de protección en ladrillo para evitar la caída de animales o personas en su interior. El agua se encontró a una profundidad de 6 m desde la superficie de la tierra.

Especificaciones del lago. El lago se encuentra a 100 m de la casa en dirección norte, con medidas de 6 m de largo, 6 m de ancho y una profundidad de 1.5 m, da una capacidad de almacenamiento de 54 m³ de agua para riego. Se mencionan a continuación las especificaciones de los parámetros del sistema de riego (tabla 11).

Tabla 11. Parámetros Establecidos para el Diseño del Sistema de Riego

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Textura del Suelo	-	Franco arenosa
Capacidad de Campo	%	25,96
Punto de Marchitez Permanente	%	15,07
Densidad Aparente	gr / cm ³	1,48
Infiltración Básica	cm / hora	21,18
Conductividad Hidráulica Saturada	m / día	1,64
Profundidad Radicular Efectiva	mm	600
Evapotranspiración Potencial	mm / día	3,8
Coeficiente del Cultivo	-	0,9
Uso Consumo	mm / día	3,8
Caudal Teórico Máximo de Explotación del Pozo	m ³ / hora	1,8
Volumen Total de Almacenamiento	m ³	7,85
Tiempo de Llenado de Volumen Total de Almacenamiento	Horas	4,33
Volumen a Utilizar para Riego.	m ³	6.48
Tiempo de Llenado del Volumen a Utilizar.	Horas	2 ½
Caudal de Diseño del Sistema de Riego (Unidad de Bombeo) ver anexo G	m ³ / hora	6,48
Tiempo de Vaciado del Agua Almacenada en Pozo	Horas	1
Unidad de Riego	SUPERNET LR 030 - NETAFIM	
Caudal Unidad de Riego	m ³ / hora	0,03
Presión de Trabajo de la Unidad de Riego	PSI	14,5
Diámetro Húmedo de la Unidad de Riego	m	6
Altura desde el Piso hasta la Unidad de Riego	m	0,6

FUENTE: Méndez y López, 2015

3.4.2 DISEÑO AGRONÓMICO

Debido al bajo caudal de recarga que presenta el Pozo de 1.8 m³ / hora, no es posible realizar el riego con los parámetros establecidos, por lo tanto se debe realizar un ajuste, y satisfacer el requerimiento hídrico (tabla 12), según las necesidades diarias del cultivo y aprovechar al máximo el recurso de agua disponible. Así en el ajuste dejando un riego de 2 horas en la mañana y 2 horas en la tarde para un total de 4 horas de riego todos los días para suplir las necesidades hídricas sin agotar el lago. La Figura 23 muestran el manejo que se le dará a los tiempos de riego y recarga.

Tabla 12. Requerimiento Hídrico del Cultivo

ITEM	ECUACION	RESULTADO
Lamina Neta	$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * Pre * Na$	29,02 mm
Lamina Bruta	$Lb = \frac{Ln}{Ea}$	29,62 mm
Frecuencia de Riego	$Fr \text{ (días)} = \frac{Ln}{Uc}$	8 Dias
Tiempo Por Unidad de Riego	$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{Lb}{1000}}{Qur}$	28 Horas
Posiciones por turno de Riego	$PRtu = \frac{Qd}{Qur}$	216 Posiciones
Lamina Neta Ajustada	$Ln = Diasa * Uc$	1,9 mm
Lamina Bruta Ajustada	$Lb = \frac{Ln}{Ea}$	1,94 mm
Tiempo Por Unidad de Riego	$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{lb}{1000}}{Qur}$	2 Horas

FUENTE: Méndez y López, 2015

* El procedimiento de Calculo se encuentra en el Anexo F

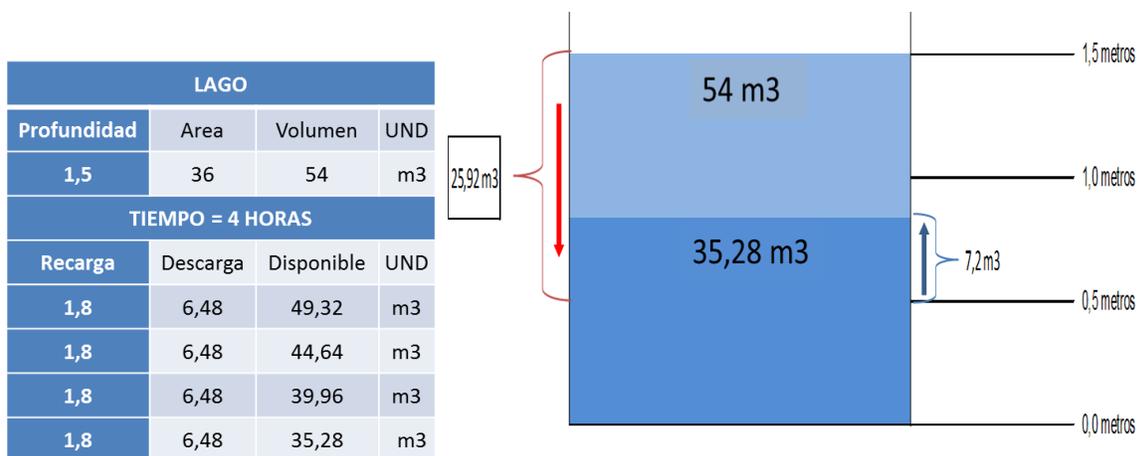


FIGURA 23: Esquema de manejo del pozo de aguas subterráneas para riego

FUENTE: Méndez y López, 2015

3.4.3 DISEÑO HIDRAULICO

Aplicación de los SIG. Una vez realizada la simulación, Sigopram ofrece la posibilidad de visualizar la información según la necesidad del investigador entre un plano de presión, velocidad, diámetro o caudal (Figura 24). Además de conocer las zonas donde según el diámetro húmedo de los emisores (Figura 25), no cuentan con la precipitación adecuada, y aquellas, donde se podría presentar encharcamiento (Figura 26).

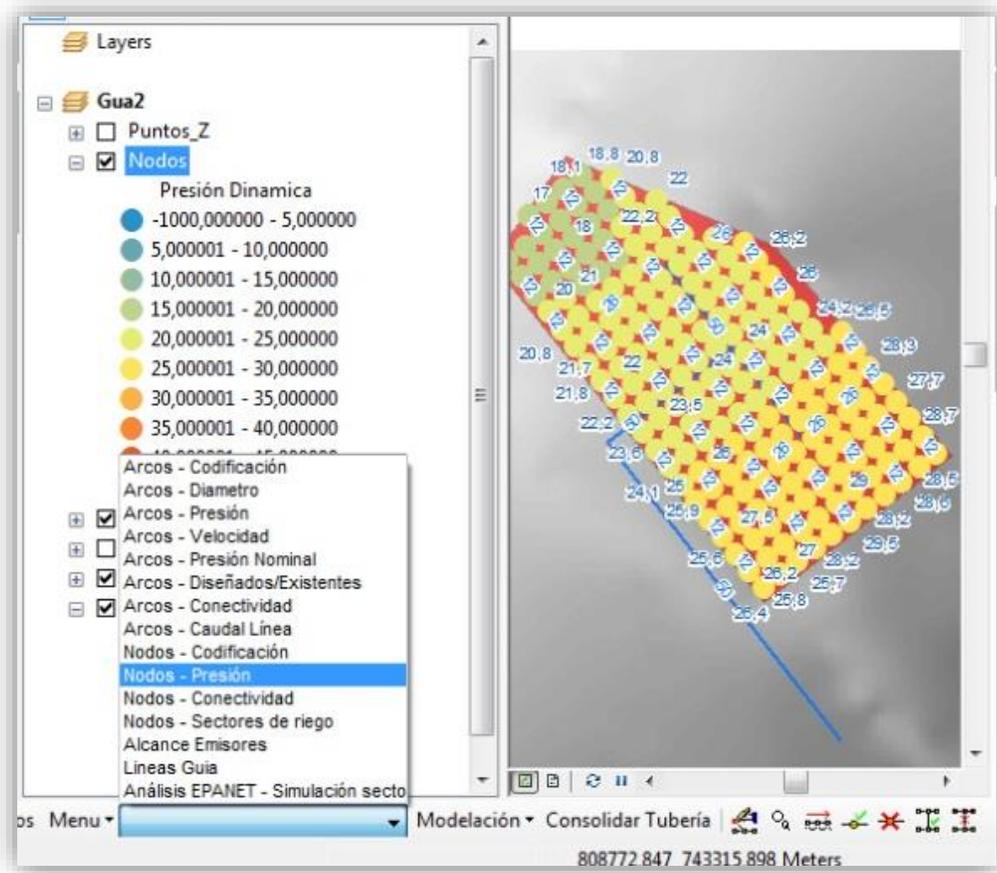


FIGURA 24: Visualización de r Resultados

FUENTE: Méndez y López, 2015

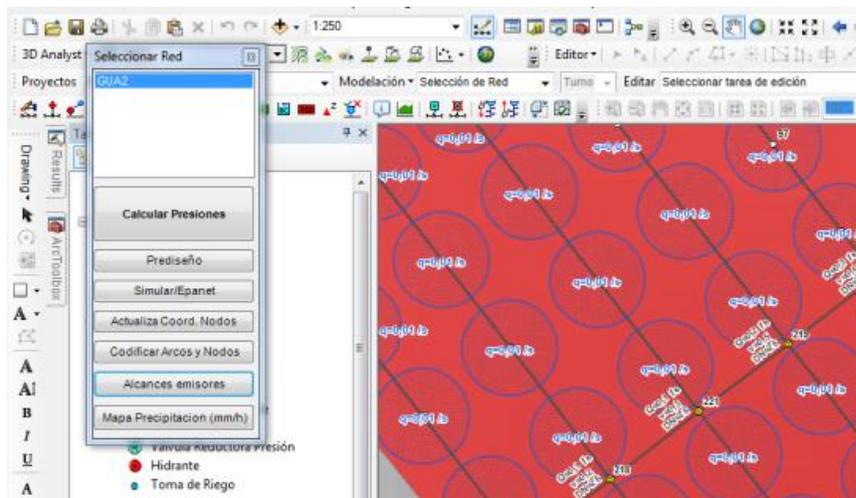


FIGURA 25: Diámetro Húmedo de los Emisores
FUENTE: Méndez y López, 2015

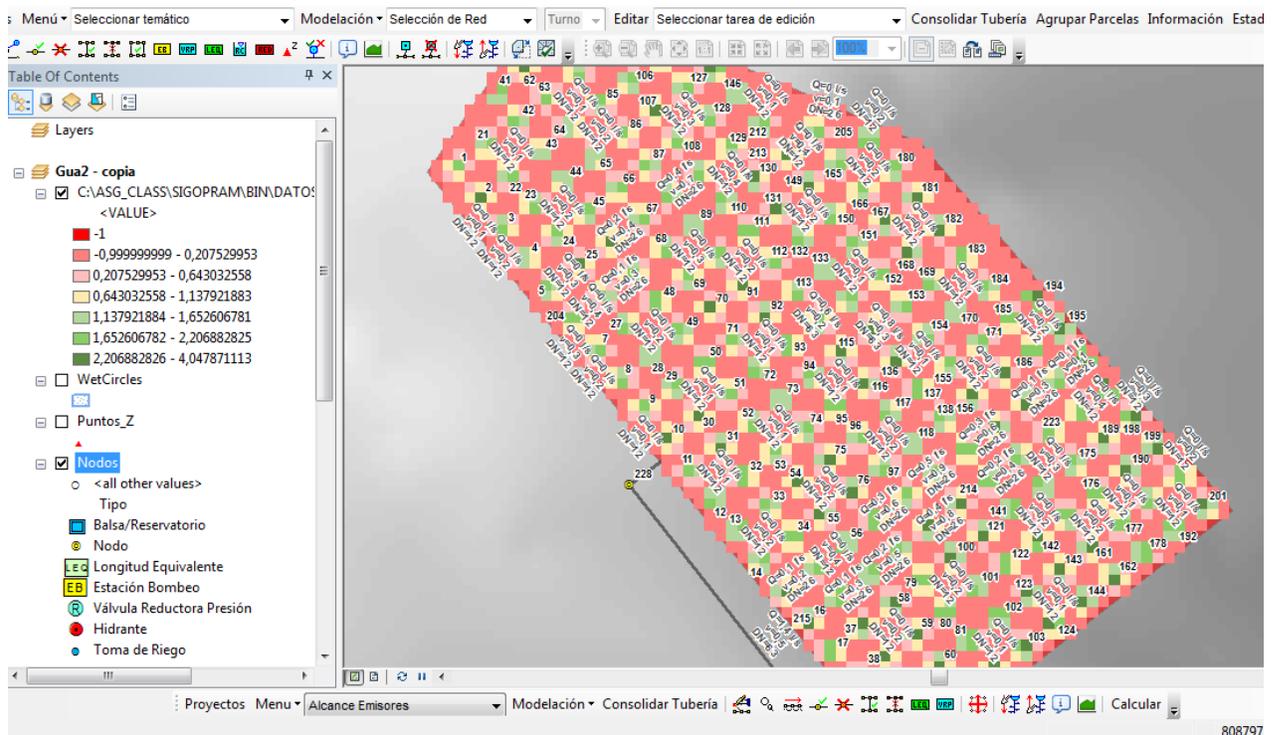


FIGURA 26: Mapa de Precipitación (mm/h)
FUENTE: Méndez y López, 2015

Los resultados obtenidos fueron validados por la metodología de Cifuentes, obteniendo resultados muy similares, y un plano final en el Anexo I.

3.5 ENTORNO DE AUTOMATIZACIÓN

La aplicación para la asistencia del Riego se llamó SISRIEGO v1.0, y se fundamenta en la optimización del uso del agua, según los requerimientos hídricos del cultivo, dados por el cultivo, sin embargo, brinda cierto grado de autonomía al permitir al agricultor descargar la tarea del riego al programa, quien se apoyará en la información básica, como Capacidad de Campo, Punto de Marchitez Permanente, Nivel de Agotamiento, Frecuencia de Riego y Duración de Riego.

Dado que SISRIEGO, funciona apoyado en un sensor de humedad comercial YL-69, es necesario realizar una calibración in situ (Tabla 13), antes de activar el programa. Para ello, es necesario conocer los valores equivalentes registrados por el sensor, y los valores de CC y PMP del suelo, según los análisis de laboratorio.

Calibración del sensor YL-69

Tabla 13: Calibración SENSOR DE HUMEDAD YL-69.

MUESTRA	Sensor húmedo	Sensor seco
1	770	300
2	750	296
3	690	305
4	780	312
5	753	308

Fuente: Méndez y López, 2015

En promedio aritmético del SENSOR Húmedo es de 748.6, pero para facilidades de cálculo, se decidió tomar el valor de **700** como valor equivalente a la capacidad de campo. El promedio aritmético del SENSOR seco fue de 304.2, de igual manera se hizo un ajuste a **300**, para tener un intervalo manejable de agua aprovechable.

En la figura 27 se describe el proceso lógico a seguir para encontrar la equivalencia entre los valores de CC y PMP, del sensor.

- El índice 1, hace referencia al valor de Punto de Marchitez Permanente el cual debe ser ingresado según los resultados de la Calibración (300).
- El índice 2 muestra el lugar donde se toma el valor de Capacidad de Campo, de igual manera debe escribirse según los resultados de la Calibración (750).
- El índice 3 se refiere al Nivel de Agotamiento deseado. Dicho valor no tiene en cuenta el balance hídrico y por lo tanto puede ser distinto, sin embargo, este valor se tomará para generar la alerta de Riego, y detener el Riego iniciado por el Sensor.

- El índice 4 es la entrada analógica del programa para registrar los datos del sensor, desde la placa arduino.
- El índice 5 enseña la creación de la base de datos, cada 10 segundos. Este datos es posible cambiarlo desde el Panel Frontal.
- El Índice 6 es el valor aritmético $<$ (menor que), el cual nos realiza la comparación entre el valor censado y el valor del correspondiente al nivel de agotamiento. Este es el punto de partida para la toma de decisiones por parte de SISRIEGO.

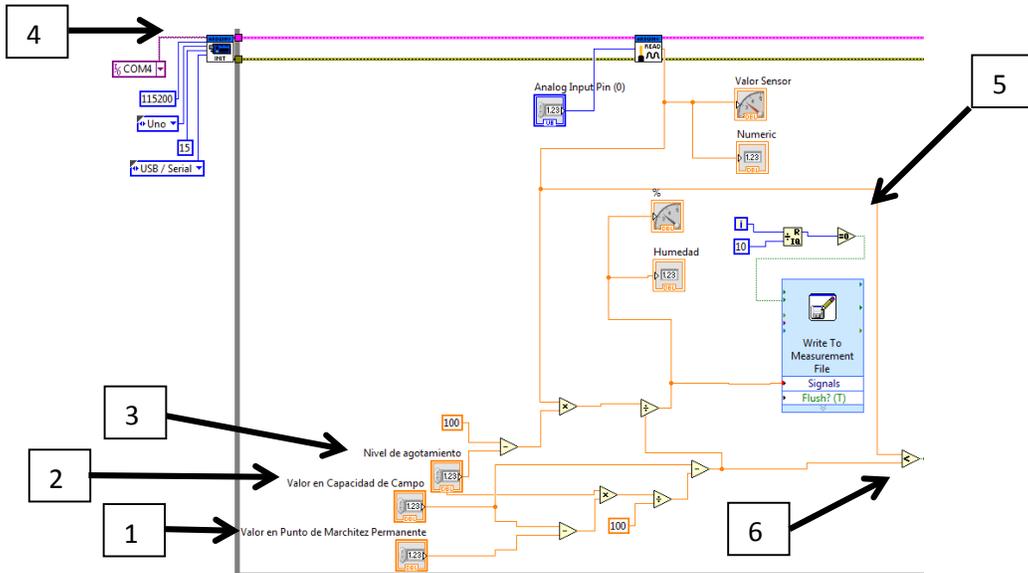


FIGURA 27: Diagrama de Bloque, Calibración Sensor
FUENTE: Méndez y López, 2015

La Figura 28 muestra el proceso para la creación de las alertas visuales y sonoras, las cuales se encienden cuando V_{lr} Sensado $<$ N.A.

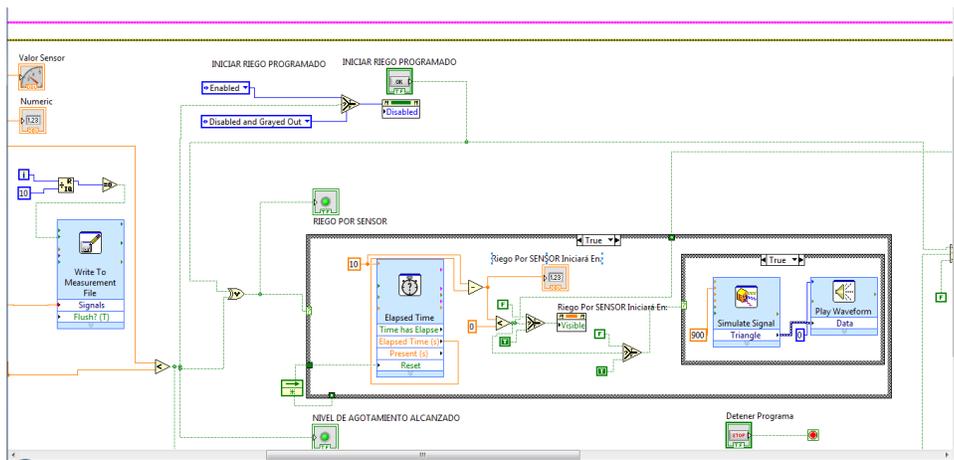


FIGURA 28: Diagrama de Bloque, Creación Alarma.
FUENTE: Méndez y López, 2015

La Figura 29, es la presentación final del programa SISRIEGO v1.0, en el panel frontal de Labview. Para correr el programa, es preciso llenar los datos anteriormente mencionados, de lo contrario, podría presentar fallas.

- El índice 7 enseña el contador Elapsed Time, el cual maneja el tiempo de encendido de riego, cuando seleccionamos RIEGO PROGRAMADO en el panel principal.
- El índice 8 muestra la salida del ciclo de la lectura arduino.

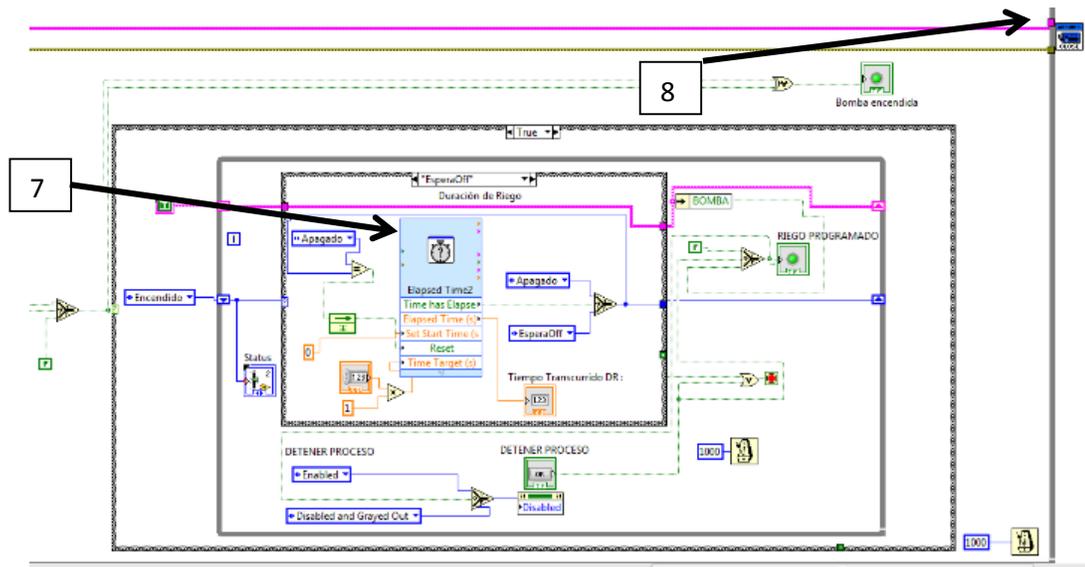


FIGURA 29: Diagrama de Bloque, Riego Programado.

FUENTE: Méndez y López, 2015

El nombre **SISRIEGO**, hace referencia a las palabras SISTEMA y RIEGO, de las cuales se puede derivar su significado de Sistematización del Riego, y el uso de los Sistemas de Información Geográfica para su diseño. Dado que es la primera versión, el programa aún es inestable, pero se espera actualizarlo con más funciones y lograr una mayor estabilidad y confiabilidad.

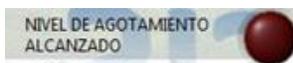
En figura 30 se observan dos “tacómetros” los cuales indican el valor de humedad (1) y el valor real del sensor (2), además de sus respectivos indicadores numéricos (3). En el panel se observa una sección de Programación de Riego, en las cuales es indispensable y estrictamente necesario ingresar cada uno de los valores ahí mencionados. CC (4), PMP(5), NA (6), Duración de Riego (7) y Frecuencia de Riego (8).



FIGURA 30: Interface, Presentación del Software SISRIEGO v1.0
FUENTE: Méndez y López, 2015

Las luces ubicadas en la parte izquierda del panel, informan al usuario el estado del sistema de riego.

Nivel de agotamiento alcanzado. Enciende una señal, cada que el valor asignado en la casilla de Nivel de Agotamiento, sea mayor que el valor censado por el programa. De esta manera se inicia una alerta sonora indicando que al cabo de 10 segundos se iniciará un riego controlado por sensor, el cual culminará hasta que el valor de la humedad registrada por el sensor sea superior al Nivel de agotamiento indicado.



Riego programado. La señal se enciende cuando se activa la casilla “Iniciar Riego Programado” y la seleccionamos. Este riego hace parte de un ciclo, el cual se cumple una sola vez cada que damos click en “Ok”. Al aceptar el riego programado, se activa el botón “Detener Proceso”, el cual, funciona como un botón del pánico, que detiene el sistema y lo reinicia. El riego programado culmina una vez se haya cumplido el tiempo especificado.



Riego por sensor. Este indicador, hace referencia al riego automático controlado por el sensor. Es decir, que inicia una vez el $NA > \text{Valor censado}$, y termina cuando $NA < \text{Valor censado}$. De esta manera no se cumple el requerimiento hídrico calculado por medio del balance, sin embargo, impide la muerte por descuido y falta de riego del cultivo.

Al estar en una modalidad de Riego, es posible cambiar entre ellas, sin embargo, no es recomendable dado que esto reinicia el sistema, y podría generar problemas en el cultivo por sobre riego. Durante el riego por sensor, se registrarán los datos continuamente, sin embargo, en el riego programado, el registro se detendrá durante el periodo activado. Esta falla del software no es grave, y se espera solucionar en versiones posteriores.



El Programa irá creando un archivo EXCEL, para el guardado de datos. Este archivo solo guardará la información correspondiente a la fecha y hora del dato captado y del valor de humedad captado. Esto para facilitar el traslado y visualización de la información tomada (figura 31).

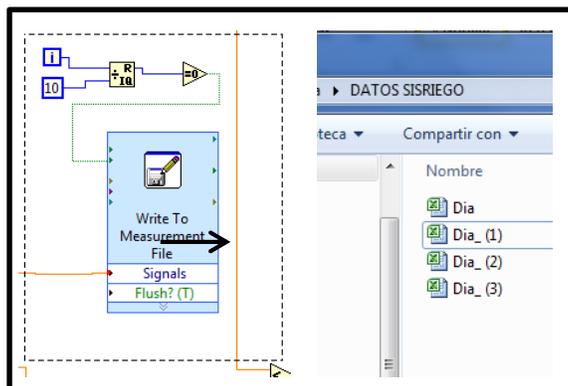


FIGURA 31: Creación Base de Datos SISRIEGO

FUENTE: Méndez y López, 2015

3.6 PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto por hectárea se encuentra distribuido así, para la red de distribución un total de \$1'206.200, unidades de riego \$481.800, accesorios \$400.000, Fertirriego \$195000, Elementos de medición \$64000, Filtro \$130000, Unidad de Bombeo \$906.600, elementos de automatización \$250.000, Mano de Obra \$190.000, Transporte \$30.000, para un Total con IVA incluido de \$4'006.176 (anexo H). Este valor no incluye el costo de la construcción del lago, ni del pozo, ni la instalación de la red eléctrica hasta el punto de bombeo.

4. CONCLUSIONES

- SISRIEGO es una herramienta para la automatización del sistema de riego en cultivos que permite el control y uso eficiente del agua a diferentes horarios y frecuencias de riego y tiene dos tipos de funcionamiento así: el primero apoyado 100% en el sensor de humedad, dado que su activación y finalización dependen de si el valor de humedad censado es menor o no al Nivel de agotamiento, ingresado inicialmente, y el segundo hace referencia al balance hídrico y la programación de riego final, cuya activación y apagado depende del tiempo de riego y frecuencia de riego establecido sin tener en cuenta los valores del sensor de humedad, aunque estos sigan registrando.

SISRIEGO podría operar automáticamente según la programación, o el valor de humedad sensado, también permite el apagado y encendido manual de la electrobomba, para efectos de mantenimiento o decisiones del administrador de la finca.

- El Diseño hidráulico por medio del software SIGOPRAM hizo eficiente el tiempo con que se diseñó el riego implementando los conocimientos de ingeniería para la creación del sistema, así mismo brindó la facilidad de revisar múltiples escenarios de funcionamiento del sistema de riego, permitiendo así la selección más adecuada.
- La disponibilidad de agua en la finca Villa Lucy no es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de todos los predios. Sin embargo posee un pozo con una recarga de 15 l/s, en época seca, las cuales podrían ser suficientes para permitir un manejo adecuado de los cultivos por sectores de riego.

5. RECOMENDACIONES

- Aunque SISRIEGO funciona como asistente de riego, en ningún caso reemplaza la supervisión humana, dado que es la primera versión, presenta inestabilidad en la ejecución de procesos, por lo que, se recomienda realizar la supervisión del sistema electrónico e hidráulico de manera periódica.
- El botón “Detener Proceso” del software permite detener el riego, ya sea por sensor o programado, sin embargo, se informa que dicho botón reinicia el tiempo de riego programado, mas no lo pausa.
- Para el buen funcionamiento de SISRIEGO, es necesario llenar todos los espacios dispuestos en el panel frontal del programa, de esta manera se evita un funcionamiento inadecuado del proceso.
- Se recomienda al usuario hacer los estudios previos de suelo, y realizar el balance hídrico, antes de utilizar el programa. De no ser así, buscar asesoría con un ingeniero agrícola.
- Para el manejo del agua, es recomendable elegir cultivos que soporten temporadas de sequía o no requieran grandes cantidades de agua. Además de realizar procesos de fertilización periódicos, según recomendaciones del agrónomo.
- Es necesario que exista un tiempo de recarga de 5 horas mínimo para permitir el llenado del pozo, a un nivel aceptable para riego, sin que se presenten problemas en la manguera de succión.
- Dado que SISRIEGO no cuenta aún con un indicador del nivel del agua, es necesario que el operador del riego lo esté verificando para evitar daños en la bomba.
- Dado que SIGOPRAM es un software creado por una empresa española, sus referencias espaciales se encuentran referenciadas en coordenadas locales de España, por lo que es indispensable modificarlas y ajustarlas a nuestro proyecto.

- Al realizar un diseño con SIGOPRAM, se debe tener definido la unidad de riego a utilizar, y la información completa que aporta el fabricante, de esta manera, la simulación será más cercana a la realidad.
- Es preciso revisar la base de datos de SIGOPRAM y actualizarla según el mercado local.

6. BIBLIOGRAFIA

- BUSTOS R. JESÚS ANDRÉS, Montiel O. Harold., 2004. Desarrollo de un software para diseño y evaluación hidráulica de sistemas de riego a presión modalidad microaspersión.
- CIFUENTES P. MIGUEL ANGEL, Instalación, Administración, Operación y Mantenimiento, Proyectos de Irrigación a Pequeña Escala. 2006
- CORABASTOS, Histórico de Precios [en línea], <http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php>. [citado en 16 de abril de 2015]
- CORPOICA, Céspedes, L., Ramiro. et al. 2009. Manejo del recurso hídrico de la Guanábana. Cartilla Divulgación: CORPOICA.
- ESRI Colombia, ArcGIS 10.1 Software de Sistemas de Información Geográfica, España, Pagina Web <En Línea> <http://www.esri.co/sitio/productos/desktop/index.html>.
- FAO, Revista de divulgación “Factores que se deben considerar para la selección el sistema de riego más adecuado”, 2008.
- FAO, Guía para la Descripción de Suelos, 2009. <En línea> <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FUNPROVER, Manual del Tomate Cap 10 pag 83 – 99, <En línea> <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Propiedades%20Fisica%20del%20Suelo.pdf>, Mexico,1999
- iRIEGO, Software Administrador de Riego, España, Pagina Web <En Línea> http://www.iriego.es/S_Overview.html.
- MANUAL DEL USUARIO TDR-300. Spectrum Technologies, U.S.A, Pagina Web <En Línea> https://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Manuales/Estaciones/Spectrum/6430FS_TDR300.pdf
- MINISTERIO DE AGRICULTURA DE CHILE, Informativo N° 15, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, centro de investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano (CIE), INIA URURI, Región de Arica y Parinacota. Mayo de 2010.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Informe de Gestión al Congreso de la República, Julio 2008 – Junio 2009, P 22.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2006 – 2010 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas, P 68 – 70.
- MOLINA M. José M. y Ruiz C. Antonio, “Automatización y telecontrol de sistemas de Riego” (Libro), Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de la Región de Murcia, España 2010.

- PIZARRO, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos, Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, 520 pp.
- REVISTA NOTICIAS SEPHU, "CULTIVO DE LA GUANABANA: Recomendaciones para solucionar problemas de floración, cuajado y aborto de flores. Sociedad Española de Productos Humicos, S.A, Zaragoza, Mayo de 2010.
- REVISTA PORTAFOLIO, Producción agrícola del país perdió 2% en una década, Economía, Colombia, Bogotá, Julio de 2015. << En Línea>> <http://www.portafolio.co/economia/pib-agricola-produccion-agricola-colombia-2015>.
- RODRIGUEZ B. John E. y GONZALES A. Juan M., Tesis, Sistema de Telemetría y Automatización para una Instalación Agrícola (Invernadero) Desarrollado mediante Software Libre. Universidad Surcolombiana, Neiva 2014.
- KEVIN CONWAY. Soluciones Locales a la Crisis Mundial del Agua. The International Development Research Center. Canadá 2001.
- THOMPSON, Louis. TROEH, Frederick. Los Suelos y Su Fertilidad, Cuarta Edición. Pag 75 – 85. España. 1988.
- TORRENTE, A. Guías de Laboratorio de suelos. CENIGAA (2015).
- UNESCO – ROSTLAC. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América de Sur. Oficina Regional de Ciencias y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Montevideo. Uruguay. 1982, 129 pp.
- UNIVERSIDAD DE ARKANSAS, División de Agricultura, Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. USA, 2006 <En Línea> <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>
- VALVERDE, C. Juan, Riego y Drenaje, Segunda reimpresión, Costa Rica. 2007, pag 48.
- VAZCONEZ C. JUAN CARLOS, Chamba T, Felipe de Jesús., 2013. Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio. Proyecto de grado. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- VICEMINISTERIO DE AMBIENTE, Guía Ambiental Hortifrutícola de Colombia, P 7. Diciembre de 2009.
- WATERBEE, Software Riego Inteligente y Administrador del Agua, Irlanda, página web <En Línea> <http://waterbee.iris.cat/project/>

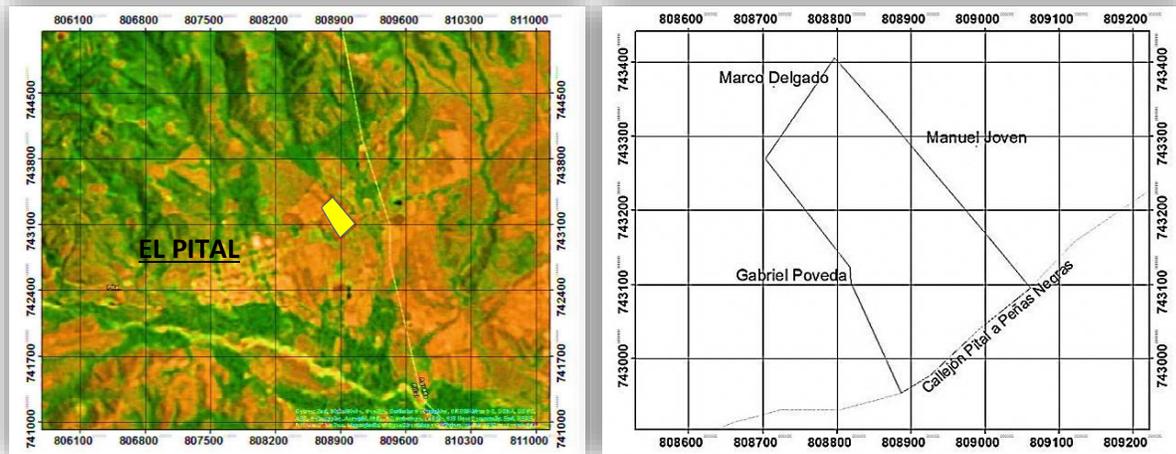
ANEXO A. UBICACIÓN Y GEORREFERENCIACION DEL PROYECTO

Coordenadas que enmarcan el proyecto

Este (m)	Norte (m)
808886.26	742953.88
808818.98	743102.00
808703.28	743269.28
808796.17	743405.91
809061.04	743095.35

FUENTE: Méndez y López, 2015

Se utilizó el sistema de referencia MAGNA Colombia Bogotá.



Fuente: Méndez y López, 2015

ANEXO B: PLANO TOPOGRAFICO

FINCA VILLA LUCY - PLANCHA No. 10-4



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA - NEIVA

PROYECTO
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO
POR INCRUSTACION AUTOMATIZADO
PARA LA ZONA DE LA FINCA
"Arroyo Macaqui" MEDIANTE EL USO
DE LOS INSTRUMENTOS SIG

CONTIENE:
TOPOGRAFIA DEL SECTOR DE RIEGO
GUANABANA

ELABORO:
INGENIERO EN SISTEMAS DE RIEGO
EDUARDO WAIN LOPEZ RODRIGUEZ

REVISO:
INGENIERO EN SISTEMAS DE RIEGO
PA. AMARACIO TORRENTINO
TRUJILLO

CONVENCIONES:

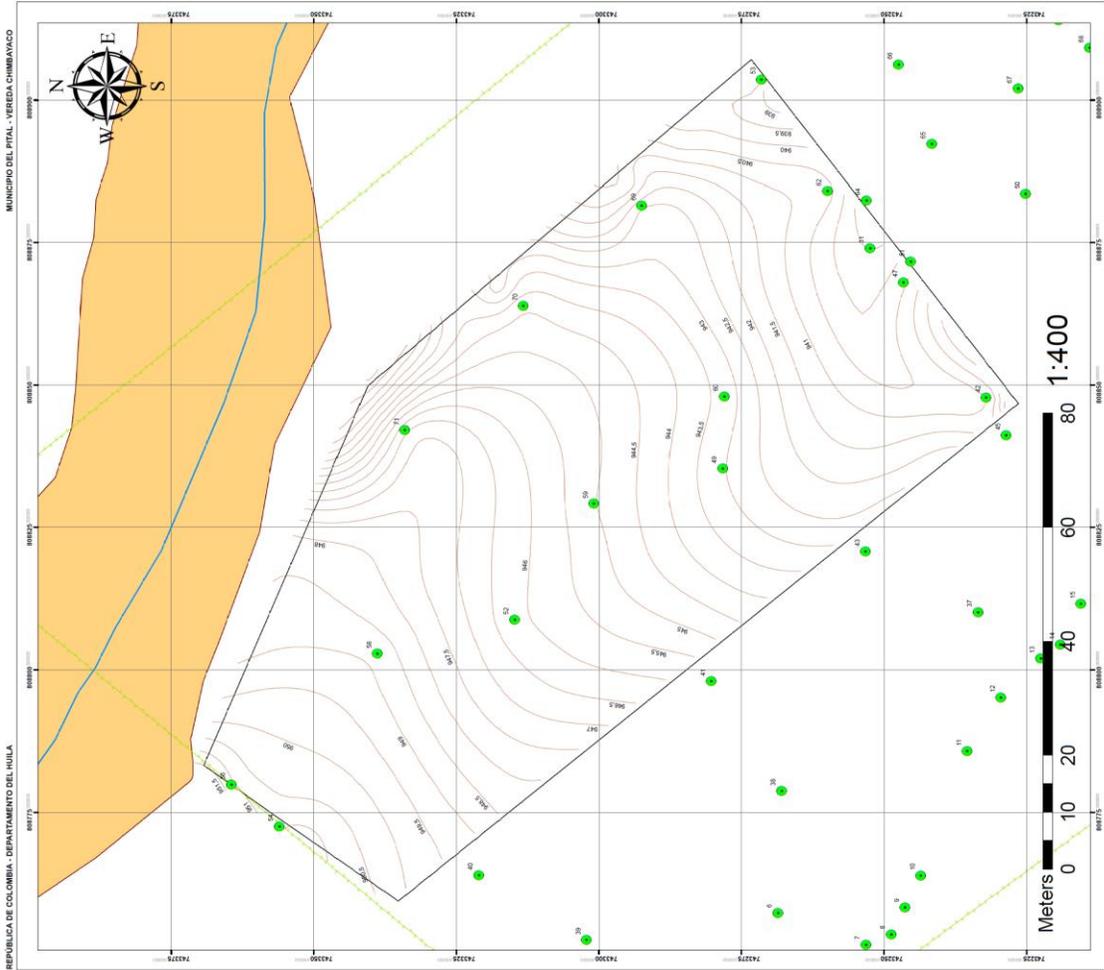
- Puntos Topograficos
- Finca Villa Lucy
- Curvas Topograficas
- Hidrografia Linea
- Playa Arena
- Sector Guanabana

SISTEMA DE REFERENCIA:
Coordenado System: MDCM Colombia Bogota
Projection: Transversa Mercator
False Easting: 1000000.0000
False Northing: 1000000.0000
Scale Factor: 1.0000
Datum: WGS 1984
Units: Meter

OBSERVACIONES:

PLANO: 017 03
ARCHIVO:
TESIS TESIS AGRARIA A
FECHA: 27 de ENERO de 2016

PUNTOS TOPOGRAFICOS		
ID	Elevation	COORDENADAS X Y
40	986.09	743321.0724
41	982.51	808798.0490
42	977.60	808847.8102
43	980.04	808820.8004
45	978.48	808841.2097
49	979.75	808835.3568
50	975.51	808883.5663
51	977.10	808871.6846
52	982.95	808808.8145
53	976.65	808903.6208
54	987.69	808772.5181
56	987.69	808779.9134
57	974.78	808923.4409
58	985.60	808802.9078
59	981.82	808829.1944
60	979.98	808848.0179
64	974.68	808882.3679
65	974.98	808892.3409
66	975.68	808906.2303
69	979.20	808881.4888
70	981.03	808863.9216
71	983.30	808842.1221



ANEXO C: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO

ENTREGA DE RESULTADOS							
	INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS						
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	3	VIGENCIA	2014	Página	1 de 2

DATOS DEL CLIENTE		
Solicitante: Iván Darío Méndez y Edward Iván López	Ciudad: Neiva	Dirección: Calle 21 No. 51 - 31
Teléfono: 3112465946 - 3212688635	email: edward_lopez15@hotmail.com , idamego_15@hotmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
Finca: Villa Lucy	Matriz: Suelo	N° Muestra: 056- 15
Vereda: Chimbayaco	ID cliente:	
Municipio: El Pital	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 22 - 05 - 2015	
Cultivo: Guanábana	Fecha análisis: 27 - 05 - 2015	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 02- 06 - 2015	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°:	

PARAMETROS FISICOS		UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO
Coeficientes de humedad del suelo	Capacidad de campo (0.03 Mpa)	% gravimetría	25,96	Membranas Richards
	Punto de marchitez permanente (1.5 MPa)		15,07	
Fracción mineral	Arena (A)	%	66,0	Bouyoucos
	Limo (L)		16,7	
	Arcilla (Ar)		17,3	
Textura	Franco Arenosa			
Granulometría		g		Juego de tamices
Densidad aparente		g.cm ⁻³	1,48	Terrón parafinado
Densidad real		g.cm ⁻³	-	Picnómetro
Porosidad total		%	-	Relación de densidades
Estabilidad estructural			-	Yoder
Límites de Atterberg (Líquido y plástico)			-	Cazuela de Casagrande
Coef			-	Estándar
Permeabilidad		cm ³ .s ⁻¹	-	Carga constante
Conductividad hidráulica saturada		m.día ⁻¹	-	Pozo barrenado
Infiltración		cm.h ⁻¹	-	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 es suministra por quien radica la muestra en el Laboratorio.


ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

....CONTINUACIÓN ANEXO C

ENTREGA DE RESULTADOS						
	INFORME DE ENSAYOS ANÁLISIS DE SUELOS					
CÓDIGO	ER-FR-01	VERSIÓN	5	VIGENCIA	2014	Página 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE		
Solicitante: Iván Darío Méndez Goyes	Ciudad: Pital	Dirección: Cra 1 # 27-24
Teléfono: 3212688635	email: idamego_15@hotmail.com	
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA		
Finca: Villa Lucy	Matriz: Suelo	N° Muestra: 056-15
Vereda: Chimbayaco	ID cliente: 1	
Municipio: Pital	Fecha muestreo: No reporta	
Departamento: Huila	Fecha recepción: 2015/03/16	
Cultivo: Guanábana	Fecha análisis: 2015/07/02	
N° Cadena de custodia: No aplica	Fecha entrega: 2015/07/13	
N° Plan de muestreo: No aplica	Informe de resultados N°:128 -15	

PARAMETROS QUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO	NUTRIMIENTO PUROS	REQUERIMIENTO kg.ha ⁻¹	MÉTODO
pH	-	6.0	-	-	NTC 5264
Carbono Orgánico (CO)	%	2.0	N	150	NTC5403 método B
C.I.C.	cmol ⁺ .kg ⁻¹	14.82	-	-	NTC 5268
Fósforo (P)	ppm	40.97	P ₂ O ₅	110	NTC 5350
Calcio (Ca)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	9.91	Ca	40	NTC 5349
Magnesio (Mg)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	1.64	Mg	25	
Sodio (Na)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	0.69	-	-	
Potasio (K)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	0.71	K ₂ O	140	
Bases Totales (BT)	cmol ⁺ .kg ⁻¹	12.95	-	-	
Saturación de bases (SB)	%	87.38	-	-	Suma cationes
Azufre (S)	ppm	14.64	S	10	Relación catiónica
Hierro (Fe)	ppm	78.94	-	-	NTC 5402
Manganeso (Mn)	ppm	44.69	-	-	NTC 5526 método DTPA
Cobre (Cu)	ppm	1.10	Cu	4	
Cinc (Zn)	ppm	4.83	Zn	4	
Boro (B)	ppm	0.26	B	2	H ₂ O Caliente
Acidez intercambiable	cmol ⁺ .kg ⁻¹	-	-	-	NTC 5263
Relación Ca/Mg	-	6.04	-	-	Relación catiónica
Relación (Ca + Mg)/K	-	16.26	-	-	
Relación Mg/K	-	2.30	-	-	
TEXTURA	Clase	FA	Franco Arenoso		Organoléptico

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

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

NOTA 3: Los datos del cliente y la información son suministrados por quien radica la muestra en el Laboratorio.


ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
 Coordinador Laboratorio

FIN DEL INFORME

....CONTINUACIÓN ANEXO C

Ubicación geográfica de submuestras recolectadas

Submuestras	Este	Norte	Submuestras	Este	Norte
Sub_1	808809,23	743355,81	Sub_2	808802,51	743260,95
Sub_2	808829,77	743341,55	Sub_3	808822,17	743245,51
Sub_3	808838,75	743319,62	Sub_4	808810,97	743267,85
Sub_4	808821,48	743337,65	Sub_5	808831,07	743252,99
Sub_5	808800,31	743349,88	Sub_6	808818,52	743274,61
Sub_6	808815,53	743331,03	Sub_7	808839,73	743262,09
Sub_7	808829,09	743313,17	Sub_8	808827,50	743283,92
Sub_8	808808,58	743325,74	Sub_9	808847,75	743269,43
Sub_9	808790,72	743339,96	Sub_10	808836,81	743291,20
Sub_10	808799,98	743320,12	Sub_11	808857,80	743278,48
Sub_11	808811,56	743302,59	Sub_12	808846,60	743300,19
Sub_12	808795,02	743315,16	Sub_13	808867,36	743286,29
Sub_13	808778,49	743328,39	Sub_14	808857,61	743308,57
Sub_14	808787,81	743308,97	Sub_15	808878,31	743293,69
Sub_15	808799,65	743293,99	Calicata	808867,97	743316,62

FUENTE: Méndez y López 2015

Clasificación del Espacio Poroso

Descripción	%	Descripción	%
Muy Reducido	< 25		
Reducido	25 – 35	Medianamente Amplio	51 – 55
Medianamente Reducido	36 – 45	Amplio	56 – 50
Medio	46 - 50	Muy Amplio	> 60

FUENTE: FUNPROVER, 1999

Agua Aprovechable por las plantas. La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, determinada por la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, es conocida como “agua disponible”. Se expresa como el porcentaje de peso del suelo seco. Se considera que a capacidad de campo el agua es 100% disponible y a punto de marchitez es 0%. El valor puede oscilar entre 3 a 5% para suelos arenosos, hasta 15% o más para suelos arcillosos. (Valverde, 2007). La fórmula para calcular el agua disponible es:

$$\%H = CC - PMP$$

Dónde:

%H = Porcentaje de Humedad Disponible

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (%)

De acuerdo a los valores de CC y PMP de las muestras tomadas en la Finca Villa Lucy, se procede a calcular la franja de agua a disponible por las plantas para este tipo de suelo.

$$\%H = 26.96 - 15.07$$

$$\%H = 10.89 \% \text{ (Dentro del rango normal para textura Franco arenosa)}$$

ANEXO D: PRUEBAS HIDRODINAMICAS

CALCULOS DE CONDUCTIVIDAD

El valor de la permeabilidad viene dado por la fórmula siguiente:

$$K = 432 r \frac{\ln\left(h_1 + \frac{r}{2}\right) - \ln\left(h_n + \frac{r}{2}\right)}{t_n - t_1}$$

En la cual: h y r se miden en cm, t se mide en segundos y K en m/día

Resultados Trabajo de Campo AUGER HOLE Prueba 1.

PRUEBA 1		
UBICACIÓN GEOGRAFICA: 75°47'44.315" W – 2°16'25.224" N		
TIEMPO (min)	LÁMINA (cm)	L acum (cm)
0	15	0.0
1	18	3
2	20	5
3	21	6
4	22	7
5	22.5	7.5
6	23.5	8.5
7	24	9
8	24.5	9.5
9	24.7	9.7
10	25	10

FUENTE: Méndez y López 2015

Resultados Trabajo de Campo AUGER HOLE Prueba 2.

PRUEBA 2		
UBICACIÓN GEOGRAFICA: 75°47'45.271" W – 2°16'24.916" N		
TIEMPO (min)	LÁMINA (cm)	L acum (cm)
0	15	0.0
1	19	4
2	20	5
3	22	7
4	22.2	7.2
5	23	8
6	23.5	8.5
7	24.3	9.3
8	24.8	9.8
9	25.5	10.5
10	26	11

FUENTE: Méndez y López 2015

....CONTINUACIÓN ANEXO D

Resultados Trabajo de Campo AUGER HOLE Prueba 3.

PRUEBA 3		
UBICACIÓN GEOGRAFICA: 75°47'44.315" W – 2°16'25.224" N		
TIEMPO (min)	LÁMINA (cm)	L acum. (cm)
0	17	0.0
1	21	4
2	22	5
3	23	6
4	24	7
5	24.9	7.9
6	25.1	8.1
7	25.5	8.5
8	26.2	9.2
9	26.5	9.5
10	26.7	9.7

FUENTE: Méndez y López 2015

- **Cálculo de la Conductividad Hidráulica.**

Prueba 1

Radio (r): **5 cm**

Profundidad del Pozo: **30 cm**

Altura del soporte: **11 cm**

$t_n =$ **600 segundos**

$t_1 =$ **0 segundos**

$h_1:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_0 = (30+11) - 15 =$ **26 cm**

$h_n:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_n = (30+11) - 25 =$ **16 cm**

$$K_1 = 432 (5cm) * \frac{\ln(26 cm + \frac{5 cm}{2}) - \ln(16 cm + \frac{5 cm}{2})}{1200 seg - 0 seg}$$

$$K_1 = 1.55 \text{ m/ día}$$

Prueba 2

Radio (r): **5 cm**

Profundidad del Pozo: **30 cm**

Altura del soporte: **11 cm**

$t_n =$ **600 segundos**

$t_1 =$ **0 segundos**

$h_1:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_0 = (30+11) - 15 =$ **26 cm**

$h_n:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_n = (30+11) - 26 =$ **15 cm**

....CONTINUACIÓN ANEXO D

$$K1 = 432 (5\text{ cm}) * \frac{\ln(26\text{ cm} + \frac{5\text{ cm}}{2}) - \ln(15\text{ cm} + \frac{5\text{ cm}}{2})}{1200\text{ seg} - 0\text{ seg}}$$

$$K1 = 1.75\text{ m/ día}$$

Prueba 3

Radio (r): **5 cm**

Profundidad del Pozo: **30 cm**

Altura del soporte: **11 cm**

$t_n =$ **600 segundos**

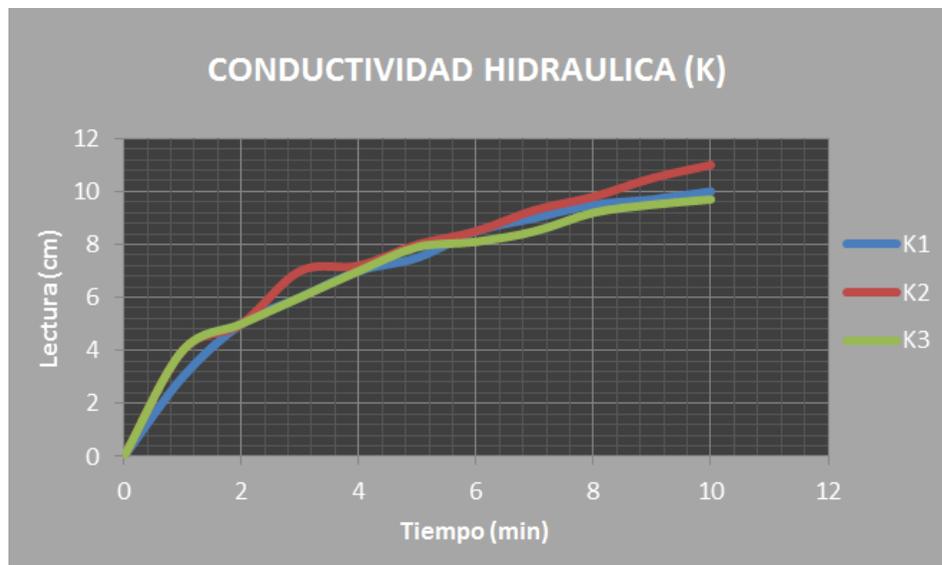
$t_1 =$ **0 segundos**

$h_1:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_0 = (30+11) - 17 =$ **24 cm**

$h_n:$ (Profundidad del pozo + altura soporte) – lámina $t_n = (30+11) - 26.7 =$ **14.3 cm**

$$K1 = 432 (5\text{ cm}) * \frac{\ln(24\text{ cm} + \frac{5\text{ cm}}{2}) - \ln(14.3\text{ cm} + \frac{5\text{ cm}}{2})}{1200\text{ seg} - 0\text{ seg}}$$

$$K1 = 1.64\text{ m/ día}$$



FUENTE: Méndez y López 2015

....CONTINUACIÓN ANEXO D

CALCULOS DE INFILTRACIÓN

$$L = bT^m$$

L = Infiltración Acumulada.

T = Tiempo que permanece el agua sobre el suelos.

b y m = Son constantes, las cuales tratan de interpretar dentro de los límites de uso de la ecuación todas las variables que afectan al proceso. El parámetro b nos da una idea del contenido de humedad al iniciarse el proceso, y el parámetro m nos da idea del ritmo de infiltración, generalmente su valor está entre 0 y 1.

Si la ecuación la derivamos con respecto al tiempo, obtendremos la expresión correspondiente a la Velocidad de Infiltración (I) o Infiltración Instantánea (Ii).

$$I = m * b * T^{m-1} \text{ (cm/ min o mm/min)}$$
$$I = 60m * b * T^{m-1} \text{ (Cm/hora o mm/hora)}$$

Para simplificar podemos:

$$B = 60m * b$$

$$n = m - 1$$

Teniendo

$$I = B * T^n \text{ (Cm o mm/hora)}$$

Cálculo del tiempo básico:

$$t_b = (-600 * n)$$

Clasificación de la Infiltración.

CLASIFICACIÓN	I (cm/h)
Infiltración lenta	< 0.5
Infiltración moderadamente lenta	0.5 – 2.0
Infiltración Moderada	2.1 – 6.0
Infiltración moderadamente rápida	6.1 – 13.0
Infiltración rápida	13.1 – 25.0
Infiltración muy rápida	>25.0

FUENTE: USDA. Servicio de Conservación de Suelos.

....CONTINUACIÓN ANEXO D

Lecturas Tomadas de la Prueba, Método de Anillos Infiltrómetros.

Hora Reloj (hr)	Tiempo (min)	Lectura (cm)	Lectura (Ajustada) (cm)	Lamina Infiltrada (cm)	Infiltración acumulada (cm)
16:14	0	4		0	0
16:15	1	5,5		1,5	1,5
16:16	2	6,5		1	2,5
16:17	3	7,9		1,4	3,9
16:18	4	8,8		0,9	4,8
16:19	5	9,6	2,5	0,8	5,6
16:24	10	4		1,5	7,1
16:29	15	8,5	2	4,5	11,6
16:44	30	11,6	2	9,6	21,2
16:59	45	10	2	8	29,2
17:14	60	9,9	2	7,9	37,1
17:44	90	11	2	9	46,1
18:14	120	12		10	56,1

FUENTE: Méndez y López, 2015



FUENTE: Méndez y López 2015

....CONTINUACIÓN ANEXO D

- **Cálculo de la Infiltración Básica Método de KOSTIAKOV**

Del Gráfico 2 se tiene que la ecuación de la infiltración acumulada para la zona de estudio es:

$$L = 1.5465 * T^{0.7586}$$

Al derivar la ecuación de la infiltración acumulada se tiene la expresión correspondiente a la velocidad de infiltración (I):

$$I = 60 * 1.5465 * 0.7586 * T^{0.7586-1}$$

$$I = 70.3904 * T^{-0.2414}$$

Se calcula el tiempo básico:

$$t_b = (-600 * (-0.2414))$$

$$t_b = 144.84$$

Se reemplaza el tiempo básico en la ecuación de infiltración básica obteniendo lo siguiente:

$$I = 70.3904 * 144.84^{-0.2414}$$

$$I = 21.18 \frac{cm}{hora}$$

ANEXO E: CLIMATOLOGIA

Estimación de datos faltantes de precipitación por el método de Regresión Lineal

Mediante una ecuación lineal de dos variables, del tipo:

$$y = \alpha + (\beta * x)$$

Donde;

y = Valor estimado de la precipitación para la estación carente (mm).

x = Valor de precipitación registrado en la estación patrón (mm).

α, β = constantes de regresión.

$$\beta = \frac{(\sum X_i * Y_i) - (N * \bar{X} * \bar{Y})}{\sum X_i^2 - (N * \bar{X}^2)}$$

N = Numero de datos en la serie histórica

\bar{Y} = Promedio de datos estación carente

\bar{X} = Promedio de datos estación patrón

$$\alpha = \bar{Y} - (\beta * \bar{X})$$

Este método, a pesar de ser de muy fácil aplicación, no puede ser aplicado indiscriminadamente, dado que es necesario saber si la calidad del ajuste es buena o mala. Una mala calidad del ajuste, puede llevar a la generación de información sin consistencia, lo cual en lugar de mejorar la situación, la empeora por la agregación estadística de datos no representativos de la realidad que se pretende (UNESCO-ROSTLAC, 1982).

Muestra de cálculo para meses de 2013:

Estación Patron = LA BETULIA

Estación Carente = TRES ESQUINAS

$$\beta = \frac{((212174)-(19*88,2*87,3))}{228556,38-(19*7779,24)} = 0,81656632 \quad \alpha = 87,3 - (0,81656632 * 88,2)$$

....CONTINUACIÓN ANEXO E

DIAGRAMA DE DOBLE MASA

El diagrama de doble masa es útil para determinar la homogeneidad de un parámetro climático. En este sentido X_i es un registro cronológico para una variable meteorológica dada, observada durante cierto periodo de tiempo en una estación de referencia, y que se considera homogéneo; por otra parte Y_i es un registro de la misma variable durante el mismo periodo de tiempo, obtenido en otra estación y para el que la homogeneidad necesita ser analizada.

Comenzando con el primer par de valores observados X_i y Y_i , los registros acumulados son creados por medio de la suma progresiva de los valores de X_i y Y_i para verificar si las tendencias de variación de X_i y Y_i son iguales a largo plazo.

Si hay homogeneidad en los datos de la estación de estudio, la gráfica resultara en una línea recta; en el caso contrario se tendrá una serie de líneas con dos o más pendientes, o en materia de inconsistencia total, se tendrá una nube de puntos (Galindo, 2012).

METODO DE THORNTHWAITTE

Este método desarrollado en 1944, también se definió en función de las temperaturas medias mensuales. Es un método simple que se adapta a diversas condiciones de latitud, sin embargo, se definió considerando días con 12 horas de luz y meses de 30 días. Está dado por la siguiente expresión (Monsalve, 1995):

$$E_{to} = 1.6 * c \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a$$

Donde E_{To} , es la evapotranspiración potencial [cm/mes]; a e I , son índices que se calculan de acuerdo a la zona; c , es un factor de corrección de acuerdo a la latitud (ver Tabla 31).

I se define como el índice de calor y está dado por la sumatoria de las temperaturas medias mensuales tal como sigue:

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514}$$

El superíndice a , de la ecuación general, se define como una ecuación cúbica de la forma:

$$a = 0.675x10^{-6} * I^3 - 0.771x10^{-4} * I^2 + 1.792x10^{-2} * I + 0.49$$

....CONTINUACIÓN ANEXO E

Como en la práctica los días no tienen 12 horas de luz y todos los meses no tienen 30 días de duración, la ecuación general se afecta por el siguiente índice:

$$K = \frac{N}{12} * \frac{D}{30}$$

Donde N, es el número real de horas de luz diarias; D, es el número de días de cada mes.
Con lo anterior, la ecuación general queda:

$$Eto = 1.6 * c * K \left(\frac{10T_j}{I} \right)^a$$

ANEXO F: CALCULOS NECESIDADES HIDRICAS DEL CULTIVO

Lámina Neta

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * Pre * Na$$

Dónde:

CC: Capacidad de Campo (%).

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%).

Da: Densidad Aparente (gr/cm³)

PRE: Profundidad Radicular Efectiva. 75% de la profundidad radicular del cultivo (mm).

Na: Nivel de Agotamiento. 30%

$$Ln = \frac{25.96\% - 15.07\%}{100} * \frac{1.48 \frac{gr}{cm^3}}{1 \frac{gr}{cm^3}} * 600 \text{ mm} * 0.3$$

$$Ln = 29.02 \text{ mm}$$

Lámina Bruta

$$Lb = \frac{Ln}{Ea}$$

Dónde:

Ln: Lámina Neta (mm).

EA: Eficiencia de Aplicación del sistema de riego, para sistemas a presión es recomendable trabajar con valores entre 95% y 98 %. Se Adopta 98%.

$$Ln = \frac{29.02}{0.98}$$

$$Ln = 29.62 \text{ mm}$$

Frecuencia de Riego

$$Fr (\text{días}) = \frac{Ln}{Uc}$$

Dónde:

Ln: Lámina Neta (mm).

Uc: Uso consumo (mm / día).

$$Fr = \frac{29.02 \text{ mm}}{3.8 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 7.64 \text{ días} \approx 8 \text{ días}$$

Tiempo de Riego por unidad de Riego

$$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{Lb}{1000}}{Qur}$$

Dónde:

Lb: Lámina Bruta (mm).

r: Radio húmedo del emisor (m).

Qur: Caudal de la Unidad de Riego (m3/Hora).

$$TRur = \frac{\pi * 3^2 * \frac{29.62 \text{ mm}}{1000}}{0.03 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$TRur = 28 \text{ Horas}$$

2.5.1.1 Posiciones de Riego por Turno de Riego

$$PRtu = \frac{Qd}{Qur}$$

Dónde:

Qd: Caudal de Diseño (m3/hora).

$$PRtr = \frac{6.48 \text{ m}^3/\text{hora}}{0.03 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$\text{Posiciones} = 216$$

Debido al bajo caudal de recarga que presenta el Pozo de 1.8 m³ / hora, no es posible realizar el riego con los parámetros establecidos, por lo tanto se debe realizar un ajuste, y satisfacer el requerimiento hídrico, según las necesidades diarias del cultivo y aprovechar al máximo el recurso de agua disponible.

2.5.1.2 Lámina Neta Ajustada

$$Ln = Diasa * Uc$$

Dónde:

Diasa: Días a Ajustar el Riego. (Se adopta un riego cada 12 horas)

Uc: Uso Consumo.

$$Ln = 0.5 \text{ días} * 3.8 \frac{mm}{\text{día}}$$

$$Ln = 1.9 \text{ mm}$$

2.5.1.3 Lámina Bruta Ajustada

$$Lb = \frac{Ln}{Ea}$$

Dónde:

Ln: Lámina Neta (mm).

Ea: Eficiencia de Aplicación del sistema de riego, para sistemas a presión es recomendable trabajar con valores entre 95% y 98 %. Se Adopta 98%.

$$Ln = \frac{1.9 \text{ mm}}{0.98}$$

$$Ln = 1.94 \text{ mm}$$

$$\text{Módulo de Riego} = 194 \text{ m}^3 / \text{ha}$$

2.5.1.4 Tiempo de Riego por unidad de Riego

$$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{lb}{1000}}{Qur}$$

$$TRur = \frac{\pi * 3^2 * \frac{1.94 \text{ mm}}{1000}}{0.03 \text{ m}^3/\text{hora}}$$

$$Ln = 1.82 \text{ horas} \approx 2 \text{ horas}$$

ANEXO G: EQUIPO DE BOMBEO

Fabricante:	BARNES
Modelo:	C 220
Referencia:	1E0506
Tipo de Bomba:	Centrífuga
Alimentación:	Eléctrica
Diámetro Succión NPT (Pulg.):	1 ½
Diámetro Descarga NPT (Pulg.):	1 ½
Diámetro Impulsor (Pulg.):	5,7
Peso (Kg):	28
H máx (mca):	42
Q máx (GPM):	95
Potencia (hp):	2
Fases:	1
Velocidad (rpm):	3600
Voltaje (V):	110 / 220

Características de la tubería de extracción de agua.

Diámetro Tubería (Pulg.):	1 ½
Referencia:	SUCMOT150X6
Longitud (metros):	3
Material:	PVC
Presión (PSI):	70

Selección y especificaciones generales del emisor de riego.

Fabricante:	NETAFIM
Referencia:	SUPERNET LR 030
Altura Emisor (m):	0,6
Color Boquilla:	Cafè
Tamaño Boquilla (mm):	1,14
Presion (Bar):	1,5
Constante K:	30
Exponente X:	0
Diámetro Húmedo (M):	6
Color Rotor:	naranja
Caudal (l/h):	30
Coeficiente Descarga C:	0,002130458

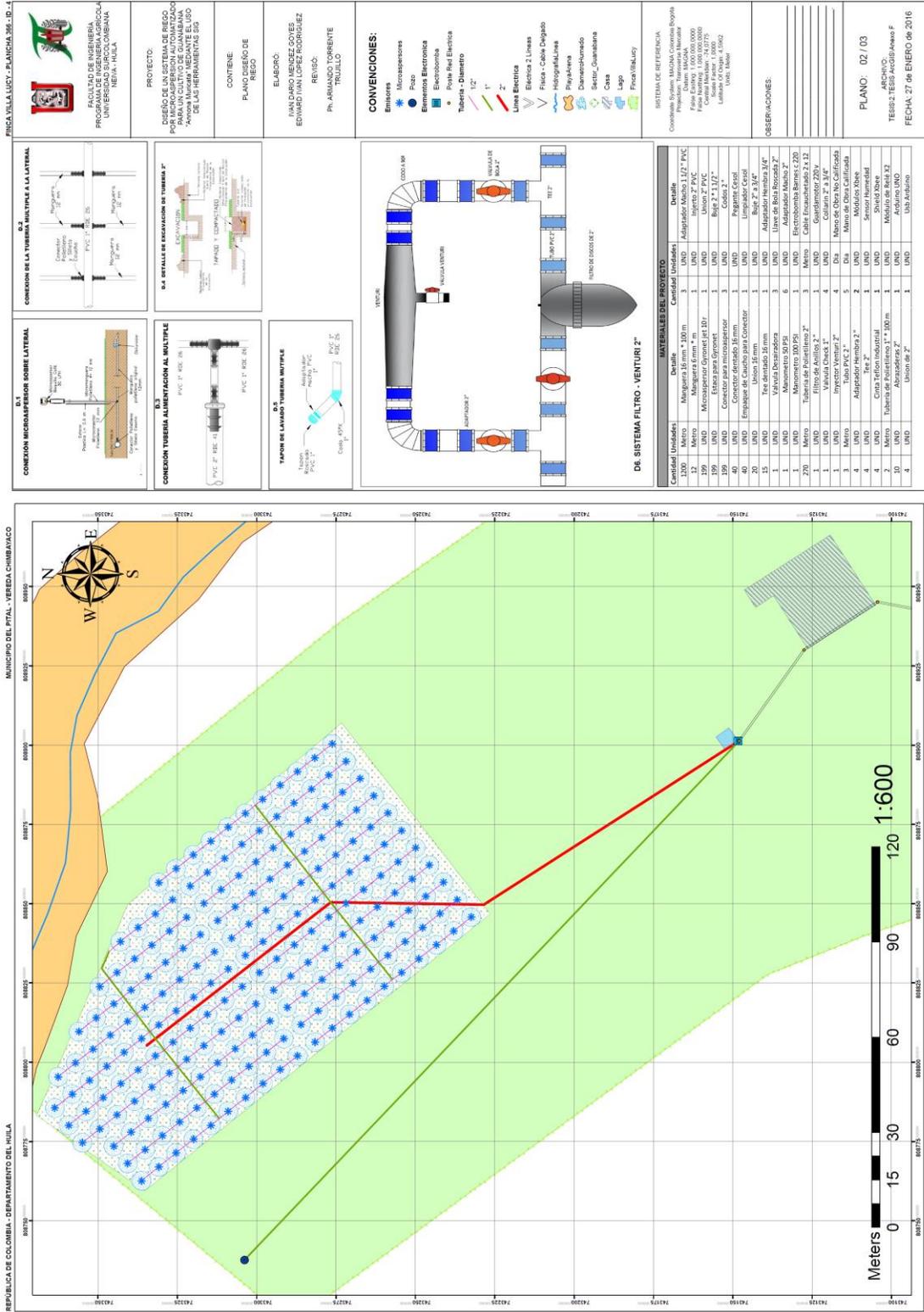
ANEXO H: PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
Red de Distribución				
Cantidad	Unidad	Detalle	Valor Unitario	Valor Total
1292	ml	Manguera 16 mm	\$ 380,00	\$ 490.960,00
12	ml	Manguera 12 mm	\$ 250,00	\$ 3.000,00
41	ml	Tubería de 2 " RDE 26	\$ 17.000,00	\$ 697.000,00
24	ml	Tubería de 1 " RDE 26	\$ 635,00	\$ 15.240,00
Subtotal				\$ 1.206.200,00
Unidades de Riego				
199	UND	Microaspersores (Café)	\$ 2.200,00	\$ 437.800,00
40	UND	Conectores de 12 mm	\$ 500,00	\$ 20.000,00
40	UND	Silletas de 12 mm	\$ 400,00	\$ 16.000,00
20	UND	Uniones de 12 mm	\$ 400,00	\$ 8.000,00
Subtotal				\$ 481.800,00
Accesorios				
15	UND	Tee Polietileno de 12 mm	\$ 400,00	\$ 6.000,00
3	UND	Tee PVC de 2 "	\$ 7.850,00	\$ 23.550,00
1	UND	Semicodo PVC de 2"	\$ 6.750,00	\$ 6.750,00
3	Metro	Tubo PVC 2"	\$ 10.000,00	\$ 30.000,00
3	UND	Tee PVC de 1 "	\$ 5.500,00	\$ 16.500,00
5	UND	Semicodo PVC de 1 "	\$ 1.670,00	\$ 8.350,00
1	UND	Codo PVC de 2"	\$ 6.150,00	\$ 6.150,00
2	UND	Codo PVC de 1 "	\$ 1.050,00	\$ 2.100,00
3	UND	Reducción de 2 " a 1 "	\$ 2.900,00	\$ 8.700,00
3	UND	Macho PVC de 1 "	\$ 1.200,00	\$ 3.600,00
4	UND	Tapón Roscado de 1 "	\$ 300,00	\$ 1.200,00
4	UND	Adaptador Hembra PVC de 2"	\$ 3.500,00	\$ 14.000,00
4	UND	Adaptador Macho PVC 1"	\$ 3.050,00	\$ 12.200,00
3	UND	Uniones Universales de PVC de 1 "	\$ 4.950,00	\$ 14.850,00
4	UND	Codos de PVC de 1"	\$ 1.200,00	\$ 4.800,00
2	UND	Bujes (Reducción) PVC de 1/2 a 1/4	\$ 800,00	\$ 1.600,00
2	UND	Adaptadores Hembras de PVC de 1"	\$ 1.350,00	\$ 2.700,00
0,25	Galón	Galón de Pegante	\$ 223.200,00	\$ 55.800,00
0,25	Galón	Soldadura Limpiadora	\$ 100.000,00	\$ 25.000,00
1	UND	Collarín de 3 " a 3/4 "	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
1	UND	Collarín de 3 " a 1 "	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
1	UND	Válvula Bola de 1"	\$ 38.000,00	\$ 38.000,00
2	UND	Uniones Universales de 2 " PVC	\$ 19.775,00	\$ 39.550,00
2	UND	Adaptador Hembra PVC de 2"	\$ 2.400,00	\$ 4.800,00

1	UND	Válvula Desairadora 3/4 "	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
1	UND	Collarín de PVC de 2 " 1/2 "	\$ 5.400,00	\$ 5.400,00
2	UND	Cinta Teflón Industrial	\$ 3.000,00	\$ 6.000,00
1	UND	Collarín PVC de 2" a 1"	\$ 5.400,00	\$ 5.400,00
Subtotal				\$ 400.000,00
Fertiriego				
1	UND	Venturi de 1" (Fertirriego)	\$ 195.000,00	\$ 195.000,00
Subtotal				\$ 195.000,00
Elementos de Medicion				
1	UND	Manómetro glicerina de 0 a 50 PSI	\$ 32.000,00	\$ 32.000,00
1	UND	Manómetro glicerina de 0 a 100 PSI	\$ 32.000,00	\$ 32.000,00
Subtotal				\$ 64.000,00
Filtro				
1	UND	Filtro Malla de 2"	\$ 130.000	\$ 130.000
Subtotal				\$ 130.000,00
Unidad de Bombeo				
1	UND	Guarda Motor 220 v	\$ 87.000,00	\$ 87.000,00
3	Metro	Cable Encauchetado 2 x 12	\$ 4.000,00	\$ 12.000,00
10	Metro	Cable calibre 16	\$ 700,00	\$ 7.000,00
4	UND	Aislador Carreto Baja Tension	\$ 3.000,00	\$ 12.000,00
6	Metro	Cable Duplex 2 x 12	\$ 2.600,00	\$ 15.600,00
40	Metro	Alambre 8 Cent Azul	\$ 2.400,00	\$ 96.000,00
1	UND	Caja ICAFEL 4 Circuitos	\$ 21.000,00	\$ 21.000,00
2	UND	Auto TANIA 40 Amp	\$ 6.500,00	\$ 13.000,00
1	UND	Caja de Tacos 1400	\$ 13.000,00	\$ 13.000,00
1	UND	Electrobomba Barnes	\$ 630.000,00	\$ 630.000,00
Subtotal				\$ 906.600,00
Elementos de Automatización				
2	UND	Módulos Xbee	\$ 80.000,00	\$ 160.000,00
1	UND	Sensor Humedad	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
1	UND	Shield Xbee	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
1	UND	Módulo de Relé X2	\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
1	UND	Arduino UNO	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
1	UND	Usb Arduino	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Subtotal				\$ 250.000,00
Mano de Obra				
3	Día	Mano de Obra No Calificada	\$ 30.000,00	\$ 90.000,00
2	Día	Mano de Obra Calificada	\$ 50.000,00	\$ 100.000,00
Subtotal				\$ 190.000,00
Transporte				

-	-	Transporte desde Garzón hasta el Pital	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
			Subtotal	\$ 30.000,00
			Subtotal	\$ 3.453.600,00
			IVA Total	\$ 552.576,00
			Total	\$ 4.006.176,00

ANEXO I: PLANO DE DISEÑO DE RIEGO



CONVENCIONES:

- Emisores:
 - Microalpesores
 - Paso
 - Estacas
 - Electrobomba
 - Paso Red Electrica
 - Tuberia - Diametro
- Linea Electrica:
 - 1"
 - 2"
- Linea Electrica:
 - Electrica 2 Lineas
 - Fibra - Cable Degrado
 - Hidrografaluna
 - Plyakarna
 - Diametro-Humedo
 - Secor - Diamabana
 - Case
 - Lago
 - Fines Villaluz

SISTEMA DE REFERENCIA

Comunidad System MAQUA Comunal Boyota
 Datum: MAQUA 2000
 Datum: MAQUA 2000
 Fuso horario: 10010010000
 Sistema de coordenadas: UTM
 Sistema de proyeccion: UTM
 Datum: Maquá
 UTM, NAD83

OSERVACIONES:

PLANO: 02 / 03
 ARBOLEDO:
 TERSO TERB ACOSIA-AVISO F
 FECHA: 27 DE ENERO DE 2016

PROYECTO:
 DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICRODISTRIBUCION AUTOMATIZADO "Amorosa Micaela" MEDIANTE EL USO DE LAS HERRAMIENTAS SIG

CONTIENE:
 PLANO DISEÑO DE RIEGO

ELABORÓ:
 IVAN CAJALAN Y JUAN LOPEZ RODRIGUEZ

REVISÓ:
 PH. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

TESIS DE GRADO PARA OBTENCION AL TITULO DE INGENIERO AGRICOLA

PRESENTADO POR:

**IVAN DARIO MENDEZ GOYES
EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

PhD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO



Universidad Surcolombiana

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR MICROASPERSION
AUTOMATIZADO PARA EL CULTIVO DE GUANABANA «*Annona Muricata*»
MEDIANTE EL USO DE LAS HERAMIENTAS SIG**

PROGRAMA:

INGENIERIA AGRICOLA

VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y PROYECCION SOCIAL

GRUPO DE INVESTIGACION GHIDA

SEMILLERO DE INVESTIGACION «Interacción Suelo- Agua – Suelo – Atmosfera»



INTRODUCCION

Conceptos tecnológicos aplicados a procesos cotidianos como encender el televisor o el aire acondicionado mediante el accionar de un mando a distancia, ya es posible llevarlo a cabo en el campo Colombiano, gracias a la inclusión de la tecnología inalámbrica en el desarrollo de los sistemas de riego. Países como Perú, México, Ecuador, Brasil, Estados Unidos, Israel, entre otros. Han visto en el uso de esta herramienta, como un asistente de riego bastante útil, ya que no permite demoras ni contratiempos en un tema tan sensible como es el manejo del agua según los requerimientos hídricos de un cultivo. Este proyecto se enfoca en dos variables fundamentales del riego agrícola: Balance hídrico y Humedad en el suelo.

El propósito del presente proyecto es diseñar un sistema de riego por microaspersión automatizado para el cultivo de Guanábana (*Annona Muricata*) en el municipio de El Pital.



JUSTIFICACION



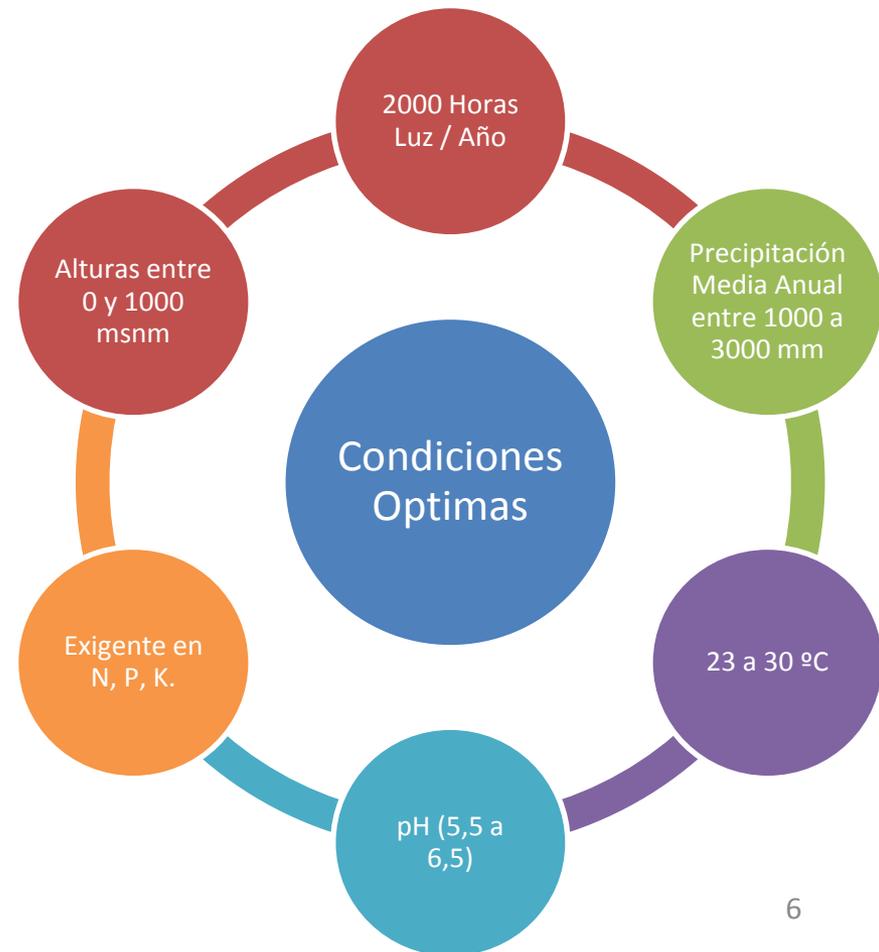


OBJETIVOS

- Realizar una caracterización físico – Química e hidrodinámica de los suelos de la finca Santa Helena.
- Diseñar los componentes del sistema de riego para un cultivo de Guanábana en la Finca Villa Lucy del Municipio de El Pital.
- Diseño del software “Asistente de riego” para la automatización del sistema de riego por microaspersión.
- Elaboración de presupuesto del sistema de riego para la finca Villa Lucy.



GUANABANA





MODALIDAD DE RIEGO



MICROASPERSION



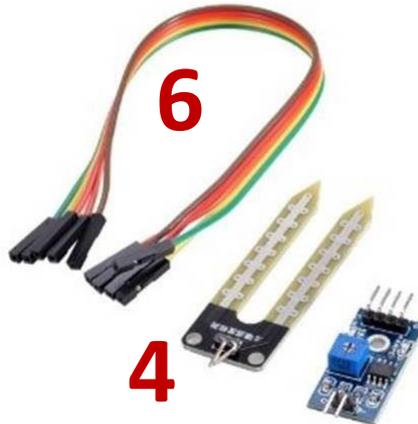
AUTOMATIZACION





AUTOMATIZACION

1. Placa Arduino UNO
2. SHIELD Xbee
3. Xbee
4. Sensor YI-69
5. Chip Conversor
6. Cables
7. Relay de 2 Módulos





ENTORNO SIG



Análisis de las Variables Espaciales y Técnicas.

Presiones, Diámetros, Caudal, y Elementos Representados.



Universidad Surcolombiana

DESARROLLO METODOLOGICO

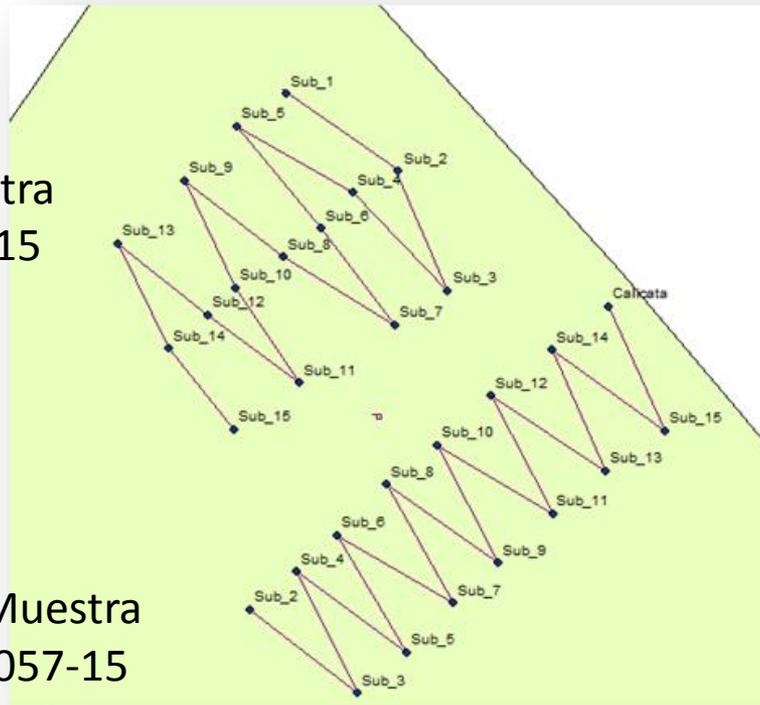


DESARROLLO METODOLOGICO

M
U
E
S
T
R
A
S

T
O
M
A
D
A
S

Muestra
056-15



Muestra
057-15

Metodologia del Laboratorio de Suelo CENIGAA.



DESARROLLO METODOLOGICO



M
U
E
S
T
R
A
S

T
O
M
A
D
E



DESARROLLO METODOLOGICO



E
N
C
A
M
P
O
P
R
U
E
B
A
S



DESARROLLO METODOLOGICO

	MUESTRA 056-15	MUESTRA 057-15	UNIDAD
UBICACIÓN	Sub 1 - Sub 15	sub 2 - Calicat	*
DENSIDAD APARENTE	1,48	1,48	gr/cm ³
TEXTURA	FA	FA	-
POROSIDAD	45,6	45,6	%
HUMEDAD GRAVIMETRICA	19,89	22,4	%
CONDUCTIVIDAD	1,55 - 1,75		m/día
INFILTRACION	21,18		cm/hora
CAPACIDAD DE CAMPO	26,96		%
PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	15,07		%
HUMEDAD DISPONIBLE	10,89		%



057-15

FUENTE: Méndez y López, 2015

056-15



R
E
S
U
L
T
A
D
O
S
R
I
D
O
E₁₅



DESARROLLO METODOLOGICO

Se dio cumplimiento a las recomendaciones agronómicas propuestas por el laboratorio de Suelos CENIGAA, basados en los resultados Químicos realizados a las muestras de suelo.

«Preparar mezcla homogenizada de gallinaza compostada (2 ton/ha) y Cal dolomita (500 kg/ha) e incorporar en el plato en dosis de 4 kg/árbol. Además de mejorar las características de retención de humedad y nutrientes se suplen deficiencias de calcio y magnesio en el suelo.

Fuentes y dosis de Fertilizantes. Nitrato de amonio: 6 bultos/ha, DAP: 4 bultos/ha, KCl: 4.5 bultos/ha, Sulfato de Cu, Zn y B: aplicar por vía foliar según especificaciones o en forma de quelatos al suelo.

Para el inicio del cultivo, se debe disponer de una buena provisión de N, P, K, esto ayuda a formar adecuadamente el follaje y las raíces de las plantas de guanábana.»



Universidad Surcolombiana

GENERALIDADES DEL PROYECTO

LOCALIZACION DEL ESTUDIO

La Finca Villa Lucy se encuentra localizada en la vereda Chimbayaco al nororiente del municipio de El Pital y occidente del departamento del Huila, a 1 km del casco urbano de este municipio (figura 1) cuya elevación es de 921 msnm y las coordenadas se muestran en la siguiente Tabla

Este (m)	Norte (m)
808886.26	742953.88
808818.98	743102.00
808703.28	743269.28
808796.17	743405.91
809061.04	743095.35

FUENTE: Méndez y López, 2015

Se utilizó el sistema de referencia MAGNA Colombia Bogotá.

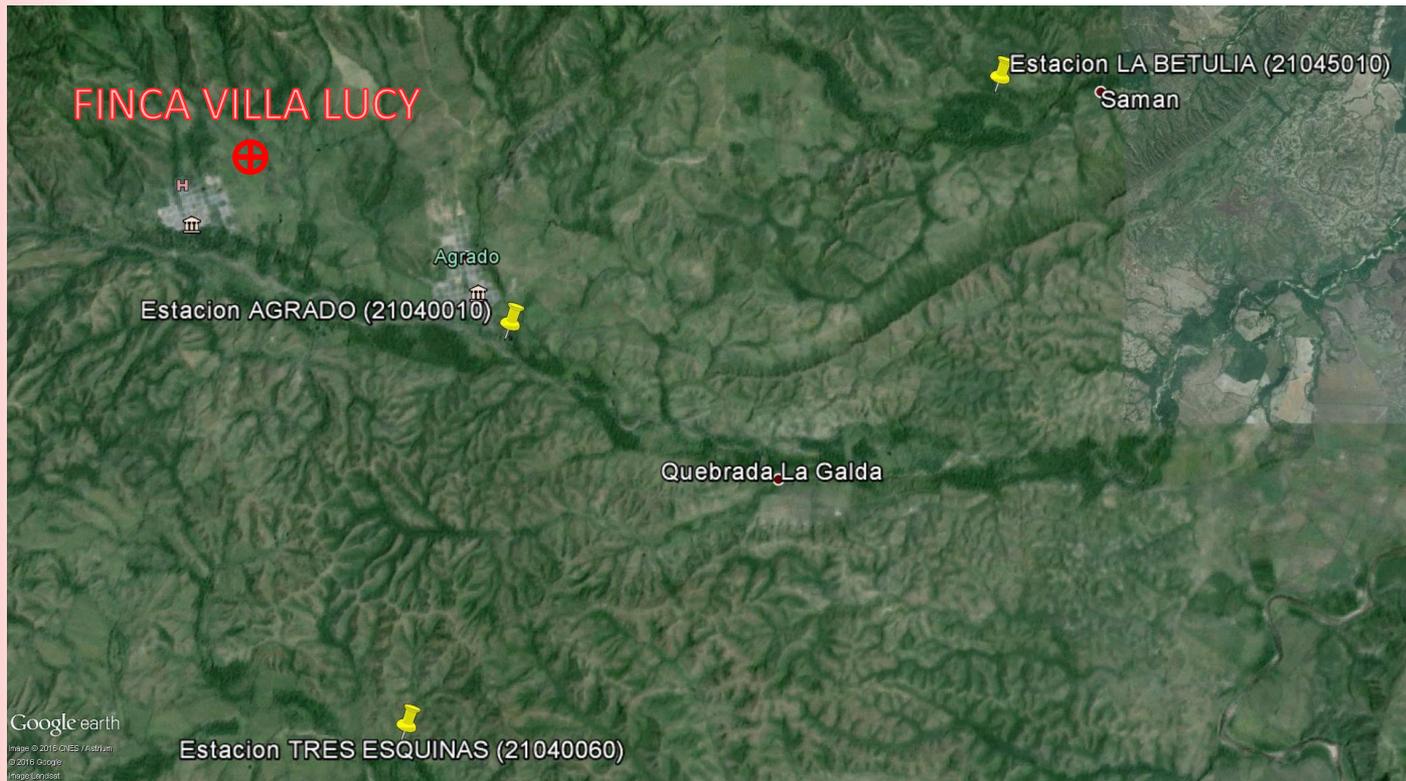


GENERALIDADES

- El área de diseño es de 1 Ha, para el cultivo de Guanábana.
- Dada la densidad de siembra recomendada de 7x7, hay un total de 204 árboles de Guanábana.
- El agua para riego, es tomada de un aljibe ubicado en la zona nororiental de la finca. Con una producción promedio de 1,8m³/hora.
- En la zona central de la Finca Villa Lucy, se construyó un lago de 54m³. Al cual llega el agua del pozo, sin necesidad de bombeo.
- El terreno posee una pendiente media de 7%. Y presenta cierto grado de ondulación.
- Dado que la finca cuenta con energía eléctrica, se decidió utilizar una electrobomba.
- Se dispondrán de 204 Unidades de riego autocompensados, con caudal de 30l/h y presión de funcionamiento entre 1 y 3 bares. Para cumplir con las necesidades de funcionamiento, se debe disponer de 6,12m³/h.

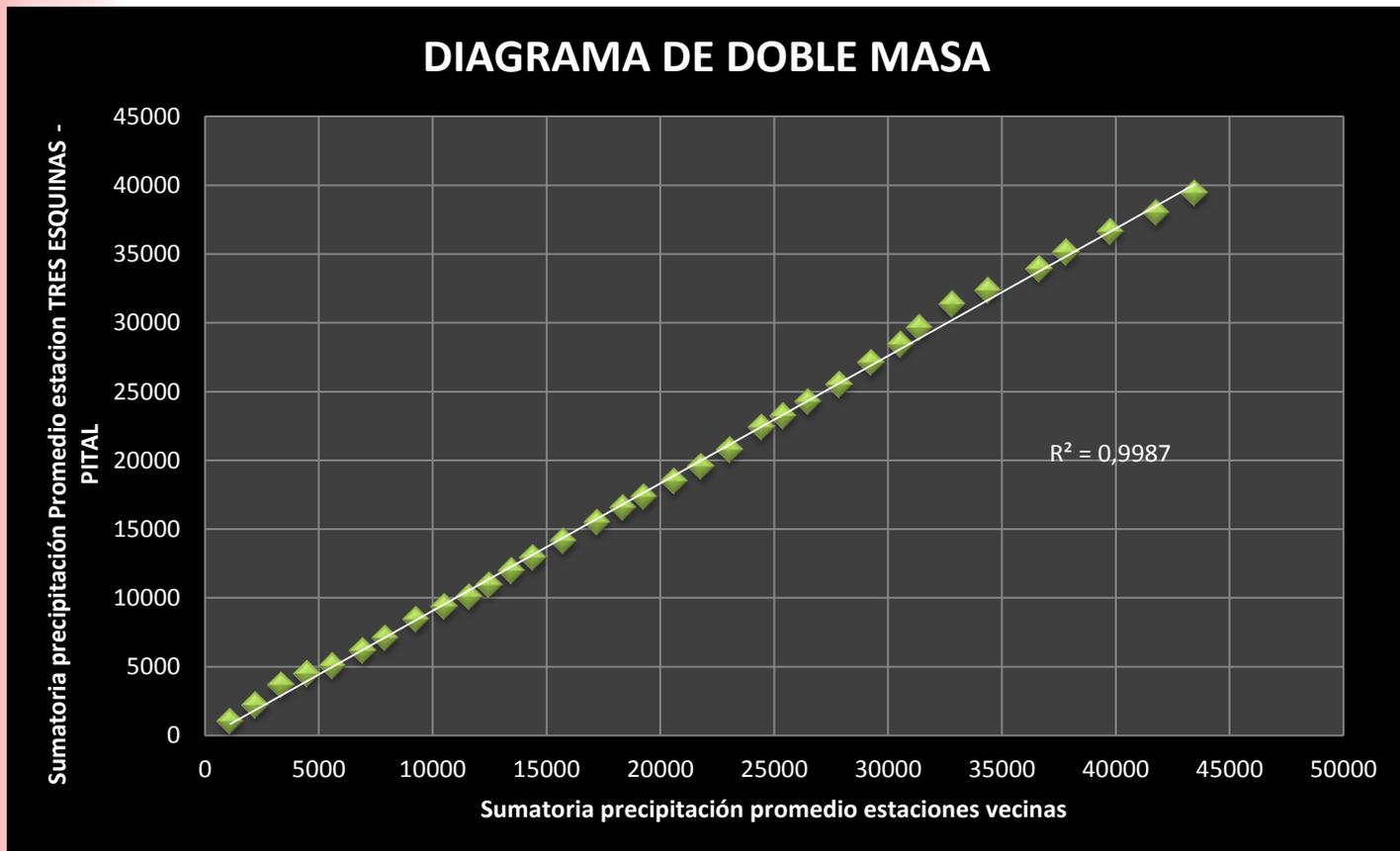


ANALISIS CLIMATOLOGICO



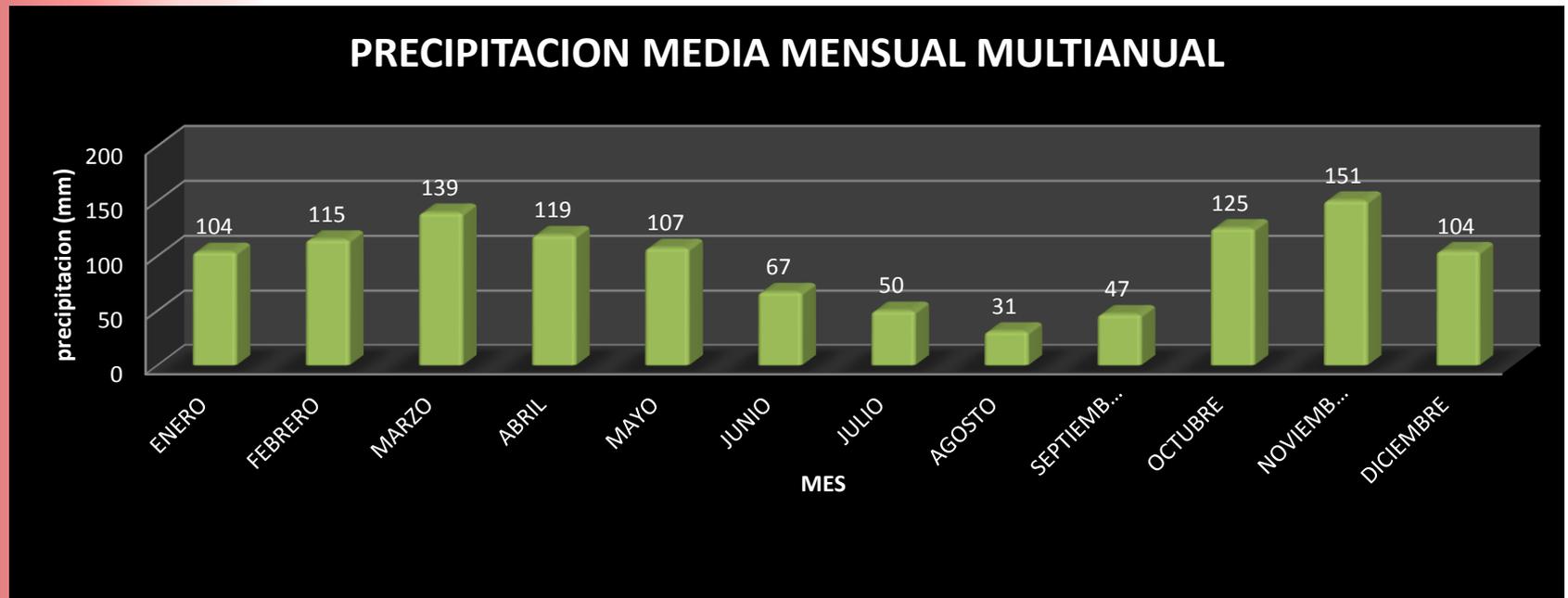


ANALISIS CLIMATOLOGICO



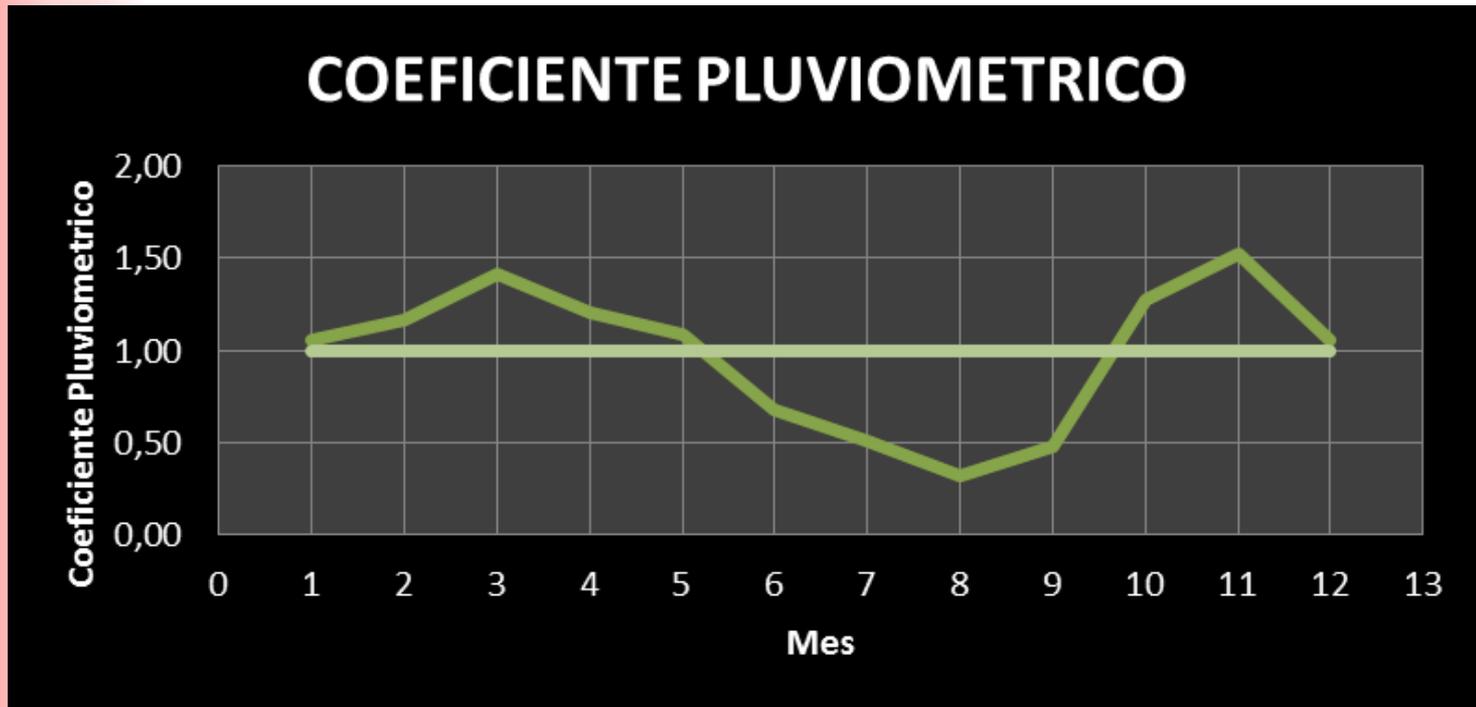


ANALISIS CLIMATOLOGICO



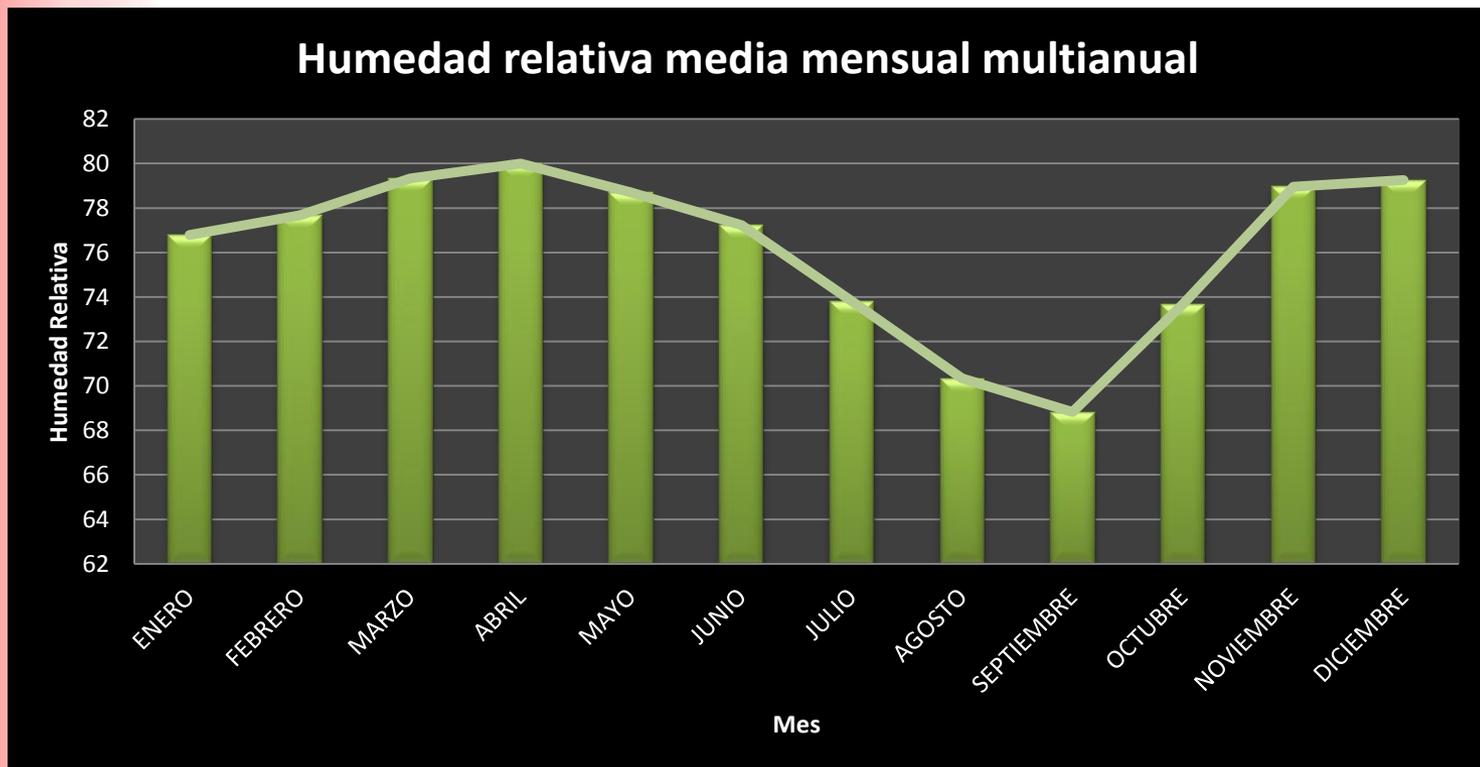


ANALISIS CLIMATOLOGICO



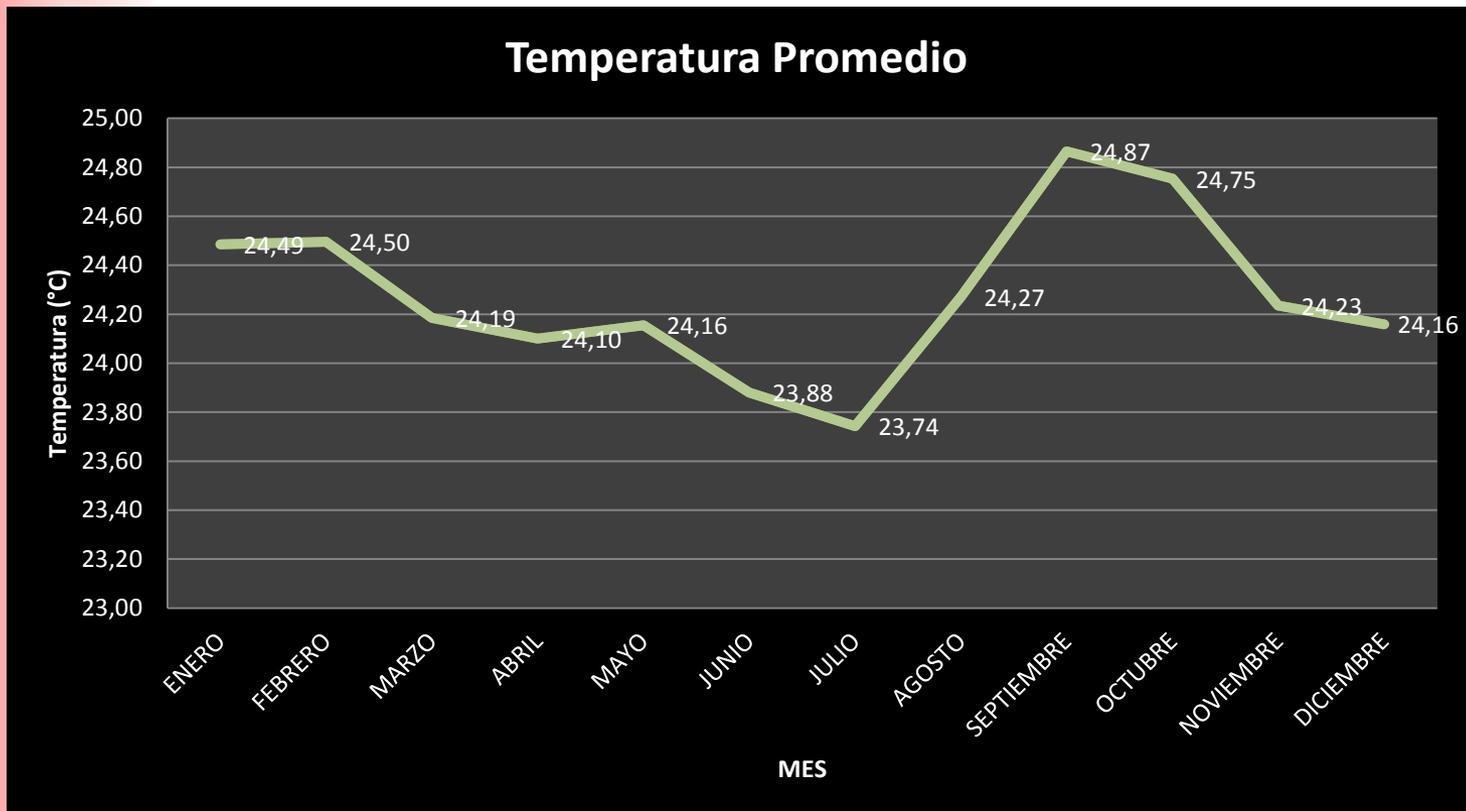


ANALISIS CLIMATOLOGICO





ANALISIS CLIMATOLOGICO





ANALISIS CLIMATOLOGICO

Latitud	2,28° N								
MES	Tm (°C)	i	c	l	a	N	D	K	Etp (mm)
ENERO	24,5	11,08	1,03088	131,27	3,0407	12,0088	31	1,03409111	114
FEBRERO	24,5	11,09	0,93316			12,0544	28	0,93756444	93
MARZO	24,2	10,88	1,03772			12,1	31	1,04194444	111
ABRIL	24,1	10,82	1,01456			12,1456	30	1,01213333	104
MAYO	24,2	10,86	1,04912			12,2368	31	1,05372444	113
JUNIO	23,9	10,67	1,0214			12,2368	30	1,01973333	103
JULIO	23,7	10,58	1,04912			12,1912	31	1,04979778	107
AGOSTO	24,3	10,93	1,04684			12,1912	31	1,04979778	114
SEPTIEMBRE	24,9	11,34	1,01228			12,1	30	1,00833333	114
OCTUBRE	24,8	11,27	1,03544			12,0544	31	1,03801778	118
NOVIEMBRE	24,2	10,91	1,00316			12,0088	30	1,00073333	104
DICIEMBRE	24,2	10,86	1,00544			11,9632	31	1,03016444	106

Calculo de la evapotranspiración potencial método de THORNTHWAITE.

FUENTE: Méndez y López 2015



ANALISIS CLIMATOLOGICO

USO CONSUMO

El uso consumo está definido por agua consumida por el cultivo para satisfacer la evapotranspiración y para la formación de tejidos vegetales en las plantas. El uso consumo es calculado por la siguiente ecuación:

$$Uc = Ej * Kc$$

Dónde:

Ej = Evapotranspiración crítica

Kc = Coeficiente de cultivo

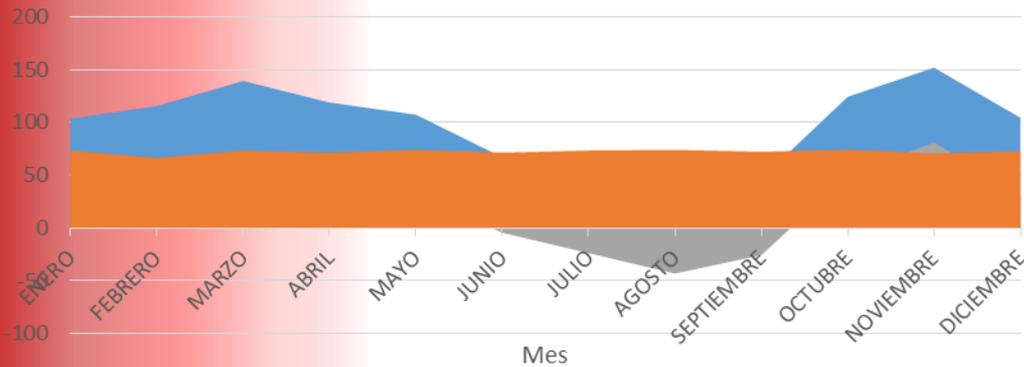
$$Uc = 3.8 * 0.9$$

$$Uc = 3,42 \text{ mm/dia}$$



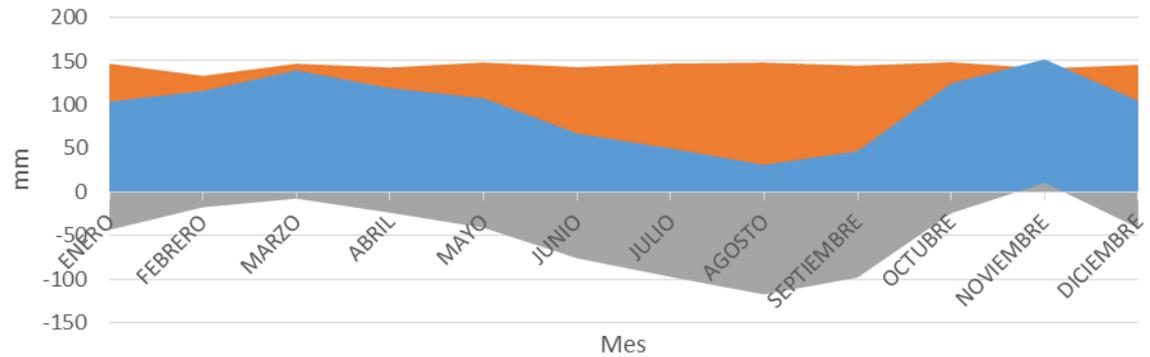
ANALISIS CLIMATOLOGICO

Balance Hídrico (Primer Año)



■ Precipitación ■ Δ ■ Requerimiento

Balance Hídrico (Tercer Año)



■ Requerimiento ■ Precipitación ■ Δ



Universidad Surcolombiana

GENERALIDADES



Pozo.

FUENTE: Méndez y López, 2015



Universidad Surcolombiana

DISEÑO AGRONOMICO



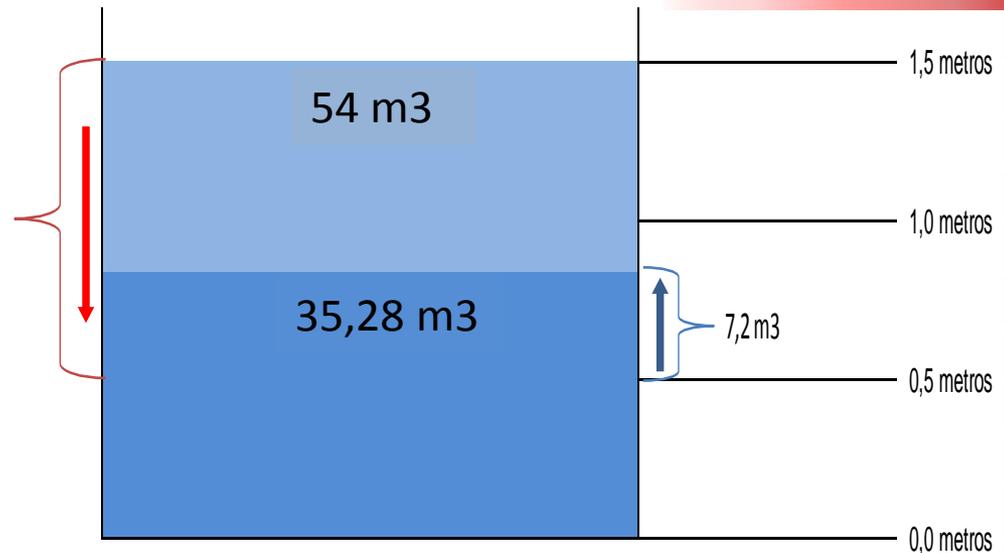
DISEÑO AGRONÓMICO

ITEM	ECUACION	RESULTADO
Lamina Neta	$Ln = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * Pre * Na$	29,02 mm
Lamina Bruta	$Lb = \frac{Ln}{Ea}$	29,62 mm
Frecuencia de Riego	$Fr \text{ (días)} = \frac{Ln}{Uc}$	8 Dias
Tiempo Por Unidad de Riego	$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{Lb}{1000}}{Qur}$	28 Horas
Posiciones por turno de Riego	$PRtu = \frac{Qd}{Qur}$	216 Posiciones
Lamina Neta Ajustada	$Ln = Diasa * Uc$	1,9 mm
Lamina Bruta Ajustada	$Lb = \frac{Ln}{Ea}$	1,94 mm
Tiempo Por Unidad de Riego	$TRur = \frac{\pi * r^2 * \frac{lb}{1000}}{Qur}$	2 Horas

DISEÑO AGRONÓMICO

LAGO			
Profundidad	Area	Volumen	UND
1,5	36	54	m ³
TIEMPO = 4 HORAS			
Recarga	Descarga	Disponible	UND
1,8	6,48	49,32	m ³
1,8	6,48	44,64	m ³
1,8	6,48	39,96	m ³
1,8	6,48	35,28	m ³

25,92 m³



Manejo del Agua del Lago.

Fuente: Méndez y López, 2015

Esquema de Manejo del Pozo de Aguas Subterráneas para Riego

FUENTE: Méndez y López, 2015



Universidad Surcolombiana

DISEÑO AGRONOMICO



Lago

FUENTE: Méndez y López, 2015



Universidad Surcolombiana

DISEÑO HIDRAULICO



DISEÑO HIDRAULICO

	C	K	Exp. Descarga	exp2
1	0,001506	3	0,5	0
1	0,001506	3	0,5	0

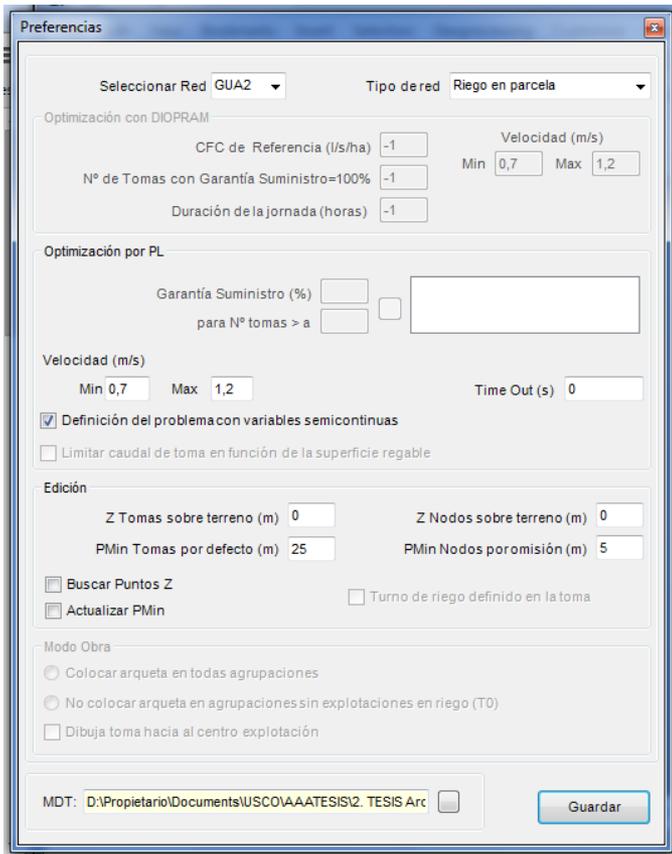


Ingresar los parámetros de funcionamiento de los emisores, tales como caudal, presión (mín. y máx.), diámetro húmedo e información dada por el fabricante como coeficiente de descarga, constante K y exponente X que permiten simular el comportamiento del área húmeda

El valor de exp2 es cero (0) cuando se tratan de emisores autocompensados

SUPERNET NETAFIM

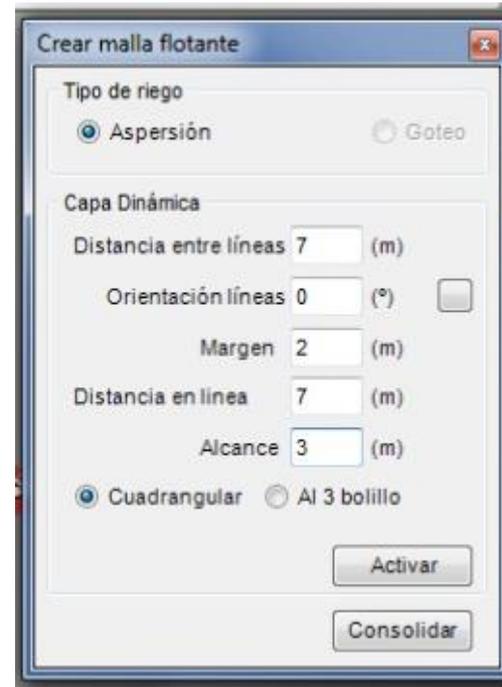
DISEÑO HIDRAULICO



Sigopram permite incorporar la topografía del terreno en forma de MDT (Modelo Digital del Terreno) como una imagen Ráster, lo que permite una interpolación aproximada en cada uno de los elementos trazados (Tuberías, Emisores, Sectores de Riego), además, de fijar la velocidad mínima (0.7 m/s) y máxima (1.2 m/s) del sistema

DISEÑO HIDRAULICO

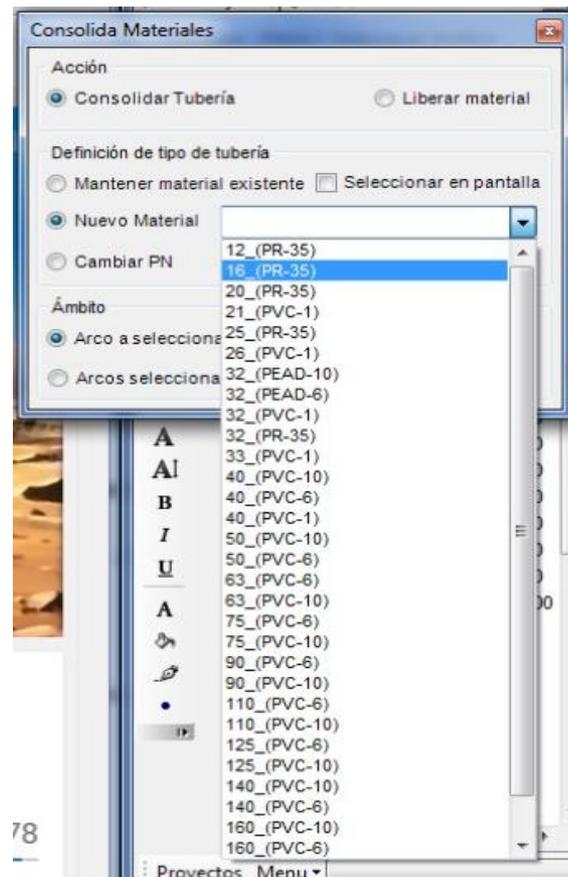
La interface de Sigopram, permite realizar una distribución homogénea de los emisores en el área del proyecto, según la distancia y modalidad de siembra



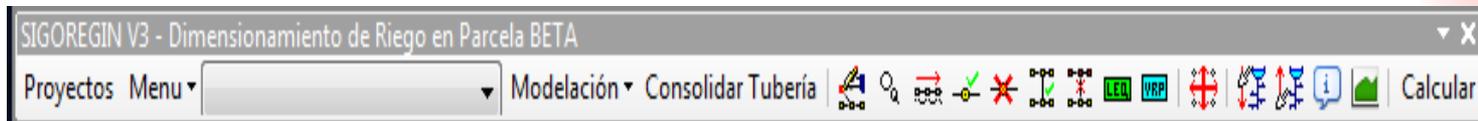
DISEÑO HIDRAULICO

Selección del diámetro de tuberías, material, velocidad y demás valores aportados por el fabricante.

La base de datos puede ser actualizada por el usuario, según los materiales disponibles en su Zona.



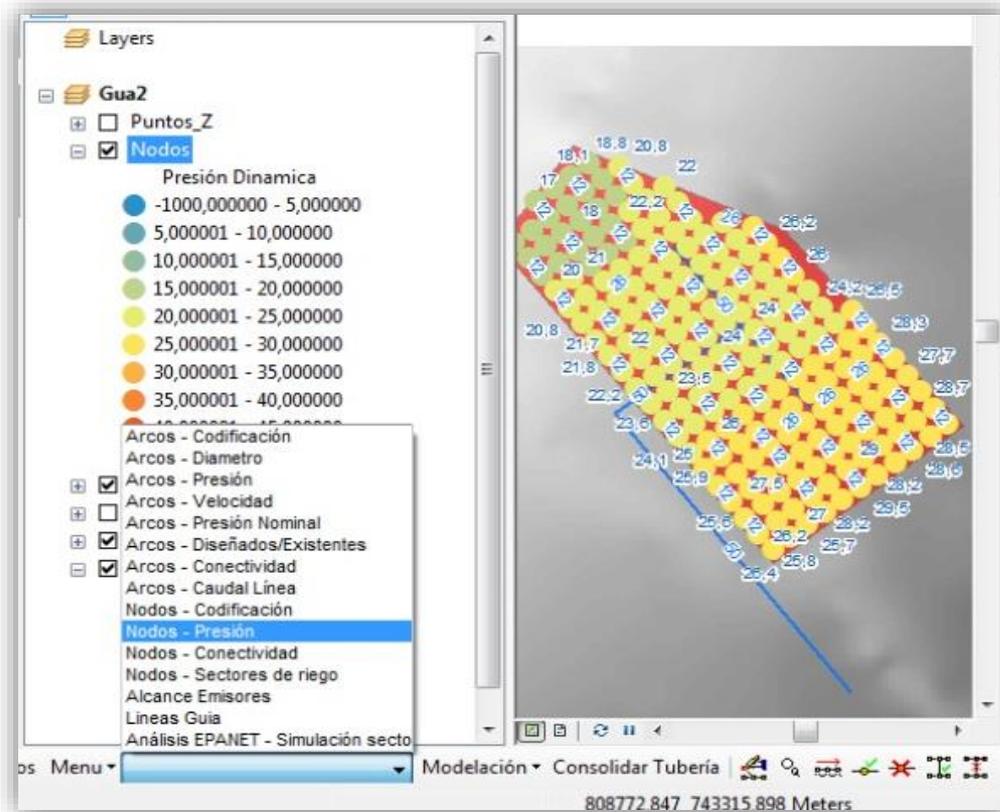
DISEÑO HIDRAULICO



La Barra de Herramientas de Sigopram permite el trazado de la Tubería de la Red, y la inserción de los emisores, nodos y tomas de agua, creación de perfiles, Válvulas Reguladoras de Presión y por último, permite simular el sistema según las especificaciones ingresadas.

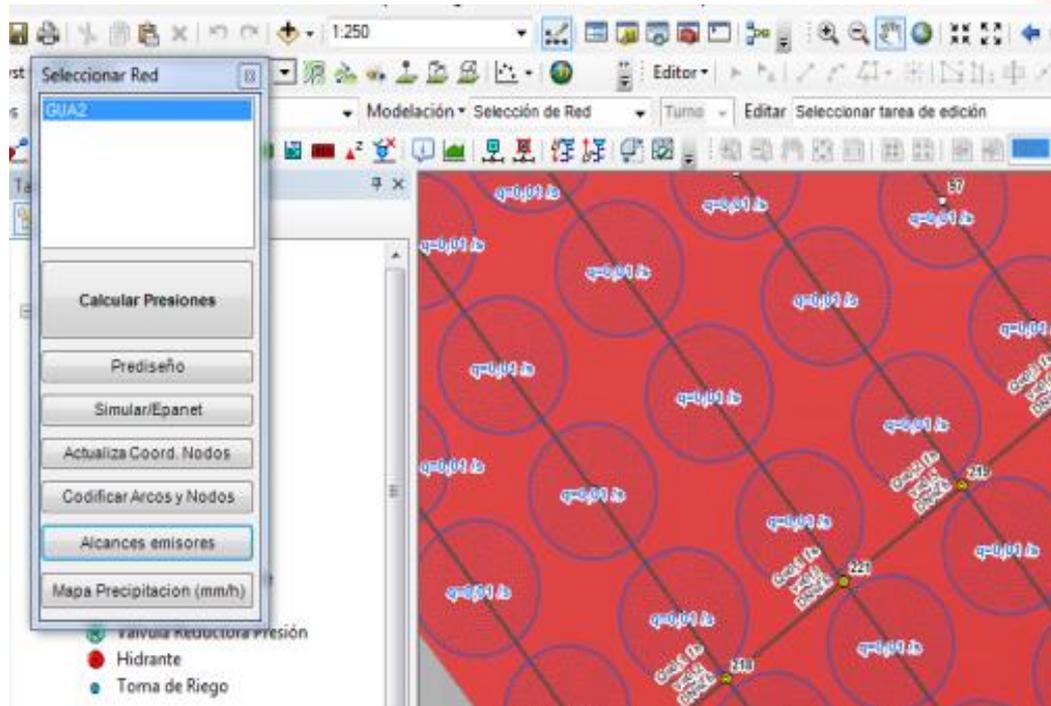
DISEÑO HIDRAULICO

Presión en cada nodo o emisor, según la simulación en Sigopram.



DISEÑO HIDRAULICO

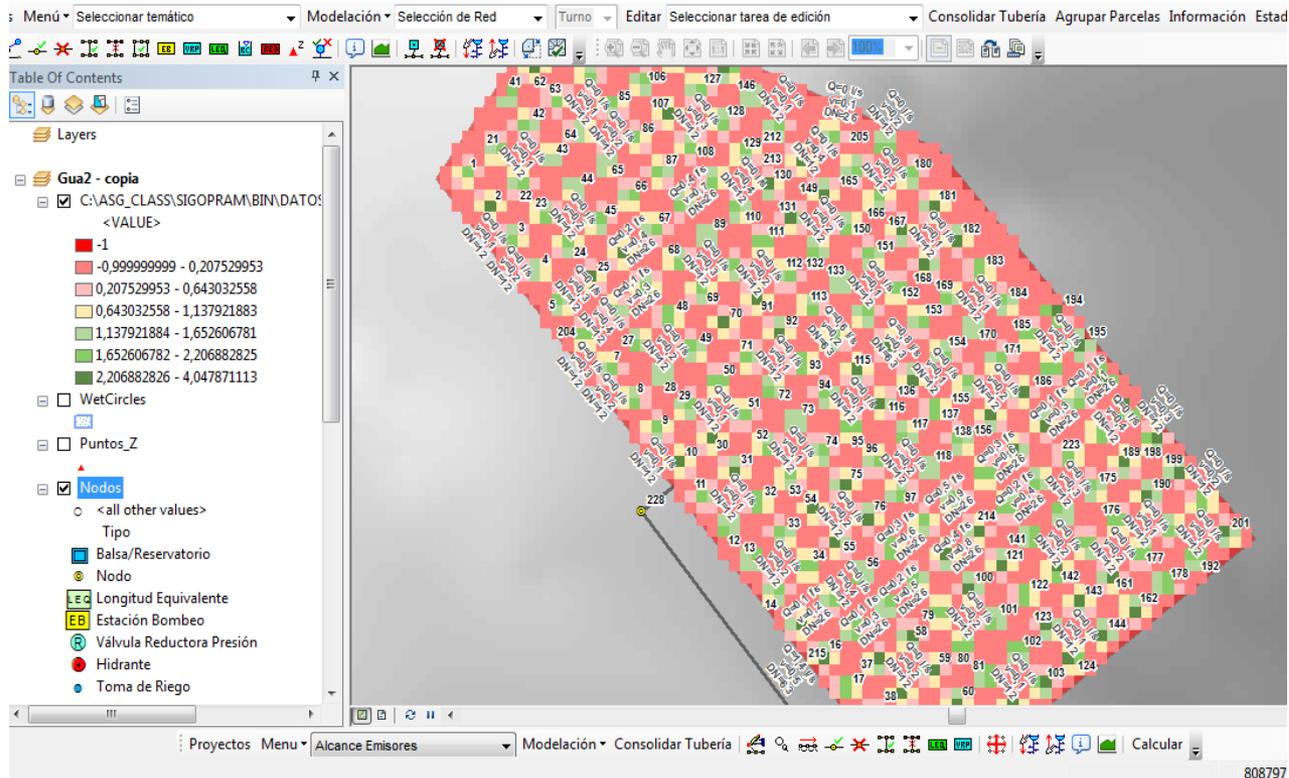
Diámetro Húmedo
 en cada nodo o
 emisor, según la
 simulación en
 Sigopram.



R
E
S
U
L
T
A
D
O
S

S
I
G
O
P
R
A
M

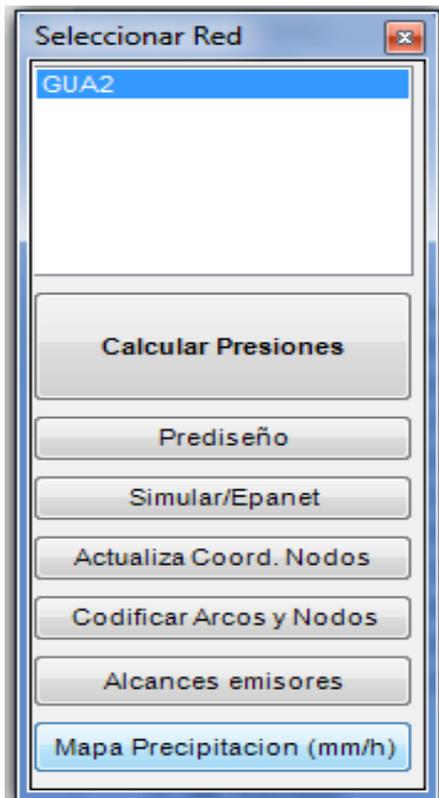
DISEÑO HIDRAULICO



Precipitación simulada.

R
E
S
I
G
U
L
O
T
P
A
R
D
A
O
M
S

DISEÑO HIDRAULICO



En la ventana de comandos es posible realizar simulaciones en Epanet, cambiar el diseño y recalculer el sistema si es necesario.

R
E
S
S
I
G
U
L
O
T
P
A
R
D
A
O
M
S

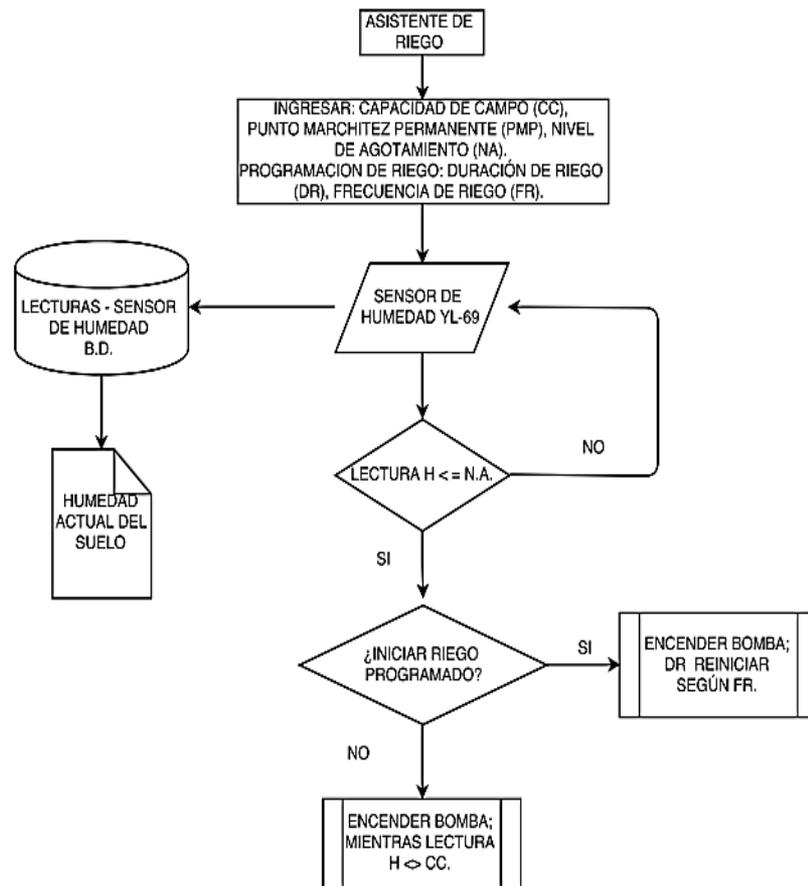
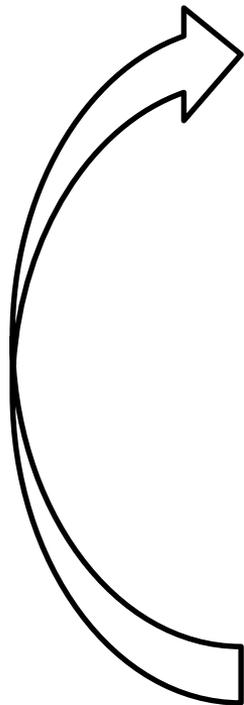


Universidad Surcolombiana

ENTORNO DE AUTOMATIZACION



AUTOMATIZACION



S
L
O
G
I
C
A
O
R
I
E
G
O



AUTOMATIZACION

XCTU

The screenshot displays the XCTU software interface. On the left, the 'Radio Modules' pane shows a connected module with the following details:

- Name: ROU
- Function: ZigBee End Device AT
- Port: COM3 - 115200/8/N/L/N - AT
- MAC: 0013A20040D86A5B

A red arrow points from this information to a text box below it: 'Módulo Xbee Conectado (Información del Dispositivo)'. Another red arrow points from the 'Networking' section of the configuration pane to a text box: 'Configuración de los dispositivos a comunicar. ROU y COR'. The 'Networking' section includes a table of parameters:

Parameter	Value	Unit/Type	Status
ID PAN ID	1523		Written and default
SC Scan Channels	FFFF	Bitfield	Written and not default
SD Scan Duration	3	exponent	Written and not default
ZS ZigBee Stack Profile	0		Written and not default
NJ Rejoin Policy	FF		Written and not default
JN Join Notification	Disabled [0]		Written and not default
OP Operating PAN ID	0		Written and not default
OI Operating 16-bit PAN ID	FFFF		Written and not default
CH Operating Channel	0		Written and not default

C O M U N I C A R I O N
C O M U N I C A R I O N
C O M U N I C A R I O N



AUTOMATIZACION

ASIGNACION DE ROLES DE COMUNICACIÓN MODULOS XBEE

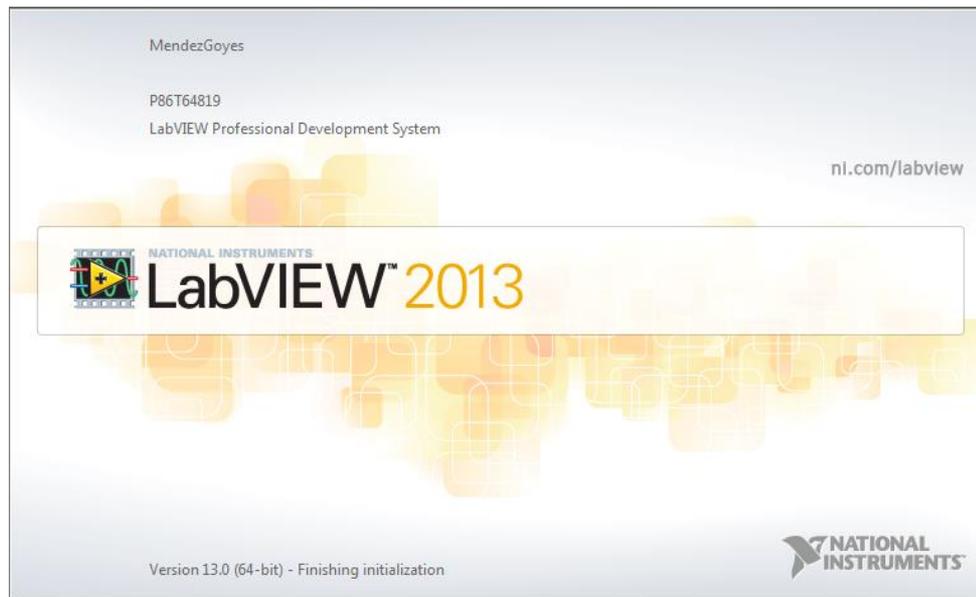
PARAMETROS	COORDINADOR	ROUTER
Pan ID	1523	1523
SH	13A200	13A200
SL	40DC90CF	40D86A5B
DH	13A200	13A200
DL	40D86A5B	40DC90CF
NI	COR	ROU

Fuente: Méndez y López, 2015



Universidad Surcolombiana

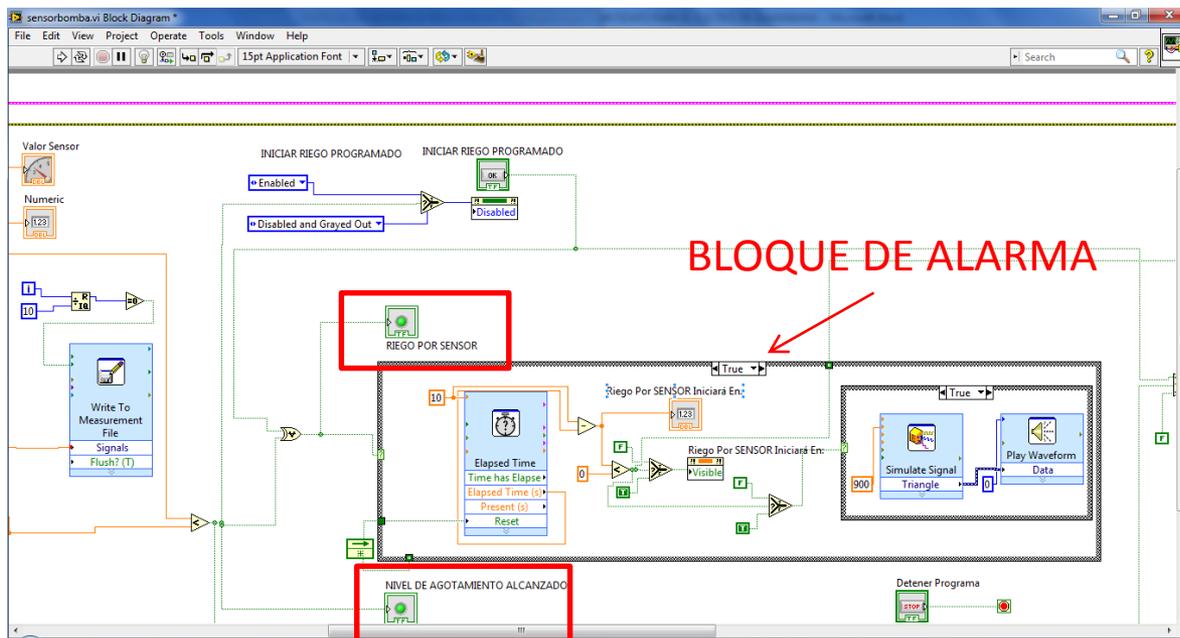
AUTOMATIZACION



Entorno de programación grafica o por bloques. Las librerías deben instalarse según el campo en el cual se desee trabajar. Y consta de dos partes, el PANEL FRONTAL y la ventana de DIAGRAMA DE BLOQUES.

L
A
B
V
I
E
W

AUTOMATIZACION



L
A
B
V
I
E
W

Se observa en la imagen que al cumplirse una condicion, se dará inicio a la acción de alarma, y se encenderán dos indicadores «RIEGO POR SENSOR» y «NIVEL DE AGOTAMIENTO ALCANZADO»



AUTOMATIZACION



En el Panel Frontal, se disponen de cientos de indicadores, controladores y ayudas gráficas para simular. Cada ítem en este panel, tiene una función en el diagrama de bloques, y su propia lógica de uso.

L
A
B
V
I
E
W



AUTOMATIZACION

Es preciso saber que LABVIEW y WINDOWS podrían no reconocer los componentes Arduino como Hardware. Es decir, al conectar nuestros dispositivos al ordenador, es probable que se denominen como «Dispositivos Desconocidos». Por lo tanto debemos descargar los controladores para cada dispositivo.

Lo anterior soluciona el inconveniente con Windows, sin embargo, con Labview, es necesario instalar los paquetes o librerías mediante el software VI Package Manager (VIPM), esta librería se denomina «Labview Interface For Arduino (LIFA)». Además de los controladores contenidos en el archivo NIVISA 1401 runtime, que se encuentran fácilmente en Internet y el software ARDUINO 1,0,5.

De esta manera, nuestro Labview debería ser capaz de reconocer los dispositivos ARDUINO sin problemas.

R
E
Q
U
E
R
I
D
O

S
O
F
T
W
A
R
E



Universidad Surcolombiana

AUTOMATIZACION

R
E
Q
U
I
R
E
D
S
O
F
T
W
A
R
E

VI Package Manager 2014

Unregistered Free Edition

2014.0.1 (build 1967) Loading...



Package Name	Version	Repository	Company
jk_i_tool_right_click_framework	1.0.2.208-1	JKI Package Network	JKI Labs
jk_i_tool_torisesvsn	2.2.0.186-1	NI LabVIEW Tools Network	JKI
Kawasaki Robotics Library	0.2.0.59	NI LabVIEW Tools Network	ImagingLab
Kinesithesis Toolkit for Microsoft Kinect	1.0.0.5	NI LabVIEW Tools Network	University of Leeds
Kuka Robotics Library	2.1.0.9	NI LabVIEW Tools Network	ImagingLab
Kuka Robotics Library KR C4	3.3.0.21	NI LabVIEW Tools Network	DigiMetric
LabbitMQ	2.1.0.1	NI LabVIEW Tools Network	Distro
LabJack Utilities	2.1.3.11	NI LabVIEW Tools Network	Interface Innovations
LabSocket	3.4.1.77	NI LabVIEW Tools Network	Bergmans Mechatronics LLC
LabSocket-Basic	2.8.3.55	NI LabVIEW Tools Network	Bergmans Mechatronics LLC
LabVIEW Icon Version Overlay	1.0.0.15	JKI Package Network	JKI
LabVIEW Interface for Amazon S3	1.0.0.19	NI LabVIEW Tools Network	National Instruments
LabVIEW Interface for Arduino	2.2.0.79	NI LabVIEW Tools Network	National Instruments
LabVIEW Taskbar Progress bar API	2.1.0.9	NI LabVIEW Tools Network	NI
LAVA Palette	1.0.0.1	NI LabVIEW Tools Network	LAVA
Live HDF5	1.1.1.86	NI LabVIEW Tools Network	UPVI, LLC
LTE RBS	1.2.3.1	NI LabVIEW Tools Network	NI LabVIEW Tools Network
LTK Localization Toolkit for LabVIEW	3.1.1.2	NI LabVIEW Tools Network	SEA
Lux UI Controls Suite	1.0.0.1	NI LabVIEW Tools Network	Ovak Technologies
Maker Hub Interface for Xbox One Controller	2.0.0.6	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for Adept	2.0.0.49	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for Kodi	1.0.0.5	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for Leap Motion Controller	2.0.0.62	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for Microsoft Kinect	1.3.0.17	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for Nest Thermostat	2.0.0.10	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Interface for PS4 Controller	2.0.0.3	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub LINX	2.0.0.93	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
MakerHub Toolbox	2.0.0.35	NI LabVIEW Tools Network	MakerHub
Mat File Toolkit	1.0.1.13	NI LabVIEW Tools Network	EvaluMation, LLC
Maxon EPOS2	1.1.0.15	NI LabVIEW Tools Network	Maxon Motor
MPX Toolkit	1.0.1.71	NI LabVIEW Tools Network	I vs-Toolkit.rn.uk

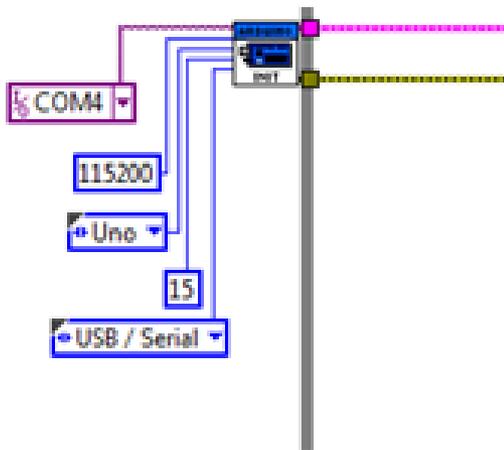


ARDUINO

AN OPEN PROJECT WRITTEN, DEBUGGED, AND SUPPORTED BY ARDUINO.CC AND THE ARDUINO COMMUNITY WORLDWIDE

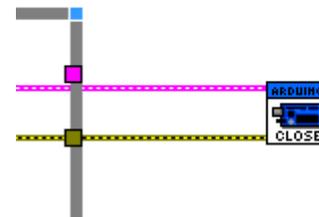
LEARN MORE ABOUT THE CONTRIBUTORS OF ARDUINO.CC on arduino.cc/credits

AUTOMATIZACION



Entrada de datos por medio de ARDUINO, en este caso, simboliza la entrada de los valores del Sensor al Código .

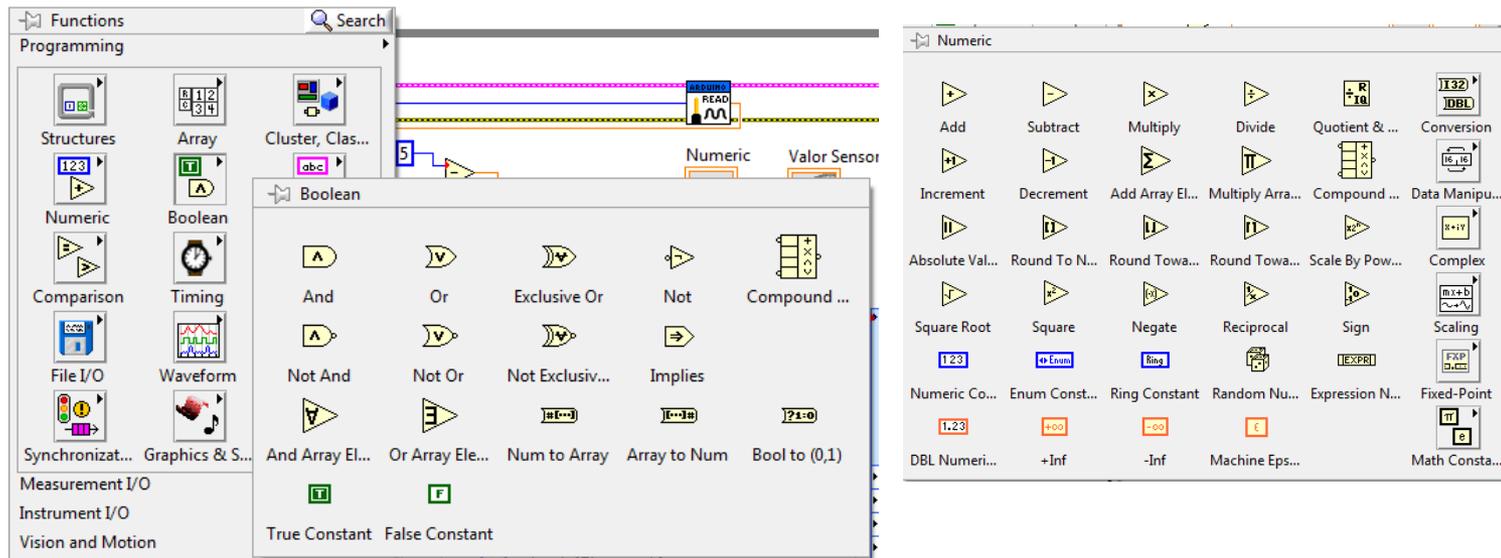
La salida se da cuando se haya cumplido un ciclo completo. Es decir, cada iteración representa un ciclo.



L
A
B
V
I
E
W



AUTOMATIZACION



L

A

B

V

I

E

W

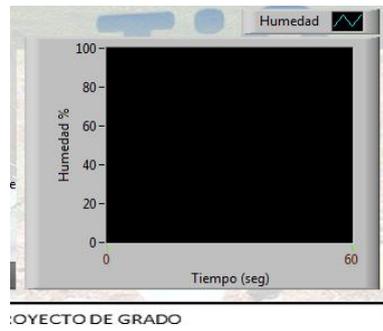
Se Utilizan valores aritméticos y de comparación para realizar la toma de decisiones, las respuestas a estas operaciones se representan en TRUE o FALSE.



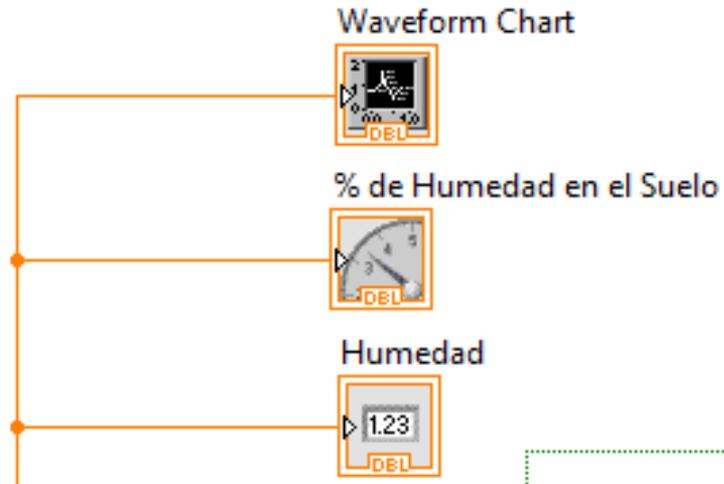
AUTOMATIZACION



ION DE RIEGO



PROYECTO DE GRADO



L

A

B

V

I

E

W

Cada elemento en el Panel Frontal posee una funcionalidad en el Diagrama de Bloques, ya sea para indicar un Resultado, o controlar una variable. No debe dejarse ningún «cable roto».

AUTOMATIZACION

S
I
S
R
I
E
G
O



12 **SISRIEGO. V 1.0** **1** ¿Conexion a Internet?

11 NIVEL DE AGOTAMIENTO ALCANZADO

RIEGO PROGRAMADO **10**

RIEGO POR SENSOR **9**

5 CALIBRACIÓN SENSOR

Valor en Capacidad de Campo **4**

Valor en Punto de Marchitez Permanente

Valor Sensor **3**

ENTRADA SENSOR

2 Humedad %

Humedad %

0 20 40 60 80 100

0 60

Tiempo (seg)

PROGRAMACION DE RIEGO

Nivel de agotamiento 0 % Riego Por SENSOR Iniciaré En: 0 Seg

Duración de Riego 0 Horas **8** Tiempo Transcurrido DR: 0 Horas

Frecuencia de Riego 0 Horas Tiempo Transcurrido (TR): 0 Horas

6 INICIAR RIEGO PROGRAMADO

DETENER PROCESO

Cancel

7 ENTRADA BOMBA Archivo

G:\LabviewPreueba\Dia_35.xlsx

PROYECTO DE GRADO

IVAN DARIO MENDEZ GOYES
EDWARD IVAN LOPEZ RODRIGUEZ

DIRECTOR:

PHD. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO

Universidad Surcolombiana

NEIVA
2015



AUTOMATIZACION

- 1) Conexión a Internet: SISRIEGO permite el envío automático de alertas, a una cuenta de correo establecida por el usuario. Este botón permite activar o desactivar esta función.
- 2) Indicador de Humedad Grafico: Esta ventana indica el comportamiento de la humedad en el suelo CADA SEGUNDO. Aunque la grafica resultante no es posible descargarla, cada dato registrado se guardará en un archivo Excel.
- 3) Configuración Entrada: Los elementos de este tipo, se configuran una única vez al inicio del programa según el ordenador reconozca los dispositivos conectados.
- 4) Calibración Sensor: Esta Calibración debe realizarse antes de iniciar el programa.
- 5) Indicador de Lectura del Sensor



AUTOMATIZACION

- 6) Riego Programado: Estos botones, estarán desactivados siempre y cuando no se necesite ningún tipo de riego, es decir. Mantendrán la bomba apagada mientras el sensor así lo indique.
- 7) Archivo: En esta barra, seleccionamos la carpeta en la cual deseamos guardar nuestro registro. «Se solicita al inicio del programa por primera vez»
- 8) Programación de Riego: En estos campos se ingresan los tiempos definidos por el balance hídrico para efectuar el riego. Estos valores pueden modificarse en cualquier momento.
- 9) Indicadores de Humedad en el Suelo
- 10) El Led, indica el estado de la Bomba, «Encendida / Apagada»
- 11) LEDS Indicadores: Alertas visuales, indican el nivel de agotamiento alcanzado y la modalidad de riego activa. «Sensor / Programado».
- 12) Boton STOP: Detener por completo el Programa.

S

I

S

R

I

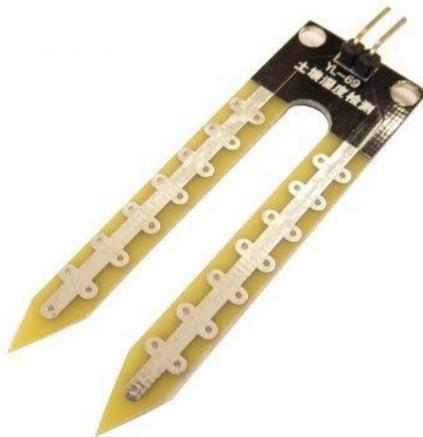
E

G

O



AUTOMATIZACION



Aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad.

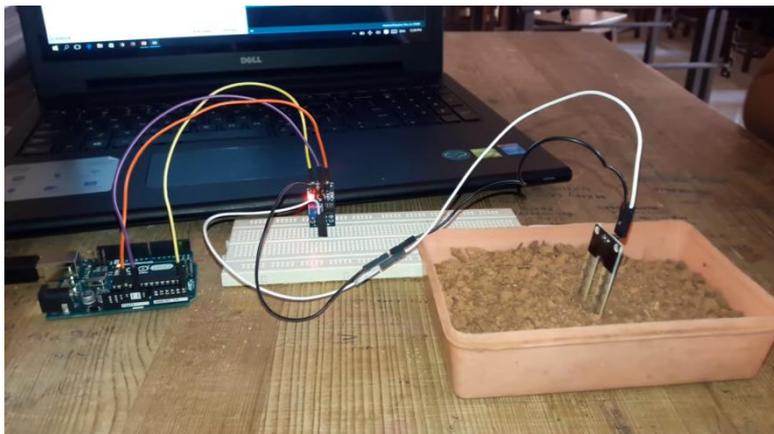
Suelo seco	0 – 300
Suelo Húmedo	300 – 700
Suelo mojado (Encharcado)	700 – 950

Fuente: Manual Técnico sensor YI-69 (2015)

S
E
N
S
O
R
-
Y
L
6
9



AUTOMATIZACION



Se tomaron 5 muestras de suelo y se humedecieron, hasta que empezó a escurrir. Se dejaron las muestras, hasta cuando dejaron de escurrir. Y se tomó una medida con el sensor a cada una de las muestras. Una vez tomadas y registrados los valores, se dejaron secar durante 3 días a temperatura ambiente y expuesta a factores naturales tales como viento y sol. Se registró los valores arrojado por el sensor, al medir nuevamente el contenido de humedad en las muestras de suelo, secas.

MUESTRA	SENSOR Humedo	SENSOR Seco
1	770	300
2	750	296
3	690	305
4	780	312
5	753	308

S
E
N
S
O
R
-
Y
L
6
9



AUTOMATIZACION

	A	B
1	Time	Untitled
2	23/02/2016 09:22:17,000	82,686567
3	23/02/2016 10:22:22,000	82,686567
4	23/02/2016 11:22:27,000	84,179104
5	23/02/2016 12:22:32,000	84,179104
6	23/02/2016 13:22:37,000	84,477612
7	23/02/2016 14:22:42,000	85,970149
8	23/02/2016 15:22:47,000	85,970149
9	23/02/2016 16:22:52,000	85,970149
10	23/02/2016 17:22:57,000	85,970149
11	23/02/2016 18:23:02,000	85,970149
12	23/02/2016 19:23:07,000	85,970149
13	23/02/2016 20:23:12,000	85,970149

14	23/02/2016 21:23:17,000	85,970149
15	23/02/2016 22:23:22,000	88,358209
16	23/02/2016 23:23:27,000	88,358209
17	24/03/2016 00:23:32,000	88,358209
18	24/03/2016 01:23:37,000	88,358209
19	24/03/2016 02:23:42,000	88,358209
20	24/03/2016 03:23:47,000	88,358209
21	24/03/2016 04:23:52,000	88,358209
22	24/03/2016 05:23:57,000	88,358209
23	24/03/2016 06:24:02,000	88,358209
24	24/03/2016 07:24:07,000	88,358209
25	24/03/2016 08:24:12,000	90,447761
26	24/03/2016 09:24:17,000	90,447761

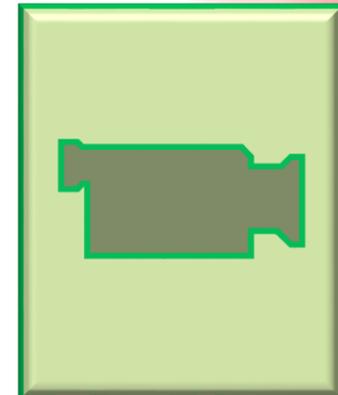
sheet1

R D
E E
G I D
S A
T T
R O
O S



Universidad Surcolombiana

REGISTRO MULTIMEDIA



PRESUPUESTO

PRESUPUESTO DEL PROYECTO	
ITEM	VALOR
Red de Distribucion	\$ 1.287.200,00
Unidades de Riego	\$ 481.800,00
Accesorios	\$ 400.000,00
Fertiriego	\$ 195.000,00
Elementos de Medicion	\$ 64.000,00
Filtro	\$ 130.000,00
Unidad de Bombeo	\$ 906.600,00
Elementos de Automatizacion	\$ 250.000,00
Mano de Obra	\$ 190.000,00
Transporte	\$ 30.000,00
Subtotal	\$ 3.819.600,00
IVA (16%)	\$ 611.136,00
TOTAL	\$ 4.430.736,00

El valor total del proyecto es de **4`430,736 COP**. Este valor no incluye el costo de la construcción del lago, ni del pozo, ni la instalación de la red eléctrica hasta el punto de bombeo.



Universidad Surcolombiana

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- SISRIEGO es una herramienta que permite el uso del agua las 24 horas del día, permitiendo extender el horario de riego, y la recarga del lago, de tal manera que se evita su abatimiento.
- SISRIEGO tiene dos tipos de funcionamiento, el primero está apoyado 100% en el sensor de humedad, dado que su activación y finalización dependen de si el valor de humedad sensado es menor o no al Nivel de agotamiento, ingresado inicialmente. El segundo tipo, hace referencia al balance hídrico y la programación de riego final. Cuya activación y apagado depende del tiempo de riego y frecuencia de riego establecido sin tener en cuenta los valores del sensor de humedad, aunque estos sigan registrando.
- SISRIEGO podría regar automáticamente según el riego programado, o el valor de humedad sensado, también permite el apagado y encendido manual de la electrobomba, para efectos de mantenimiento o decisiones del administrador de la finca.

CONCLUSIONES

- El Diseño hidráulico por medio del software SIGOPRAM hizo eficiente el tiempo con que se diseñó el riego implementando todos los conocimientos de ingeniería para la creación del sistema.
- Las herramientas SIG permitieron una visualización más puntual de la simulación del sistema de riego, para corregir sectores que fueron necesarios para el buen funcionamiento del sistema.
- La herramienta SIGOPRAM al dejar integrar datos espaciales y simular las condiciones de uso según los materiales disponibles en el comercio local nos brindó la facilidad de revisar múltiples escenarios de funcionamiento del sistema de riego, permitiendo así la selección del más adecuado.



CONCLUSIONES

- La disponibilidad de agua en la finca Villa Lucy no es suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de todos los predios. Sin embargo posee un pozo con una recarga de 15 lt/sg, en época seca, las cuales podrían ser suficientes para permitir un manejo adecuado de los cultivos.
- Los suelos del sector de estudio presentan deficiencias en elementos tales como Nitrógeno, Potasio y Fósforo, necesarios principalmente para el buen desarrollo de la guanábana en su etapa inicial.
- Los suelos de la finca Villa Lucy presentan propiedades hidrodinámicas óptimas para el cultivo de la guanábana, dado que su infiltración y conductividad hidráulica, no permiten el encharcamiento, lo que beneficia a un cultivo propenso a enfermedades de tipo húmicas.
- El cultivo de guanábana posee un enorme mercado, en el cual no existe oferta fija, dado que el porcentaje de tecnificación neta, es muy baja. Esto resulta una buena opción económica, si se lleva un control adecuado de la fertilización, riego y silvicultura.

RECOMENDACIONES

- Aunque SISRIEGO funciona como asistente de riego, en ningún caso reemplaza la supervisión humana, dado que es la primera versión, presenta inestabilidad en la ejecución de procesos, por lo que, se recomienda realizar la supervisión del sistema electrónico e hidráulico de manera periódica.
- El botón “Detener Proceso” del software permite detener el riego, ya sea por sensor o programado, sin embargo, se informa que dicho botón reinicia el tiempo de riego programado, mas no lo pausa.
- Para el buen funcionamiento de SISRIEGO, es necesario llenar todos los espacios dispuestos en el panel frontal del programa, de esta manera se evita un funcionamiento inadecuado del proceso.
- Es preciso revisar la base de datos de SIGOPRAM y actualizarla según el mercado local.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda al usuario hacer los estudios previos de suelo, y realizar el balance hídrico, antes de utilizar el programa. De no ser así, buscar asesoría con un ingeniero agrícola.
- Para el manejo del agua, es recomendable elegir cultivos que soporten temporadas de sequía o no requieran grandes cantidades de agua. Además de realizar procesos de fertilización periódicos, según recomendaciones del agrónomo.
- Es necesario que exista un tiempo de recarga de 5 horas mínimo para permitir el llenado del pozo, a un nivel aceptable para riego, sin que se presenten problemas en la manguera de succión.

RECOMENDACIONES

- Dado que SISIRIEGO no cuenta aún con un indicador del nivel del agua, es necesario que el operador del riego lo esté verificando para evitar daños en la bomba.
- Aunque existe un mercado amplio para la guanábana, es preciso llevar un buen manejo del cultivo en todas sus etapas. Proteger los frutos de las picaduras de insectos y proteger el cultivo de las heladas.
- Dado que SIGOPRAM es un software creado por una empresa española, sus referencias espaciales se encuentran referenciadas en coordenadas locales de España, por lo que es indispensable modificarlas y ajustarlas a nuestro proyecto.
- Al realizar un diseño con SIGOPRAM, se debe tener definido la unidad de riego a utilizar, y la información completa que aporta el fabricante, de esta manera, la simulación será mas cercana a la realidad.



Universidad Surcolombiana

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. BUSTOS R. JESÚS ANDRÉS, Montiel O. Harold., 2004. Desarrollo de un software para diseño y evaluación hidráulica de sistemas de riego a presión modalidad microaspersión.
2. CORABASTOS, Histórico de Precios [en línea], <http://www.corabastos.com.co/sitio/index.php>. [citado en 16 de abril de 2015]
3. CORPOICA, Céspedes, L., Ramiro. et al. 2009. Manejo del recurso hídrico de la Guanábana. Cartilla Divulgación: CORPOICA.
4. ESRI Colombia, ArcGIS 10.1 Software de Sistemas de Información Geográfica, España, Pagina Web <En Línea> <http://www.esri.co/sitio/productos/desktop/index.html>.
5. FAO, Revista de divulgación “Factores que se deben considerar para la selección el sistema de riego más adecuado”, 2008.
6. FAO, Guía para la Descripción de Suelos, 2009. <En línea> <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
7. FUNPROVER, Manual del Tomate Cap 10 pag 83 – 99, <En línea> <http://www.funprover.org/formatos/manualTomate/Propiedades%20Fisica%20del%20Suelo.pdf>, Mexico,1999
8. iRIEGO, Software Administrador de Riego, España, Pagina Web <En Línea> http://www.iriego.es/S_Overview.html.
9. MANUAL DEL USUARIO TDR-300. Spectrum Technologies, U.S.A, Pagina Web <En Línea> https://www.kosmos.com.mx/fileadmin/documentos/Manuales/Estaciones/Spectrum/6430FS_TDR300.pdf



BIBLIOGRAFIA

10. MINISTERIO DE AGRICULTURA DE CHILE, Informativo N° 15, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, centro de investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano (CIE), INIA URURI, Región de Arica y Parinacota. Mayo de 2010.
11. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Informe de Gestión al Congreso de la República, Julio 2008 – Junio 2009, P 22.
12. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Anuario Estadístico de Frutas y Hortalizas 2006 – 2010 y sus Calendarios de Siembras y Cosechas, P 68 – 70.
13. MOLINA M. José M. y Ruiz C. Antonio, “Automatización y telecontrol de sistemas de Riego” (Libro), Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de la Región de Murcia, España 2010.
14. PIZARRO, F. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos, Editorial Agrícola Española S.A. Madrid, 520 pp.
15. REVISTA NOTICIAS SEPHU, “CULTIVO DE LA GUANABANA: Recomendaciones para solucionar problemas de floración, cuajado y aborto de flores. Sociedad Española de Productos Humicos, S.A, Zaragoza, Mayo de 2010.
16. REVISTA PORTAFOLIO, Producción agrícola del país perdió 2% en una década, Economía, Colombia, Bogotá, Julio de 2015. << En Linea>> <http://www.portafolio.co/economia/pib-agricola-produccion-agricola-colombia-2015>.
17. RODRIGUEZ B. John E. y GONZALES A. Juan M., Tesis, Sistema de Telemetría y Automatización para una Instalación Agrícola (Invernadero) Desarrollado mediante Software Libre. Universidad Surcolombiana, Neiva 2014.

BIBLIOGRAFIA

18. KEVIN CONWAY. Soluciones Locales a la Crisis Mundial del Agua. The International Development Research Center. Canadá 2001.
19. THOMPSON, Louis. TROEH, Frederick. Los Suelos y Su Fertilidad, Cuarta Edición. Pag 75 – 85. España. 1988.
20. TORRENTE, ARMANDO. Guías de Laboratorio de suelos. CENIGAA (2015).
21. UNIVERSIDAD DE ARKANSAS, División de Agricultura, Como Interpretar los Resultados de los Análisis de Suelos. USA, 2006 <En Línea> <https://www.uaex.edu/publications/PDF/FSA-2118SP.pdf>
22. VALVERDE, C. Juan, Riego y Drenaje, Segunda reimpresión, Costa Rica. 2007, pag 48.
23. VAZCONEZ C. JUAN CARLOS, Chamba T, Felipe de Jesús., 2013. Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y controlado de forma inalámbrica para una finca ubicada en el sector popular de Balerio Estacio. Proyecto de grado. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
24. VICEMINISTERIO DE AMBIENTE, Guía Ambiental Hortifrutícola de Colombia, P 7. Diciembre de 2009.
25. WATERBEE, Software Riego Inteligente y Administrador del Agua, Irlanda, página web <En Línea> <http://waterbee.iris.cat/project/>