



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

**PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROYECTO PILOTO PARA EL
DESARROLLO DE UN SISTEMA DE RIEGO PARA LA HUERTA, CON UNA
FUENTE ALTERNATIVA DEL RECURSO HÍDRICO, EN EL COLEGIO LUIS
CARLOS GALÁN, COMUNA CUATRO DE CAZUCÁ.**

Línea de investigación:

TECNOLOGÍAS AMBIENTALES

AUTORES:

NELSON MAURICIO PEÑA G.
2147193

MARÍA CAMILA CARRERA
2164060

DIRECTORES

GUSTAVO RENGIFO
FRANCOIS JAQUELIN HERRERA
Docentes de Ingeniera Ambiental

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**BOGOTA D.C
JULIO DE 2019**

Contenido

RESUMEN	5
I. INTRODUCCIÓN	6
II. OBJETIVOS.....	7
2.1 Objetivo general.....	7
2.2 Objetivos específicos	7
III.MARCO REFERENCIAL	8
3.1 Marco contextual	8
3.2 Marco teórico.....	9
3.2.1 El recurso hídrico en torno a las instituciones educativas.....	9
3.2.2 Composición del sistema de recolección de aguas lluvia	9
3.2.3 Composición sistema de riego por goteo.....	13
3.3 Marco conceptual	23
3.4 Marco legal	25
IV. DESARROLLO DE LA PASANTÍA	27
4.1 Análisis zona de estudio	28
4.1.1 Información de las estaciones hidrometeorológicas	28
4.1.2 Diseño agronómico.	30
4.1.3 Diseño hidráulico.....	36
4.1.4 Diseño Arduino	45
4.1.5 Potencial de ahorro hídrico	46
4.1.6 Análisis costo beneficio social.....	47
4.2 Dimensionamiento y puesta en marcha del prototipo	53
4.2.1 Instalación del sistema de riego automatizado.....	56
4.2.2 Instalación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias	60
4.2.3 Área de captación	60
4.2.4 Tanque de primeras aguas lluvias	61
4.2.5 Filtro del tanque de primeras aguas	61
4.2.6 Dimensionamiento tanque principal	62
4.2.7 Canales y bajantes.....	63
4.2.8 Necesidades y propósito del proyecto	65
V. RESULTADOS OBTENIDOS	66
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

VII.	ANEXOS	70
A.	Ubicación colegio Luis Carlos Galán.....	70
B.	Mapas IDW	71
C.	Plano general huerta.....	77
D.	Vista AA	78
E.	Vista BB	79
F.	Tabla radiación solar	80
G.	Ábacos del diseño hidráulico.....	81
H.	Características de los sensores Arduino	83
I.	Código Arduino	85
J.	Actividades de la huerta	91

Lista de ilustraciones

FIG 1. ESQUEMA TANQUE PRIMERAS AGUAS LLUVIAS.....	11
FIG 2. VALORES DE Kc PARA DIFERENTES CULTIVOS.....	31
FIG 3. CONEXIÓN SENSORES ARDUINO Y PLACA ARDUINO	45
FIG 4. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	48
FIG 5. INSTALACIÓN BASES Y TECHO DE LA HUERTA.....	53
FIG 6. INSTALACIÓN PLÁSTICO PARA INVERNADEROS	53
FIG 7. CONSTRUCCIÓN DE LAS CAMAS DEL HUERTO	54
FIG 8. INSTALACIÓN DE LATERALES Y SUB-LATERALES	54
FIG 9. CONEXIÓN SISTEMA DE RIEGO AL TANQUE PRINCIPAL	55
FIG 10. INSTALACIÓN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO	55
FIG 11. SOFTWARE ARDUINO	56
FIG 12. CÓDIGO DE APERTURA SISTEMA DE RIEGO	57
FIG 13. DIAGRAMA FUNCIONAMIENTO SISTEMA DE RIEGO	58
FIG 14. TANQUE DE PRIMERAS AGUAS LLUVIAS	61
FIG 15. FILTRO TANQUE PRIMERAS AGUAS LLUVIAS.....	62
FIG 16. TANQUE PRINCIPAL ANTES DE SU INSTALACIÓN.....	62
FIG 17. SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	63
FIG 18. INSTALACIÓN CANALETAS Y BAJANTES.....	63
FIG 19. BAJANTE CONECTADA AL TANQUE DE PRIMERAS AGUAS LLUVIAS	64
FIG 20. ETAPA FINAL DE LOS CULTIVOS	64

Lista de tablas

TABLA 1. COEFICIENTE DE CHRISTENSEN PARA DIFERENTES MATERIALES.....	20
TABLA 2. NORMATIVA APLICADA	25
TABLA 3. METODOLOGIA DE TRABAJO	27
TABLA 4. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	29
TABLA 5. DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO.....	32
TABLA 6. CALIBRACIÓN PICNÓMETRO	34
TABLA 7. ACCESORIOS SISTEMA DE RIEGO	37
TABLA 8. ACCESORIOS HIDRÁULICOS	42
TABLA 9. RELACIÓN OFERTA Y DEMANDA HÍDRICA.....	46
TABLA 10. COSTOS DEL PROYECTO:	49
TABLA 11. TASA DE INFLACIÓN	50
TABLA 12. CONFIGURACIÓN Y CONTROL DE LOS SENSORES PARA EL RIEGO	59

RESUMEN

El presente documento contiene la información para la implementación de un sistema de riego automatizado con fuente de aguas lluvias, con el fin de facilitar el cuidado de la huerta escolar en épocas de receso. Teniendo en cuenta las etapas secuenciales para la puesta en marcha del proyecto, los cuales son: el diseño agronómico en el cual delimita el área del cultivo, se calcula la demanda hídrica y tipo de especie a cosechar, luego en el diseño hidráulico se tiene en cuenta las pérdidas de carga generadas por los accesorios y tuberías, evitando variaciones en el caudal de los goteros; finalmente en el diseño Arduino se desarrolla la programación y calibración de los sensores, para la activación del riego de forma automática.

Por otra parte, con base a la información recolectada por el IDEAM de precipitación diaria en un periodo de tiempo de 1975 hasta el 2015, se construyeron mapas (IDW) de la precipitación mensual multianual de Cazucá, utilizando el método de interpolación con distancia inversa ponderada, para identificar la cantidad de aguas lluvias disponible en los diferentes meses, de esta manera y siguiendo la metodología del CEPIS [1], la construcción de un sistema de captación, almacenamiento y distribución de las aguas lluvias, que permita el riego de la huerta escolar y esta a su vez no se vea afectada en épocas de receso escolar o por corte temporal del servicio de la red pública, facilitando su cuidado. Por otro lado, siendo un método didáctico para la enseñanza de temas como los recursos naturales, cuidado del medio ambiente y trabajo en equipo. Por lo anteriormente mencionado, este proyecto está asociado a unos costos y beneficios iniciales para su implementación.

Como resultados se obtuvo una huerta escolar de fácil mantenimiento y cuidado, gracias a la integración de un sistema de captación de aguas lluvias, el cual cubrió la demanda hídrica de las hortalizas en su totalidad y un sistema de riego automatizado, que permitió el riego de la huerta de manera autónoma; por último la huerta escolar fue construida por los estudiantes del colegio Luis Carlos Galán, generando en ellos trabajo en equipo y desarrollo de conocimientos en cuanto: agricultura, uso del agua, uso de materiales reciclados, para el desarrollo del proyecto.

I. INTRODUCCIÓN

Algunas zonas del país se encuentran en alta vulnerabilidad hídrica, ya sea por factores sociales, económicos o políticos. Las instituciones de educación superior como la Universidad Santo Tomas tienen un compromiso social, tal es el caso que esta cuenta con un centro de proyección social ubicado en Cazucá, por ende uno de los proyectos desarrollados durante los últimos años se conoce como “escuelas protectoras”, en donde existe un componente ambiental, en el cual se busca generar conocimientos y respeto por el medio ambiente por medio de una huerta escolar; debido a esto el proyecto se realizó con el fin de diseñar e implementar un prototipo, que permitiera la automatización en el sistema de riego y almacenara las aguas lluvias del colegio Luis Carlos Galán, también que permitiera realizar el registro de variables como: la humedad del suelo, temperatura, humedad del aire y control del caudal; por medio de una plataforma de microcontroladores con sensores integrados, permitiendo identificar en los cultivos su periodo de producción, teniendo en cuenta variables como: la lámina de agua, el porcentaje de humedad aprovechable y distancia radicular, aumentando la eficiencia de los sistemas y el desarrollo óptimo de la huerta, como se describe en el marco teórico del presente trabajo.

La automatización e integración de software dentro de la huerta está enfocado no solo en garantizar el correcto funcionamiento de esta, si no que permitió desarrollar sus procesos de cultivo en épocas de vacaciones escolares, en donde la falta o el exceso de riego generaban daños en el cultivo o la muerte de este, por otra parte, teniendo en cuenta que la precipitación esta toda forma de humedad que se origina en las nubes y que llega a la superficie terrestre [2]; siendo esta necesaria para el funcionamiento del sistema de captación de aguas lluvias. Los resultados obtenidos por medio de las estaciones pluviométricas del IDEAM, se observó que los valores de precipitación máxima son de 85 mm los cuales se encuentra en los meses de mayo y octubre, por el contrario, los valores más bajos se presentan en los meses de febrero y diciembre con unas precipitaciones mínimas de 39 mm, siendo estos datos de gran importancia para el diseño e implementación del sistema de recolección, almacenamiento de aguas lluvias y riego de la huerta.

Finalmente, el desarrollo del proyecto abarco un componente social, debido a que las hortalizas no solo sirvieron como insumo para la cafetería de la institución, sino también un acercamiento para los estudiantes sobre conocimientos del medio ambiente y una forma didáctica de aprendizaje, debido a los componentes tecnológicos que se integran por medio de la lógica de programación en Arduino y el uso eficiente de aguas lluvias.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Implementar un sistema piloto de recolección de aguas lluvias de fácil mantenimiento, como alternativa para la demanda hídrica en las actividades relacionadas en el área de cultivos del colegio Luis Carlos Galán, con un uso eficiente del recurso.

2.2 Objetivos específicos

- Conocer el potencial de ahorro del recurso hídrico implementando un sistema de recolección, almacenamiento y distribución de aguas lluvias.
- Desarrollar un sistema de recolección y riego de aguas lluvias automatizado, para el riego de la huerta.
- Hacer una aproximación de la relación costo-beneficio social del sistema de recolección y riego de aguas lluvias para la huerta.

III. MARCO REFERENCIAL

3.1 Marco contextual

Cazucá es una zona ilegal, pero que desde 1.970 hasta la actualidad se está expandiendo, por la ocupación de terrenos por parte de familias desplazadas por la violencia o de bajos recursos económicos, estos barrios no cuentan suministro de agua potable de forma legal y tampoco acceso a otros servicios públicos que afectan su calidad de vida. La comunidad que se desarrolla en este sitio tiene poco conocimiento de su impacto en el entorno, la falta de educación ambiental tiene como consecuencia una calidad de vida baja. Por otra parte, el colegio Luis Carlos Galán ha sido construido por la misma comunidad y por medio de donaciones de las diferentes instituciones nacionales; por lo cual la institución no cuenta con planos ni tampoco una proyección para la construcción de los cimientos y de las zonas verdes necesarias.

El colegio Luis Carlos Galán ubicado en la comuna cuatro de Cazucá (anexo A), cuenta actualmente con dos jornadas una en la mañana en la cual asisten 500 estudiantes de primaria y una jornada en la tarde de 500 estudiantes de bachillerato, con ayuda de entidades como el Centro de Proyección Social de la Universidad Santo Tomas, tienen como objetivo generar los conocimientos necesarios para formar personas consientes y responsables con el medio ambiente; generando por medio de actividades didácticas el entendimiento e importancia de los recursos naturales y uso responsable del agua. De esta manera nace el desarrollo de una huerta escolar con una fuente hídrica sostenible, que permita hacer un uso y ahorro de agua potable, sustituyendo el riego con aguas lluvias, y un sistema de riego automatizado con sensores que permita aumentar la eficiencia del riego evitando desperdicios de agua lluvias por riego incensario.

3.2 Marco teórico

3.2.1 El recurso hídrico en torno a las instituciones educativas

Las instituciones están generando conciencia sobre el recurso, debido a esto, han evolucionado al punto de implementar programas de Uso Eficiente y Ahorro de agua. Un ejemplo claro de ello es la Escuela Superior de Administración Pública, la cual plantea diversas etapas con base en la guía de ahorro y uso eficiente de agua expedida por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Según el estudio realizado en la Escuela, se determinó que el 61% del consumo se registró en los sanitarios y orinales y el 39% en los lavamanos. Por ende, en las instituciones educativas hay una relación directa entre plantel educativo y uso del recurso hídrico [3].

Otro ejemplo clave fue el Colegio Ramón B. Jimeno ubicado en la localidad de Santafé de Bogotá, el cual realizó un estudio enfocado a diagnosticar el estado actual del colegio en temas de fugas de agua, uso ineficiente de agua potable y concientización de la población sobre costumbres para el buen uso del agua potable. Por medio de esto se determinó que la institución se encuentra dentro del rango de los parámetros normativos, a pesar de que existen modificaciones en las redes de acueducto para identificar el consumo de agua real del plantel educativo. [4].

Con base en esto, la institución educativa Luis Carlos Galán desarrolló una propuesta de ahorro y uso eficiente del agua, por medio de la implementación de un sistema de captación de aguas lluvias, con el cual se logra disminuir el uso de agua potable, para actividades de saneamiento, zonas públicas, riego de jardines entre otras actividades que no se destinan para el consumo humano. Esto significa un bienestar en las comunidades vulnerables que por sus condiciones sociales, políticas o geográficas no cuentan con una fuente de suministro de agua.

3.2.2 Composición del sistema de recolección de aguas lluvia

Siguiendo los parámetros establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (CEPIS), el desarrollo integrado de los sistemas de captación, almacenamiento y riego se describen a continuación, para el diseño básico de un sistema de recolección de aguas lluvia [1].

3.2.2.1 Captación

El cálculo del área de captación puede darse de manera indirecta ya sea por los planos de la construcción o de manera directa, siendo calculadas por las medidas del área de importancia, existen gran variedad de materiales que componen los techos, algunos pueden ser de plástico, metal, barro, o concreto; no obstante, los materiales con mayor grado de captación son aquellos que son más lisos y con menor grado de porosidad. El mantenimiento con selladores o impermeabilizantes para el tejado no debe desprender toxinas o generar crecimiento bacteriano en los poros de los materiales anteriormente mencionados, previniendo posibles afectaciones a la salud de las personas [5].

3.2.2.2 Recolección y conducción

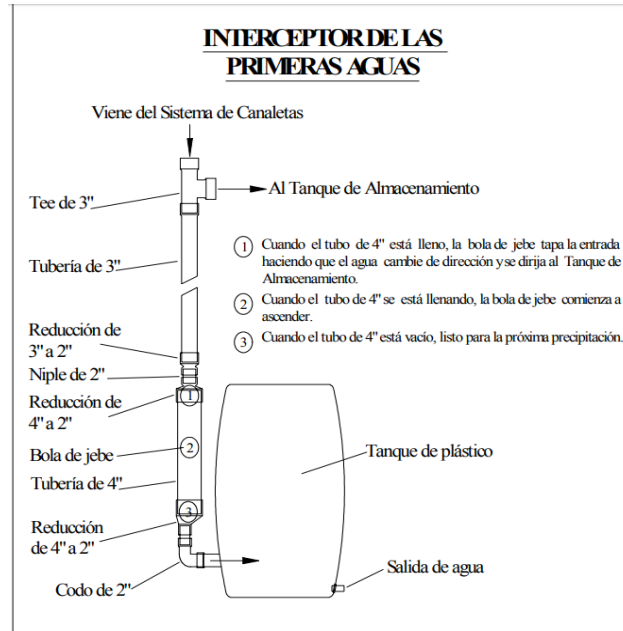
La recolección se da por medio de canaletas livianas de fácil unión, previniendo posibles fugas de agua, estas piezas pueden estar hechas con bambú, madera, metal o PVC. En el caso de las primeras aguas es necesario contar con un tanque o dispositivo que permite el desagüe de estas, ya que son fuente de contaminación [1].

3.2.2.3 Interceptor o recolector de primeras aguas lluvias

Este dispositivo almacena de manera temporal toda el agua que lava el área de captación al inicio de la precipitación de la lluvia, esto con el fin de evitar un almacenamiento de agua con alto contenido de impurezas o sedimentos. Se tiene en cuenta que el volumen requerido para el lavado del techo o área de captación es 1 litro por metro cuadrado [6]. Las primeras aguas recogidas por este dispositivo pueden ser utilizadas en actividades como el riego de plantaciones, a continuación, se ilustra mejor la composición de este dispositivo y su ecuación para su dimensionamiento.

$$\text{volumen Tanque} = 1 \frac{\text{litros}}{\text{m}^2} * \text{Area de captación m}^2 \quad (1)$$

Fig 1. Esquema tanque primeras aguas lluvias



Fuente: [1]

3.2.2.4 Almacenamiento

La unidad de almacenamiento debe ser construida con una vida útil de mucho tiempo y para almacenar agua durante periodos de sequía, cumpliendo ciertas especificaciones como: impermeabilidad para evitar pérdidas de agua, contar con mallas en la entrada para evitar el ingreso de animales o insectos pequeños, disponer de una escotilla lo suficientemente grande que permita el ingreso de personas para labores de mantenimiento y limpieza, esto último es de gran importancia para evitar posibles enfermedades infecciosas como el dengue [7].

3.2.2.5 Dimensionamiento del sistema de captación de aguas lluvia

Siendo la precipitación toda forma de humedad que origina en las nubes, y llegando a la superficie terrestre, de los mismos fenómenos de precipitación se encuentran: las granizadas, nevadas y garuas, éstas a su vez pueden llegar a ser clasificadas según su intensidad milímetros / hora [2]. Tanto para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento como el de primeras aguas lluvias, es necesario los datos de precipitación promedio mensual de los 10 o 15 últimos años. A partir de estos datos es posible calcular la cantidad de agua recolectada por metro cuadrado, determinando:

- Área del techo necesario y capacidad del tanque almacenamiento
- El volumen de agua y la capacidad del tanque para un determinado techo

Para el cálculo de la demanda y oferta hídrica, es necesario el cálculo de la precipitación media mensual con la información pluviométrica de la zona de interés como se mencionó anteriormente, el cálculo se estima de acuerdo con la ecuación 1.

$$PPi = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Pi}{n} \quad (1)$$

Donde:

PPi =precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (milímetros/mes)

n = número de años evaluados

Pi= valor de la precipitación mensual del mes “i” (milímetros)

Al calcular los promedios mensuales de precipitación con la ecuación (1), se puede estimar las dimensiones del tanque de almacenamiento, en función del coeficiente de escorrentía, el material del techo y la cantidad de agua que puede ser captada en el área del techo. Como se describe en la siguiente ecuación.

$$Ai = \frac{PPi * Ce * Ac}{1000} \quad (2)$$

PPi = Precipitación promedio mensual (litros / metros cuadrados)

Ce = Coeficiente de escorrentía tejado (0,9 metálicas; arcilla y fibrocemento 0,8; paja y madera 0,6)

Ac = Área de captación (metros cuadrados)

Ai = Oferta de agua en el mes “i” (metros cúbicos)

3.2.3 Composición sistema de riego por goteo

El desarrollo del sistema de riego se plantea para diferentes cultivos, debido a que prolongar un mismo cultivo durante años, hace propensa la huerta a posibles ataques de plagas; ya sea de hongos o insectos teniendo consecuencias negativas en el funcionamiento de esta.

Para el diseño e implementación del sistema de riego se utilizan las ecuaciones planteadas en [8], permitiendo calcular la cantidad de agua necesaria para sistemas de riego por goteo.

3.2.3.1 Cálculo láminas de agua

La lámina de agua hace referencia a la cantidad de agua necesaria para satisfacer la necesidad de los cultivos, dependiendo del peso específico aparente del suelo, capacidad de almacenamiento, profundidad de la raíz, el cual es expresado en centímetros o milímetros.

3.2.3.2 Consumo de agua

El cálculo del consumo de agua en un sistema de riego por goteo debe ser diseñado en las condiciones más severas, es decir para determinar el consumo es necesario utilizar el mes más caluroso y el estado de mayor desarrollo del cultivo, siendo el consumo diario el proceso de evapotranspiración de las plantas ilustrado por la siguiente ecuación [9].

$$ET_o = 0,0135 (T^{\circ} media + 17,78) * R_s \quad (3)$$

$$R_s = R_o * K_t * (T^{\circ} max - T^{\circ} min)^{0,5}$$

ET_o = Evapotranspiración potencial *mm / d*

T° media = Temperatura media en *C°*.

Rs = Radiación solar incidente, convertida en *mm / d*

Ro = radiación solar extraterrestre en *mm / d* (Cazucá Latitud 4° hemisferio norte) anexo F

Kt = 0,162 para regiones del interior o 0,19 para regiones costeras

T máx = temperatura máxima diaria en C° .

T min = Temperatura mínima en C° .

Luego de calcular la evapotranspiración potencial, es necesario realizar un ajuste conocido como coeficiente de cultivo K_c que permite calcular la evapotranspiración real como se ilustra en la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (4)$$

ET_c = evapotranspiración real mm / d

ET_o = Evapotranspiración potencial mm / d

K_c = Coeficiente de cultivo adimensional

3.2.3.3 Lámina de reposición y de aplicación de riego

La lámina de reposición hace referencia a la cantidad de agua que fue consumida desde el ultimo riego, siendo este valor representado en porcentaje, el cual se encuentra entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (CM) [8], siendo la cantidad de agua absorbida por el cultivo hasta que se aplique el próximo riego y es calculado de la siguiente manera.

$$dr = \frac{c(CC-CM)}{100} * Ga * ds * \frac{Ai}{At} * 1.000 \quad (5)$$

dr = Lámina de reposición en milímetros

C = Coeficiente de reposición; 0,15 hortalizas 0,20 especies perennes

CC = Capacidad de campo en porcentaje

CM = Punto de marchitez en porcentaje

Ga = Gravedad específica aparente

Ds = Profundidad de las raíces en metros

Ai = Área de influencia en metros cuadrados

At = Área total en metros cuadrados

Cálculo de capacidad de campo CC

$$cc = \frac{P_{sh}-P_{ss}}{P_{ss}} * 100 \quad (6)$$

CC= Capacidad de campo en porcentaje

P_{sh}= Peso suelo húmedo; *gramos*

P_{ss}= Peso suelo seco; *gramos*

Cálculo Punto de marchitez PMP

$$PMP = \frac{P_{ah} - P_{dh}}{P_{dh}} * 100 \quad (7)$$

PMP = Punto de marchitez permanente en porcentaje

Pah = Peso suelo antes del horno; *gramos*

Pdh = Peso suelo después del horno; *gramos*

Gravedad específica:

Utilizando la norma 128 – 07 como metodología del Instituto Nacional de Vías para el cálculo de la gravedad específica [10], siendo necesario los siguientes materiales:

- Pipeta de 500 mililitros
- Termómetro
- Balanza
- Bomba de vacío
- Tubo
- Embudo
- Mechero

El primer paso es la calibración del picnómetro con agua, tomando la temperatura y su variación del volumen cinco veces ,debido al aumento en la temperatura por el mechero, luego se debe calcular W_{aTx} como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W_{aTx} = \frac{\rho_w T_x}{\rho_w T_{20^\circ}} * (W_{aTx} - W_f) + W_{aTx} \quad (8)$$

W_{aTx} = Masa del picnómetro + agua a la temperatura de ensayo en *gramos*

$\rho_w T_x$ = Densidad del agua a Temperatura de ensayo g/ml (tabla 1 norma 128-07)

$\rho_w T_{20^\circ}$ = Densidad del agua a temperatura de calibración g/ml (tabla 1 norma 128-07)

W_{aTx} = Masa del picnómetro más agua a temperatura de ensayo en $^\circ C$.

W_f = Masa del picnómetro seco en *g*.

Finalmente, la gravedad específica es expresada con la siguiente formula:

$$G_s = \frac{W_s * \left(\frac{\rho_w T_x}{\rho_w T_{20^\circ}} \right)}{W_s * W_b - W_{atx}} \quad (9)$$

G_s = Gravedad específica

K = Factor de corrección basado en la densidad del agua a temperatura de ensayo / densidad a la temperatura de 20 C° (tabla 1 de la norma 128 -07)

W_s = Masa del suelo seco en *gramos* (secado de la muestra al horno durante 24 h a 110 C°.)

W_a = Masa del picnómetro + agua a la temperatura de ensayo en *gramos*

W_b = Masa del picnómetro + agua + suelo a la temperatura de ensayo en *gramos*

3.2.3.4 Calculo lámina de agua aplicada para el cultivo

El espesor de la lámina de agua que debe ser aplicada en cada riego es.

$$da = \frac{dr}{Ef} \quad (10)$$

da = Lámina de agua que se debe aplicar en milímetros

dr = Lámina de agua que se debe reponer en milímetros

Ef = Eficiencia del sistema en porcentaje

3.2.3.5 Cálculo de la frecuencia de riego

El cálculo de la lámina de reposición es solo la parte inicial, ya que también es necesario conocer la frecuencia del abastecimiento bajo ciertas condiciones y dependiendo el cultivo, la frecuencia de riego es el periodo que transcurre entre dos riegos consecutivos y representa el tiempo que necesita el cultivo para consumir el agua de reposición. La fórmula se expresa de la siguiente manera:

$$F = \frac{dr}{Ud} \quad (11)$$

Donde:

F = Frecuencia en *d*

dr = Espesor lámina de reposición en milímetros

Ud = Consumo de agua milímetros/ *d*

3.2.3.6 Duración del riego y numero de goteros

Es el tiempo necesario para aplicar la lámina de agua (**da**) y esta a su vez dependerá del número de goteros y el gasto de cada uno de estos.

$$T = \frac{da \cdot Ai}{nq} \quad (12)$$

Donde:

- T** = Duración del riego en horas.
- da** = La lámina de aplicación en milímetros.
- Ai** = Área de influencia en metros cuadrados.
- n** = Número de goteros.
- q** = Gastos de los goteros en litros /hora.

3.2.3.7 Calculo área humedecida

Es la relación entre el área de influencia y el área que debe ser humedecida, dependiendo el tipo de suelo y el gasto de los goteros, se considera que el área humedecida debe ser mayor al 30 por ciento que el área de influencia. Para el caso de los cultivos hortícolas y otros cultivos de corto espaciamiento, el área de influencia debe ser humedecida en su totalidad. Siendo calculado de la siguiente manera.

$$R = \frac{Ah}{Ai} \quad (13)$$

Donde:

- Ah** = Área humedecida en metros cuadrados
- Ai** = Área de influencia en metros cuadrados
- R** = Relación área húmeda / área de cultivo

Para los cultivos hortícolas el área humedecida se expresa de la siguiente manera

$$Ai = E1 * Ee \quad (14)$$

- Ai** = Área húmeda en metros cuadrados
- E1** = Distancia entre laterales en metros
- Ee** = Distancia entre goteros en metros

3.2.3.8 Gasto total del sistema día

El gasto total del sistema de riego para un día será la relación entre la lámina de aplicación en cada riego sobre su frecuencia, multiplicado por al área de influencia de la especie a cosechar, sobre su área total dado por el producto entre el área total del cultivo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{da}{F} * \frac{Ai}{At} * At \text{ cultivo} \quad (15)$$

Q = Gasto del sistema en litros/ *d*

da = La lámina de aplicación en milímetros.

F = Frecuencia en *d*

Ai = área húmeda en metros cuadrados

At = área de espaciamiento entre plantación en metros cuadrados

At cultivo = Área total de siembra en metros cuadrados

El desarrollo de estas ecuaciones permite conocer la oferta hídrica en cada uno de los meses como se explica en la ecuación 2, por otra parte, se tiene la demanda de los diferentes cultivos como se expresa en la ecuación 14. Esta relación permite conocer la oferta hídrica disponible y la demanda de los posibles cultivos a sembrar dependiendo de la temporada, no solo optimizando el riego sino también teniendo una alta eficiencia en la productividad de la huerta.

3.2.4 Componente hidráulico

Para el desarrollo hidráulico del prototipo es necesario conocer las variaciones máximas del caudal de los distintos goteros, dependiendo las características y tipos de goteros [11], en los cuales se puede admitir un 10 % de la variación del caudal en función de la presión, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$dH = \frac{0,1}{X} * H \quad (16)$$

dH = variación máxima de la presión, metros columna de agua

H = presión de trabajo del emisor (valores dados por el fabricante entre 1 m.c.a hasta 10 m.c.a)

X = exponente de descarga del emisor (valores dados por el fabricante entre 0,1 para goteros auto-compensantes y 0,5 para goteros orificio o vortex.

El costo mínimo de instalación se da cuando el 55% de las perdidas admisibles ocurren en los laterales, mientras que el 45% restante ocurre en las tuberías terciarias o porta laterales [12]. Bajo este criterio la ecuación 15. Se calcula de la siguiente manera

$$Hr \text{ admisible lateral} = \frac{0,055}{X} * H \quad (17)$$

El valor Hr admisible de la ecuación 16 deber ser como máximo las pérdidas de carga que ocurren en el lateral. Siendo las pérdidas de carga del lateral calculado de la siguiente ecuación:

$$Hr \text{ lateral} = J * F * (Lr + Le) \quad (18)$$

Hr lateral = perdida de carga en el lateral en m.c.a

J= perdidas de carga unitaria, en m.c.a / m lineal

F = Factor de Christensen

Lf = longitud de tubería en metros

Le = longitud equivalente de accesorios en metros

3.2.4.1 Factor de Christensen

Es también conocido como un factor de ajuste para las pérdidas de carga generadas por la fricción en las tuberías con salidas múltiples [13]. siendo $l_0 = 1$ cuando la primera derivación es equidistante entre todas las derivaciones o $l_0 = \frac{1}{2}$ cuando la primera derivación se encuentra a la mitad de la distancia entre el espaciamiento de las demás derivaciones, en la siguiente tabla se puede observar el factor de Christensen en función de las salidas o número de goteros.

Tabla 1. Coeficiente de Christensen para diferentes materiales

n	$l_0 = 1$					n	$l_0 = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,439	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,388	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,341
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,366	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,349
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,372	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
>300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-
n = Número de salidas						En la práctica se toma los siguientes valores de β :					
$\beta=1,75$. Blasius, Cruciani-Margaritora						$\beta=1,75$ para tuberías de PE					
$\beta=1,80$. Scimemi						$\beta=1,80$ para tubería de PVC					
$\beta=1,85$. Iso, Veronesi-Daite						$\beta=1,85-1,90$ para tubería de aluminio					
$\beta=1,90$. Hazen-Williams											
$\beta=1,90$. Scobey											
$\beta=2,00$. Manning, Darcy-Weisbach											

Fuente: [12]

3.2.4.2 Longitud equivalente accesorios

Las ramificaciones o también llamados accesorios dentro de la red están compuestas por piezas especiales en forma de T, las cuales generan perdidas de carga en un punto singular [14], para ello es necesario calcular de manera equivalente en metros de tubería las pérdidas generadas por los accesorios.

$$Le = K \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (19)$$

Le= pérdida localizada en metros

K = coeficiente que depende del tipo de obstrucción o accesorio.

V= velocidad de circulación del agua en metros / segundo

G= aceleración de la gravedad metros / segundo al cuadrado

3.2.4.3 Las presiones en el origen del ramal

Debido a que la distribución uniforme del caudal depende de la presión existente en la red, se ha comprobado de manera experimental que en el tramo inicial del ramal se produce el 75% de la perdida de carga total en el lateral, si los emisores son del tipo aspersor o el 73% de perdida de carga en emisores del tipo gotero [12]. Siendo la presión en los laterales descrita de la siguiente manera:

$$\frac{Po}{\rho} = \frac{Pn}{\rho} + 0,73 Hr \pm \frac{\Delta Z}{2} \quad (20)$$

Po= presión en el origen del ramal m.c.a

Pn= presión media del ramal la cual debe ser igual a la presión de trabajo de los goteros siendo $Pn = H$.

Hr = perdidas de carga en el ramal. En m.c.a

$\pm \Delta Z$ = desnivel geométrico entre los extremos del ramal en metros. + si la pendiente es ascendente y – si la pendiente es descendente.

De manera simplificada la ecuación 19 se describe de la siguiente forma.

$$Po\ lateral = H + 0,73\ Hr \pm \frac{\Delta Z}{2} \quad (21)$$

3.2.5 Composición sistema Arduino

Arduino es una plataforma que permite crear prototipos electrónicos de código abierto, basados en software y hardware fáciles de usar, que permiten la interacción con su entorno por medio de la lógica de programación.

3.2.5.1 Electroválvula

Son válvulas electromecánicas, con el objetivo de dar el paso o cierre de un fluido, a través de un conducto o tubería, su funcionamiento se basa en la inducción eléctrica y se clasifican según su tamaño, número de vías, voltaje o fluido como se muestra en los anexos.

3.2.5.2 Manguera para riego con goteros auto compensados

Esta manguera cuenta con goteros incorporados dentro de esta que permiten la distribución controlada del caudal, al tener este tipo de dispositivos permite que la presión sea la misma sin importar la distancia con el punto de recepción del agua, por consecuencia el caudal es el mismo haciendo que las plantas reciban el mismo volumen de agua.

3.2.5.3 Placa Arduino

Son placas con un microcontrolador con hardware libre, el cual permite construir dispositivos digitales y también la conexión de sensores que permiten el control e interacción con otros dispositivos, capaz de ejecutar y seguir instrucciones pregrabadas.

3.2.5.4 Sensores de Arduino

Son dispositivos capaces de detectar acciones externas y responder frente a estas, siendo capaces de transformar magnitudes físicas o químicas en magnitudes

eléctricas, como el sensor de humedad del suelo YL-69 o el módulo sensor de temperatura y humedad del aire DHT11, que pueden ser visto en los anexos H.

3.3 Marco conceptual

3.3.1 Precipitación Mensual

Se define como precipitación a cualquier forma de agua meteórica o hidrometeoro denominado científicamente, recogida en la superficie y medida por un pluviómetro. La precipitación mensual, es el promedio calculado en un mismo mes con base en el criterio de representatividad temporal que establece tomar como mínimo el 75% de los datos que decreta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial en el año 2010 [15].

3.3.2 Punto de Marchitez

El punto de marchitez permanente es el cálculo del agua que es capaz de absorber el sistema radical del cultivo de acuerdo con la textura del suelo. En otras palabras, es el cálculo de la tensión máxima que puede realizar un cultivo para extraer el agua del suelo. Se define para conocer la disponibilidad de agua que tiene el suelo para las plantas a una tasa adecuada como para permitir su crecimiento óptimo [16].

3.3.3 Capacidad de campo

Se define como “el contenido hídrico del suelo, luego de que el mismo haya sido saturado por la lluvia o por el riego y se ha vuelto muy lenta la percolación del agua gravitatoria”, dicha condición se sostiene por dos a tres días luego de la saturación. Se puede considerar como el límite máximo de retención de agua por parte del suelo, la cual depende de factores como: la distribución de los diferentes componentes sólidos, distribución y tamaño de los poros, contenido de materia orgánica, estabilidad de la estructura del suelo y tipo de arcillas presentes (textura del suelo) [16].

3.3.4 Perdidas de carga

Es un fenómeno que se produce por medio de la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y el material de las paredes de la tubería que lo conduce. Pueden ser de dos maneras: Continuas y localizadas [17].

3.3.5 Cultivo de referencia

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son cepas de reserva y de trabajo, las cuales se utilizan para evaluar la calidad de los medios de cultivo, manejando controles de calidad internos y reactivos en este caso, en la huerta del colegio. Además de pruebas confirmatorias y validando métodos aplicados para lograr un crecimiento óptimo en el cultivo [9].

3.3.6 Evapotranspiración potencial

Conjunto de pérdidas físicas y biológicas del suelo en vapor de agua. Se expresa en mm por unidad de tiempo. Esta variable depende de diversos factores tales como radiación, humedad del aire y viento. En relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se usa como un indicador de humedad o aridez [18].

3.3.7 Radiación solar extraterrestre

La radiación solar extraterrestre es la radiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera. [9].

3.4 Marco legal

El proyecto se encuentra regido por un marco normativo, el cual se describe en la siguiente tabla .

Tabla 2. Normativa aplicada

Ley/Decreto	Normativa Huertas Escolares	Ley/Decreto	Normativa uso y aprovechamiento de aguas lluvias
Ley 115 de febrero 8 de 1994” Por la cual se expide la ley general de educación.” Artículo 14 “Enseñanza obligatoria”	En las últimas décadas el desarrollo e interacción de la ciudadanía con el medio ambiente de forma responsable ha sido de gran importancia; para los centros educativos tanto privados como públicos es de carácter obligatorio la enseñanza de la protección del medio ambiente, la ecología, preservación y uso racional de los recursos naturales. El artículo promueve a que la educación sea incluyente en cuanto al entorno rural de las huertas escolares, según lo disponga el plan de desarrollo municipal o distrital, en donde permitan desarrollar prácticas agropecuarias.	Ley 373 de junio 6 de 1997” por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua” Artículos 2, 5 Y 9.	En Colombia en términos normativos para el uso del recurso hídrico se tiene gran cantidad de leyes y decretos, que regulan su uso como un bien público y un servicio público, también en materia ambiental existen normas que permitan su regulación y uso eficiente, sin embargo, no existen lineamientos claros para el aprovechamiento de aguas lluvias, a continuación, se citaran algunas de las leyes o decretos entorno al recurso.
		Decreto 302 del 2000 “Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado”	En el cual se dictan las normas que regulan las relaciones entre las empresas que prestan el servicio de acueducto y alcantarillado, no obstante, el término aguas lluvias solo es tomado como parte de los desagües de una edificación.
		Decreto 3930 del 2010 “Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI- Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de	En los cuales se confiere a las autoridades ambientales el control y regulación en cuanto a vertimientos. Siendo las aguas lluvias tomadas como vertimientos; prohibiendo la descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas lluvias. De este último decreto sección II artículo 148 dictamina que cualquier dueño o poseedor de un terreno puede servirse de las aguas lluvias que caigan, siendo así podrán construir obras para el

		1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”	almacenamiento y conservación de esta siempre y cuando no afecte a terceros Y finalmente en el decreto 1090 de 2018 subsección I hace referencia al uso eficiente y ahorro del agua (UEAA) , en donde es toda acción que minimice el consumo del agua , reduzca el desperdicio y optimice la cantidad de agua a usar en un proyecto por medio del reúso , la recirculación , el uso de aguas lluvias o reconversión tecnológica que esté orientada al uso sostenible del agua.
		Decreto 1090 de 2018 “Por el cual se adiciona el Decreto 1076 del 2015, Decreto único y Reglamentado del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible , en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua y se dictan otras disposiciones”	En el cual se establece la estructura y el contenido del programa de Uso y ahorro eficiente del agua para cualquier tipo de proyecto. Definiendo como primer paso, obtener la información general de la fuente (describir el tipo de fuente) y posterior a esto generar un diagnóstico planteando una línea base según la oferta y demanda de agua, definir los objetivos del programa a partir del diagnóstico y finalmente plantear un plan de acción incluyendo la definición de metas, cronograma y presupuesto del proyecto.

IV. DESARROLLO DE LA PASANTÍA

Para el desarrollo de la pasantía y el cumplimiento de los objetivos acordados por el centro de proyección social de La Universidad Santo Tomas y el colegio Luis Carlos Galán, fue necesario la realización de actividades por etapas en función de los objetivos propuestos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3. Metodología de trabajo

Objetivos específicos	Etapas	Actividades
Conocer el potencial de ahorro del recurso hídrico implementando un sistema de recolección, almacenamiento y distribución de aguas lluvias.	Análisis zona de estudio	- Solicitar información pluviométrica del IDEAM. - Identificar y calcular el área de captación de aguas lluvia. - Calcular el volumen del tanque de primeras aguas lluvia. - Calcular el volumen del tanque principal. - Calcular la demanda hídrica para la huerta (diseño agronómico) - Delimitar el área del cultivo - Calcular perdidas de carga (diseño hidráulico)
Desarrollar un sistema de recolección y riego de aguas lluvias automatizado, para el riego de la huerta.	puesta en marcha del prototipo	- Instalar los soportes para el invernadero y plástico para invernadero - Crear e instalar las camas del cultivo - Instalar la tubería y bajantes del sistema de riego - Programar los sensores Arduino

		• Instalar los sensores y verificar el caudal
▪ Hacer una aproximación de la relación costo-beneficio del sistema de recolección y riego de aguas lluvias para la huerta.	Cálculo de la inversión necesaria para instalación del prototipo	• Determinar los costos proyectados del prototipo • Comparar los costos y beneficios del proyecto

4.1 Análisis zona de estudio

Para la instalación del sistema de riego automatizado con una fuente de aguas lluvias, fue necesario recopilar la información climatológica de la zona para realizar los cálculos en el diseño agronómico, basado en la precipitación y temperaturas diarias de la zona; luego de eso fue necesario calcular las pérdidas de carga generadas por las tuberías y accesorios del sistema de riego, para finalmente en el diseño Arduino configurar la parte física de los microcontroladores.

Basados en los cálculos realizados en los diseños tanto agronómicos, hidráulicos y Arduino, se procedió a la etapa de instalación y puesta en marcha tanto del sistema de riego como de captación de aguas lluvias para un área cultivada de 28,7 metros cuadrados.

4.1.1 Información de las estaciones hidrometeorológicas

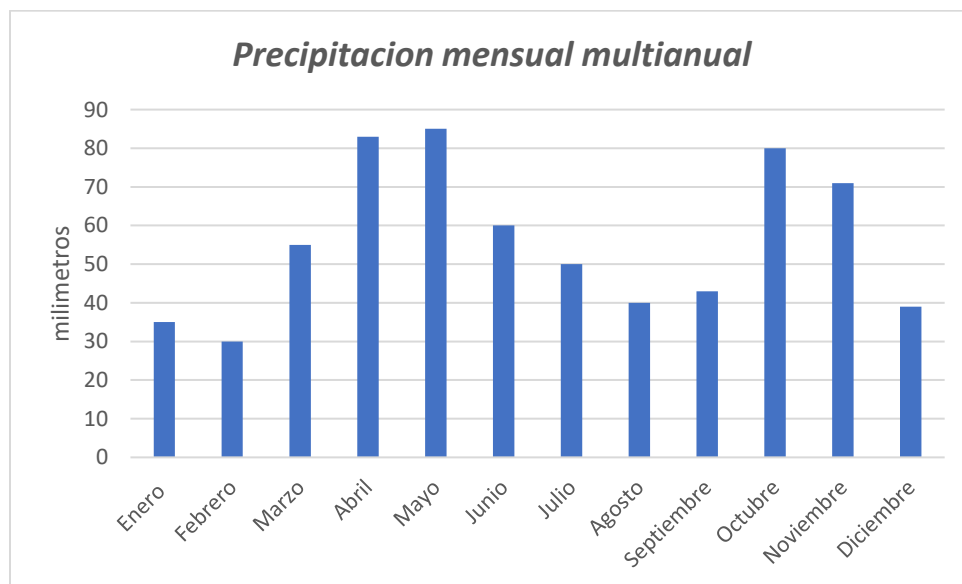
Para el análisis de la precipitación en el área de interés y fuente hídrica para la huerta, fue necesario la recopilación de la información de las estaciones más cercanas, las cuales se encuentran suspendidas actualmente, estas registraron datos de precipitación desde 1970 hasta el año 2015, siendo estos los datos más actuales registrados por el IDEAM y que cuentan con un registro mínimo de 10 años, como lo indica la metodología planteada por el CEPIS, en la siguiente tabla se muestran las estaciones escogidas.

Tabla 4. Estaciones pluviométricas

Código	Estación
21201970	Casablanca
21202050	Quiba
21201540	Bosa
21205720	San Jorge

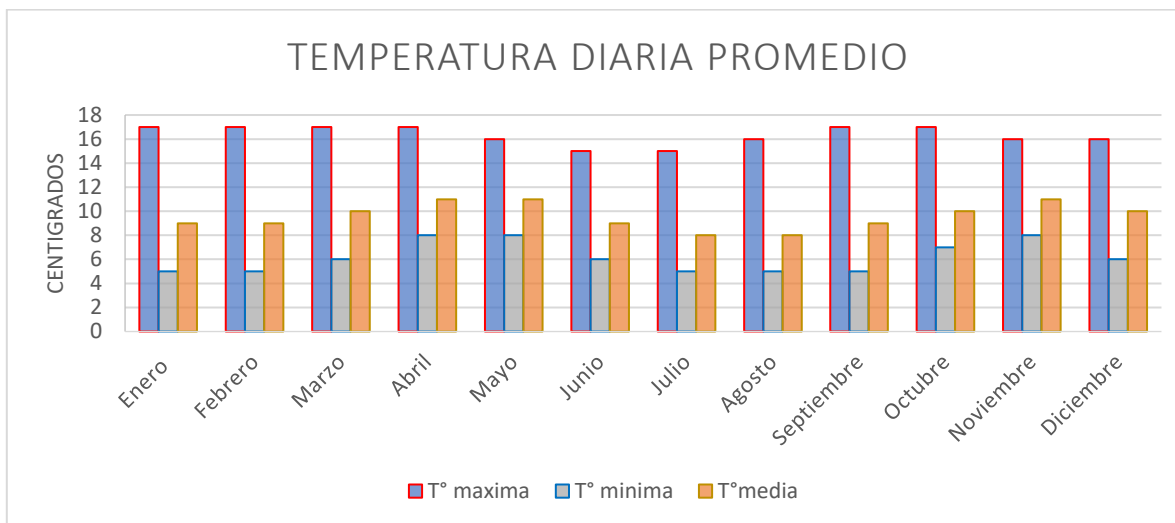
Fuente: Autores

El colegio Luis Carlos Galán se encuentra ubicado a 4° 34" 44, 18" y 74°10" 58.12" O en el municipio de Soacha muy cerca de Bogotá; las estaciones anteriormente descritas fueron seleccionadas debido a que eran las únicas que se encontraban cerca de la zona de interés. Utilizando el método de interpolación con distancia inversa ponderada (IDW) como se ilustran en el anexo B, permitió observar los puntos de mayor y menor precipitación de la zona, por medio de los mapas se describe la precipitación mensual mínima en la siguiente gráfica.



Por medio de la gráfica anterior se observa los meses en los cuales el sistema de captación de aguas lluvias almacenará mayor cantidad de aguas lluvia, o por el contrario su nivel de almacenamiento será poco, siendo los meses de mayo y octubre los valores más altos de precipitación, mientras que los meses de enero y diciembre presentan los valores más bajos de precipitación.

Por otra parte conocer las necesidades de riego de los cultivos fue necesario calcular en primer lugar la evapotranspiración de referencia, la cual hace referencia a la demanda hídrica de un cultivo en condiciones ideales, para hallar dicha evapotranspiración de referencia ,se utilizó el método de Hargreaves el cual necesita como base la temperatura máxima, media y mínima diarias; siendo estos datos obtenidos de la estación San Jorge del municipio de Soacha, a continuación, se puede observar los datos obtenidos.



Fuente: Autores

Los datos anteriormente ilustrados permiten calcular la cantidad teórica de agua que puede ser evaporada desde un suelo cubierto completamente por vegetación, en los diferentes meses, estos cálculos son desarrollados en el diseño agronómico del prototipo del presente documento.

4.1.2 Diseño agronómico.

En esta etapa inicial para el desarrollo del prototipo se realizó el cálculo de la demanda hídrica de los cultivos para un riego por goteo en condiciones desfavorables, es decir las etapas de desarrollo donde el cultivo hortícola demanda mayor cantidad de agua [8], por medio de variables como: la temperatura, radiación solar, disponibilidad del agua en el suelo, un factor k_c para los cultivos entre otros.

4.1.2.1 Evapotranspiración de referencia

Como se mencionó anteriormente para el cálculo de la evapotranspiración potencial por medio del método de Hargreaves. Siendo el mes Julio en donde se inició el periodo de cultivo, fue necesario utilizar los datos de la estación San Jorge para desarrollar los cálculos de evapotranspiración potencial como se muestra a continuación.

$$R_s = 14,4 \text{ mm/día} * 0,162 * (15 - 5)^{0,5}$$

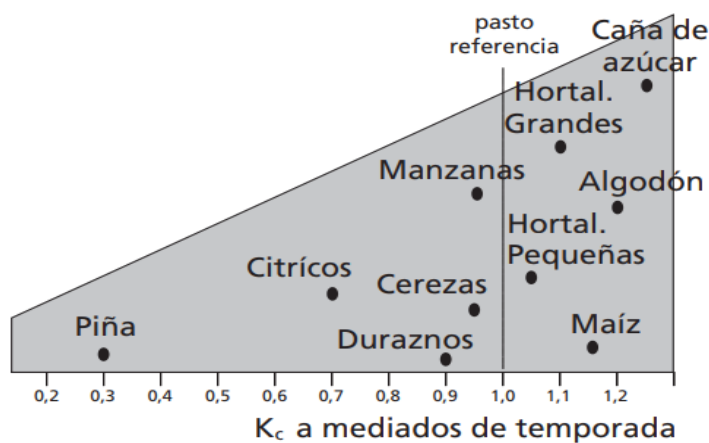
$$R_s = 7,38 \text{ mm/ día}$$

$$ETo = 0,0135 (8 + 17,78) * 7,38 \text{ mm/día} \quad (3)$$

$$ETo = 2,57 \text{ mm/día}$$

Debido a que más del 90% de la demanda hídrica de los cultivos se utiliza en procesos de evapotranspiración [19], fue necesario hacer un ajuste de corrección de la evapotranspiración de potencial, por medio de los factores de Kc en la etapa donde el cultivo demanda mayor recurso hídrico para diferentes especies vegetales, en la siguiente grafica se puede observar valores de Kc para diferentes tipos de cultivo.

Fig 2. valores de Kc para diferentes cultivos



Fuente: [9]

Según los datos ilustrados por la FAO, en la etapa de desarrollo de los cultivos donde más demanda hídrica generan las hortalizas se presenta un factor $K_c = 1,05$ aproximadamente, para calcular la evapotranspiración real se realizó un ajuste de la evapotranspiración potencial, por medio del factor K_c en los cultivos de hortalizas pequeñas como se muestra en la siguiente ecuación.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (4)$$

$$ET_c = 2,57 \text{ mm/d} * 1,05$$

$$ET_c = 2,7 \text{ mm/dia}$$

Los resultados de demanda hídrica o evapotranspiración real para el cultivo de hortalizas durante todo el año se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.Demanda hídrica del cultivo

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep	Octubre	Nov	Diciembre
precipitacion	35	30	55	83	85	60	50	40	43	80	71	39
T° maxima	17	17	17	17	16	15	15	16	17	17	16	16
T° media	9	9	10	11	11	9	8	8	9	10	11	10
T° minima	5	5	6	8	8	6	5	5	5	7	8	6
Ro	14,1	14,9	15,3	15,3	14,7	14,3	14,4	14,9	15,2	14,9	14,2	13,8
Rs	7,91	8,36	8,22	7,44	6,74	6,95	7,38	8,01	8,53	7,63	6,51	7,07
kt	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162	0,162
Evapo referencia	2,86	3,02	3,08	2,89	2,62	2,51	2,57	2,79	3,08	2,86	2,53	2,65
Kc	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Ud (mm/dia)	3,00	3,17	3,24	3,03	2,75	2,64	2,70	2,93	3,24	3,01	2,65	2,78

La evapotranspiración real de las plantas es igual al consumo diario en milímetros expresado de la siguiente manera

$$Ud = 2,7 \frac{\text{mm}}{d}$$

Para el diseño agronómico se tomaron en cuenta todos los datos tomados en campo tanto del suelo, de las especies a cultivar y número de emisores entre otros, el cálculo se ilustra en las siguientes ecuaciones.

4.1.2.2 Capacidad de campo CC:

Utilizando el método gravimétrico por Cenicaña [20], el cual consiste en construir una calicata de 1 m^2 con una profundidad de 10 cm, siendo utilizada una de las camas construidas para el huerto, luego se aplicó una lámina de agua de 103 milímetros de agua hasta llegar al punto de saturación, posteriormente se cubrió el área por 48 horas para evitar la evaporación, luego se removió el plástico y se tomó 4 muestras de 200 gramos de suelo, para luego ser pesadas y ser secadas al horno a 105°C durante 24 horas, luego de esto se vuelve a pesar el recipiente con la muestra y se calcula con la siguiente ecuación.

$$CC = \frac{800g - 632g}{632g} * 100 \quad (6)$$

Con la muestra de suelo se obtuvo una capacidad de campo del 26,58%.

4.1.2.3 Punto de Marchitez

El punto de marchitez se encontró por medio de un indicador biológico como recomienda Cenicaña [20]. En el cual se utilizaron 4 recipientes con capacidad de 500 gramos de suelo; posteriormente se recolectaron muestras de suelo de las camas del huerto. Luego se sembraron 3 semillas de frijol en cada recipiente, en donde se realizó un riego constante hasta que las plantas alcanzaran una altura de 10 cm, luego de esto se cortó el suministro de agua hasta que mostraran signos de sequía y pérdida de turgencia, alrededor de la segunda semana se alcanzó el punto de marchitez permanente, en ese momento fueron llevadas las muestras de suelo de los recipientes al laboratorio; por medio de una bolsa plástica para ser secadas al horno a 125°C durante 24 horas, a continuación de muestra los cálculos realizados.

$$PMP = \frac{2.000g - 1.706g}{1.706g} * 100 \quad (7)$$

Siendo el punto de marchitez de 17,2 %

4.1.2.4 Gravedad específica:

Utilizando la norma 128 – 07 como se describe en el marco teórico, para el cálculo de la gravedad específica [10], fue necesario el siguiente procedimiento

El primer paso la calibración del picnómetro con agua, tomando la temperatura y su variación del volumen debido al mechero como fuente de calor, como se muestra en la siguiente tabla:

Peso del picnómetro seco = 170,0 g

Tabla 6. Calibración picnómetro

Peso picnómetro más agua gramos	Temperatura C°.
668,6	19,3
668,4	20,3
668,2	21,2
667,7	23,6
667,3	25,3
668,0	22,3

Fuente: Autores

Peso picnómetro agua + suelo = 771,96 gramos a 22,3 C°.

Luego se calculó W_a como se muestra en la siguiente ecuación:

$$W_{atx} = \frac{0,9977}{0,99821} * (668 - 170,0) + 170,0 \quad (8)$$

$$W_a = 667,7 \text{ g}$$

Finalmente, la gravedad específica es expresada con la siguiente formula:

$$G_s = \frac{117,5g * \left(\frac{0,99777}{0,99821}\right)}{117,5 \text{ g} + 771,9 \text{ g} - 668,0 \text{ g}} \quad (9)$$

$$G_s = 0,52$$

4.1.2.5 Lámina de reposición y de aplicación de riego

La lamina de reposición necesaria para el cultivo, se obtuvo teniendo en cuenta las condiciones del suelo, para el diseño de las camas fue necesario contar con una distancia radicular entre 25 y 30 *cm* para el correcto desarrollo de las raíces y espaciamiento entre ellas en función de los goteros [21].

$$dr = \frac{0,15 (26,5 \% - 17,2 \%)}{100} * 0,52 * 0,3 \text{ m} * \frac{0,36}{0,36} * 1.000 \quad (4)$$

$$dr = 2 \text{ mm}$$

4.1.2.6 Lámina que debe ser aplicada

Como se desarrolló en el marco teórico deben tenerse en cuenta la eficiencia del sistema, para el caso de un sistema de riego su eficiencia es de un 90%; a continuación se describe la lámina de agua aplicada teniendo en cuenta la eficiencia del sistema de riego [22].

$$da = \frac{2 \text{ mm}}{0,9} \quad (10)$$

$$da = 2,18 \text{ mm}$$

4.1.2.7 Frecuencia de riego

Para la frecuencia de riego de hortalizas se encontró que la relación entre la lámina que debe ser aplicada y la evapotranspiración real de las plantas ,debe ser una frecuencia de riego diaria como se ilustra en la siguiente ecuación.

$$F = \frac{2 \text{ mm}}{2,7 \frac{\text{mm}}{d}} \quad (11)$$

$$F = 1 \text{ d}$$

4.1.2.8 Duración del riego y numero de goteros

Para el cálculo de la duración del riego del sistema, se tomó en cuenta que se utilizaban goteros de 4 litros hora, por otra parte al ser un cultivo de corto distanciamiento, se realizó un área de influencia de 60 *cm* de gotero a gotero por 60 *cm* de sub-lateral a sub-lateral, esto con el objetivo que se superpongan las

áreas humedecidas de los goteros, teniendo una duración de riego de 12 minutos como se ilustra en la siguiente ecuación.

$$T = \frac{2,18 \text{ mm} * 0,36 \text{ m}^2}{1 * 4 \text{ l/h}} \quad (12)$$

$$T = 0,20 \text{ h}$$

$$T = 12 \text{ m}$$

4.1.2.9 Gasto total del sistema

Finalmente, al conocer la lámina de aplicación necesaria según la demanda hídrica, fue necesario aplicar el riego en el área total de la huerta, lo que significó que el área de influencia fue igual al área humedecida, esto con el fin de tener una cobertura total del cultivo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{2,18 \text{ mm}}{1 \text{ d}} * \frac{0,36 \text{ m}^2}{0,36 \text{ m}^2} * 28,7 \text{ m}^2 \quad (15)$$

$$Q = 85,7 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

4.1.3 Diseño hidráulico

Por medio de los cálculos realizados previamente en el diseño agronómico, se realizó el dimensionamiento de la red de riego, de tal forma que se pudiera aplicar el riego en el tiempo establecido según su demanda, siendo primero necesario dimensionar los laterales con sus respectivos sub-laterales y luego el porta-laterales o tubería secundaria como se ilustra en el anexo C.

Teniendo en cuenta variables del fabricante con un 0,2 como exponente de descarga y 3 Metros de Columna de Agua (m.c.a) como presión de trabajo; para el cálculo de las pérdidas admisibles según las características de los goteros se encuentra que las pérdidas de carga admisibles son:

$$Hr \text{ admisible lateral} = \frac{0,055}{3 \text{ m.c.a}} * 0,2 \quad (17)$$

$$Hr \text{ admisible lateral} = 0,83 \text{ m.c.a}$$

Siendo las pérdidas de carga admisibles de los goteros como máximo iguales a las pérdidas de carga generadas en el sistema de riego. El cálculo de las pérdidas de carga se encuentra por medio de los ábacos ubicados en el Anexo G.

4.1.3.1 Pérdidas de carga lateral principal (Lp)

Las pérdidas de presión dentro de la tubería de 16 milímetros hecha de Polietileno (PE), con un caudal máximo de los goteros de 4 litros por hora, para el lateral principal que conecta todo el huerto como se describe a continuación:

Este lateral cuenta con 56 goteros incorporados y una longitud de 16, 7 metros.

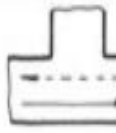
- 56 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h

$$\text{Caudal} = 56 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal} = 0,22 \text{ m}^3$$

Con este caudal se buscó en el Abaco de polietileno de baja densidad del anexo G un caudal de $0,22 \text{ m}^3$ con un diámetro de 16 mm, el cual presenta unas pérdidas de carga de 0,05 j y una velocidad de 0,5 m/s; por otra parte, cuenta con 11 accesorios para conexión lo que implico el cálculo de una longitud equivalente con un factor k como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7. Accesorios sistema de riego

Figura					
K	0,5	1,0	1,5	3,0	0,05
Figura					
K	0,1	0,5	2,0	3,0	

Fuente: [17]

Siendo la longitud equivalente de los accesorios

$$longitud\ equivalente = 1,5 \frac{0,5^2 m/s}{2*9,81 m/s^2} * 11\ accesorios \quad (19)$$

$$longitud\ equivalente = 0,21\ m$$

Siendo las pérdidas de carga expresadas para el lateral principal por medio de la ecuación 13 de la siguiente manera:

$$Hr\ lateral = 0,05j * 0,366 * (16,7m + 0,21\ m) \quad (18)$$

$$Hr\ lateral = 0,309\ m.c.a$$

4.1.3.2 Pérdida de carga 2 lateral horizontal (L2H)

Para el segundo lateral de igual forma se calculó las pérdidas de carga por medio del número de emisores los cuales son 25, con unas pérdidas de carga de 0,014 j utilizando el ábaco de polietileno de baja densidad. Para un caudal de $0,1\ m^3$ y con una longitud de 7,7 metros de lateral; sin accesorios que lo integren, siendo las pérdidas de carga expresadas de la siguiente manera:

- 25 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h

$$Caudal = 25\ goteros * 0,004\ m^3$$

$$Caudal = 0,1\ m^3$$

$$Hr\ lateral = 0,014j * 0,371 * (7,7m) \quad (18)$$

$$Hr\ lateral = 0,0399\ m.c.a$$

4.1.3.3 Pérdidas de carga 3 lateral horizontal (L3H)

Al igual que el (L2H) la longitud de este lateral es de 7,7 metros, pero este lateral cuenta con unos accesorios que unen los sub-laterales como se muestra en el anexo A. debido a esto los cálculos de pérdidas de carga son los siguientes:

- 25 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h

$$Caudal = 25 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$Caudal = 0,1 \text{ m}^3$$

Longitud equivalente de los 9 accesorios

$$longitud \text{ equivalente} = 1,5 \frac{0,5^2 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} * 9 \text{ accesorios} \quad (19)$$

$$longitud \text{ equivalente} = 0,17 \text{ m}$$

$$Hr \text{ lateral} = 0,014j * 0,371 * (7,7 \text{ m} + 0,17 \text{ m}) \quad (18)$$

$$Hr \text{ lateral} = 0,0408 \text{ m. c. a}$$

4.1.3.4 Pérdidas de carga del Sub-lateral (Sb-1)

Este sub-lateral es el más largo de la huerta ya que está conectado a dos laterales horizontales. Por ende, sus pérdidas de carga son mayores a los otros sub-laterales a continuación se calculó las pérdidas de carga generadas.

- 15 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h

$$Caudal = 15 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$Caudal = 0,06 \text{ m}^3$$

Longitud equivalente de los 4 accesorios

$$longitud \text{ equivalente} = 1,5 \frac{0,5^2 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} * 4 \text{ accesorios} \quad (19)$$

$$\text{longitud equivalente} = 0,04 \text{ m}$$

$$Hr \text{ sub} - \text{lateral} = 0,009j * 0,377 * (4,57 \text{ m} + 0,04 \text{ m}) \quad (18)$$

$$Hr \text{ Sb} - \text{lateral} = 0,0156 \text{ m. c. a}$$

4.1.3.5 Pérdidas de carga del Sub-laterales (Sb- 2; Sb- 4)

Las pérdidas de carga fueron calculadas para uno de los laterales y sumadas por el número de laterales con el mismo número de goteros, accesorios y longitudes como se muestra se calculó a continuación:

Para un solo sub-lateral

- 10 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h
- Longitud 3 metros
- 1 accesorio

$$\text{Caudal} = 10 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$\text{Caudal} = 0,04 \text{ m}^3$$

Longitud equivalente de un accesorio

$$\text{longitud equivalente} = 2 * \frac{0,5^2 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} * 1 \text{ accesorios} \quad (19)$$

$$\text{longitud equivalente} = 0,03 \text{ m}$$

$$Hr \text{ Sub} - \text{lateral} = 0,009j * 0,384 * (3 \text{ m} + 0,03 \text{ m}) * 3 \text{ Sub} - \text{laterales} \quad (18)$$

$$Hr \text{ Sb} - \text{lateral} = 0,0314 \text{ m. c. a}$$

4.1.3.6 Pérdidas de carga del Sub-laterales (Sb- 5; Sb- 10)

Las pérdidas de carga fueron calculadas para uno de los sub-laterales y sumadas por el número de sub-laterales con el mismo número de goteros, accesorios y longitudes como se muestra a continuación:

Para un solo sub-lateral

- 7 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h
- Longitud 2,15 metros
- 1 accesorio

$$Caudal = 7 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$Caudal = 0,028 \text{ m}^3$$

Longitud equivalente de un accesorio

$$longitud \text{ equivalente} = 2 * \frac{0,5^2 \text{ m/s}}{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} * 1 \text{ accesorios} \quad (19)$$

$$longitud \text{ equivalente} = 0,03 \text{ m}$$

$$Hr \text{ sub} - lateral = 0,008j * 0,395 * (2,15 \text{ m} + 0,03 \text{ m}) * 6 \text{ Sub} - laterales \quad (18)$$

$$Hr \text{ Sb} - lateral = 0,0413 \text{ m.c.a}$$

4.1.3.7 Pérdidas de carga del Sub-laterales (Sb- 11; Sb- 19)

Las pérdidas de carga fueron calculadas para uno de los sub-laterales y sumadas por el número de sub-laterales con el mismo número de goteros, accesorios y longitudes como se muestra se calculó a continuación:

Para un solo sub-lateral

- 5 goteros
- Caudal de los goteros 4 l/h
- Longitud 1,5 metros
- 1 accesorio

$$Caudal = 5 \text{ goteros} * 0,004 \text{ m}^3$$

$$Caudal = 0,02 \text{ m}^3$$

Longitud equivalente de un accesorio

$$longitud\ equivalente = 2 * \frac{0,5^2 m/s}{2 * 9,81 m/s^2} * 1\ accesorios \quad (19)$$

$$longitud\ equivalente = 0,03\ m$$

$$Hr\ lateral = 0,007j * 0,410 * (1,15\ m + 0,03\ m) * 9\ Sub - laterales \quad (18)$$

$$Hr\ Sb - lateral = 0,0203\ m.c.a$$

Finalmente, las pérdidas de carga totales de los laterales y sub-laterales es la siguiente:

$$Hr\ total = (0,309 + 0,0399 + 0,0408 + 0,0156 + 0,0314 + 0,0413 + 0,0203)\ m.c.a$$

$$Hr\ total = 0,498\ m.c.a$$

4.1.3.8 Pérdidas de carga en el porta-laterales

De igual forma manera cómo se calculó las pérdidas de carga anteriormente, se realizó para el porta-laterales, modificando el tipo de ábaco (anexo G). En este caso se utilizó el de PVC de 32 mm, con una velocidad de 1 m/s y unas pérdidas de 0,004 j de carga para un caudal de $0,93\ m^3$. Debido a que esta tubería está hecha de ese material. Para los accesorios como la electroválvula, válvula de bola y los codos, se calcularon las pérdidas de carga equivalente a continuación

- 9 codos
- 1 válvula de compuerta (electroválvula)
- 1 válvula de bola
- 234 goteros
- Longitud 17,3 metros

$$Caudal = 234\ goteros * 0,004\ m^3$$

$$Caudal = 0,93m^3$$

Tabla 8. Accesorios hidráulicos

#	Accesorio	Coeficiente K
12	Codos de 90 °	0,90
1	Válvula de bola	10
1	Válvula de compuerta	1,15

Fuente: [23]

Siendo los cálculos de la siguiente manera:

Codos de 90°

$$Le = 0,90 \frac{1^2 m/s}{2 * 9,81 m/s^2} \quad (19)$$

$$Le = 0,05 \text{ metros} * 12 \text{ codos de } 90^\circ$$

$$\mathbf{Le = 0,55 \text{ metros}}$$

Válvula de bola

$$Le = 10 \frac{1^2 m/s}{2 * 9,81 m/s^2} \quad (19)$$

$$\mathbf{Le = 0,51 \text{ metros}}$$

Válvula de compuerta

$$Le = 1,15 \frac{1^2 m/s}{2 * 9,81 m/s^2}$$

$$\mathbf{Le = 0,06 \text{ metros}}$$

Siendo la longitud equivalente la suma de todos los accesorios más la longitud real en metros del porta-lateral de la siguiente forma

$$\text{Longitud equivalente} = 0,55m + 0,51m + 0,06 m$$

$$\mathbf{Longitud equivalente = 1,12 m}$$

Al estar solo el lateral principal conectado al porta-lateral el número de salidas es 1, a continuación, se realizó el cálculo en cuanto a las pérdidas de carga generadas.

$$Hr \text{ porta} - \text{lateral} = 0,004j * 1 * (17,35 m + 1,12 m) \quad (18)$$

$$\mathbf{Hr \text{ porta} - \text{lateral} = 0,073 \text{ m. c. a}}$$

Esto indica que las pérdidas de carga con los diámetros comerciales escogidos son admisibles, debido a que son menores a las pérdidas de carga admisibles por los goteros.

$$\mathbf{Hr \text{ porta} - \text{lateral} < Hr \text{ admisible}}$$

$$\mathbf{Hr \text{ total} < Hr \text{ admisible}}$$

4.1.3.9 Presión en el porta-laterales

Como se mencionó en el marco teórico es necesario conocer la presión mínima para el correcto funcionamiento de los goteros en el sistema de riego.

$$Po\ lateral = 3\ m.c.a + (0,73 * 0,498\ m.c.a) - \frac{1,68\ m}{2} \quad (21)$$

$$Po\ lateral = 1,68\ m.c.a$$

Siendo la presión mínima en el porta-lateral para el correcto funcionamiento de goteros de 1,68 m.c.a. o 16.474 pascales

La presión que es ejercida desde el tanque principal hasta la electroválvula se muestra a continuación.

$$presion\ de\ trabajo = \delta\ agua * L * g \quad (22)$$

Presión

δ = densidad del agua en kg/m^3

L = diferencia de altura entre el punto más profundo desde el tanque principal hasta la entrada de la electroválvula.

G= aceleración gravitacional = $9,81\ m/s^2$

$$presion\ de\ trabajo = 1.000\ \frac{kg}{m^3} * (1,63\ m + 1\ m\ tanque) * 9,81\ \frac{m}{s^2}$$

$$presion\ de\ trabajo = 25.800\ pascales$$

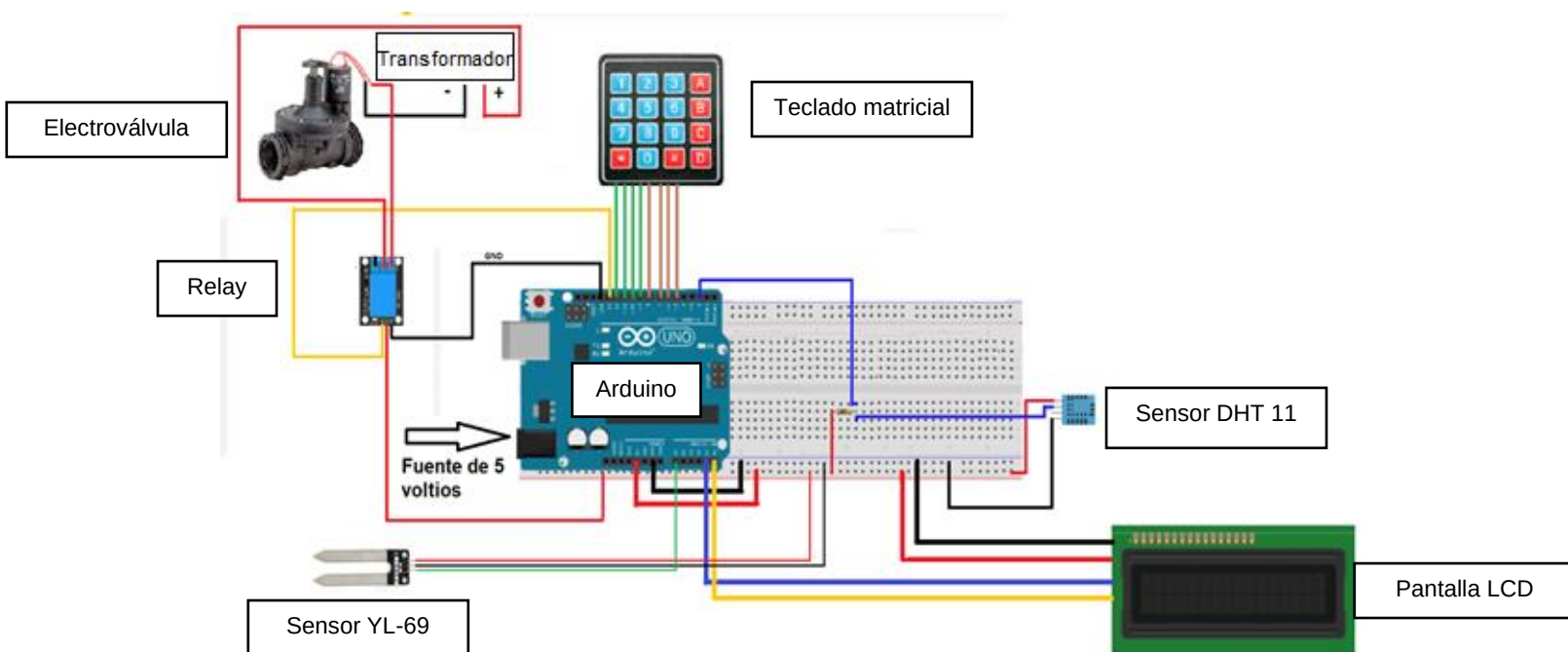
Esta presión es necesaria para el correcto funcionamiento de la electroválvula como se muestra en las características de este dispositivo en los anexos H con una presión de trabajo mínimo de 0,2 bar o 20.000 pascales.

Como se puede ver con los cálculos anteriormente realizados la presión de trabajo de 25.800 pascales es suficiente para la presión de los porta-laterales y el funcionamiento de la electroválvula.

4.1.4 Diseño Arduino

Para el diseño del sistema de riego automatizado fueron necesarios algunos elementos como lo son: placa Arduino, protoboard, sensores y el software Arduino IDE, el cual se encuentra disponible de forma gratuita para el uso y configuración del código abierto, en la siguiente imagen se muestra de forma general las conexiones y sensores utilizados para el desarrollo del proyecto.

Fig 3. Conexión sensores Arduino y placa Arduino



Fuente: Autores

4.1.5 Potencial de ahorro hídrico

Para determinar el potencial de ahorro según la metodología planteada por el CEPIS [1], en la cual en la siguiente tabla se muestra de izquierda a derecha el mes más lluvioso al menos lluvioso, luego la precipitación mínima promedio obtenidos con los mapas IDF de cada mes, la demanda en litros obtenidos por medio del diseño agronómico en cada uno de los meses y la oferta es la relación entre los 200 metros cuadrados de área del techo un coeficiente de escorrentía de 0,8 para tejas de fibrocemento y la precipitación correspondiente para cada mes. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9.Relación oferta y demanda hídrica

<i>Meses</i>	<i>precipitación en mm</i> <i>PPI</i>	<i>Demanda</i> <i>Litros</i> <i>Di</i>	<i>demanda acumulada en litros</i> <i>Di+Di mes anterior</i>	<i>Oferta en litros</i> <i>Ai=(PPI*Ce*Ac)</i>	<i>oferta acumulada en litros</i> <i>Ai+ Ai mes anterior</i>	<i>volumen de almacenamiento en litros</i> <i>(Ai-Di) acumulados</i>	<i>potencial de ahorro de agua (%)</i> <i>(Ai/Di)*100</i>
Mayo	85,0	2.380,2	2.380	13.600	13.600	11.220	571,3
Junio	60,0	2.303,4	4.684	9.600	23.200	18.516	416,7
Julio	50,0	2.380,2	7.064	8.000	31.200	24.136	336,1
Agosto	40,0	2.380,2	9.444	6.400	37.600	28.156	268,8
Septiembre	43,0	2.303,4	11.747	6.880	44.480	32.733	298,6
Octubre	80,0	2.380,2	14.128	12.800	57.280	43.152	537,7
Noviembre	71,0	2.303,4	16.431	11.360	68.640	52.209	493,1
Diciembre	39,0	2.380,2	18.811	6.240	74.880	56.069	262,1
Enero	35,0	2.380,2	21.191	5.600	80.480	59.289	235,2
Febrero	30,0	2.149,8	23.341	4.800	85.280	61.939	223,2
Marzo	55,0	2.380,2	25.721	8.800	94.080	68.359	369,7
Abril	83,0	2.303,4	28.025	13.280	107.360	79.335	576,5

Fuente: Autores

El parámetro de potencial de ahorro de agua potable permitió identificar el porcentaje de la demanda, que será cubierto por aguas lluvias, según la tabla anterior indica un abastecimiento es más que suficiente para el desarrollo de las hortalizas sin depender de la red de distribución de agua potable, debido a que la demanda hídrica siempre será más baja que la oferta.

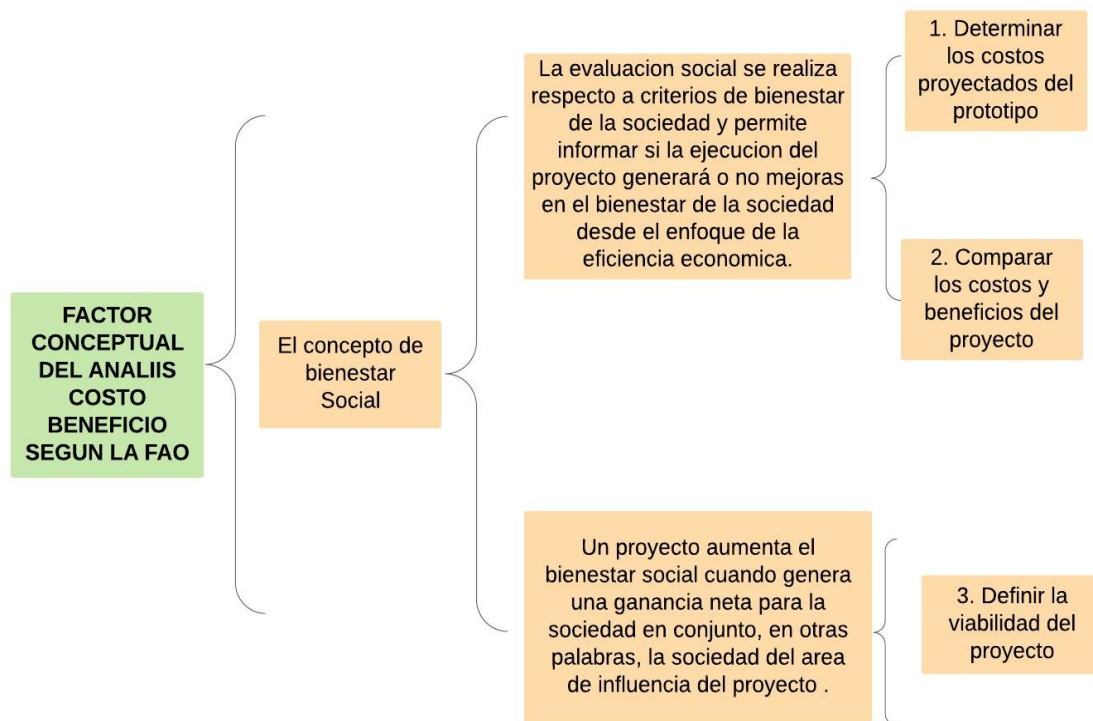
4.1.6 Análisis costo beneficio social

La institución Educativa Luis Carlos Galán hace parte del proyecto "escuelas ecoeficientes" en el marco del convenio CAR (Corporación autónoma regional) de la Universidad Libre, el cual busca desarrollar proyectos ambientales dentro de la institución, con el objetivo de resolver las problemáticas ambientales ubicadas en esa comuna. Por ello, posee un convenio con el Centro de Proyección Social de la Universidad Santo Tomas, en el cual se desarrolló un proyecto llamado "Escuelas Protectoras".

El objetivo principal del proyecto es realizar un prototipo basado en un sistema de recolección de aguas lluvias, como una alternativa para la demanda hídrica en las actividades de la huerta del colegio Luis Carlos Galán, generando así el funcionamiento constante del sistema de riego, evitando daños al cultivo. Ahora bien, para realizar el análisis de costo beneficio de dicho proyecto, se determinó que el beneficio del proyecto es netamente social, más allá de lo financiero. Debido que, con la implementación del dispositivo se plantea una alternativa a una de las mayores problemáticas ambientales locales, contribuyendo a la búsqueda de soluciones acordes con las realidades y necesidades de la comunidad, en este caso es el suministro de agua, el cual es suministrado por la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá de manera ilegal, por lo cual no cuentan con recibos o medios de cobro por su consumo; debido a que el servicio es ilegal se presentan intermitencias constantes en el flujo de agua, por ende se propuso la implementación del sistema de recolección de aguas lluvia que mitigara esta problemática.

El análisis de costo beneficio se realizó por medio de una metodología basada en la “Guía de análisis costo beneficio” sustentada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [24], de la cual se seleccionaron los aspectos mencionados a continuación.

Fig 4. Análisis costo beneficio



Fuente: Autores.

Conforme la guía, dichos factores descritos en el cuadro anterior, se adaptaron según la dimensión del proyecto, el cual tiene como resultado, generar un impacto positivo e innovador por medio de un sistema de riego por goteo y un sistema de recolección de aguas de lluvias para la huerta escolar, siendo un proyecto positivo no solo a la Institución Educativa Luis Carlos Galán, sino también, a los diferentes colegios, instituciones y sedes que presentan la misma problemática. Este tipo de proyecto incrementa la concientización y el conocimiento de las herramientas a la población que reside en esa comunidad; promoviendo que la sociedad desarrolle nuevos proyectos ambientales contribuyendo a la mejora de calidad de vida y educación de la comunidad.

La institución Educativa Luis Carlos Galán de la mano con el Centro de Proyección de la Universidad Santo Tomás implementará un sistema de riego por goteo con recolección de aguas de lluvias para la huerta escolar. Debido al problema de intermitencia de agua que carece la escuela. Las huertas escolares tienen como propósito facilitar la enseñanza por medio de actividades educativas y recreativas, este tipo de actividades trae consigo una serie de beneficios, como crear conciencia, responsabilidad, cooperación, disciplina, y concientiza a los estudiantes de la importancia de la producción de alimentos orgánicos, promoviendo que lo repliquen en sus hogares, siendo crucial el transmitir desde pequeños la importancia de la agricultura para nuestra sociedad, desarrollando habilidades agrícolas en la comunidad educativa y aplicando alternativas para el aprovechamiento de los recursos, solucionando así las problemáticas que se presenten dentro de la institución.

El financiamiento del proyecto fue integrado por parte del colegio en donde ellos invertirán un valor de \$647.659, los pasantes un valor de \$726.000 y por otra parte el centro de proyección de la universidad aportará con los materiales por un valor de \$1.200.000, para el desarrollo de este proyecto el cual tendrá un costo total de \$2.573.659 pesos colombianos.

Tabla 10. Costos del proyecto:

<i>Materiales</i>	<i>Unidades necesarias</i>	<i>Precio</i>
Llave de paso	1	\$ 43.390
Sensor de pH	1	\$ 70.000
Tanque plástico 200 litros	1	\$ 70.000
Malla azul 1 x 4 metros	2	\$ 9.600
Cemento 50 kilos	2	\$ 43.000
Transformador	3	\$ 15.000
manguera con goteros (100 metros)	1	\$ 140.000
Reductor de diámetro	2	\$ 14.000
Codos de 1 pulgada	6	\$ 36.000
Codos de 4 pulgadas	6	\$ 30.000
soportes para bajantes de	15	\$ 52.500
Uniones para tubería de 4 pulgadas	7	\$ 22.400
Pegante soldamax para tubos de pvc 1/4 de galón	1	\$ 50.000
tubos de 1 pulgada longitud de 3 metros	6	\$ 48.000

tubos de 4 pulgadas para aguas lluvias longitud de 3 metros	8	\$ 360.000
Mano de obra instalación de canaletas	-	\$ 80.000
Electroválvula 1 pulgada Cepex	1	\$ 60.000
Modulo sensor DHT 11	1	\$ 8.000
Modulo sensor YL-69	1	\$ 5.800
Placa Arduino uno	1	\$ 18.000
Canaletas 3 metros blanca	4	\$ 164.000
Bultos de tierra negra 25 kilos	10	\$ 50.000
Rollo Plástico para invernadero	2	\$ 950.000
Presupuesto	-	\$ 2.339.690
Imprevistos 10 %		\$ 233.969
Costo Total Proyecto		\$ 2.573.659

Podemos definir los costos que se tendrán en cuenta para el tiempo proyectado de 5 años. Dos veces al año se realizará mantenimiento del filtro y una vez al año al tanque. Durante los primeros seis meses los encargados de liderar el proyecto del sistema de riego serán los responsables del mantenimiento al igual de las capacitaciones a los docentes que se quedarán a cargo del proyecto.

Para estimar el valor asignado para el mantenimiento durante los 5 años, se utilizó la tasa de inflación promedio anual a partir del 2019 hasta el 2023.

Tabla 11. Tasa de inflación

Años	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Tasa de inflación %	5,0	7,5	4,3	3,2	3,5	3,3	4,7	4,7	4,7

Fuente: Datos tomados de Conficolombiana[25]

Para las proyecciones de la tasa de inflación para los años 2021, 2022 y 2023 realizamos un promedio de la inflación de los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.

Una vez calculado el promedio de los años proyectados, se calcula el valor futuro.

$$VF = I_0 \times (1 + \sum \pi)$$

Donde:

I_0 = Inversión Inicial

π = Tasas de inflación de 2019-2023

Lo cual sería:

$$VF = 2.573.659 \times (1 + 20,90\%)$$

$$VF = 3.111.554$$

Y se asigna 20% para los mantenimientos y daños inciertos proyectados para 5 años, lo cual da un valor de **\$622.311** pesos colombianos

Con respecto al costo proyectado, el valor es de **\$3.111.554 pesos**, el cual es un valor mínimo para la implementación del prototipo, teniendo en cuenta que los costos de mantenimiento del proyecto a 5 años son aproximadamente **\$622.311 pesos**. Los beneficios que se obtienen en el desarrollo del proyecto tales como:

Al implementar el sistema de riego, la huerta que se encuentra ubicada en las instalaciones de la Institución se amplió duplicando su área de siembra. Lo cual permite que un mayor número de estudiantes puedan recibir las respectivas clases de agricultura en la huerta escolar, por lo tanto, un mayor valor agregado. El colegio implementará talleres de agricultura, botánica y manejos de software (tales como (Arduino) para desarrollar un mayor potencial académico, generando educación y conocimiento a la población dentro del área de influencia del proyecto. Teniendo en cuenta que la zona en la que se encuentra desarrollado el prototipo es un asentamiento popular, atraerá la atención de diferentes entidades que se verán interesadas en realizar el proyecto a gran escala.

Otro de los beneficios de este sistema de riego, es que al ser automático se puede programar para que distribuya la cantidad necesaria de agua, para la huerta en la época de receso estudiantil disminuyendo el riesgo de pérdida de los cultivos. Además de esto, con el sistema de recolección de aguas lluvias, se desarrollan conocimientos sobre el almacenamiento, uso eficiente y ahorro del agua, implementando fuentes alternativas de abastecimiento del recurso.

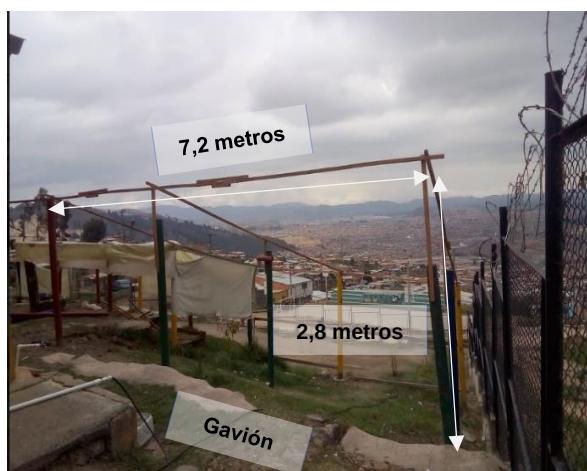
Por consiguiente, el costo proyectado que genera el prototipo comparado con los beneficios cualitativos, los cuales están dados por la satisfacción del servicio o en este caso, del prototipo, es preciso indicar que, de acuerdo con la proyección realizada, el proyecto cuenta con la cobertura suficiente para toda la comunidad estudiantil de la institución, por ende, hace que la viabilidad del proyecto sea óptima. A continuación, se evidencian ventajas y desventajas de los sistemas de riego:

SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO	SISTEMA DE RIEGO MANUAL
Minimiza el rango de errores e Incertidumbre para el riego	Mayor rango de incertidumbre en el riego
Los sensores interaccionan directamente con las variables climáticas	No hay interacción directa.
Riego según lecturas de los sensores	Riego por intervalos de tiempo o acción humana
Utiliza como fuente hídrica las aguas lluvias	Utiliza como fuente hídrica los pozos, ríos y agua de la red.
No se necesita un operario para el funcionamiento	Mayor inversión económica (pago por cada operario)
Necesita mantenimiento en los componentes electrónicos para su funcionamiento	No se necesita mantenimiento de componentes electrónicos ni cambio de piezas.

4.2 Dimensionamiento y puesta en marcha del prototipo

Para el desarrollo de la huerta se utilizaron materiales reciclados en lo posible. El área escogida para la instalación de la huerta es de aproximadamente 51,4 metros cuadrados, en donde el área de cultivo es de 28,7 metros cuadrados, siendo esta zona aceptada por las directivas del colegio por su ubicación y por la proximidad al tanque de almacenamiento de aguas lluvias. El diseño de la huerta y sus dimensiones se encuentran en el anexo C, a continuación, se ilustra la construcción de las bases y techado del huerto.

Fig 5. Instalación bases y techo de la huerta



Fuente: Autores

Fig 6. Instalación plástico para invernaderos



Fuente: Autores

Luego de la instalación de las bases y el techo, se inició con la construcción de las camas e instalación de la tubería de riego para la huerta, utilizando como base ladrillos y tablas. Posteriormente se realizó un llenado con tierra abonada en las camas del huerto e instalación de los sub-laterales para el riego

Fig 7.Construcción de las camas del huerto



Fuente: Autores

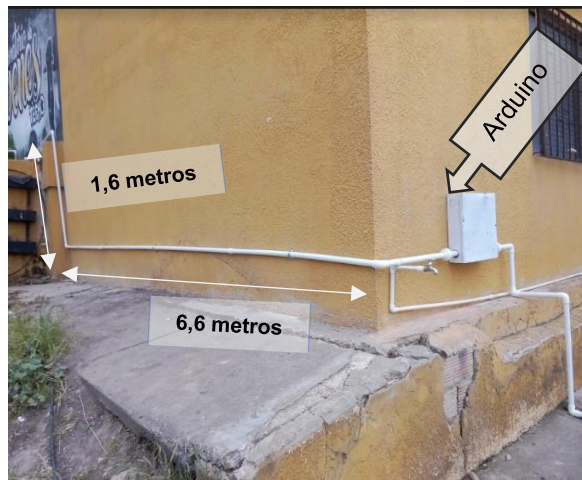
Fig 8.Instalación de laterales y sub-laterales



Fuente: Autores

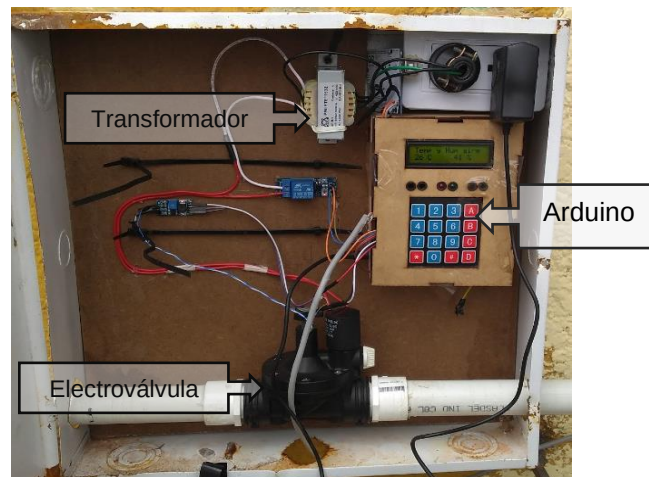
Finalmente se realizó una conexión e instalación del sistema de riego automatizado al tanque principal donde se almacenan las aguas lluvias.

Fig 9. Conexión sistema de riego al tanque principal



Fuente: Autores

Fig 10. Instalación sistema de riego automatizado

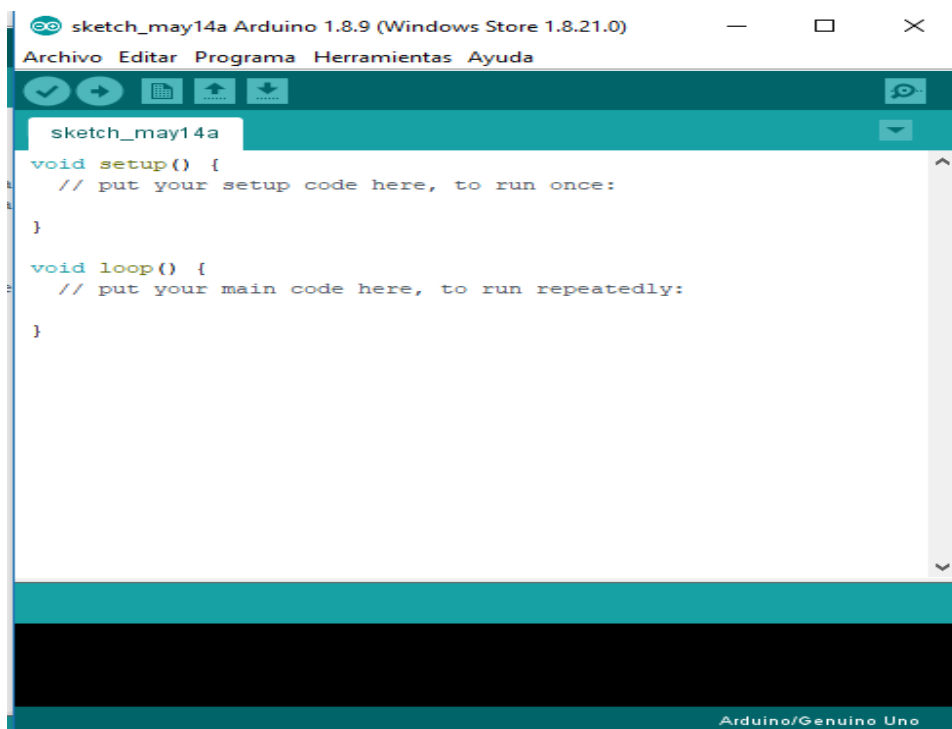


Fuente: Autores

4.2.1 Instalación del sistema de riego automatizado

Luego de la instalación del sistema de riego se desarrolló la lógica de programación y calibración de los sensores, la cual se describe en los siguientes pasos:

Fig 11. Software Arduino



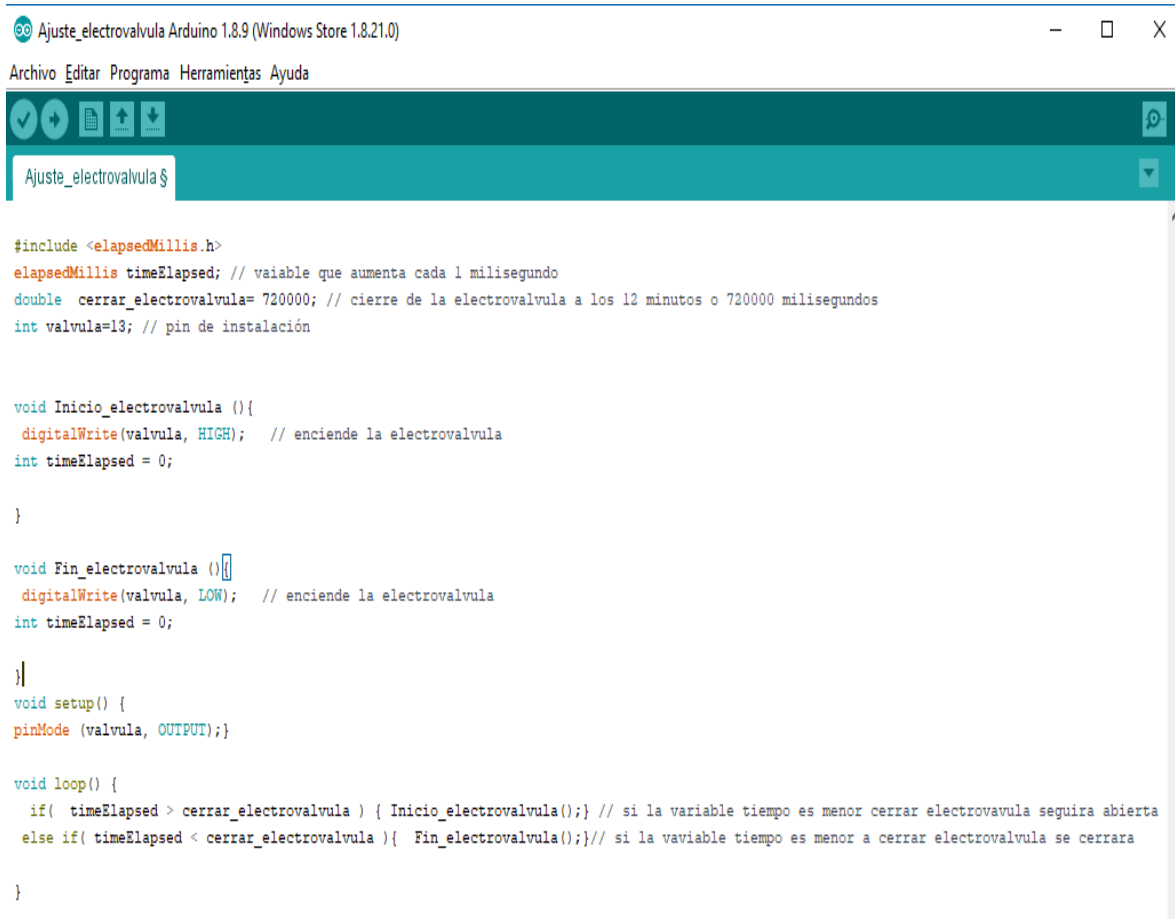
Fuente: Autores

Como se puede observar en la imagen anterior es el cuerpo básico para ejecutar el sistema de riego automatizado por medio del lenguaje de programación.

1. inicialmente se descargó el software Arduino IDE, el cual se encuentra de manera gratuita en el link: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>, fue necesario conectar vía USB la placa Arduino con el pc.
2. Para la calibración del sensor de humedad de suelo (YL-69), se configuro la electroválvula con una apertura de 12 minutos, como fue calculado en el

tiempo de riego del diseño agronómico, como se muestra en la siguiente imagen.

Fig 12. Código de apertura sistema de riego

The image is a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar at the top reads "Ajuste_electrovalvula Arduino 1.8.9 (Windows Store 1.8.21.0)". Below the title bar is a menu bar with "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". A toolbar with various icons is located below the menu bar. The main text area contains the following C++ code:

```
#include <elapsedMillis.h>
elapsedMillis timeElapsed; // variable que aumenta cada 1 milisegundo
double cerrar_electrovalvula= 720000; // cierre de la electrovalvula a los 12 minutos o 720000 milisegundos
int valvula=13; // pin de instalación

void Inicio_electrovalvula () {
  digitalWrite(valvula, HIGH); // enciende la electrovalvula
  int timeElapsed = 0;
}

void Fin_electrovalvula () {
  digitalWrite(valvula, LOW); // enciende la electrovalvula
  int timeElapsed = 0;
}

void setup() {
  pinMode (valvula, OUTPUT);
}

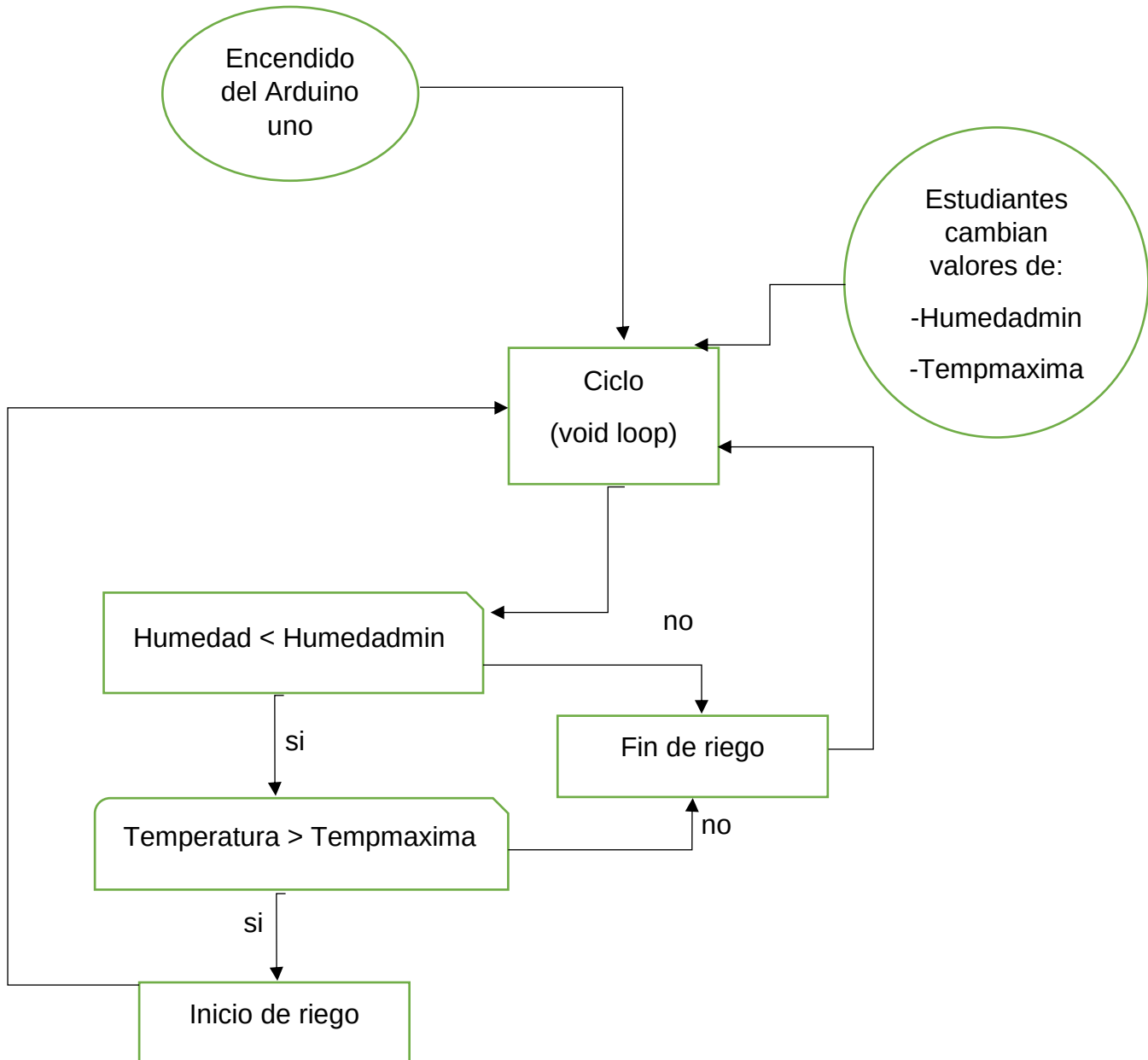
void loop() {
  if( timeElapsed > cerrar_electrovalvula ) { Inicio_electrovalvula(); } // si la variable tiempo es menor cerrar electrovalvula seguira abierta
  else if( timeElapsed < cerrar_electrovalvula ) { Fin_electrovalvula(); } // si la variable tiempo es menor a cerrar electrovalvula se cerrara
}
```

Fuente: Autores

3. Luego de 1 día lo que corresponde a la frecuencia de riego, se utilizó el sensor de humedad del suelo YL-69, el cual tiene un rango de 0 a 1020; siendo el primer el valor más alto de humedad y el último un valor mínimo de humedad en la zona del potenciómetro. El sensor registraba un valor de 650. Siendo este valor tomado en cuenta como valor límite de humedad, la configuración se encuentra en el anexo H código Arduino.
4. Luego se realizó la configuración y desarrollo de la lógica de programación para la apertura de la electroválvula, basados en lenguaje de programación que se puede encontrar en el anexo I del presente documento.

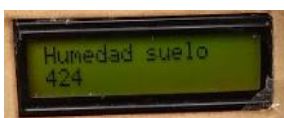
5. Finalmente se comprobó el correcto funcionamiento del código en el software Arduino IDE y el correcto funcionamiento de los sensores, a continuación, se muestra el funcionamiento lógico del Arduino.

Fig 13. Diagrama funcionamiento sistema de riego



Como se muestra en el diagrama anterior para la toma de decisiones para el inicio o fin de riego, es necesario que se cumplan dos condiciones simultáneamente; si este no es el caso el riego no se efectuara, también se puede observar que las variables de control pueden ser modificadas, según los rangos escogidos por medio de teclado como se observa en el siguiente cuadro.

Tabla 12. Configuración y control de los sensores para el riego

Variable	Botón	Descripción	Rango		
			#	Valor sensor YL 69	escala
Limite humedad-suelo	Se elige el menú Humedad suelo por medio del teclado matricial 	Al seleccionar esta opción se muestra el nivel que se elige el cual es de 1 hasta 9	1	1105	
			2	1010	
			3	915	
			4	820	
			5	725	
			6	630	
			7	535	
			8	440	
			9	345	
Limite temperatura aire	Se elige el menú Temperatura aire por medio del teclado matricial 	Al seleccionar esta opción se muestra el nivel que se elige el cual es de 1 hasta 9 en grados centígrados	#	Valor sensor DHT11	Escala
			1	4°	
			2	8°	
			3	12°	
			4	16°	
			5	20°	
			6	24°	
			7	28°	
			8	32°	
			9	36°	
Tecla vista temperatura y porcentaje de humedad	Permite visualizar la temperatura y porcentaje de humedad 	Los valores que registran el sensor DHT11 son mostrados en la pantalla LCD siendo temperatura en C° y humedad en %			
Tecla de estado de riego		Permite observar en la pantalla LCD, si el riego este encendido o apagado			
Tecla vista humedad del suelo	Permite visualizar la humedad del suelo 	Los valores que registran el sensor YL-69 son mostrados en la pantalla LCD siendo la humedad del suelo (0 hasta 1020)			

Como se muestra en la tabla anterior, en la escala de colores para el límite de humedad del suelo al elegir un número entre 1 al 9 el límite de humedad varía, siendo los valores cercanos hacia el color café un suelo extremadamente seco y por otra parte los de color azul que son terrenos totalmente húmedos casi en su totalidad agua.

La variable de temperatura del aire se encuentra escalada de 1 hasta el 9, siendo los números cercanos al azul los que dan como límite temperaturas bajas, mientras que los valores que se acercan al color rojo son para las temperaturas más altas.

4.2.2 Instalación del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias

Al estar ya instalada y construida la huerta se procedió a la instalación del sistema de captación, distribución y almacenamiento de aguas lluvias, permitiendo cubrir la demanda hídrica de la huerta, la cual no debe ser cubierta por la red convencional, debido a las condiciones políticas y sociales el colegio, el cual se encuentra conectado de manera ilegal y como consecuencia este servicio de distribución de agua es intermitente, siendo un inconveniente para el correcto desarrollo de los cultivos.

El sistema de aprovechamiento se integra por 4 componentes básicos los cuales son:

- Área de captación.
- Tanque de primeras aguas lluvias.
- Tanque principal.
- Canales y bajantes.

4.2.3 Área de captación

El área efectiva para la recolección de la precipitación es de 200 m^2 , el cual fue escogido cumpliendo los criterios del CEPIS como: el techo no debe presentar daños en las tejas que puedan ser fuente de goteras o fugas, conservar las pendientes del tejado en donde se encuentre la mayor concentración del caudal aprovechable.

4.2.4 Tanque de primeras aguas lluvias

Como se mencionó en el marco teórico, la función de este dispositivo es retener la mayor cantidad de sólidos suspendidos provenientes del área de captación, siendo el caso concreto del colegio un área escogida es de 200 m^2 , para el lavado del techo al iniciar la precipitación; siendo necesario 1 litro por metro cuadrado, lo cual hace que se necesite 200 litros de agua para el lavado de los sedimentos adheridos en el área de captación a continuación, se muestra un tanque con la capacidad de almacenamiento requerida.

Fig 14. Tanque de primeras aguas lluvias



Fuente: Autores

4.2.5 Filtro del tanque de primeras aguas

Al momento de entrar las primeras aguas lluvias con altos contenidos de sedimentos al inicio de la precipitación, también aumenta el nivel del agua dentro del tanque de primeras aguas lluvias, donde se encuentra instalado un filtro que permite retener insectos, hojas y demás partículas que provienen del área de captación, evitando obstrucciones en la electroválvula o en los goteros. Este tipo de filtro fue hecho con 2 mallas metálicas y en medio 4 cm de gaza, de esta forma ingresa agua segura al tanque de almacenamiento. El filtro se puede observar en la siguiente imagen

Fig 15. Filtro tanque primeras aguas lluvias



Fuente: Autores

4.2.6 Dimensionamiento tanque principal

La selección del tanque de almacenamiento generalmente se realiza dependiendo la demanda hídrica para la actividad para la cual se dará el uso. La concentración del caudal del área de captación, también su ubicación debe estar a un nivel por debajo de la red de distribución y el área de captación.

En este caso el colegio Luis Carlos Galán ya contaba con un tanque de fibrocemento con una altura de 2,10 metros y un diámetro de 2 metros, el cual estaba sin uso, este tanque se encontraba en buen estado lo que permitió ser utilizado para fines de este proyecto a continuación, se ilustra el estado en que se encontraba y luego de su instalación.

Fig 16. Tanque principal antes de su instalación



Fuente: Autores

Fig 17. Sistema de captación de aguas lluvias



Fuente: Autores

4.2.7 Canales y bajantes.

Las canaletas fueron instaladas en los bordes del techo con una pendiente no tan grave que permitiera la conducción hasta las bajantes [6]. Las canaletas tienen un ancho de 75 milímetros y las bajantes de 3 pulgadas, los cuales conducen el agua hasta el tanque de primeras aguas lluvias, como se muestra en las siguientes imágenes.

Fig 18. Instalación canaletas y bajantes



Fuente: Autores

Fig 19. Bajante conectada al tanque de primeras aguas lluvias



Fuente: Autores

Al integrar tanto el sistema de captación de aguas lluvias y el sistema de riego automático para la huerta, permitió el desarrollo de los cultivos y su posterior cosecha como se ilustra en la siguiente imagen.

Fig 20. Etapa final de los cultivos



Fuente: Autores

4.2.8 Necesidades y propósito del proyecto

El método tradicional de enseñanza de las ciencias naturales, en donde se identifica la baja capacidad de análisis y abstracción de los estudiantes frente a estos temas, los cuales requieren una formación investigativa. Es necesario sustituir las practicas tradiciones por la enseñanza directa a fenómenos naturales, haciendo uso de recursos escolares para la experimentación y participación consciente de los estudiantes para la formación de sus conocimientos [24].

los modelos tradicionales de enseñanza generan conocimientos alejados de la realidad de los estudiantes. Debido a que no se producen interpretaciones ni modificaciones de ningún tipo en el proceso de aprendizaje. Siendo la huerta una forma de enseñar de forma didáctica, que facilite el aprendizaje de conceptos propios entorno a la naturaleza, su cuidado y respeto que tienen las generaciones actuales por medio de actividades que integren tanto el aula como la huerta. Por otra parte, superar obstáculos que impliquen salidas fuera del planten para el desarrollo investigativo [25].

V. RESULTADOS OBTENIDOS

La puesta en marcha del sistema de recolección y riego con aguas lluvias permitió la germinación y correcto desarrollo de las hortalizas cosechadas; siendo un recurso alternativo y sustentable para la huerta escolar, por otra parte, el potencial de ahorro es más del cien por ciento; lo que indica que la huerta tendrá cubierta la demanda hídrica en su totalidad, durante todo el año sustituyendo el uso de la red convencional.

El desarrollo del sistema de captación y almacenamiento de aguas lluvias con la automatización del riego, facilitó el cuidado debido a que su configuración a la hora de programar los sensores y cambio de piezas es sencillo; no obstante fue necesario el acompañamiento no solo en la construcción de la huerta escolar, sino también el desarrollo y organización de las diferentes actividades para optimizar el conocimiento generado en torno al sistema de riego y la huerta, por lo que se propuso una serie de componentes a desarrollar por parte de los estudiantes, con ayuda de los profesores responsables de los proyectos enfocados a lo social y ambiental del colegio Luis Carlos Galán. como se muestra en el Anexo J.

El proyecto piloto necesito una inversión de **\$3.111.554 pesos** permitiendo obtener beneficios ambientales y sociales como: una fuente hídrica alternativa para el uso en actividades hortícolas, debido a que no requiere un gasto energético para operar; apropiación del conocimiento en cuanto al uso eficiente del agua, evidencia fotográfica sobre todo el proceso de construcción y desarrollo del proyecto incluyendo mediciones y datos del diseño del prototipo. también un riego autónomo lo que permitió el desarrollo de los cultivos fuera de procesos agroquímicos y en épocas de receso escolar.

Finalmente, el desarrollo y toma de datos en cuanto a las estaciones hidrometeorológicas necesitan ser actualizado, debido a que las algunas estaciones se encuentran fuera de servicio desde 2015 siendo los datos desactualizados, variando los valores de precipitación encontrados del presente documento.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CEPIS UNATSABAR, «Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental,» OPS/CEPIS, 2015. [En línea]. Available: www.bvsde.ops-oms.org. [Último acceso: 5 Marzo 2019].
- [2] W. C. Morán, «Hidrología,» de *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*, Lima, CONCYTEC, 1989, pp. 15-30.
- [3] Escuela superior de Administración Pública , «Escuela superior de Administración Pública (ESAP),» 2006. [En línea]. Available: http://www.esap.edu.co/portal/download/plan_ambiental/5.Programa-de-Uso-Eficiente-y-Ahorro-de-Agua-PUEAA.pdf. [Último acceso: 11 9 2019].
- [4] D. A. Galeano Cruz y J. P. Abello Caldas, «Universidad Francisco Jose de Caldas,» 2017. [En línea]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5884/1/GaleanoCruzDiegoAlejandro2017.pdf>. [Último acceso: 11 9 2019].
- [5] I. Alder, G. Carmona y J. A. Bojalil, «Organizacion de las Naciones unidas para la agricultura y la alimentación,» RLCA/FAO, 2008. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/ai128s/ai128s00.pdf>. [Último acceso: 4 Marzo 2019].
- [6] N. P. Castañeda, «bdigital portal revistas Universidad Nacional,» 2010. [En línea]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/25392>. [Último acceso: 4 Enero 2019].
- [7] M. d. C. Marquetti Fernandez, M. L. Silva y J. B. Lazcano, «Revista Scielo,» 2 Febrero 2008. [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0375-07602009000300005. [Último acceso: 6 Febrero 2019].
- [8] E. Blair, «Riego por goteo,» de *Riego por goteo* , San José, IICA Biblioteca Venezuela, 1977, pp. 7-10.
- [9] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Evapotranspiración de un cultivo,» 1990. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>. [Último acceso: 18 Diciembre 2018].
- [10] Agencia Nacional de Infraestructura, «Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos,» 2013. [En línea]. Available: <ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M->

1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/S
ECCI%C3%93N%20100.pdf. [Último acceso: 30 Octubre 2018].

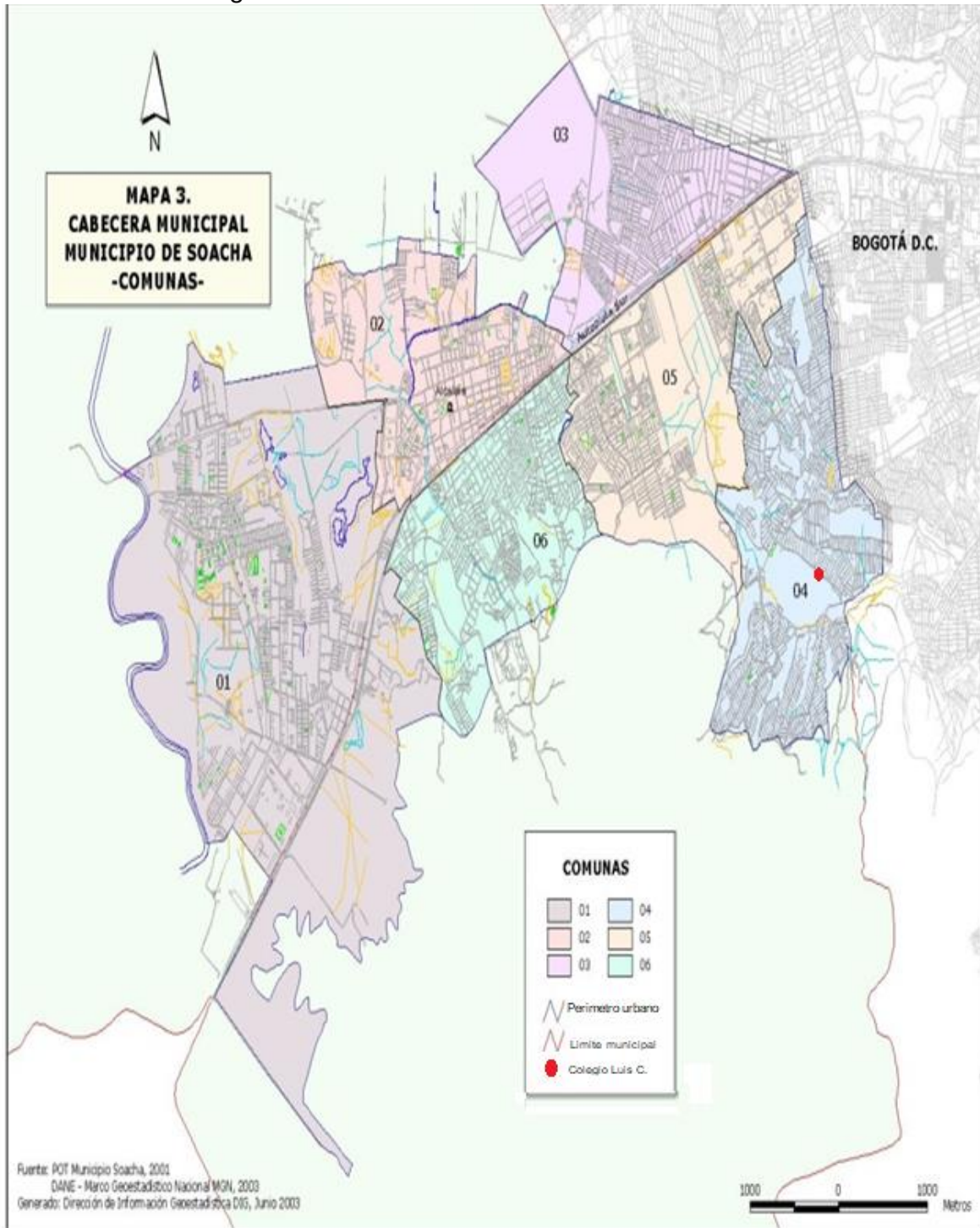
- [11] «Centro de Investigacion Agroalimentaria de Aragon,» 25 Julio 1990. [En línea]. Available: https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/875/1/10532-105_5.pdf. [Último acceso: 12 Marzo 2019].
- [12] A. F. Salas y L. P. Urrestarazu, «OpenCourseWare Universidad de Sevilla,» 2007. [En línea]. Available: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/>. [Último acceso: 15 Enero 2019].
- [13] M. R. Goyal, «Research Advances in Sustainable Micro Irrigation,» de *Sustainable micro irrigation Principles and practices*, New Jersey, Apple Academic press, 2014, pp. 33-34.
- [14] M. J. Macias y V. R. Macias Solorzano, «Repositorio digital Univerisdad Tecnica de Manabi,» 3 julio 2013. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/123456789/2381>. [Último acceso: 4 Abril 2019].
- [15] Observatorio Ambiental de Bogotá, «Datos e indicadores,» 2012. [En línea]. Available: <http://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores/?id=512&v=l..>. [Último acceso: 17 Abril 2019].
- [16] F. J. Otalora, «Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),» 12 Agosto 1994. [En línea]. Available: http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/3394/Planificacion_y_manejo_de_los_recursos.pdf. [Último acceso: 23 Enero 2019].
- [17] M. V. Mendez, Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua, Caracas: Univeridad Católica Andres Bello, 2007.
- [18] IDEAM, «IDEAM,» 2006. [En línea]. Available: http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/evapotranspiracion_texto.pdf.. [Último acceso: 12 Noviembre 2018].
- [19] E. Acevedo H., «Universidad Nacional del Nordeste,» 1979. [En línea]. Available: <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/INTERACCIONES%20SUELO-AGUA-RAIZ%20EN%20EL%20PROCESO%20DE.pdf>. [Último acceso: 25 11 2018].
- [20] Á. M. Castaño, M. Aristizabal y H. Gonzales, «Requerimientos hídricos del plátano dominico- hartón (Musa aab simmonds) en la región Santágueda

(Palestina, Caldas),» *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, vol. 15, nº 2, p. 338, 2012.

- [21] J. S. Leiton Soubanner, de *Riego y drenaje*, San José, Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1985, pp. 55-65.
- [22] A. Nuñez Leonardo y E. P. Hurtado Mena, «Ministerio de Agricultura y Riego,» 2015. [En línea]. Available: http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf. [Último acceso: 20 3 2019].
- [23] Universidad de Castilla- La Mancha, «UCLM,» 2002. [En línea]. Available: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/Tema9.pdf. [Último acceso: 15 Abril 2019].
- [24] J. A. Vera Espitia, «bdigital repositorio Universidad Nacional de Colombia,» 25 Abril 2015. [En línea]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/48064/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [25] H. Weissman, M. Kaufman, C. Serafini y E. Discovskiy, «La huerta, un espacio para investigar,» *Revista Investigación en la Escuela*, nº 12, p. 56, 1990.
- [26] C. L. Lane, «Alianza de Servicios de Informacion Agropecuario,» 2005. [En línea]. Available: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=027972>. [Último acceso: 3 Febrero 2019].
- [27] Corficolombia, «Corficolombia,» 2005. [En línea]. Available: <https://www.corficolombiana.com/wps/portal/corficolombiana/>. [Último acceso: 6 Enero 2019].
- [28] M. Carriquiry, M. Piaggio y G. Sena, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/ca2795es/ca2795es.pdf>. [Último acceso: 10 Febrero 2019].
- [29] J. S. Leiton Soubanner, de *Riego y drenaje*, San José, Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1985, pp. 55-65.

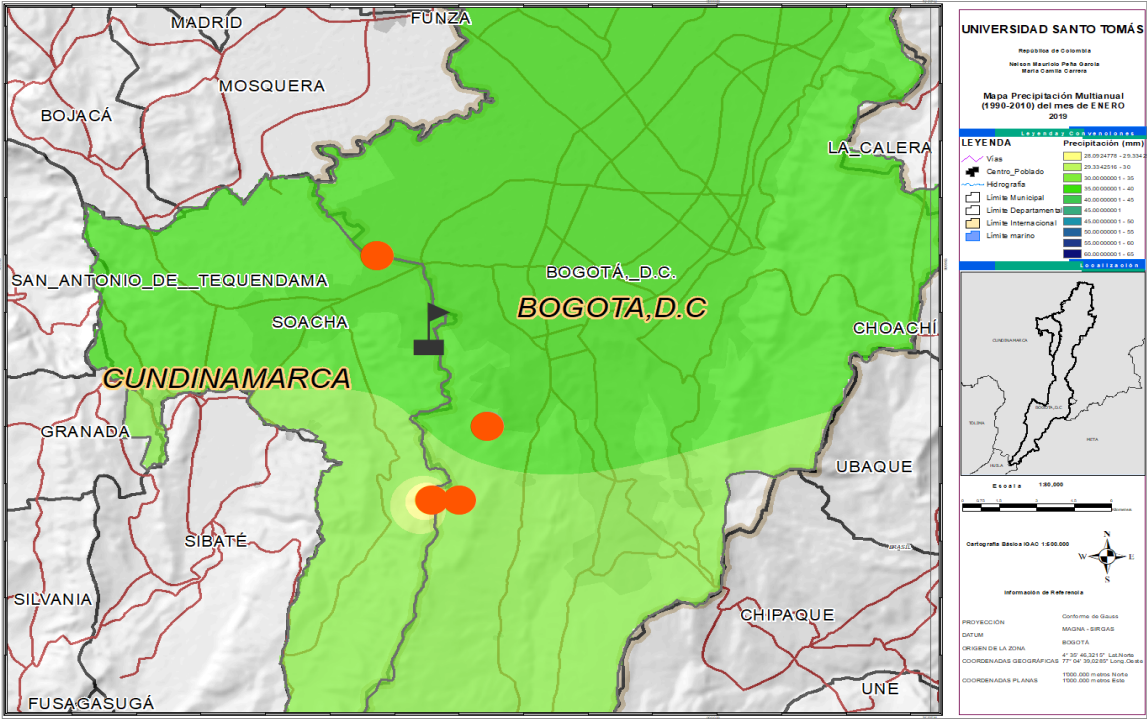
VII. ANEXOS

A. Ubicación colegio Luis Carlos Galán

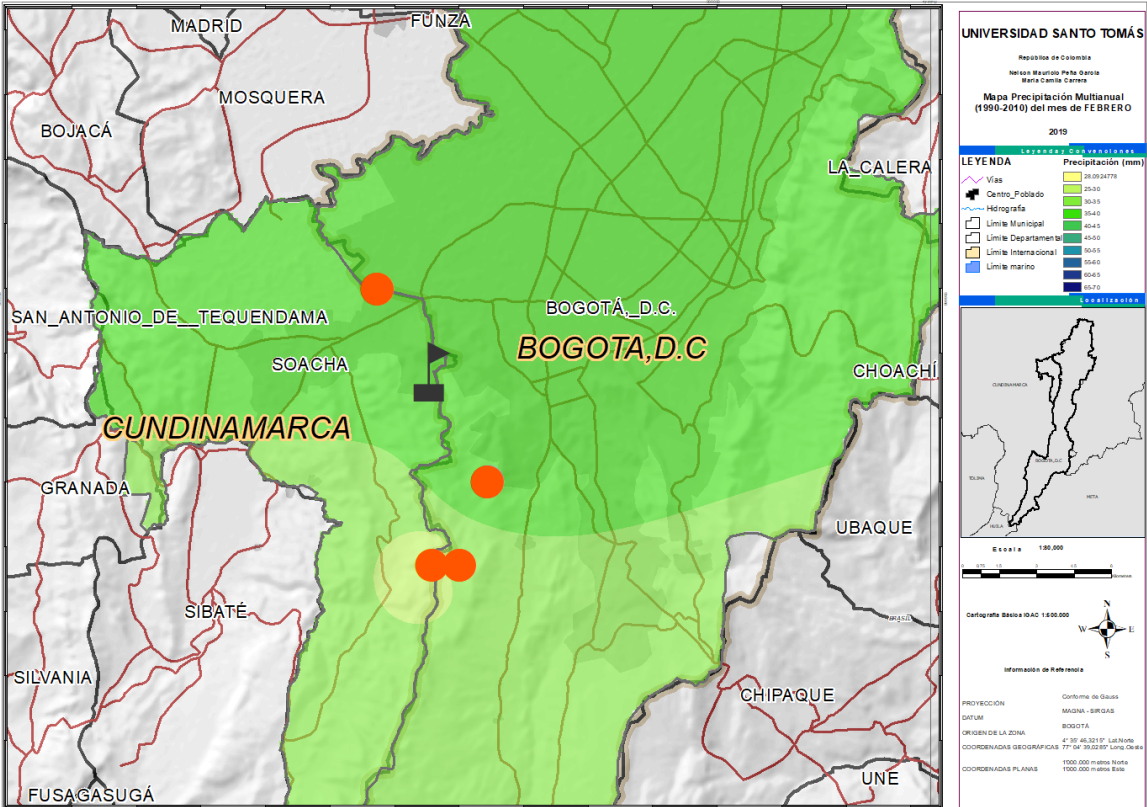


B. Mapas IDW

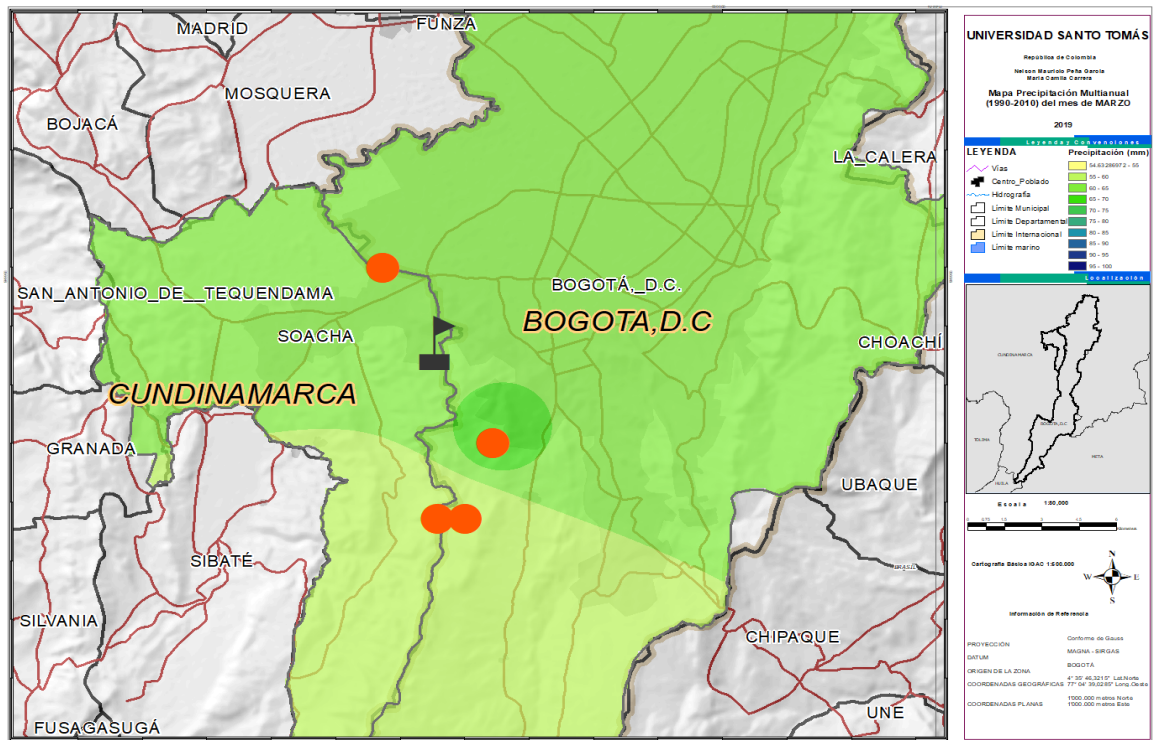
Enero



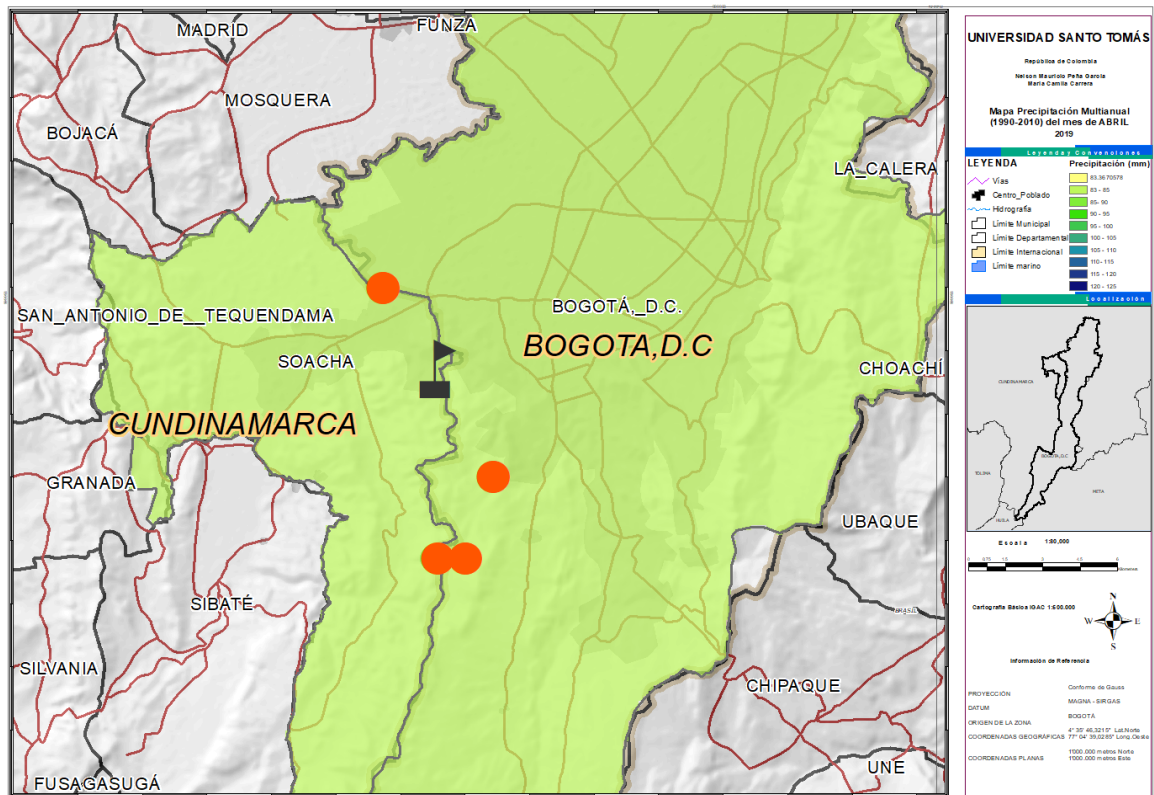
Febrero



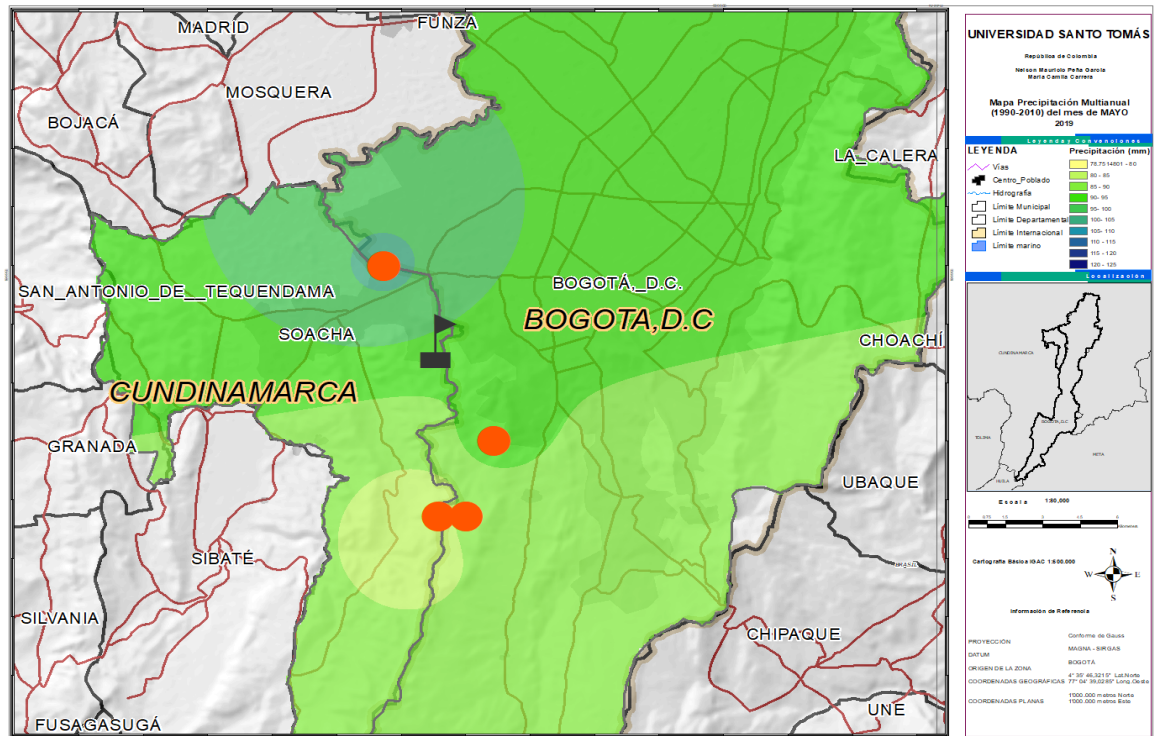
Marzo



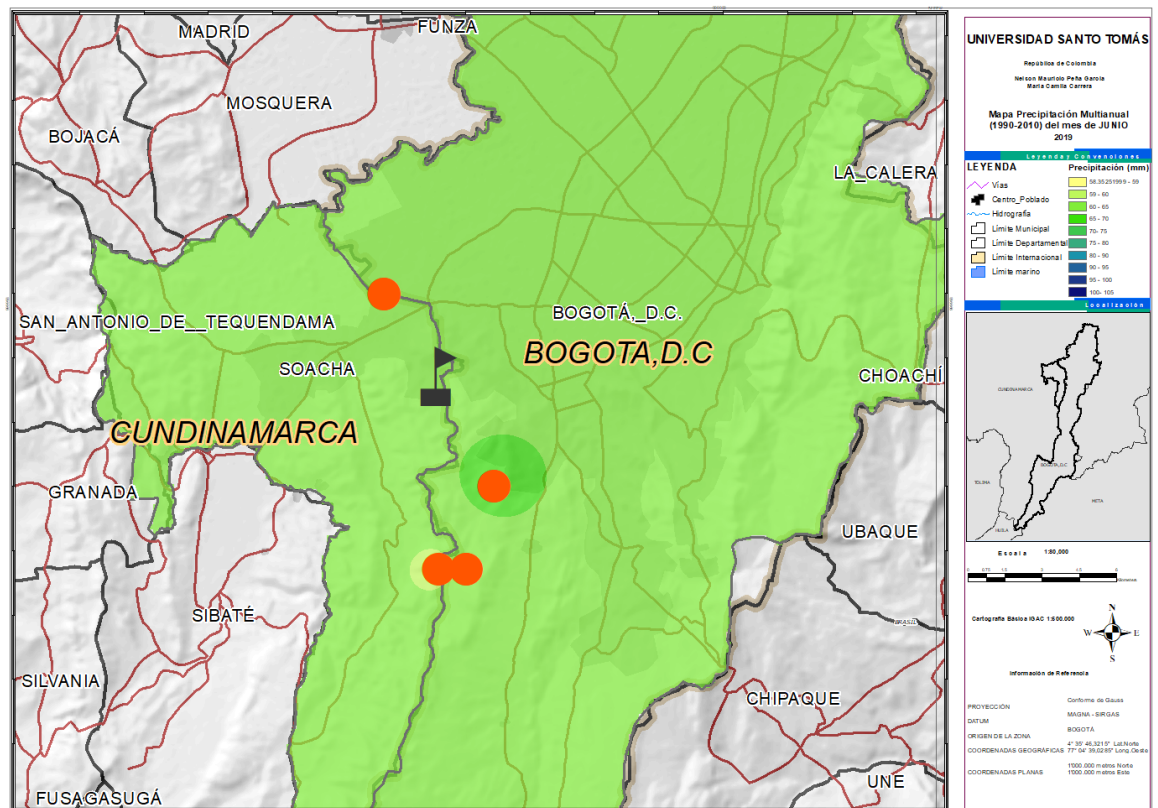
Abril



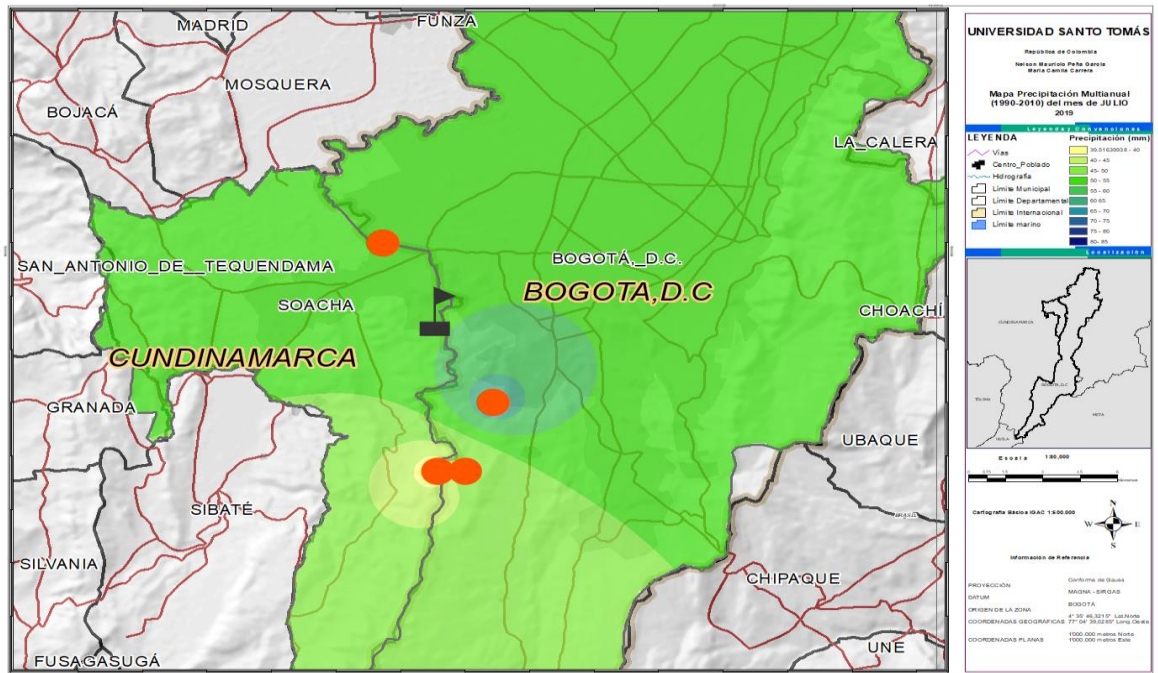
Mayo



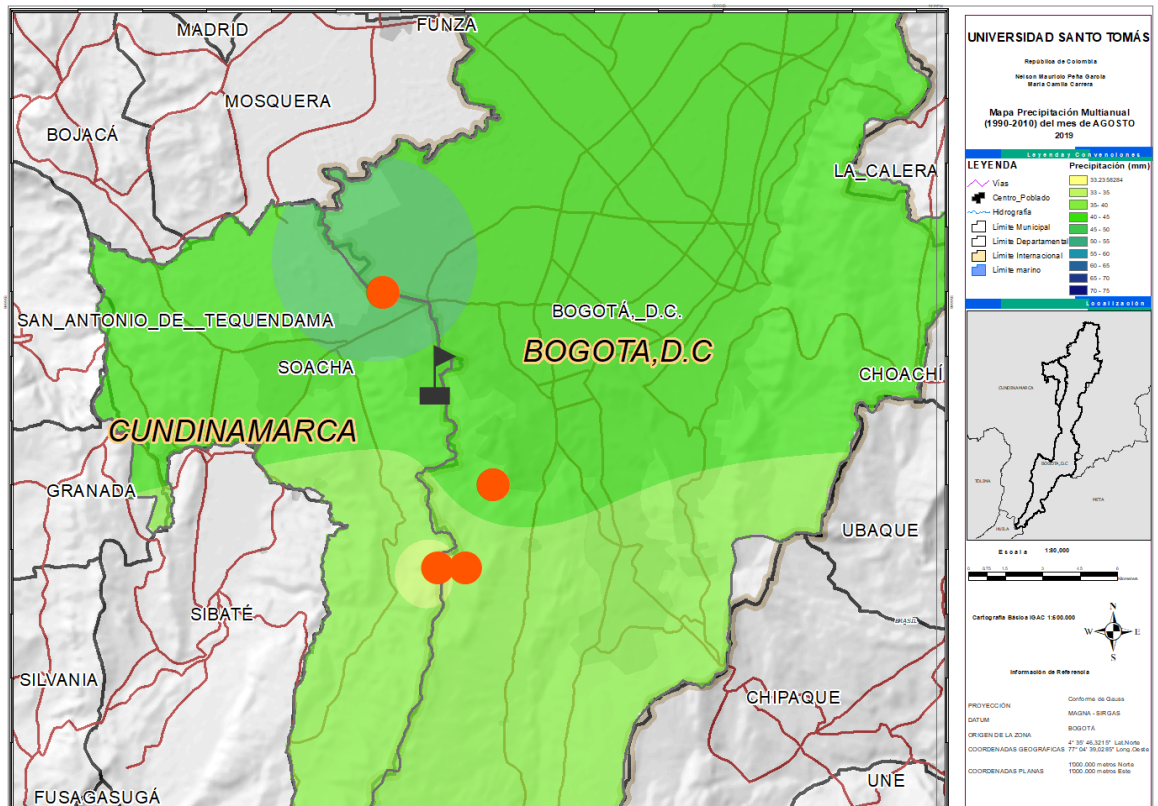
Junio



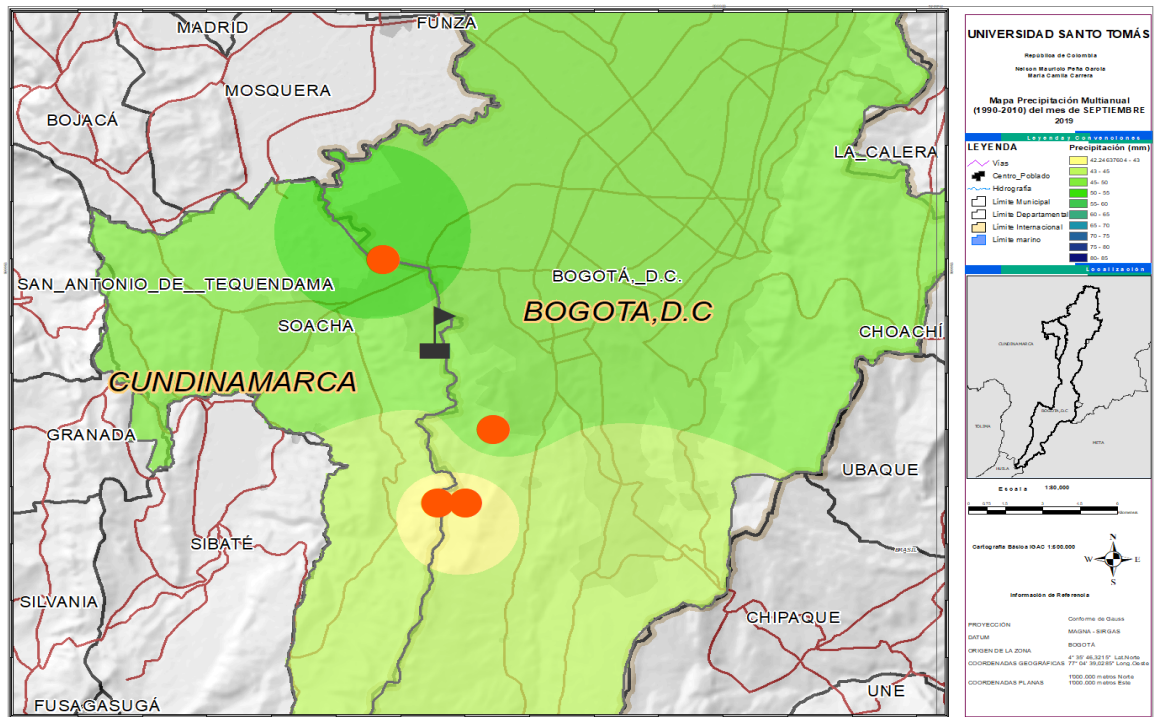
Julio



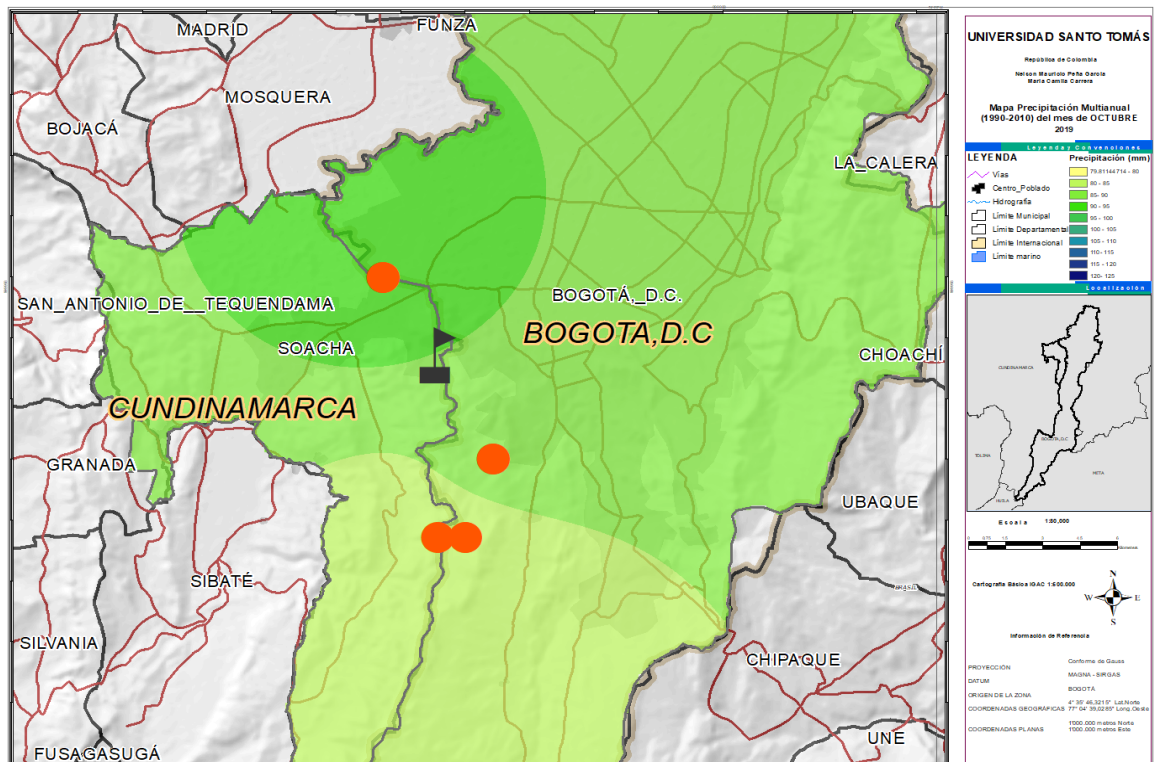
Agosto



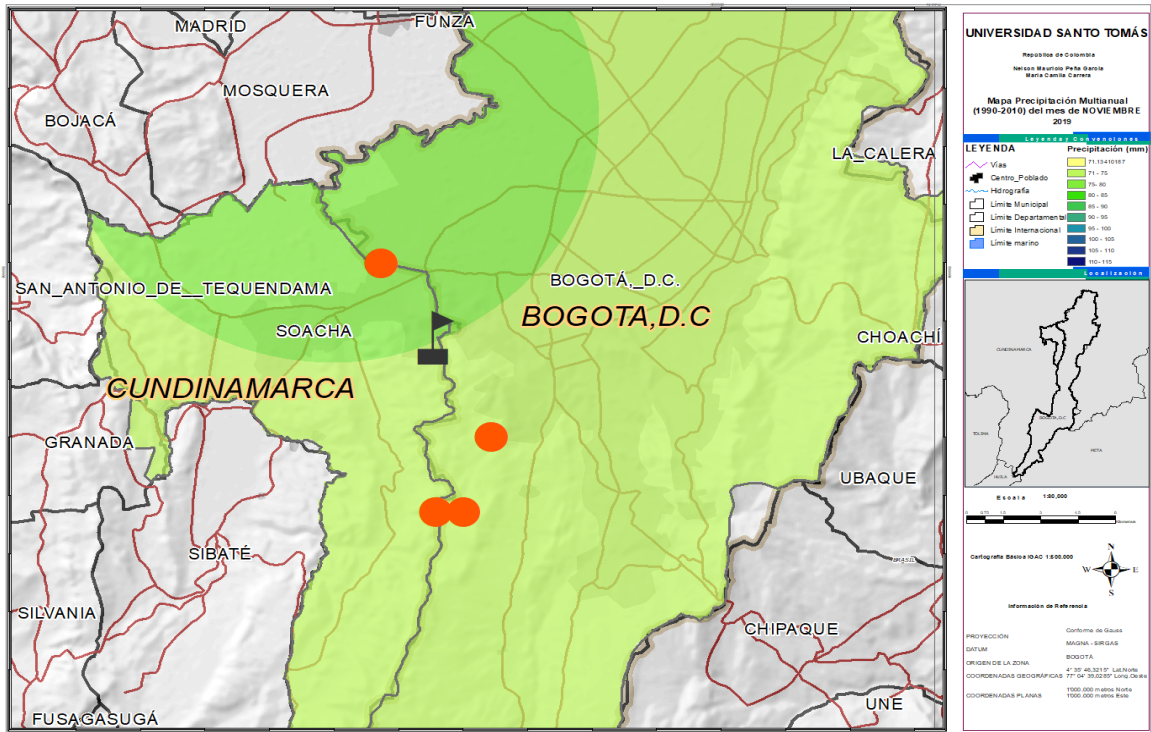
Septiembre



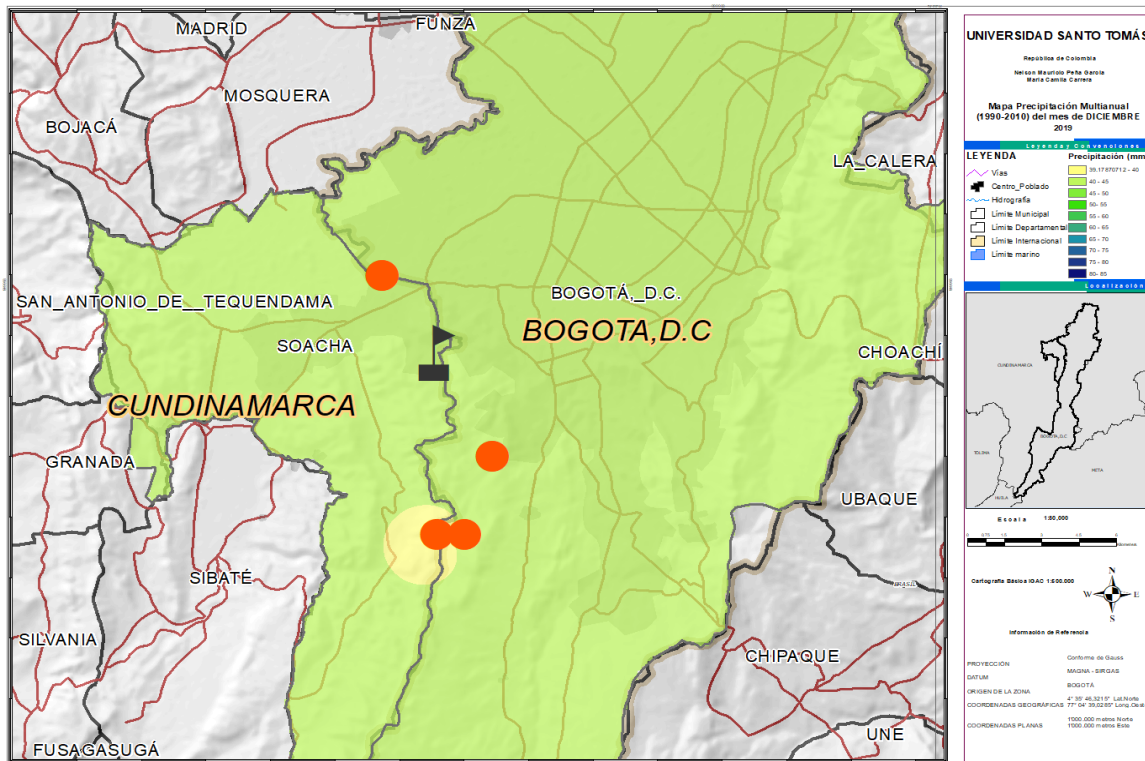
Octubre



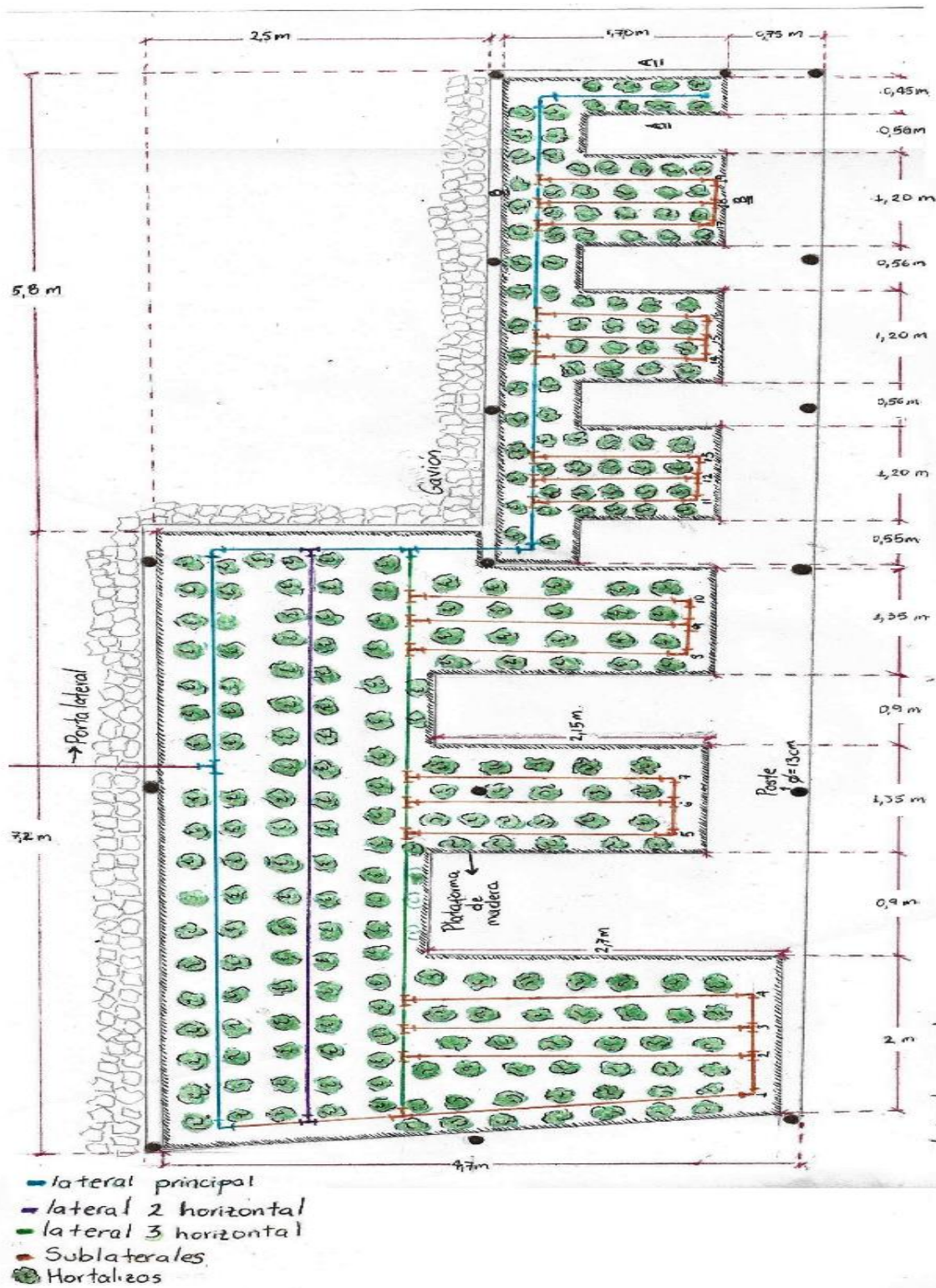
Noviembre



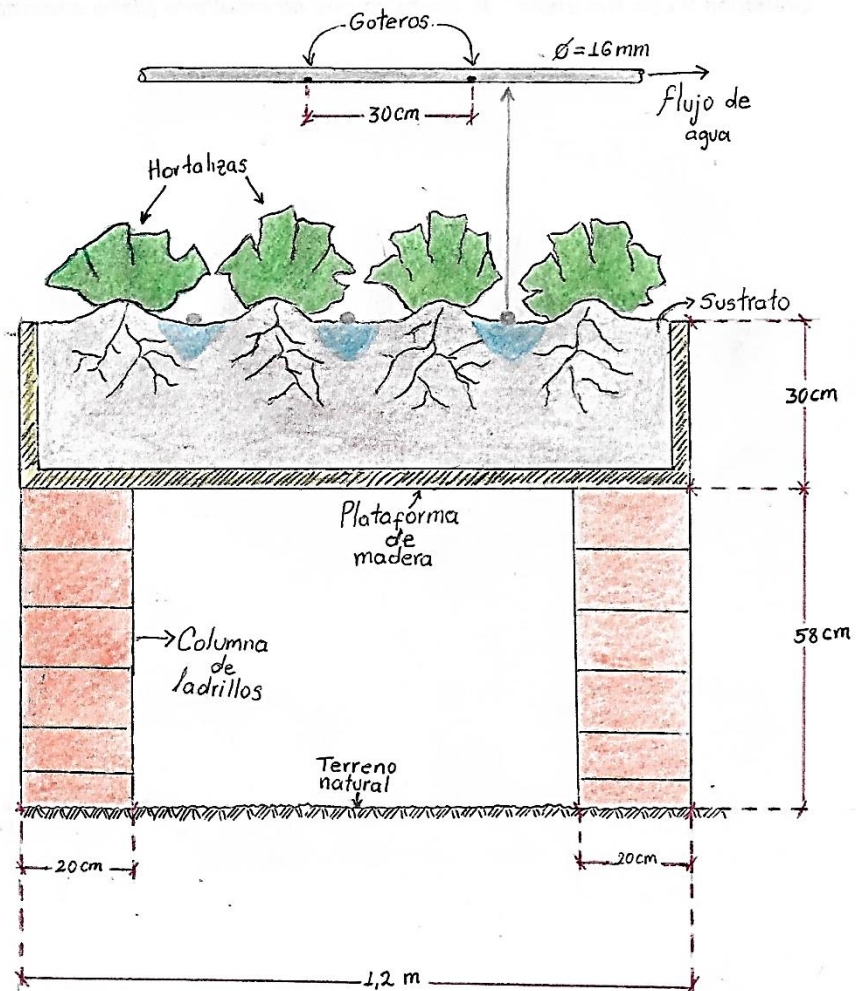
Diciembre



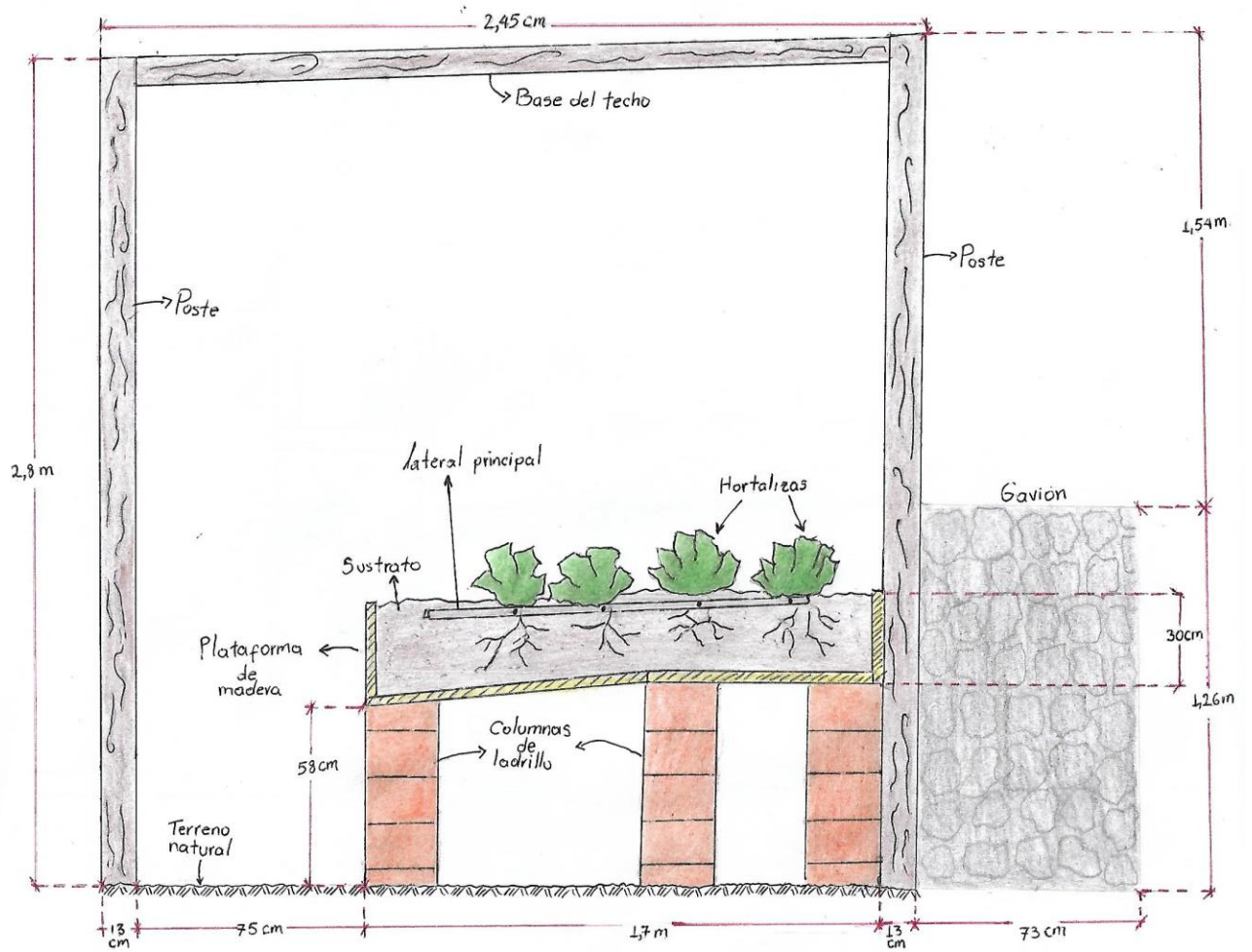
C. Plano general huerta



D. Vista AA



E. Vista BB

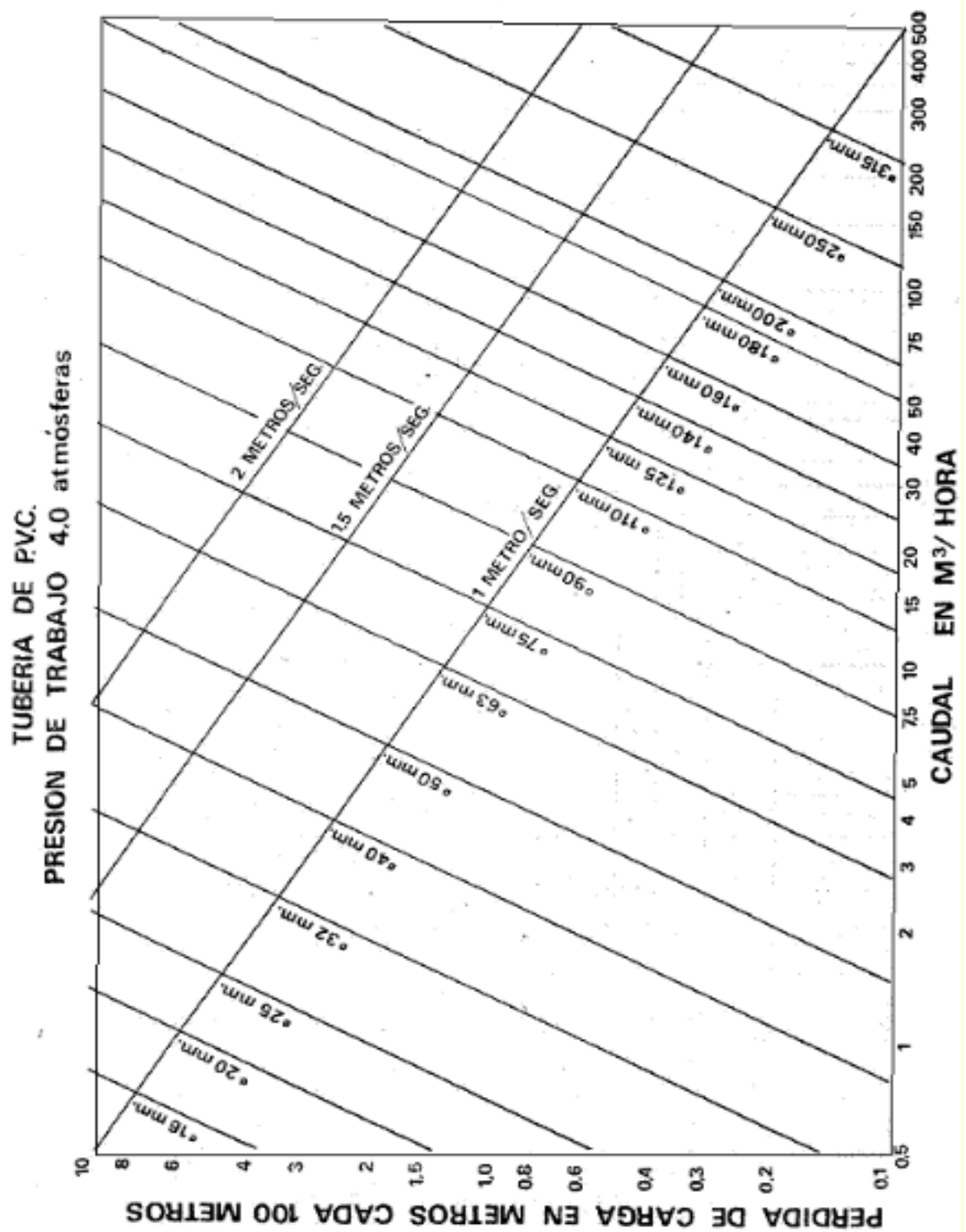


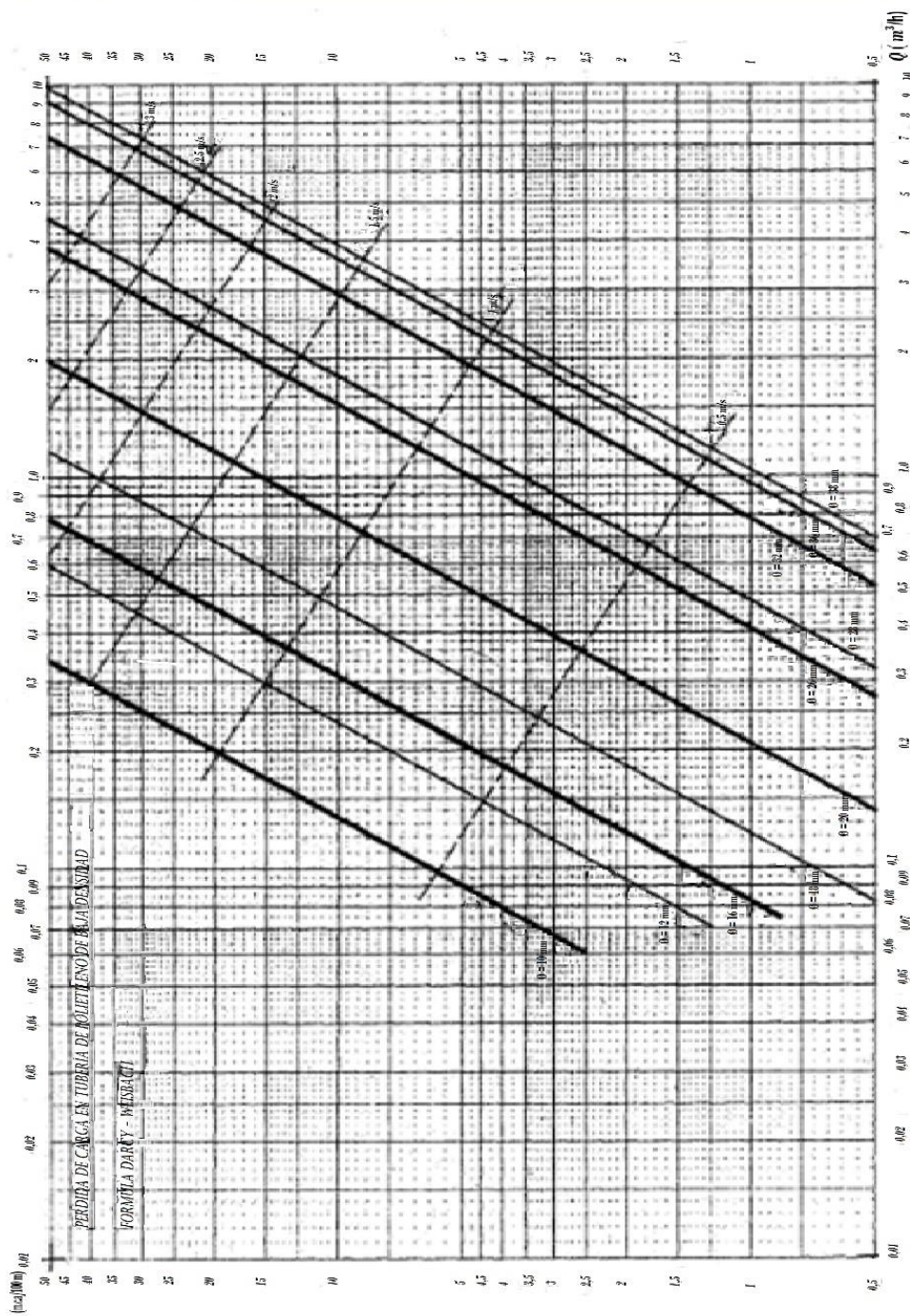
F. Tabla radiación solar

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹ ; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹)

Latitud	HEMISFERIO NORTE												HEMISFERIO SUR											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	0.0	1.1	4.2	9.4	14.4	17.3	16.1	11.4	6.1	2.0	0.0	0.0	16.9	11.7	6.4	2.0	0.1	0.0	0.0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	0.0	1.5	4.8	9.8	14.4	17.1	15.9	11.7	6.6	2.4	0.3	0.0	16.7	12.0	6.9	2.4	0.3	0.0	0.0	1.3	4.9	10.0	15.3	18.2
66	0.2	2.0	5.3	10.1	14.5	16.9	15.8	12.0	7.1	2.9	0.6	0.0	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0.0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18.0
64	0.6	2.4	5.8	10.5	14.7	16.8	15.8	12.2	7.5	3.5	1.0	0.2	16.7	12.6	7.9	3.4	1.0	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	0.9	2.9	6.3	10.9	14.8	16.8	15.9	12.5	8.0	4.0	1.4	0.5	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	1.3	3.4	6.8	11.2	14.9	16.8	16.0	12.8	8.4	4.4	1.8	0.9	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	1.8	3.9	7.2	11.6	15.1	16.9	16.1	13.1	8.9	4.9	2.2	1.3	17.0	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16.0	18.0
56	2.2	4.4	7.7	11.9	15.3	16.9	16.2	13.3	9.3	5.4	2.7	1.7	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2.0	4.0	7.8	12.2	16.1	18.0
54	2.7	4.9	8.2	12.2	15.4	16.9	16.2	13.6	9.7	5.9	3.2	2.1	17.2	14.0	10.0	5.9	3.1	2.0	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	3.1	5.4	8.6	12.6	15.6	17.0	16.4	13.8	10.1	6.4	3.7	2.6	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5.0	8.7	12.8	16.4	18.1
50	3.6	5.9	9.1	12.9	15.7	17.0	16.4	14.0	10.5	6.9	4.2	3.1	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	4.1	6.4	9.5	13.1	13.8	17.1	16.5	14.2	10.9	7.4	4.7	3.6	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6.0	9.5	13.4	16.7	18.2
46	4.6	6.9	9.9	13.4	16.0	17.1	16.6	14.4	11.2	7.8	5.1	4.0	17.6	15.0	11.6	7.8	5.0	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	5.1	7.3	10.3	13.7	16.0	17.1	16.6	14.7	11.6	8.3	5.7	4.5	17.6	15.2	12.0	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	5.6	7.8	10.7	13.9	16.1	17.1	16.7	14.8	11.9	8.7	6.2	5.1	17.7	15.4	12.3	8.7	6.0	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17.0	18.2
40	6.1	8.3	11.1	14.2	16.2	17.1	16.7	15.0	12.2	9.2	6.7	5.6	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	6.6	8.8	11.5	14.4	16.3	17.1	16.7	15.1	12.5	9.6	7.1	6.0	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	7.1	9.2	11.8	14.6	16.3	17.0	16.7	15.3	12.9	10.0	7.6	6.6	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	7.6	9.7	12.2	14.7	16.3	17.0	16.7	15.3	13.1	10.4	8.1	7.1	17.7	16.0	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15.0	17.1	18.1
32	8.1	10.1	12.5	14.5	16.3	16.9	16.6	15.5	13.4	10.9	8.6	7.6	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18.0
30	8.6	10.5	12.8	15.0	16.3	16.8	16.6	15.5	13.6	11.3	9.1	8.1	17.6	16.2	14.0	11.1	8.7	7.6	8.0	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	9.1	10.9	13.1	15.1	16.3	16.7	16.5	15.6	13.8	11.6	9.5	8.6	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8.0	8.4	10.3	13.0	15.4	17.1	17.8
26	9.6	11.3	13.4	15.3	16.3	16.6	16.4	15.6	14.1	12.0	10.0	9.1	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	10.0	11.8	13.7	15.3	16.2	16.4	16.3	15.6	14.2	12.3	10.4	9.5	17.3	16.3	14.6	12.2	10.0	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17.0	17.6
22	10.5	12.1	13.9	15.4	16.1	16.3	16.2	15.7	14.4	12.7	10.9	10.0	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	10.9	12.5	14.2	15.5	16.0	16.1	16.0	15.6	14.6	13.0	11.3	10.4	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14.0	15.8	16.8	17.2
18	11.4	12.9	14.4	15.5	15.9	16.0	15.9	15.6	14.7	13.3	11.7	10.9	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17.0
16	11.8	13.2	14.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.6	14.9	13.6	12.1	11.4	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11.0	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	12.2	13.5	14.7	15.6	15.7	15.6	15.6	15.5	15.0	13.8	12.5	11.8	16.6	16.2	15.3	13.6	12.0	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	12.6	13.8	14.9	15.5	15.5	15.3	15.3	15.4	15.1	14.1	12.9	12.2	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	13.0	14.1	15.1	15.5	15.3	15.1	15.1	15.3	15.1	14.3	13.2	12.7	16.1	16.0	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16.0	16.1
8	13.4	14.4	15.2	15.4	15.1	14.8	14.9	15.2	15.2	14.5	13.6	13.1	15.9	15.9	15.5	14.3	13.0	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	13.8	14.6	15.3	15.3	14.9	14.6	14.7	15.1	15.2	14.7	13.9	13.4	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15.0	15.6	15.6	15.5
4	14.1	14.9	15.3	15.3	14.7	14.3	14.4	14.9	15.2	14.9	14.2	13.8	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13.0	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	14.4	15.1	15.4	15.1	14.4	14.0	14.1	14.7	15.2	15.1	14.5	14.2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5	14.8	15.3	15.5	15.0	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

G. Ábacos del diseño hidráulico

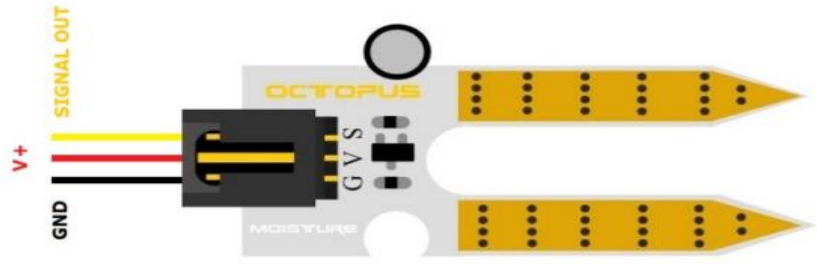




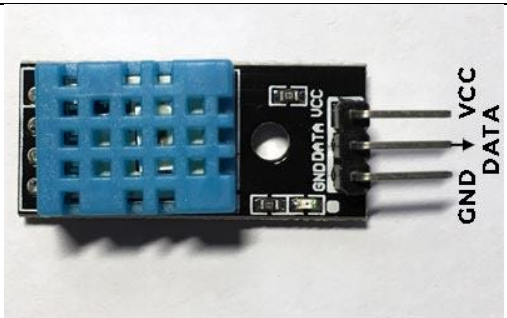
H. Características de los sensores Arduino

Características Electroválvula CEPEX	
Alimentación: 12 voltios	
Presión de trabajo: 0,2- 7 bar	
Características: Electroválvula de riego 24 V Cepex - rosca hembra 1'. Electroválvula de riego Cepex. Fabricada con nylon reforzado. Muelle y tornillos en acero inoxidable. Presión de trabajo de 0,2-7 BAR. Solenoide 2 vías, control interno, 24 VAC/50HZ. Electroválvula riego rosca hembra 1'. Sin tubos ni accesorios externos Construcción compacta Cierre por tornillos Orificio auto-limpiante	
	

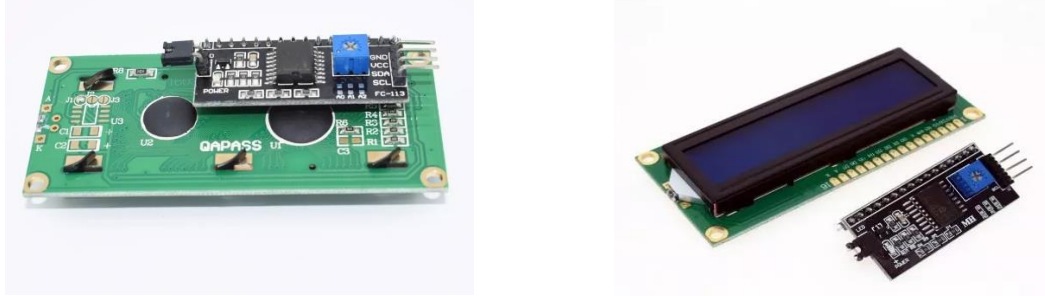
www.homecenter.com

Características del Sensor YL-69	
Alimentación: 3.3 a 5 voltios	
Consumo 3,5 miliamperios	
Señal de salida: Analógica	
Humedad de suelo:	
Rango: mínima humedad = 1023; máxima humedad = 100	
	

Fuente: www.electronicoscaldas.com

Características del Sensor DHT11	
Alimentación: 3 a 5 voltios	
Consumo: 2,5 miliamperios	
Señal de salida: Digital	
Temperatura	
Rango: de 0 a 50 C°	
Precisión: a 25 C° ± 2 C°	
Resolución: 1C°	
Humedad	
Rango: de 20 % a 90 %	
Precisión: entre 0 y 50 C° ± 5 %	
Resolución: 1%	
	

Fuente: www.programarfacil.com

Pantalla LCD con modulo I2C	
Dimensiones: 8 x 0,8 x 3,6 cm	
peso: 0,03 kilogramos	
Señal de salida: Analógica	
Alimentación: 4,5 a 5 voltios	
Modulo I2C	
Peso: 0,05 kilogramos	
Dimensiones: 4,8 x 1,4 x 1,8 cm	
Características: 2 pines digitales (SDA y SCL), compatible con LCD de 16 x 2 o de 20 X 4	
	

Fuente: www.geekfactory.mx

I. Código Arduino

```
//**** Riego automatizado huerta escolar****//

//**** Nelson Mauricio Peña y María Camila Carrera **** //

//****Librerías****//

#include <elapsedMillis.h> // control de variable tiempo
#include <Keypad.h> // para el teclado matricial 4x4
#include <DHT.h> // para el DHT11

#include <LiquidCrystal_I2C.h> // para pantalla LCD 16x 2

//***Definiciones****//

DHT dht(2, DHT11); // el pin que se usara para el sensor es A0

LiquidCrystal_I2C lcd ( 0x3f,16,2); // reconocimiento pantalla LCD

int sensorsuelo= analogRead(A1); // pin de conexcion sensor humedad suelo

int valvula = 13; // pin 13 electrovalvula

// variables de humedad suelo y temperatura aire
int limite_Humedad = 650 ; // Limite minimo de humedad sensor YL-69 630
int tempmaxima ; // limite maximo temperatura dht11 22

int t = 20; // limite de temperatura para accionar riego valores mayores lo accionan

// variables para control de tiempo
elapsedMillis timeElapsed1; // variable que aumenta cada 1 milisegundo
elapsedMillis timeElapsed2;

int minElapsed ;
int hourElapsed ;

// formulacion basica tablero matricial 4x4
boolean previousStatusOn = false;
const byte ROWS = 4; // Cuatro filas
const byte COLS = 4; // Cuatro columnas

byte rowPins [ROWS] = { 10, 9, 8, 7}; // pines de la fila del teclado
byte colPins [COLS] = { 6, 5, 4, 3}; // pines de la columna del teclado

char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}}
```

```

};

char key = '9';
Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins,
ROWS, COLS );

/**/ Desarrollo del programa****/

void setup()
{
  dht.begin();// inicializa el DHT11
  lcd.init (); // inicializa el LCD
  lcd.backlight ();
  lcd.clear (); // deja la pantalla LCD en blanco
  lcd.setCursor (0,0);
  lcd.print (">====Huerta====<");
  lcd.setCursor (0,1);
  lcd.print (">====Escolar====<");
  pinMode (valvula, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void inicio_de_riego()
{
  digitalWrite(valvula, HIGH); // se enciende electroválvula según criterios de humedad y temperatura

  printEncendido();
  calcTimeElapsed1();
  timeElapsed1 = 0;
  previousStatusOn = true;
}

void final_de_riego()
{
  digitalWrite(valvula,LOW); // se apaga electroválvula según criterios de humedad y temperatura

  printApagado();
  calcTimeElapsed2();
  timeElapsed2 = 0;
  previousStatusOn = false;
}

void printEncendido()
{
  digitalWrite(valvula,HIGH);
  calcTimeElapsed1();

```

```

elapsedMillis timeElapsed1();

    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Riego Activo ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Ti.riego ");
    lcd.print(minElapsed);
    lcd.print(" min");

}

void printApagado()

{
    digitalWrite(valvula, LOW);
    calcTimeElapsed2();
    elapsedMillis timeElapsed2();
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Riego Apagado ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("ul.riego ");
    lcd.print(hourElapsed);
    lcd.print(" h");

}

void Cambio_humedad_Suelo()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Nivel de humedad 0-9");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("valor: ");
    key = keypad.waitForKey();
    limite_Humedad =(1200 - 95 * (key - 48)); // rango de 1 a 9 para modificar el límite de humedad por el usuario
    lcd.print(limite_Humedad);
    ;

    delay(9000);
    if(previousStatusOn) {

        printEncendido();
    }
    else{
        printApagado();
    }
}

void Cambio_Temperatura_aire()
{

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp max Aire");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Valor: ");
key = keypad.waitForKey();
tempmaxima = (3 * (key - 48)); // rango de 1 a 9 para modificar el límite temperatura aire por el usuario
lcd.print(tempmaxima);
  lcd.print(" C ");

  delay(9000);
  if(previousStatusOn) {

    printEncendido();
  }
  else{
    printApagado();
  }
}

void Temp_y_hum()
{
  int h = dht.readHumidity();
  int t = dht.readTemperature();
  DHT dht(2, DHT11);
  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp y Hum aire");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(t);
  lcd.print(" C");

  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.print(h);
  lcd.print(" %");

  if (isnan(h) || isnan(t)) {
    Serial.println("Falla al leer el sensor DHT11!");
    return;
  }
  delay (9000);

}

void Humedad_suelo()
{
  int sensorsuelo= analogRead(A1);
  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Humedad suelo ");

```



```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(sensorsuelo);
delay (9000);

}

void calcTimeElapsed1() // funcion para calcular tiempo de riego encendido
{

long timeRemaining1 = timeElapsed1;

minElapsed = timeRemaining1/60000;

}
void calcTimeElapsed2() // función para calcular tiempo de riego apagado
{

long timeRemaining2 = timeElapsed2;

hourElapsed = timeRemaining2/3600000;

}

void printEnloop () // muestra en programa arduino Monitor serie los valores de los sensores sin usar la
pantalla LCD
{

    //Serial.print ("humedad suelo");
    //Serial.print (sensorsuelo);
    /*Serial.println ( " " );
    Serial.print ("humedad");
    Serial.println ( " " );
    Serial.println ( h );

    Serial.print ("temperatura");
    Serial.println ( " " );
    Serial.println ( t );

    */
}

void loop ()
{
    DHT dht(2, DHT11);

    int sensorsuelo= analogRead (A1);
    key = keypad.getKey();

    int key_1 = key - 48;

```

```

if (key == 'A'){
    Cambio_humedad_Suelo();
}
if (key == 'B'){
    Cambio_Temperatura_aire();
}

if (key == 'C'){
    Temp_y_hum();
}

if (key == 'D' && previousStatusOn == true){
    printEncendido();
}
if (key == 'D' && previousStatusOn == false){
    printApagado();
}

if ( key == '#'){
    Humedad_suelo();
}

if( sensorsuelo > limite_Humedad && t < tempmaxima && previousStatusOn == false) {

    inicio_de_riego();
}

else if(( sensorsuelo < limite_Humedad || t > tempmaxima) && previousStatusOn == true){
    final_de_riego();
}
}
}

```

J. Actividades de la huerta

Las huertas escolares permiten ser un “laboratorio didáctico”; el cual son fuente de enseñanza y aprendizaje. superando el obstáculo de temáticas netamente expositivas de los profesores, siendo estos proyectos escolares una forma ingeniosa e innovadora de acercar a los alumnos con las ciencias naturales y el medio [26]; por medio de una recopilación de información bibliográfica y con el cuerpo de docentes del colegio Luis Carlos Galán se desarrollaron las siguientes actividades a tener en cuenta para el año 2020 dentro del currículo, para la implementación no solo de la huerta si no también actividades entorno a esta.

Temática	Actividades en la huerta	Actividades de investigación
Suelo	- Reconocer tipo de suelo entre la huerta y las áreas alrededor (textura, olor, plasticidad)	- ¿ cómo se forma el suelo? - ¿ por qué existe suelo y rocas sueltas en la superficie? - ¿ Como se forma el relieve? (montañas volcanes) - ¿La erosión es la misma para suelos desnudos que para suelos con vegetación presente? - ¿ todos los suelos retienen la misma cantidad de agua?
	- Reconocer e identificar suelos fértiles de suelo degradados	- ¿ todos los suelos son cultivables? - ¿ qué es la degradación del suelo? - ¿ que son los fertilizantes y como afectan el suelo?
	- Realizar compost de los desechos producidos por la huerta	- ¿ qué es compost y como se hace? - ¿Para qué sirve el compost? - ¿Tiene algún beneficio para el suelo realizar el compost? - ¿ que son desechos?(orgánicos e inorgánicos)
	- Identificar las semillas cultivadas, estructura , función y uso - Poner semillas al sol y oscuridad e identificar lo que sucede	- ¿ cómo son por dentro? (hacer un dibujo con las partes) - ¿ cómo se pueden clasificar las semillas? - ¿ la profundidad donde se ubica una semilla dentro de la

Vegetación	- Poner semillas en diferentes vasos con arena , agua y tierra, registrar que sucede.	tierra influye en su germinación? - ¿ todas las plantas generan fruto o flores? -
	- Identificar tipos de especies cosechadas - Realizar una plantación a sol y otra a la sombra, ver desarrollo (competencia por luz)	- ¿ cuánto dura en crecer un cultivo de hortalizas? - ¿ las plantas solo crecen en el suelo? - ¿ qué es maleza y cómo influye en un cultivo? - ¿ es necesario desmalezar? - ¿ las plantas crecen mejor estando juntas o separadas?
	- Observar estado de las especies (estado de sequía o exceso de riego)	- ¿ qué sucede si las plantas permanecen por mucho tiempo sin agua o por el contrario con exceso de agua?
	- Observar características morfológicas de las especies cosechadas	- ¿Que son las raíces y cómo funcionan? - ¿ cuáles son las partes de una planta?¿ para qué sirven? - ¿Qué es la fotosíntesis? - ¿Cuál es la importancia del sol y las temporadas para cultivar o cosechar?
	- Reconocer enfermedades o anomalías dentro de las plantas	- ¿ las plantas pueden enfermarse? - ¿Las plantas pueden ser infectadas? - ¿ cómo identificar si el cultivo presenta algo malo en su proceso de crecimiento?
Fauna	- Reconocer e identificar animales dentro de la huerta	- Buscar animales que son benéficos o puedan dañar el cultivo - ¿Que son las plagas? - ¿ todas las plagas son iguales? - ¿ solo los animales pueden afectar los cultivos? - ¿ que son los pesticidas y cómo funcionan?

		- ¿ qué es la polinización?¿ qué papel juegan los animales en este proceso?
Clima	- Reconocer fenómenos naturales - Reflectancia del sol en las nubes - Tipos de nubes - Hacer un registro de los días que llueve a la semana y la relación que tiene con los fenómenos del niño y la niña	- ¿ cómo se genera la precipitación o lluvia? - ¿ qué es lluvia acida? - ¿ el agua lluvia puede ser utilizada para actividades del hombre?¿ cuáles? - ¿ que son las estaciones del año?¿ cuántas tiene Colombia? - ¿Qué porcentaje de agua dulce y salada se encuentra en el mundo? - ¿ las fuentes de agua son solo de los ríos, mares y lluvia? - ¿ cómo afecta el cambio climático a los seres humanos, plantas y animales?
Arduino	- Identificar que es un sensor y como funciona - Configurar las variables de temperatura y humedad de suelo influyendo en el crecimiento del cultivo. - Mostrar a los estudiantes el código base y el lenguaje de programación implementado para la automatización del riego.	- ¿ que son sensores? - ¿ qué es un software y hardware libre? - ¿ qué es lógica de programación y cómo influye en el sistema de riego de la escuela? - ¿ cómo más puede ser usado el Arduino aparte de un sistema de riego? - ¿ qué es un código fuente?
Nutrición	- Cosechar las hortalizas al finalizar su etapa de desarrollo - Realizar una convivencia con los alumnos integrando los productos cosechados, explicando los beneficios de una dieta sana	- ¿ qué es la nutrición? - ¿ por qué es necesario consumir frutas y vegetales? - ¿ existen enfermedades asociadas a una mala alimentación?¿ cuáles? - ¿ qué es una dieta balanceada?

Las anteriores actividades descritas permiten una interacción y objetivos más claros entre los estudiantes y el huerto, optimizando su aprendizaje con una dirección definida.

