

**Diseño de un sistema de control mediante IoT para la propagación vegetativa de
Guayabo (PSIDIUM GUAJAVA L.) en el municipio de Vélez**

Ronal Alexis Martinez Ceron

Universidad Nacional Abierta Y a Distancia

Escuela de ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Maestría en Gestión de Tecnología de Información

Vélez Santander

Noviembre de 2020

**Diseño de un sistema de control mediante IoT para la propagación vegetativa de
Guayabo (PSIDIUM GUAJAVA L.) en el municipio de Vélez**

Ronal Alexis Martinez Ceron

Tesis Presentada Para Obtener El Título De
Magister en Gestión de Tecnologías de la Información

Director Magister Pedro Torres Silva

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia
Escuela de ciencias básicas, tecnología e ingeniería
Maestría en Gestión de Tecnología de Información

Vélez Santander

Noviembre de 2020

Dedicatoria

Quiero dedicar esta tesis a mi familia, en especial a mi esposa Luz Dary Pérez, la cual fue siempre un apoyo incondicional y un constante aliento para no desvanecer en la consecución de toda la información requerida.

A mis hijos Tomas, Victoria y Jerónimo por ser el motor de vida, y ayudarme con su alegría y motivación a avanzar en la elaboración de esta tesis, a pesar del poco tiempo que se les he podido dedicar.

Resumen

Controlar los factores ambientales, para la reproducción de material vegetal se está volviendo cotidiano, ya que estos ayudan a reproducir plántulas libres de enfermedades y con buenas características genéticas, los invernaderos facilitan el control de estos factores y ayudan a mejorar el tiempo de crecimiento de las plántulas.

El control de factores como la humedad relativa y temperatura, se pueden realizar a través de sensores, así como el control de pH en el enraizamiento de las plántulas, todas estas variables se pueden caracterizar y crear modelos que ayuden en el crecimiento del material vegetativo del cultivo de la guayaba.

Toda esta información se puede recoger a través de dispositivos de recepción inalámbrica con capacidad de procesamiento embebido, con sistemas de computación en una tarjeta simple (SBC single board computer) similar a Raspberry Pi o qualcomm dragon board, Orange pi pc, con ellos se pueden almacenar la información, para ser tratada por paginas especializadas que nos arrojan el comportamiento de las variables antes mencionadas.

De esta forma podemos crear un modelo que ayude a los agrónomos para tener un control en la reproducción vegetativa de la guayaba, para así poder proliferar la zona con arbustos, que puedan cumplir con las expectativas de peso, color y sabor, que los productores buscan para la producción de bocadillo.

Dado que la región en estos momentos no está cumpliendo con la cantidad requerida de guayaba para la producción del bocadillo, ya que muchas de las fábricas de

bocadillos deben recurrir a comprar la materia prima de otras regiones u otros países, así como se justifica en el planteamiento del problema.

Una vez identificados los procesos actuales de producción en la región con cultivadores, que posean en área de siembra más de tres hectáreas y que en ellos contengan factores tecnológicos inmersos, como medición de valores nutricionales de la planta o al menos densidades de siembra en el cultivo y que no sean cultivos silvopastoriles, se entrara a determinar la reproducción vegetativa que más pueda aportar a la cosecha en cantidad de fruto, y características nutricionales.

Palabras claves: Dispositivos IoT, viveros, automatización, guayaba.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	4
Introducción	10
Planteamiento del problema	12
1.1 Definición del problema	12
Justificación.....	14
2.1 Delimitación.....	15
Objetivos	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos	18
Marco referencial.....	19
4.1 Marco teórico	19
4.1.1 Estudio relacionado directamente con un sistema de monitoreo en cultivos...	24
4.2 Marco conceptual	26
4.2.1 Parámetros climáticos a considerar bajo condiciones controladas	26
4.2.1.1 Temperatura.	26
4.2.1.2 Humedad relativa (HR).....	28
4.2.2 Requerimientos edafoclimáticos del guayabo (Psidium guajava L.).....	29
4.2.2.1 Humedad.	29
4.2.2.2 Sustrato.	29
4.2.3 Invernadero de capilla.....	29
4.2.3.1 El propagador de subirrigación.....	30
4.2.4 Reproducción vegetativa de guayabo (Psidium guajava L.),.....	31

	7
4.2.4.1 Propagación Asexual.	31
4.2.4.2 Propagación por estacas.	32
4.2.5 Arquitectura IOT.....	32
4.2.5.1 Las capas de la arquitectura IoT	34
4.2.5.2 Sensores.	36
Diseño metodológico.	38
5.1 Tipo De Investigación	38
5.2 metodología.....	39
5.2.1 Diseño metodológico	39
5.2.3 Ruta metodológica	39
5.3 Análisis del estado actual (AS-IS) de producción de guayaba en cultivos tecnificados en el municipio de Vélez Santander.	41
5.3.1 Recolección de información.	41
5.3.2 Investigación de información y evaluación.	41
5.3.3 Información de productores.	42
5.3.4 Análisis De Información	49
5.4 Caracterización de sensores para el control de condiciones ambientales en la reproducción vegetativa del cultivo de guayaba.	54
5.4.1 Investigación y evaluación de sensores	54
5.4.2 Tecnología de detección de temperatura.....	54
5.4.2.1 Termocuplas.....	55
5.4.2.2 Detectores de temperatura de resistencia (RTD).	56
5.4.2.3 Termistores.	57
5.4.2.4 Sensores de temperatura de circuito integrado (IC).....	59

	8
5.4.3 Tecnología de detección de humedad	60
5.4.3.1 Sensores de humedad capacitivos (CHS).	61
5.4.3.2 Sensores de humedad resistivos (RHS).	62
5.4.3.3 Sensores de humedad de conductividad térmica (TCHS).....	64
5.4.4 Selección de sensor.....	65
5.4.5 Configuración y resultados experimentales del sensor	68
5.4.6 Tecnología inalámbrica.....	73
5.4.6.1 Bluetooth.....	73
5.4.6.2 Wi-fi.....	75
5.4.6.3 ZigBee.....	76
5.4.6.4 Comparación de ZigBee, Wi-Fi y Bluetooth	78
5.4.7 Unidad de procesamiento.....	80
5.4.7.1 Raspberry Pi.....	80
5.4.7.2 Arduino	83
5.5 Describir el sistema de control que brinde condiciones óptimas, en un ambiente controlado para la recolección de información y creación de modelos climáticos.....	88
5.5.1 Diseño de la solución.....	89
5.5.2 Diseño funcional	89
5.5.3 Instalación Raspbian	91
5.5.4 Conexión del sensor con Raspberry.....	92
5.5.5 Arquitectura del programa	94
5.5.6 Base de datos.....	95
CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO.....	98
6.1 Conclusiones	98

6.2 Trabajo futuro..... 99

Referencias.....100

Apéndice.....104

Introducción

El presente proyecto tiene como fin proponer una arquitectura del IoT para la reproducción vegetativa de la guayaba, en el centro de gestión agroempresarial del oriente, SENA Vélez, con el cual se pretende producir material vegetal homogéneo, con el fin de impactar los cultivos y sembrar árboles elite en la provincia.

Hoy en día muchos de los cultivadores de la zona, no cuentan con la tecnología o asesoramiento, para iniciar un cultivo con plántulas extraídas de árboles elite, por lo que recurren al método de siembra más sencillo y económico como lo es de la semilla, y este método algunas veces no cumple con las expectativas de rendimiento, ya que su producto puede provenir de cualquier árbol sin importar la cantidad o calidad de fruto que pueda generar en un proceso de cosecha.

El Iot por su parte se ha vuelto una de las tecnologías más predominantes del siglo XXI, volviéndose uno de los ejes principales de la 4 revolución industrial, el IoT por su simplicidad y eficiencia, brinda todo su potencial para este proyecto, ya que a través de sensores, podemos recoger la información y convertirla en variables medibles, que nos ayuden a establecer métodos y crear modelos, para que los profesionales del área agrícola, del centro de gestión agroempresarial del oriente SENA Vélez, basen sus decisiones en elementos reales y no supuestos, y así poder recrear las mejores condiciones climáticas para el crecimiento sano de las plántulas.

Donde la propuesta de diseño ayude a ser competitivo con los invernaderos industriales, que tienen costo de montaje que oscilan entre \$600.000 a \$1.200.000 el metro cuadrado, dependiendo de las variables que se quieran controlar, para ser exacto en

el apéndice se puede ver en una cotización de cepagro, proveedor de invernaderos, esto ayudaría a proponer invernaderos por subrogación de bajo costo comparados con los mencionados anteriormente.

Planteamiento del problema

1.1 Definición del problema

“Vélez, capital de la provincia homónima, ubicado al sur del departamento Santander, distante unos 231 kilómetros de Bucaramanga, capital del departamento. Es famosa por su templo atravesado, y por fabricar bocadillos, elaborados con pulpa de guayaba”. (Alcaldía Municipal de Vélez en Santander, 2018), municipio productor de guayaba y por la transformación del producto especialmente el bocadillo, con denominación de origen el cual “La Superintendencia de Industria y Comercio, mediante la Resolución N° 35076 del 15 de junio de 2017, declaró la protección de la Denominación de Origen colombiana número 27 “BOCADILLO VELEÑO” y delegó la facultad para autorizar su uso en la FEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL BOCADILLO VELEÑO-FEDEVELEÑOS, que agrupa diversas asociaciones de productores de guayaba y procesadores de hoja de bijao.” (Industria y comercio, 2017).

La producción de la guayaba en la región ha estado estancada durante los 12 últimos años, así lo muestra en su informe agronet, con estadísticas de rendimiento por tonelada al año, donde la producción en el 2007 era 9,2 toneladas por hectárea, y en el 2018 solo subió un punto logrando llegar a las 10.5 toneladas por hectárea. (agronet.gov.co, 2020).

Así lo dijo el gobernador de Santander que era imposible que se importara guayaba desde Quito Ecuador, para la producción interna. (Gobernación de Santander,

2018), “A pesar de su importancia socioeconómica, el cultivo y la agroindustria de la guayaba presentan aun un marcado retraso tecnológico que afecta su competitividad en los mercados y se refleja en bajos rendimientos del cultivo”, (Amaya Morales. 2015. P. 35.)

“Por lo que el gobierno a través de la gobernación con otras alianzas como el SENA, UMATA, etc, tratan de fortalecer a los productores en la tecnificación de los cultivos para mejorar su producción y cumplir estándares de calidad”. (Gobernación de Santander, 2018)

Ya que, en la zona de influencia de la provincia, se cuenta con alrededor de 4800 personas que se dedican al cultivo del árbol frutal (Fedevaleños, 2019), mejorar la forma de propagación vegetativa podría mejorar y cumplir con las expectativas del mercado tanto interno como externo.

“La propagación asexual del guayabo permite lograr la reproducción de individuos idénticos, a partir de porciones vegetativas de plantas que tengan capacidad de regeneración”. (Perales et al. 2005)., y se demostró que la Guayaba (*Psidium guajava*), presenta comportamientos favorables en la reproducción de materiales vegetal en ambientes controlados como lo demuestra el estudio, (Bogantes-Arias, 2010).

Lo que nos lleva a formular la pregunta de investigación.

Pregunta de investigación.

¿Se puede diseñar un sistema de control que ayude a brindar las condiciones necesarias para la propagación vegetativa de la guayaba, ayudando con la producción de material vegetal homogéneo?

Justificación

Los invernaderos son las instalaciones perfectas para poder controlar este tipo de variables mejorando el tiempo de crecimiento y calidad de las plantas. “Ellos están orientados a obtener la mayor productividad de los cultivos” (Marin, 2013), así las plántulas crecerán en un menor tiempo y la mejora genética del árbol será el éxito de la reproducción vegetativa.

“El sistema de control garantizará el cumplimiento de las condiciones de operación del invernadero de subirrigación optimizando el desarrollo del cultivo a través del monitoreo automatizado”, (Muñoz, 2012), algunas de las variables a controlar son, la humedad del suelo por medio del riego (Meraz García, R. 2014); de la temperatura del ambiente mediante el ajuste de las ventanas y de la dosificación adecuada de los fumigantes y abonos requeridos por el cultivo con la implementación de válvulas dosificadoras con temporizadores. (Ponce, P. O. 2017) Igualmente, este proyecto permitirá desarrollar un diseño de bajo costo que sea adaptable a los requerimientos del campo y se pueda perfilar como una opción para los productores y sus cultivos mejorándolos técnica y económicamente (Castilla, N. 2008.)

La implementación de sistemas de monitoreo y control en cultivo se ve fuertemente limitada por el costo elevado de inversión de una infraestructura de tecnologías de información, monitoreo y control. Los equipos físicos (hardware), las redes y personal para soporte de dichos sistemas lo hacen costoso para la agroindustria en nuestro país. (Rodrigo N. Calheiros). Así el objetivo es diseñar un sistema de control menos costoso que las plataformas industriales dedicadas, aprovechando economías de

escala, que resulten en una solución compacta y específica para las necesidades planteadas, apalancado en sistemas dedicados a infraestructura de tecnologías de información, a los cuales se accede mediante un esquema de computación en la nube. Esto ayudaría a una producción sostenible en cualquier época del año, indiferente de los factores climáticos externos, que siempre afectan el crecimiento de las plántulas (Castilla, N. 2008).

Esto acercara a los cultivadores de Guayaba de la región, a tener un cultivo homogéneo tanto en calidad, tamaño y niveles de azúcar en sus frutos, y al mismo tiempo esperen cosechas de 30 a 45 toneladas por hectárea sembrada, para que se vean beneficiados y puedan cubrir los costos de producción del cultivo.

2.1 Delimitación

Espacial: Este estudio de desarrolló en el municipio de Vélez, departamento de Santander, específicamente en las veredas de los guayabos y la capilla.

Ubicación geográfica: El municipio de Vélez, está ubicado en la provincia que lleva su nombre, es uno de los 17 municipios que la conforman, cuenta con 13 veredas de clima frio, 14 veredas de clima cálido y 12 veredas de clima templado, el cual es el sitio de investigación por las características edafoclimáticas.

Figura 1

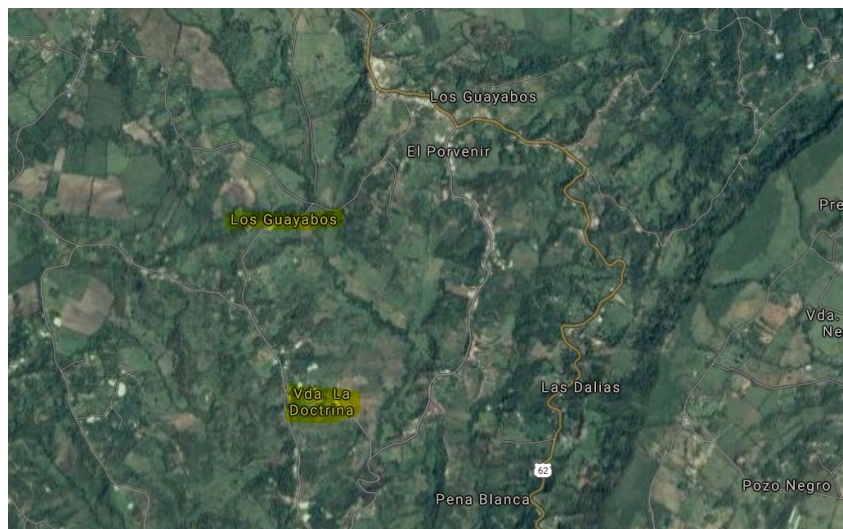
Mapa geográfico del municipio de Vélez



Nota: El grafico muestra la zona geográfica que abarcar el municipio de Vélez en Santander.

Figura 2

Zona de influencia del estudio



Nota: El grafico muestra las veredas donde se realiza el estudio. Adaptado de Google Maps

Alcance de la investigación: Esta investigación busca diseñar un sistema de control que brinde las condiciones climáticas adecuadas en la propagación vegetativa del árbol de la guayaba, para mejorar la homogeneidad de las plantas en la región logrando

mejorar las características de producción de los árboles, disminuir el tiempo de la primera cosecha con frutos de buenas características, para cumplir con la demanda tanto de: calidad, cantidad color, tamaño y cantidad azúcar en el fruto. Para lograr homogenizar los cultivos con árboles elite en la región.

Viendo esta necesidad se formulará el diseño de un sistema que pueda controlar las variables que intervienen en la reproducción vegetativa y así garantizar las condiciones requeridas, estas variables se miden a través de una red de sensores que captan hasta el cambio más mínimo en el ambiente y generan alarmas que ayudan a ejercer los controles necesarios.

Por lo que se busca diseñar un sistema de control con sensores que midan variables como, temperatura, humedad, recogiendo la información a través de un sistema de control, para que la información sea procesada en tiempo real y así poder crear un modelo que ayude a minimizar el tiempo o mejorar las condiciones en los esquejes seleccionados.

Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de control basado en tecnologías del IoT para la caracterización de variables, en la propagación vegetativa de GUAYABO (*PSIDIUM GUAJAVA L.*)

3.2 Objetivos específicos

Caracterización de sensores para el control de condiciones ambientales en la reproducción vegetativa del cultivo de guayaba.

Analizar el estado actual (AS-IS) de producción de guayaba en cultivos tecnificados en el municipio de Vélez Santander.

Describir el sistema de control que brinde condiciones óptimas, en un ambiente controlado para la recolección de información y creación de modelos climáticos.

Marco referencial.

4.1 Marco teórico

El guayabo (*Psidium guajava* L.), “es uno de los frutales tropicales y subtropicales de mayor importancia económica, que se cultiva con fines comerciales en más de 60 países. Pertenece a la familia Myrtaceae, que está constituida por más de 133 géneros y de 3800 especies, pocas de las cuales producen frutos comestibles” (Valdés-Infante, 2009)

“Los programas de mejoramiento genético del cultivo, se encuentran en desarrollo en países como la India, Brasil, Cuba, Venezuela, Tailandia, México, Pakistán, entre otros, donde el guayabo representa un cultivo de importancia económica” (Bandera Fernández 2019); estos programas se encuentran en distinto grado de desarrollo y difieren en sus objetivos. En varios de estos países se han hecho contribuciones significativas a lo largo de los años.

“Aunque el mejoramiento selectivo de cultivares de guayabo comenzó hace casi un siglo, la facilidad de propagar las plantas a través de semillas impide preservar los cultivares mejorados sin cambios significativos de sus atributos”. (Pommer, C. V 2009, p 88).

Los principales países productores de guayaba en el mundo son: Pakistán, Egipto, México, Bangladesh, Estados Unidos, Brasil, Venezuela, Colombia, Malasia, Tailandia, Perú, India, Suráfrica, Indonesia y República Dominicana. La mayor producción de

guayaba en Colombia, se encuentra en el departamento de Santander, con un aporte del 33% a la producción nacional, seguida de Tolima con un aporte del 18% y por Boyacá con un 14%.

El cultivo de guayaba es de “importancia económica y comercial para Colombia, pues se ubica como una de las principales materias primas en el sector de la agroindustria. En los últimos 10 años se observa un comportamiento estable; se ha mantenido el área cosechada en 14.000 hectáreas, con una producción de 120.000 toneladas, para un rendimiento de 10 toneladas por hectárea” (Leiva Luis Carlos, 2012).

Aunque Santander es el mayor productor, los departamentos de Meta, Córdoba, Boyacá y Cundinamarca presentan mayor productividad, al obtener una mayor producción por área cultivada. De esta forma en Colombia la producción se concentra en los departamentos de Santander y Boyacá con un 54% del área sembrada. (Mesa Gestora Cadena Productiva de la Guayaba y su Industria, Boyacá y Santander, 2007).

Mejoramiento del guayabo (*Psidium guajava* L.). Las estrategias de mejoramiento se realizan en cultivares considerados como promisorios, “lo cual conlleva a una base genética estrecha. La introgresión de variedades tradicionales o de genotipos sin características de interés comercial al banco de genes, no es de mucha aceptación debido a la posible incorporación de caracteres no deseados”. (Pérez Pelea, Leneidy. 2015).

“La realización de inventarios, la colecta, la caracterización y la evaluación, garantizan el mantenimiento y el uso de una herencia genética para futuras

generaciones”, (Kellerhals, M.; Bertschinger, 2004), con el objetivo de contar con una base más amplia en los programas de mejora, que posibilite responder ante las demandas del mercado y ante la incidencia de plagas y enfermedades.

En la Provincia de Vélez, el frutal guayabo se ha propagado a partir de semillas y las plantaciones obtenidas son muy variables en la zona, producto de la polinización por insectos. “Las plántulas presentan altas tasas de segregación y es esta la base de la variación empleada a nivel mundial, tanto por mejoradores como por productores.” (Pommer, C. V, 2013)

“La morfología de la flor del guayabo favorece la auto polinización, aunque también al ser una especie de polinización cruzada, se cruza de forma natural con otros cultivares, dando origen a genotipos diferentes en apariencia, producción y calidad”. (Lozano, J. C, 2002) Lo anterior, unido a la propagación por semillas en los inicios de la domesticación, ha generado cierta “variabilidad que debe ser estudiada y caracterizada, con fines de poder reconocer, identificar y documentar la variabilidad dentro y entre cultivares de la especie, así como analizar su comportamiento agronómico en respuesta al sistema de producción utilizado”. (Urdaneta, 2011).

Debido a este mecanismo de reproducción sexual, todos los árboles y arbustos tienen una variabilidad genética, razón por la cual no se puede esperar la misma cantidad de fruta producida por arbusto, debido a esto se hace necesario una reproducción que asegure la misma variedad genética en la zona, para cumplir estándares de producción.

Invernaderos, Los primeros invernaderos de horticultura holandeses fueron contruidos alrededor de 1850 para el cultivo de uvas. Se descubrió que el cultivo en invernaderos con calefacción y con el más alto nivel de cristal incrementaba el rendimiento. (agropinos.com, 2018) Las plantas crecían más rápidamente cuando se les daba más luz y cuando el entorno cálido era constante. Esto significa que en los Países Bajos se pueden cultivar otros productos que solamente se podrían cultivar en países cálidos si no hubiera invernaderos.

En la ciudad de Westland se enarenaron las tierras morrénicas arenosas áridas. La arena fue llevada a las turberas y arcillas mojadas y, por lo tanto, se creó un buen subsuelo para la horticultura. Finalmente se creó la concentración de horticultura e invernaderos mayor de todo el mundo. Esto fue por la influencia moderadora del agua circundante, la gran cantidad de luz solar cerca de la costa, la cercanía de grandes concentraciones de habitantes y las innovaciones del sector de construcción de invernaderos. (FIDEL, 2017)

Las tormentas de 1972 y 1973 fueron la razón de llevar a cabo investigaciones científicas técnicas y sistemáticas en la construcción de invernaderos. Conjuntamente con pioneros de la industria y comercio, se redactó la primera normativa para la construcción de invernaderos neerlandesa y así se logra dar comienzo a la creación de invernaderos por todos los continentes y el mundo.

Producción en invernadero “El objetivo genérico del cultivo protegido es modificar el entorno natural, mediante técnicas diversas, para mejorar la productividad de los cultivos, aumentando las producciones, mejorando su calidad, alargando los periodos

de recolección y extendiendo las áreas de producción.” (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2019) En algunas regiones también son objetivos del cultivo protegido, la reducción de radiación solar mediante sombreo, o la protección del viento, del granizo o de la lluvia. Con ello se persigue hacer un uso más eficiente del suelo, agua, energía, nutrientes y del espacio, así como de los recursos climáticos de radiación solar, temperatura, humedad ambiental y anhídrido carbónico del aire.

Además de la protección de los cultivos contra la sequía, mediante el riego, otros objetivos del cultivo protegido son:

- Reducir las necesidades de agua
- Proteger los cultivos contra bajas temperaturas
- Reducir la velocidad del viento
- Limitar el impacto de los climas áridos y desérticos
- Reducir los daños por plagas, enfermedades, nematos, malas hierbas, pájaros y otros predadores.
- Extender las áreas de producción y ciclos de cultivo
- Aumentar las producciones, mejorar la calidad, preservar los recursos
- El control climático permite optimizar la productividad y la calidad
- Estabilizar los suministros de productos de alta calidad a los mercados hortícolas

4.1.1 Estudio relacionado directamente con un sistema de monitoreo en cultivos.

(AmayaMorales, 2015) Para el sector cultivador de guayaba de la Provincia de Vélez es de gran importancia ser competitivo, ya que ha perdido importancia como proveedor del principal insumo que requiere la industria del bocadillo de la Provincia de Vélez, debido a disminución del área cultivada y disminución de la producción.

También un estudio de bajo coste con un sistema inalámbrico dice que, La supervisión del microclima en invernaderos de la región de Norte de Santander es realizada por los agricultores mediante una estimación intuitiva, basada en su actividad empírica adquirida durante los años.

Un método que es completamente inadecuado y subjetivo, lo que repercute de manera negativa en el desarrollo y rendimiento de los cultivos, limitando su calidad y producción. Por tal razón, este método de agricultura exige el desarrollo y la implementación de tecnologías eficaces que ayuden al mejoramiento de la producción. Teniendo en cuenta los bajos ingresos de los pequeños agricultores, el acceso a estos sistemas de supervisión

Representa un alto costo de inversión y desarrollo, por lo que en muchos casos optan por prescindir de las ventajas que estas tecnologías puedan ofrecerles. (Oscar Yesid Monroy-García, 2016)

Para (Villagrán, 2016) En Colombia la optimización del diseño de los invernaderos no ha tenido mayor relevancia, o los trabajos realizados principalmente en el sector floricultor no han tenido trascendencia y en consecuencia un alto porcentaje de

las estructuras existentes presentan deficiencias en su ventilación, generando así microclimas inadecuados para los cultivos restringiendo su potencial productivo. El objetivo del trabajo fue el de estudiar la eficiencia de variantes introducidas a la ventilación de un invernadero multi-túnel disponible en el mercado mediante simulaciones numéricas empleando el método de dinámica de fluidos computacional (CFD).

También hay muchas investigaciones que enlazan el IoT y la agricultura como la que relaciono a continuación.

(Li, 2012) *“Our country is one of the scarce water resources in 13 countries in the world, shortage of water resources as well as the low utilization of water resources restricts our country economy developing sustainably. In order to effectively reduce the impact of inadequate water resources on China's economy, from modern agricultural cultivation and management perspective, according to the basic principles of Internet, with wireless sensor technology, this article proposes precision agriculture irrigation systems based on the internet of things (IOT) technology, and focuses on the hardware architecture, network architecture and software process control of the precision irrigation system. Preliminary tests showed this system. is rational and practical.”*

Estos trabajos se toman como ejemplo, o referencia, en el proceso del sistema de control para la reproducción vegetativa de la guayaba en el municipio de Vélez, capital homónima de la provincia, que servirá de apoyo para que los grandes y pequeños

productores puedan establecer cultivos, apuntando a homogenizar los frutos y producción.

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Parámetros climáticos a considerar bajo condiciones controladas

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo llegar a la muerte. (INFOAGRO, 2016)

Los cultivos en invernadero dejan de depender de los factores climáticos externos, aunque es necesario que exista la presencia del sol para que estos funcionen, y poder a vivir del microclima generado artificialmente. La producción funciona gracias a la acción del sol y la retención del calor por parte de la estructura del invernadero.

Al invernadero ser una estructura de plástico o de cristal transparente, deja que los rayos del sol se traspasen a esa superficie y, por ser un sistema cerrado, aumenta su temperatura interna no dejando salir la radiación del sol.

4.2.1.1 Temperatura. Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 20 y 30° C. (INFOAGRO, 2016)

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivos a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, la misión principal del invernadero será la de acumular calor durante las épocas invernales. (INFOAGRO, 2016)

El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero.

El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es

producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor por las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente.

4.2.1.2 Humedad relativa (HR). La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. (Buendía Muciño, 2014)

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que, a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones al tomate una HR sobre el 50-60%.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse.

4.2.2 Requerimientos edafoclimáticos del guayabo (*Psidium guajava* L.).

4.2.2.1 Temperatura. La temperatura óptima para el desarrollo del guayabo oscila en torno a 23-30°C. En general, la guayaba tiene una amplia adaptación en cuanto a temperaturas. No obstante, no se desarrolla adecuadamente si las temperaturas medias en verano son inferiores a los 16°C. Temperaturas por debajo de 3°C resultan perjudiciales para la planta.

4.2.2.1 Humedad. El rango de humedad relativa puede oscilar entre el 37 y el 96%. Un exceso de humedad durante la etapa de maduración del fruto puede provocar la pudrición de los mismos.

4.2.2.2 Sustrato. La guayaba se adapta a una amplia gama de suelos. Sin embargo, se desarrolla mejor en suelos húmedos, profundos, ricos en materia orgánica y con buena capacidad de drenaje. Por otro lado, tolera suelos con un pH de 4,5 a 8,2, siendo el ideal el comprendido entre 6 y 7.

4.2.3 Invernadero de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta

- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla

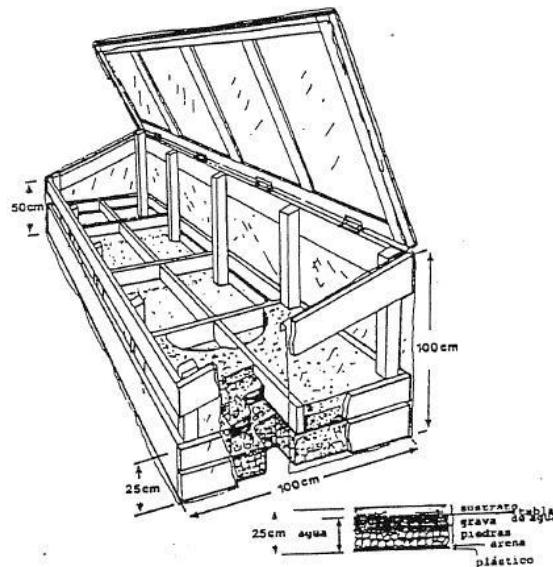
4.2.3.1 El propagador de subirrigación. Consiste en un invernadero en miniatura, como se muestra en la figura 3, los cuales tienen la función de proveer agua por capilaridad al sustrato y evitar su evaporación (Mesén, 1998). Este es un sistema muy simple y de baja tecnología que no requiere un suministro de agua de cañería ni electricidad, según (Mesén, 1998), consiste en un marco de madera o de metal rodeado por plástico transparente para hacerlo impermeable. Los primeros 25 cm se cubren con capas sucesivas de piedras grandes (6,0 a 10,0 cm de diámetro), piedras pequeñas (3,0 a 6,0 cm) y grava, y los últimos cinco cm se cubren con un sustrato de enraizamiento (arena fina, aserrín, etc.).

Los 20,0 cm basales se llenan con agua, de manera que el sustrato de enraizamiento siempre se mantendrá húmedo por capilaridad. Para introducir el agua u observar su nivel, se utiliza una sección de bambú o cualquier otro material insertado verticalmente a través de las diferentes capas de material.

Internamente se utilizan marcos de reglas que le dan apoyo a la estructura y a la vez proporcionan subdivisiones que permiten el uso de sustratos diferentes dentro del mismo propagador. La caja se cubre con una tapa que ajuste bien, también forrada de plástico, para mantener alta la humedad interna. El agua del propagador debe cambiarse al menos cada seis meses. Se debe tener cuidado de mantener el plástico limpio y libre de agujeros, la suciedad reduce la cantidad de luz que llega a las estacas y puede limitar el enraizamiento.

Figura 3

Invernadero, propagador por subirrigación



Nota: Se muestra la estructura de que debe tener un propagador por subirrigación, Tomado de Mesen 1998.

4.2.4 Reproducción vegetativa de guayabo (*Psidium guajava* L.),

4.2.4.1 Propagación Asexual. Mediante este tipo de propagación, se asegura que las plantas que se obtengan presenten las mismas características de las plantas originales. Para que las huertas establecidas con plantas propagadas asexualmente den los mejores resultados, se deben seleccionar como plantas madres, aquellas que presenten altos rendimientos, frutos dulces, tolerancias a algunas plagas, enfermedades o condiciones adversas y todas aquellas características que la hagan sobresalientes a otras plantas dentro del grupo de plantas.

Existen diferentes métodos de propagación asexual, entre los cuales se tiene Acodo, propagación por estacas, Injerto. (YANES, 2014).

4.2.4.2 Propagación por estacas. Este método utiliza ramas juvenil de crecimiento vigoroso y que a veces presentan una coloración roja, estas se seccionan en porciones de dos nudos, las hojas del nudo inferior se eliminan y a las del nudo superior se les quita la mitad de la lámina, luego se le hacen cortes longitudinales en la parte inferior de la estaca y se le aplica un producto hormonal, posteriormente se colocan en enraizadores cuyo sustrato sea de arena, la clave del éxito de este método es garantizar una alta humedad relativa, para lo cual se puede cubrir el enraizador con plástico o realizar todo el proceso en un propagador de plantas de subirrigación. Generalmente a los 21-30 días se nota la aparición de las raíces y se trasplanta a bolsa. (Propagation, P. 2016).

4.2.5 Arquitectura IOT

A diferencia de la iteración actual de Internet, IoT fue diseñado para proporcionar sus beneficios a objetos muy diversos, tanto en términos de funcionalidad como de tecnología. Como se aprecia en la figura (4).

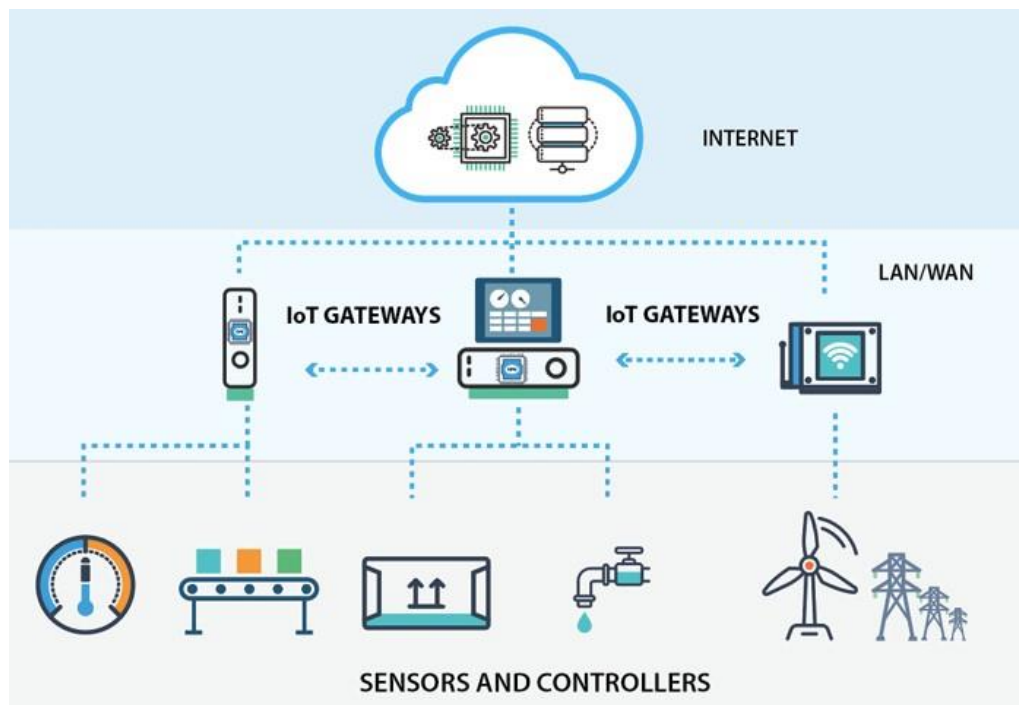
Se necesita un enfoque unificado para el desarrollo de tecnologías IoT para permitir Una gama tan diversa de dispositivos para comunicarse entre sí.

Si bien cada sistema IoT es diferente, la base de cada arquitectura de Internet de tanto las cosas como su flujo general de procesamiento de datos son esencialmente lo mismo. Primero de todo, consiste en las Cosas, que son objetos conectados a Internet que puede sentir el mundo que los rodea a través de sus sensores integrados y actuadores y recopilan información que luego se pasa a las puertas de enlace de IoT. (Arquitectura

IoT, 2019) La siguiente etapa son los sistemas de adquisición de datos IoT y pasarelas que capturan la gran masa de datos sin procesar, la convierten en digital transmisiones, filtre y pre procesen para que esté listo para el análisis.

Figura 4

Arquitectura empresarial con capas para IoT



Nota: El grafico muestra los dispositivos involucrados en una arquitectura de TI, Tomado de arquitectura sistemas, 2020.

Si bien cada sistema IoT es diferente, la base de cada arquitectura de Internet de las cosas es esencialmente la misma. Primero de todo, consiste en las Cosas, que son objetos conectados a Internet que pueden sentir el mundo que los rodea a través de sus sensores integrados y actuadores y recopilan información que luego se pasa a las puertas de enlace de IoT. (Arquitectura IoT, 2019) La siguiente etapa son los sistemas de adquisición de datos IoT y pasarelas

que capturan la gran masa de datos sin procesar, la convierten en digital transmisiones, filtre y pre procesen para que esté listo para el análisis.

Dispositivos de borde responsable del procesamiento posterior y el análisis de datos mejorado forman la tercera capa. Esta capa también es donde las tecnologías de aprendizaje automático y visualización se unirán. Los datos luego se mueven a centros de datos que pueden ser localmente desplegado o basado en la nube. Aquí es donde están los datos para obtener información procesable procesado, manejado y evaluado en detalle.

4.2.5.1 Las capas de la arquitectura IoT

Figura 5

Capas de la arquitectura IoT



Nota: El grafico muestra las capas que funcionan dentro de la arquitectura IoT, Tomada de Sikder, Petracca, Aksu, Jaeger y Uluagac, 2018

Estas son las cuatro capas de la arquitectura IoT descritas en detalle: (Sikder, Petracca, Aksu, Jaeger y Uluagac, 2018)

Capas de detección: el objetivo principal de la capa de detección es detectar cualquier anomalía en los dispositivos periféricos y para obtener datos del mundo real. Esta capa consta de varios sensores. Una de las principales ventajas de IoT sistemas es el uso de múltiples sensores para aplicaciones. Típicamente sensores se incorporan a través

de concentradores de sensores en dispositivos IoT. Para múltiples sensores que recopilar y reenviar datos del sensor a la unidad de procesamiento de un dispositivo, un concentrador de sensores Es un punto de conexión común. Para el flujo de datos entre sensores y aplicaciones, un concentrador de sensores utiliza múltiples mecanismos de transporte (InterIntegratedCircuit (I2C) o Serial Peripheral Interface (SPI)).

Los mecanismos se basan en dispositivos IoT y establecen un canal de comunicación para recopilar datos del sensor entre los sensores y las aplicaciones.

Capa de red: la capa de red sirve como conducto para transferir datos a otros dispositivos conectados, recopilados en la capa de detección. En la capa de red se implementan los dispositivos IoT utilizando diferentes comunicaciones tecnologías (por ejemplo, Wi-Fi, Blue-tooth, Zigbee, Z-Wave, LoRa, celular red, etc.) para permitir flujos de datos dentro de la misma red entre otros dispositivos (Sikder, Petracca, Aksu, Jaeger y Uluagac, 2018).

Capa de procesamiento de datos: la capa de procesamiento de datos consta de la principal Unidad de procesamiento de datos de dispositivos IoT. La capa de procesamiento de datos toma datos obtenidos en la capa de detección y analiza los datos para así poder tomar las decisiones basadas en resultados. En algunos dispositivos IoT, por ejemplo, reloj inteligente, hogar inteligente, hub, etc., la capa de procesamiento de datos también guarda el análisis anterior resultado para mejorar la experiencia del usuario. Esta capa puede compartir el procesamiento de datos. resultados a través de la capa de red con otros dispositivos conectados. (Sikder, Petracca, Aksu, Jaeger y Uluagac, 2018).

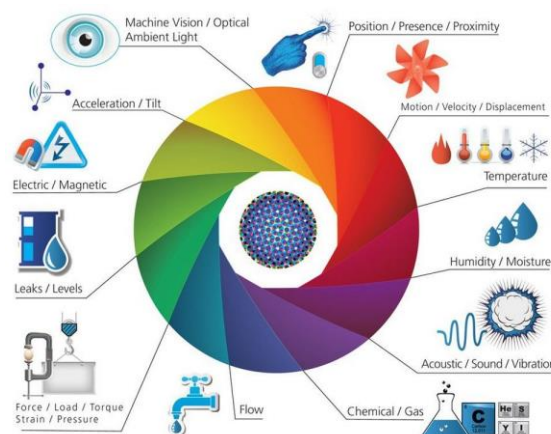
Capa de aplicación: para lograr diversas implementaciones de sistemas IoT, la capa de aplicación incorpora y muestra las salidas de los datos de la capa de procesamiento. Existen numerosas aplicaciones de IoT, incluyendo transporte inteligente, smarthome, cuidado personal, cuidado de la salud, y así.

4.2.5.2 Sensores.

El avance reciente en tecnología de sistemas micro electrónicos, comunicaciones inalámbricas, y la electrónica digital ha permitido el desarrollo de redes de bajo costo, bajo consumo de energía y multifuncional nodos sensores que son pequeños y se comunican sin ataduras en distancias cortas, de ellos podemos encontrar diferentes clases que abarcan desde el nivel del agua, como gases químicos, como se muestra en la figura 6

Figura 6

Sensores del IoT



Nota: El grafico detalla las diferentes clases que para trabajar con el IoT. Tomado de Tuataratech.com, 2015, Sensores (Sensors) Vs Actuadores (Actuators).

Los sensores pueden medir con alta precisión condiciones ambientales como la temperatura y humedad o eventos físicos como presión y movimiento.

Dichas plataformas son ideales para aplicaciones de red de sensores de baja velocidad de transmisión de datos y relativamente alta potencia. Diseñado con el doble objetivo de tolerancia a fallas y facilidad de desarrollo.

Diseño metodológico.

5.1 Tipo De Investigación

Con el fin de dar respuesta a la pregunta: ¿Se puede diseñar un sistema de control que ayude a brindar las condiciones necesarias para la propagación vegetativa de la guayaba, ayudando con la producción de material vegetal homogéneo?, el proyecto fue abordado con un enfoque de investigación cuantitativo de carácter descriptivo y con un diseño de investigación no experimental.

En este trabajo de grado, se propone una investigación descriptiva, ya que se pretende conocer las variables que más afectan las condiciones edafoclimáticas en la reproducción vegetativa de la guayaba, con lo que el sistema de control ayudara a mitigar los factores, conociendo los datos exactos a través de los sensores que se seleccionen para ese medio. Esto ayudará a predecir acontecimientos importantes que afecten el buen desempeño de la plántula.

Conocer la descripción exacta de las variables ambientales, sus características, propiedades y rasgos es importante para analizar las herramientas utilizadas que se involucran en el proceso de reproducción, de esta forma, lograr disminuir la perplejidad acostumbrada en los problemas de enraizamiento de las plántulas.

El método para la recolección de la información fue una entrevista, realizada a cultivadores que cumplieran con requisitos, como siembra tecnificada en sus cultivos; la medición fue de forma numérica y luego se analizaron estos resultados para determinar la forma de siembra y el material vegetal usado.

Por otro lado, esta investigación es de tipo no experimental porque los datos recolectados son tomados desde los sensores para ser analizados, y en ningún momento son manipulados pues los datos deben ser exactos.

5.2 metodología

5.2.1 Diseño metodológico

Este diseño metodológico descriptivo sirve para identificar, a través de fuentes primarias y secundarias, la información más relevante que permita analizar las problemáticas y las opciones tecnológicas que le pueden servir al productor, y ser usado como herramienta para mejorar las condiciones del cultivo a través de la homogeneidad de las plantas.

Para esto, se establecen las siguientes etapas:

- Se examinan las características del problema escogido
- Se eligen los temas y fuentes que sustentan la investigación.
- Se elaboran las técnicas de recolección de información.
- Se verifica la validez de las técnicas de recolección de información.
- Se realizan observaciones objetivas y exactas.
- Se hace el análisis de recolección de información y se sustenta la solución propuesta.

5.2.3 Ruta metodológica

El diseño de un sistema de control basado en IoT, para el monitoreo de las variables edafoclimáticos en el cultivo de la guayaba, se conecta a un sistema de

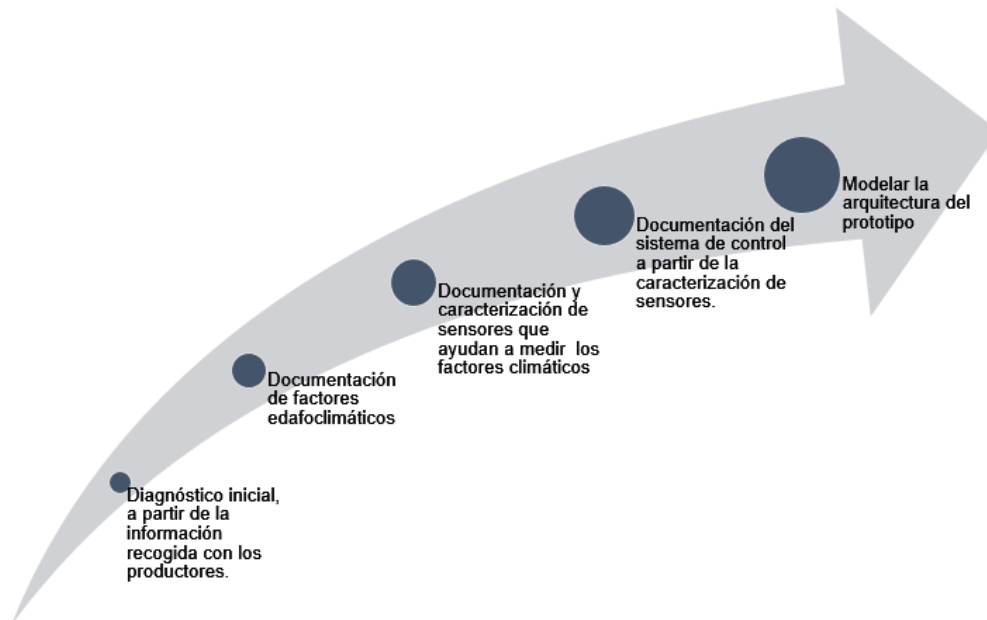
procesamiento el cual está programado para recibir la información recolectada por los sensores en tiempo real, esto permite obtener datos con los cuales se pueden crear modelos climáticos que ayuden a preservar el crecimiento de la plántula.

De esta forma la ruta metodológica se plantea de la siguiente manera:

- Diagnóstico inicial, a partir de la información recogida con los productores.
- Documentación de factores edafoclimáticos que afectan el cultivo de guayaba.
- Documentación y caracterización de sensores que ayudan a medir los factores climáticos.
- Documentación del sistema de control a partir de la caracterización de sensores.
- Modelar la arquitectura del prototipo.

Figura 7

Ruta Metodológica.



5.3 Análisis del estado actual (AS-IS) de producción de guayaba en cultivos tecnificados en el municipio de Vélez Santander.

5.3.1 Recolección de información.

Para tener certeza de la necesidad que se pretende resolver en la región se optó por entrevistar productores de guayaba, que cumplieran con los requisitos mínimos en sus cultivos, la técnica de recolección utilizada, fue la entrevista y se aplicó por diferentes medios, ya que se presentó dificultad para concertar citas, por ese motivo se realizaron algunos por medio telefónico y otros en visitas presenciales en campo.

5.3.2 Investigación de información y evaluación.

Los productores tienen sus predios ubicados en las veredas, Guayabos y la doctrina, donde las condiciones ambientales se prestan para la producción de guayaba además es una zona que se destaca por su buen volumen en producción.

Muchos productores manejan alrededor de 1 hectárea o menos, otros productores venden su fruto de la producción silvopastoril de árboles oriundos de la zona. Por lo que la muestra solo se trabajó con productores que tenían sembrado más de 3 hectáreas y que manejaran cultivos tecnificados, o que contaban con una densidad de siembra.1

5.3.3 Información de productores.

Edgar Luengas Ovalle, C. C. 5.658.378 de Guavatá.

Su cultivo se ubica en la vereda la Doctrina, 5°57'56.08"N 73°41'52.28"W.

Tabla 1

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	3
Antigüedad del cultivo	7 años
Densidad de siembra	5 x 5
Plántula sembrada	Esqueje
Cantidad de plantas sembradas, esqueje	1200
Árboles en producción	1200

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por esqueje, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 2

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	50 toneladas
Producción de árbol elite	236 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

Berlain Quiroga C. C. 13.955.571 Vélez

Su cultivo se ubica en la vereda la doctrina 5°59'18.8"N 73°40'39.0"W.

Tabla 3

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	4
Antigüedad del cultivo	4 años
Densidad de siembra	5 x 5
Plántula sembrada	Semilla
Cantidad de plantas sembradas	1600
Árboles en producción	1600

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por semilla, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 4

Datos de producción del cultivo de guayaba

Año	
Producción por he.	30 toneladas
Producción de árbol elite	120 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

Grimaldo León

Su cultivo se ubica en la vereda Buena Vista en las coordenadas 5°56'50.6"N 73°39'30.9"W.

Tabla 5

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	3.6
Antigüedad del cultivo	7 años
Densidad de siembra	4.5 x 4.5
Plántula sembrada	Semilla
Cantidad de plantas sembradas.	1800
Árboles en producción	1800

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por semilla, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 6

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	9 toneladas
Producción de árbol elite	60 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

Simón Aldana Cifuentes

Su cultivo se ubica en la vereda Aco peña blanca en las coordenadas 5°58'26.0"N 73°39'32.3"W.

Tabla 7

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	6.08
Antigüedad del cultivo	3 años
Densidad de siembra	4 x 4
Plántula sembrada	Semilla
Cantidad de plantas sembradas.	3000
Árboles en producción	800

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por semilla, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 8

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	10 toneladas
Producción de árbol elite	210 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

Alirio Pardo Sánchez

Su cultivo se ubica en la vereda Aco peña blanca en las coordenadas 5°58'15.1"N 73°39'27.6"W.

Tabla 9

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	13
Antigüedad del cultivo	6 años
Densidad de siembra	4 x 4
Plántula sembrada	Semilla
Cantidad de plantas sembradas.	5500
Árboles en producción	2800

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por semilla, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 10

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	40 toneladas
Producción de árbol elite	190 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

José Ernesto Rodríguez

Su cultivo se ubica en la vereda los guayabos en las coordenadas 5°57'13.5"N 73°40'01.5"W.

Tabla 11

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	3
Antigüedad del cultivo	5 años
Densidad de siembra	5 x 5
Plántula sembrada	Semilla
Cantidad de plantas sembradas.	2000
Árboles en producción	2000

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por semilla, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 12

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	35 toneladas
Producción de árbol elite	140 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

Alfredo Parada

Su cultivo se ubica en la vereda los guayabos en las coordenadas 5°57'13.5"N 73°40'01.5"W.

Tabla 13

Datos del cultivo de guayaba del productor

Hectáreas sembradas	14
Antigüedad del cultivo	8 años
Densidad de siembra	5 x 5
Plántula sembrada	Injerto
Cantidad de plantas sembradas.	5500
Árboles en producción	5500

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de hectáreas sembradas por injerto, densidad de siembra y tipo de plántula sembrada.

Tabla 14

Datos de producción del cultivo de guayaba

	Año
Producción por he	60 toneladas
Producción de árbol elite	250 kilos

Nota: Esta tabla muestra la cantidad de producción de guayaba por año, y la producción de árbol elite en una hectárea.

5.3.4 Análisis De Información

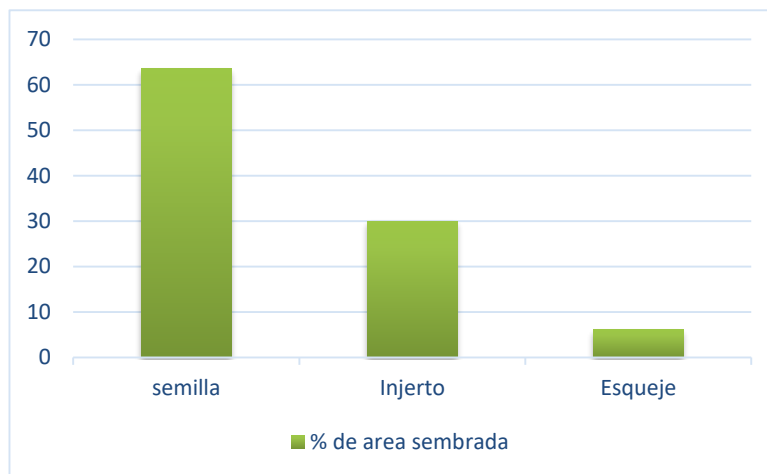
La información recolectada a productores permitió comparar factores del cultivo de guayaba establecidos en la zona como: propagación vegetal usada en la región, rendimientos Ton/ha/año, edad de los cultivos y producción de árboles elite. Información importante en la caracterización de variables, en la propagación vegetativa del cultivo de guayaba.

Uno de los factores de mayor relevancia en este estudio fue conocer el tipo de siembra que predomina en la región de Vélez, arrojando como resultado que el 64% de los cultivos establecidos fue a través de multiplicación sexual, es decir propagaron por medio de semilla, el 36 % usaron multiplicación vegetativa por el método de injerto o por esqueje, con una participación del 30% y 6%, respectivamente figura 8.

El establecimiento de cultivos por propagación de semilla, se debió principalmente al apoyo de programas IPDR (Implementación de proyectos de desarrollo rural) INCODER que para el año 2015, fortaleció el potencial productivo regional de productores de guayaba y hoja de bijao, en la provincia de Vélez, Santander, con la inversión de 12 millones de pesos por familia (Productivas & Valencia, 2015), donde entregaban plantas propagadas por semilla junto a insumos para el mantenimiento del cultivo.

Figura 8

Porcentaje de área sembrada según tipo de siembra



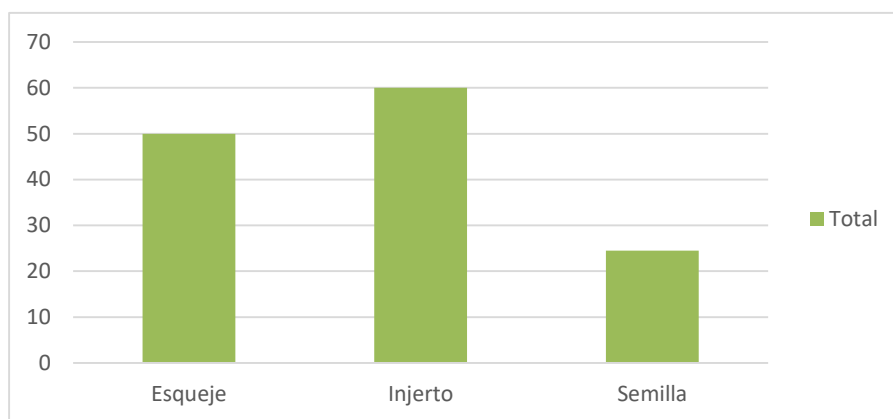
Es importante mencionar que la reproducción sexual del guayabo (esqueje, injerto) permite lograr la reproducción de individuos idénticos, a partir de porciones vegetativas de plantas que tengan capacidad de regeneración (Bogantes-Arias & Mora-Newcomer, 2009). Que para las necesidades del sector agroindustrial de la provincia son importantes características como color, contenido de sólidos solubles totales, tamaño, acidez titulable etc. Siendo necesario desarrollar métodos para la propagación de la guayaba con ayuda de las herramientas IoT.

Otro componente de interés en este estudio, fue conocer el rendimiento Ton/Ha/año de los cultivos, teniendo en cuenta método de propagación. Para este caso es importante señalar que los rendimientos de la especie de *Psidium guajava* L varían según la edad, la densidad de la plantación y el origen de la planta (sexual o asexual) (Calderón-Ramos & Moreno-Lazo, 2009). Para realizar esta comparación se tomaron los datos de

los cultivos con estabilidad productiva, es decir, mayores de seis (6) años. De acuerdo a la figura 9, alcanza una mayor producción cultivos propagados por injerto con un rendimiento de 60 Ton /ha/ año, seguido por la multiplicación por esquejes con un rendimiento de 50 Ton/Ha/ año, los cultivos sembrados por semilla tienen una producción promedio de 25,5 Ton/ha/año.

Figura 9

Rendimiento Ton/Ha/año por método de propagación.



Esta gráfica proporciona una de las justificaciones de la realización de este estudio, la propagación asexual es el único medio que permite mantener el valor agronómico de un cultivar, por la perpetuación de sus caracteres (Burret, 2008). De esta forma, se concluye que los mejores rendimientos Ton/Ha/año se obtienen de plantas con carga genéticamente uniforme. Otra de las ventajas de este tipo de multiplicación es que posibilita la reducción de la fase juvenil, una vez que la propagación vegetativa mantenga

la capacidad de floración pre-existente en la planta madre, reduciendo de este modo el período improductivo de la planta (Burret, 2008).

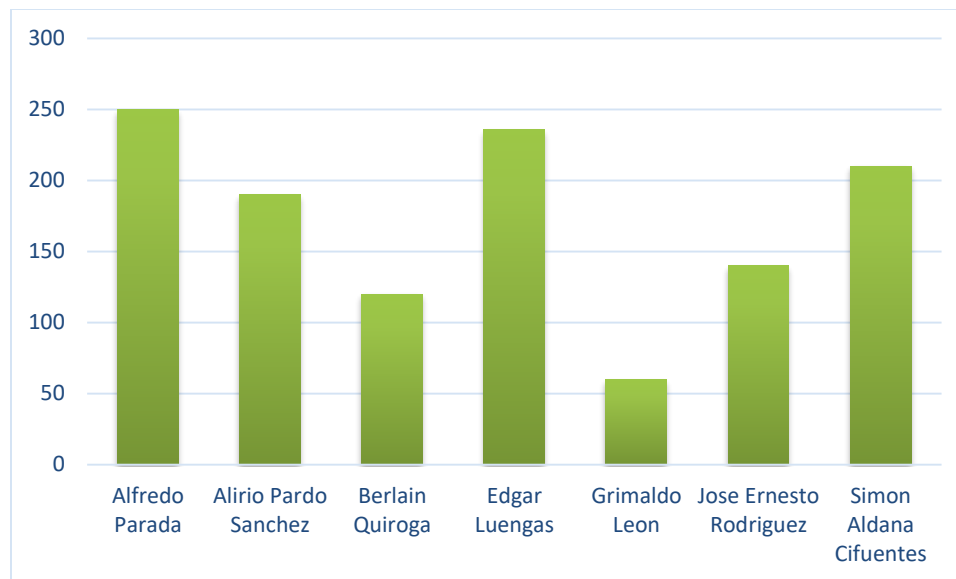
Teniendo en cuenta la información anterior y la importancia en la zona de multiplicar el material vegetal por medio asexual por sus ventajas explicadas anteriormente, se indaga sobre la existencia e identificación por parte de los agricultores de árboles elite con características genéticas principalmente referentes al rendimiento de Ton/Ha/año. Donde se evidencio que existen árboles que pueden alcanzar una producción de 336 Kg/Ha/año, que, proyectado a una hectárea de 400 árboles, podría llegar a alcanzar producciones hasta de 134,4 Ton/Ha/año, cabe mencionar, que estas proyecciones no solo dependen del potencial genético de estas plantas elite, además, debe ir acompañado de un manejo agronómico de la plantación. En la figura 10 se muestra la producción de árboles elite referenciados por los productores de acuerdo al potencial genético por rendimiento kg/Ha/año.

oscilan en producciones que van desde 60 Kg/ha/año hasta 336 Kg/ha/año. Evidenciando, que en la zona existe un potencial genético significativo y a través de la multiplicación asexuada (esqueje) se podría mejorar los rendimientos de los cultivos de guayaba en las zonas.

A pesar de su importancia socioeconómica, el cultivo y la agroindustria de la guayaba presentan aun un marcado retraso tecnológico que afecta su competitividad en los mercados y se refleja en bajos rendimientos del cultivo(Cadena Productiva Regional de la Guayaba y su Industria. Boyacá y Santander, 2007).

Figura 10

Los rendimientos Kg/Ha/año de los arboles elite identificados por productores



En consecuencia, este estudio busca aportar posibles estrategias a través del uso de herramientas tecnológicas con sensores de IOT que permitan establecer las mejores condiciones ambientales, para mejorar el proceso de multiplicación por esquejes del cultivo de guayaba, buscando fomentar la tecnificación y especialización de viveros ofreciendo material vegetal de excelente calidad. Así mismo, busca aumentar el área de producción de guayaba en la zona, aportando en la calidad de vida a las 9000 familias que viven de esta actividad agroindustrial (Cadena Productiva Regional de la Guayaba y su Industria. Boyacá y Santander, 2007).

5.4 Caracterización de sensores para el control de condiciones ambientales en la reproducción vegetativa del cultivo de guayaba.

De acuerdo a las necesidades para la reproducción vegetativa de la guayaba, se hace necesario la caracterización de los diferentes sensores que permitan obtener la información de las variables físicas descritas en el apartado anterior. Y compara con las soluciones tecnológicas con las cuales están atendiendo la problemática de la región.

5.4.1 Investigación y evaluación de sensores

Las tecnologías de sensores han tenido un enorme impacto en las industrias modernas. Hay miles de sensores disponibles en los mercados que están listos para conectarse a una plataforma de detección inalámbrica o de IoT. Por lo tanto, esta sección particular de la tesis analizará algunas de las tecnologías de sensores disponibles en el mercado que podrían usarse para esta investigación en particular. También discutiremos sus principios operativos y abordaremos sus ventajas y desventajas.

5.4.2 Tecnología de detección de temperatura.

La tecnología de detección de temperatura es una de las tecnologías de detección más utilizadas en el mundo moderno. Permite la detección de temperatura en diversas aplicaciones y brinda protección contra variaciones excesivas de temperatura.

Actualmente hay cuatro familias diferentes de sensores de temperatura disponibles en el mercado. Depende de las aplicaciones; Cada familia de sensores de temperatura tiene sus

propias ventajas y desventajas. Por lo tanto, esta sección ofrecerá una descripción general de estos sensores de temperatura.

5.4.2.1 Termocuplas. Una termocupla o termopar es el sensor de temperatura más empleado a nivel industrial. Se elabora a partir de dos alambres de diferentes materiales, unidos en un extremo mediante soldadura. Al aplicar calor o frío en el punto de intersección de ambos extremos se genera un voltaje muy pequeño, como resultado del efecto Seebeck, del orden de los mini voltios, que aumenta a la par de la temperatura (Omega, 2012)

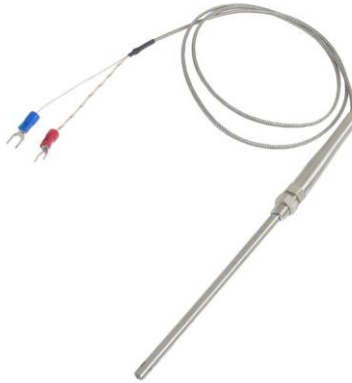
Ventajas:

- Amplio rango de temperatura (-233 ° C a 2316 ° C)
- Relativamente barato
- Altamente preciso
- Deriva mínima a largo plazo
- Tiempo de respuesta rápido.

Desventajas

- La relación entre la temperatura y la señal del termopar no es lineal
- Señal de salida baja (mV)
- Vulnerable a la corrosión.
- La calibración de termopares puede ser tediosa y difícil.

Figura 11
Termocupla



Nota: El grafico muestra la forma estructural de una termocupla. Tomado de didacticaselectronicas.com, 2017, Sensores.

5.4.2.2 Detectores de temperatura de resistencia (RTD). Los RTD se usan ampliamente en muchas aplicaciones industriales tales como: aire acondicionado, procesamiento de alimentos, producción textil, procesamiento de plásticos, microelectrónica y medición de temperatura de gases de escape.

Los RTD son sensores utilizados para medir la temperatura correlacionando resistencia del elemento RTD con temperatura. La mayoría de los elementos RTD consisten en una longitud de alambre enrollado fino envuelto alrededor de un núcleo de cerámica o vidrio. El elemento suele ser bastante frágil, por lo que a menudo se coloca dentro de una sonda con funda para protegerlo. (Omega, 2012)

Figura 12

Detectores de temperatura de resistencia (RTD)



Nota: El grafico muestra la forma de resistencias (RTD. Tomado de directindustry, 2017, productos.

Ventajas:

- Lineal sobre amplio rango de temperatura de operación
- Relativamente preciso
- Buena estabilidad y repetibilidad a altas temperaturas (65-700 ° C)

Desventajas

- Baja sensibilidad
- Mayor costo en comparación con los termopares.
- Vulnerable a golpes y vibraciones

5.4.2.3 Termistores. Un termistor es un elemento sensor de temperatura que está compuesto de material semiconductor sinterizado que exhibe un gran cambio en la resistencia proporcional a un pequeño cambio en la temperatura. Los termistores

generalmente tienen coeficientes de temperatura negativos que significa que la resistencia del termistor disminuye cuando aumenta la temperatura. (Omega, 2012)

Los termistores no son tan precisos o estables como los RTD, pero son más fáciles de cablear, cuestan menos y casi todos los paneles de automatización los aceptan directamente

Figura 13

Termistores



Nota: El grafico muestra los tipos de termistores. Tomado de ayudaelectronica.com, 2017, Que es un termistor

Ventajas:

- Altamente sensible
- Bajo costo
- Preciso sobre rango de temperatura pequeño
- Buena estabilidad

Desventajas

- Características no lineales de resistencia-temperatura

- Auto-calentamiento
- Rango operativo de temperatura limitada

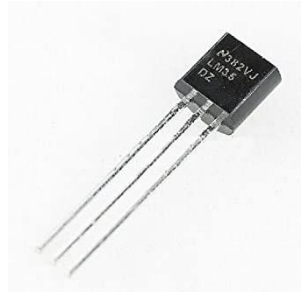
5.4.2.4 Sensores de temperatura de circuito integrado (IC). Los sensores de temperatura de circuito integrado (IC) son dispositivos semiconductores que se fabrican de manera similar a otros dispositivos semiconductores, como los microcontroladores. En aplicaciones de bajo costo, la mayoría de los sensores mencionados anteriormente son caros o requieren circuitos o componentes adicionales para ser utilizados. Sin embargo, los sensores de temperatura IC son circuitos de detección basados en silicio, con salidas analógicas o digitales. Los sensores de temperatura IC a menudo se usan en aplicaciones donde la demanda de precisión es baja. Temperatura de semiconductores IC.

(directindustry.es, 2019)

Los sensores se pueden dividir en dos categorías: sensores de temperatura analógicos y sensores de temperatura digitales. Los sensores analógicos se dividen en dos categorías: sensores de temperatura de salida de voltaje y sensores de temperatura de salida de corriente.

Figura 14

Sensores de temperatura de circuito integrado (IC) foto



Nota: El grafico muestra el sensor de temperatura IC. Tomado de digikey.com, 2018, Productos

Ventajas:

- Bajo costo
- Excelente linealidad
- Relativamente precisa
- Tener un físico relativamente pequeño

Desventajas

- Rango de temperatura limitado.
- Auto calentamiento
- Frágil

5.4.3 Tecnología de detección de humedad

Un sensor de humedad mide e informa regularmente el nivel de humedad en el aire. Se puede usar, como parte de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado del hogar. Los sensores de humedad también se pueden usar en automóviles, oficinas y sistemas industriales, y en estaciones meteorológicas para

informar y predecir el clima. Cuando se trata de tecnología de detección de humedad, existen tres tipos de sensores de humedad:

sensor de humedad capacitivo, resistivo y de conductividad térmica. En esta sección se analizan sus principios operativos y se abordan sus ventajas y desventajas.

5.4.3.1 Sensores de humedad capacitivos (CHS). Los sensores capacitivos de humedad (CHS) se utilizan ampliamente en aplicaciones industriales, comerciales y de telemetría meteorológica. CHS consiste en un sustrato sobre el cual se deposita una película delgada de polímero u óxido metálico entre dos electrodos conductores. La superficie de detección está recubierta.

con un electrodo de metal poroso para protegerlo de la contaminación y la exposición a la condensación. El sustrato es típicamente vidrio, cerámica o silicio. Los cambios en la constante dieléctrica de un CHS son casi directamente proporcionales a la humedad relativa del ambiente circundante. (Roveti, 2017).

Figura 15

Sensores de humedad capacitivos (CHS) foto



Nota: El grafico muestra el sensor de humedad CHS. Tomado de directindustry.es, 2018, Sensor de humedad

Ventajas:

- Capacidad para funcionar en entornos de altas temperaturas (hasta 200 °C)
- Salida de voltaje casi lineal
- Amplio rango de HR
- Alta tolerancia a la condensación.
- Resistencia razonable a los vapores y contaminantes químicos.
- Deriva mínima a largo plazo
- Alta precisión
- Pequeño en tamaño y bajo costo.

Desventajas

- Distancia de detección limitada
- La integración del sensor puede ser tediosa y difícil.

5.4.3.2 Sensores de humedad resistivos (RHS). Los sensores de humedad resistivos (RHS) miden los cambios en la impedancia eléctrica de un medio higroscópico como: polímero conductor, sal o sustrato tratado. Estos sensores son adecuados para su uso en productos de control y visualización para aplicaciones industriales, comerciales y residenciales. RHS consiste en electrodos de metales nobles depositados en un sustrato mediante técnicas de resistencia fotográfica o electrodos enrollados en un cilindro de plástico o vidrio. (Roveti, 2017).

Ventajas:

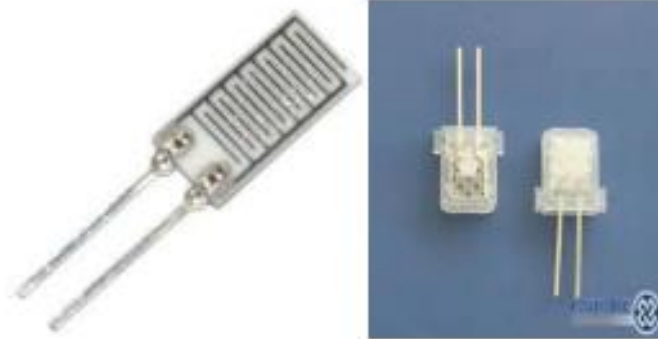
- Tiempo de respuesta rápido
- Salida de voltaje casi lineal
- Alta precisión
- Talla pequeña
- Bajo costo
- Amplio rango de HR

Desventajas

- Menor temperatura de funcionamiento en comparación con los CHS
- Sensible a los vapores químicos.
- Baja tolerancia a contaminantes.
- Baja tolerancia a la condensación.

Figura 16

Sensores de humedad resistivos (RHS) foto

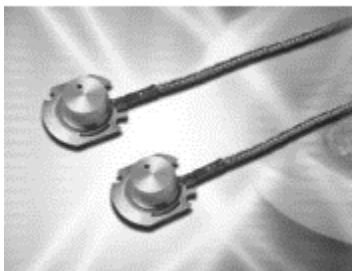


Nota: El grafico muestra el sensor de humedad resistivo, Tomado de cab.inta-csic.es/remc, 2017, Sensor.

5.4.3.3 Sensores de humedad de conductividad térmica (TCHS). Los sensores de humedad de conductividad térmica (TCHS) miden la humedad absoluta cuantificando la diferencia entre la conductividad térmica del aire seco y la del aire que contiene vapor de agua. Estos sensores son adecuados para aplicaciones como; hornos para secado de madera; maquinaria para secar textiles, papel y sólidos químicos; producción farmacéutica; Cocinando; y deshidratación de alimentos. TCHS consta de dos elementos de termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) en un circuito puente; uno está herméticamente encapsulado en nitrógeno seco y el otro está expuesto al medio ambiente. (Roveti, 2017).

Figura 17

Sensores de humedad de conductividad térmica (TCHS)



Nota: El grafico muestra el sensor de humedad TCHS. Tomado de bonadinstrument.com, 2018, Load-cell

Ventajas:

- Muy duradero
- Capacidad para operar en ambientes de altas temperaturas (hasta 600 ° C)
- Excelente inmunidad a muchos contaminantes químicos y físicos.
- Alta precisión
- Alta tolerancia a la condensación.

Desventajas

- Responde a cualquier gas que tenga propiedades térmicas diferentes a las del nitrógeno seco.
- Costoso

5.4.4 Selección de sensor.

Las tecnologías de los sensores fueron revisadas y evaluadas. La cual se expresa en la tabla 15 con las comparativas de los sensores de temperatura y en la tabla 16 con las comparativas de sensores de humedad, para resumir las características de cada sensor. El resultado de las comparaciones se puede utilizar para seleccionar el tipo correcto de tecnología de sensor para el proyecto.

Tabla 15

Características técnicas de los sensores de temperatura

Comparativa de sensores de temperatura				
Criterio	Termocupla	RTD	Termistor	IC
Rango de temperatura	-233°C a 2316°C	-205°C a 649°C	-38°C a 260°C	-40°C a 260°C
Estabilidad a largo plazo	Buena	Excelente	Regular	Buena
Precisión	Media	Alta	Media	Media
Repetibilidad	Regular	Excelente	Regular	Excelente
Sensibilidad	Baja	Media	Muy alta	Alta
Respuesta	Media	Media	Media	Alta
Linealidad	Regular	Bueno	Pobre	Excelente
Autocalentamiento	No	Muy bajo	Alto	Medio
Tamaño	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño
Costo	Costoso	Costoso	Económico	Económico

Nota: la tabla muestra las características detalladas de los tipos de sensores

Tabla 16

Características técnicas de los sensores de humedad

Comparativa de sensores de humedad			
Criterio	RHS	TCHS	CHS
Rango de temperatura	0% a 100%	0% a 100%	0% a 100%
Estabilidad a largo plazo	Buena	Excelente	Excelente
Precisión	Alta	Alta	Alta
Repetibilidad	Buena	Excelente	Excelente
Sensibilidad	Media	Alta	Alta
Respuesta	Media	Media	Alta
Linealidad	Buena	Excelente	Excelente
Tamaño	Pequeño	Mediano	Pequeño
Costo	Económico	Costoso	Económico

Nota: la tabla muestra las características detalladas de los tipos de sensores

Selección de sensores de temperatura y humedad. La temperatura de invernadero a menudo se mantiene entre T max Caro (24 ° C Día / 18 ° C Noche) y T min (20 ° C Día / 16 ° C Noche). (infoagro, 2018) Esta información permite reducir nuestras opciones para seleccionando una tecnología de detección de temperatura adecuada para el proyecto. La revisión de los sensores de temperatura y sus características clave, el termopar y el RTD son más adecuados para aplicaciones industriales que requieren que el sensor esté expuesto a un entorno de alta temperatura o aplicaciones donde las pequeñas diferencias de temperatura deben medirse con alta precisión.

Para este proyecto particular, se prefieren termistores y sensores de temperatura IC. Comparando las características y características clave del termistor y la temperatura IC, es posible concluir que la tecnología de detección de temperatura del termistor es más adecuada que los IC

Actualmente hay tres tecnologías de detección de humedad disponibles en el mercado. Cada uno tiene sus fortalezas y debilidades. Al comparar estas tecnologías de detección de humedad, se descubrió que el sensor de humedad de conductividad térmica tiene el buen rendimiento general, pero sus usos se dirigen para otras líneas. Además, en términos de precio, es muy costoso en comparación con los sensores resistivos y capacitivos. Por lo tanto, los sensores de humedad resistivos y capacitivos son más preferidos. En términos de linealidad y repetibilidad, se ha demostrado que los sensores de humedad de capacidad son mucho más superiores que los resistivos. Por lo tanto, se eligió la tecnología de sensor capacitivo de humedad para este proyecto

Asair. ofrece una de las mejores opciones disponibles para la detección de temperatura y humedad. DHT 22, este sensor permite medir la temperatura y la humedad con la máxima precisión, Sin mencionar el factor de bajo costo, la excelente linealidad y el tamaño pequeño, permiten su aplicación en casi cualquier aplicación. Este sensor incorpora un sensor de temperatura de banda prohibida y un elemento sensor capacitivo de polímero para la detección de humedad relativa. Ambos sensores están perfectamente acoplados por un convertidor analógico digital de 8 bits y un circuito de acondicionamiento de señal, que da como resultado una calidad de señal superior, una de las ventajas, en el uso de este sensor es la interfaz que se adapta fácilmente a cualquier placa de procesamiento.

5.4.5 Configuración y resultados experimentales del sensor

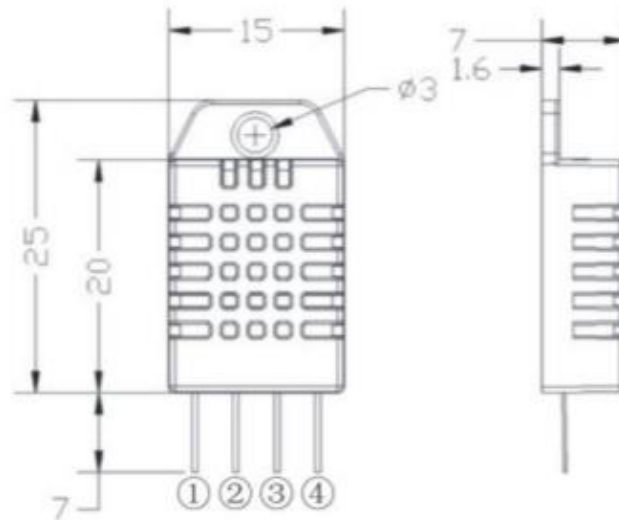
Pudimos determinar que un sensor da la funcionalidad de cubrir dos variables, humedad y temperatura, los podemos cubrir con el DHT 22. Esta sección ofrece algunas ideas sobre la construcción del sensor, sus características claves y explica los métodos y procedimientos experimentales llevados a cabo para probar su sensibilidad y precisión. Los resultados experimentales también se discuten en esta sección.

DHT22 sensor para la temperatura y humedad

El DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de bajo costo y fácil uso. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

Utiliza una técnica exclusiva de recolección de señal digital y tecnología de detección de humedad, asegurando su confiabilidad y estabilidad. Sus elementos de detección están conectados con una computadora de un solo chip de 8 bits. (Liu, 2016)

Este sensor se puede usar con diferentes plataformas como, Arduino/Raspberry Pi/Nodemcu. Es muy sencillo tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías para todas ellas, con soporte para el protocolo "Single bus".

Figura 18*Sensor DHT22*

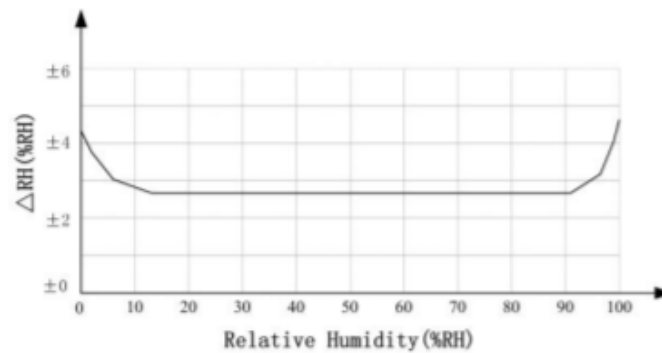
Nota: El grafico muestra las dimensiones del sensor. Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

Características. Tiene potencia ultra baja, una buena distancia de transmisión, su calibración es totalmente automatizada, el uso del sensor de humedad es capacitivo por lo que su exactitud es mucho mejor, Salida digital estándar de bus único completamente intercambiable, excelente estabilidad a largo plazo, alta precisión de medición de temperatura y humedad, su margen de error es bajo, y su actuación se pueden ver en las siguientes figuras.

Figura 19*Desempeño para la humedad relativa*

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy ^[1]	25°C		± 2		%RH
Repeatability			± 0.3		%RH
Exchange	Completely interchangeable				
Response ^[2]	1/e(63%)		<5		S
Sluggish			<0.3		%RH
Drift ^[3]	Typical		<0.5		%RH/yr

Nota: El grafico muestra las características del sensor. Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

Figura 20*Porcentaje de error relativo en la humedad*

Nota: El grafico muestra la curva para el % de error. Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

Figura 21

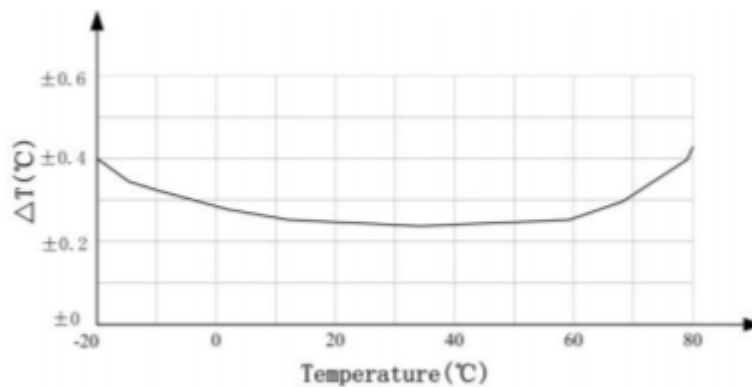
Desempeño para la temperatura.

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolutio n			0.1		°C
			16		bit
Accuracy			± 0.5	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange		Completely interchangeable			
Response	1/e(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr

Nota: El grafico muestra las características del sensor. Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

Figura 22

Porcentaje de error relativo en la temperatura

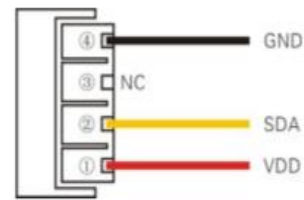


Nota: El grafico muestra la curva para el % de error. Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

Figura 23

Estructura de conexión pines del sensor

Pin	Name	Description
①	VDD	Power (3.3V–5.5V)
②	SDA	Serial data, bidirectional port
③	NC	Empty
④	GND	Ground



PIC1: AM2302 Pin Assignment

Nota: El grafico muestra los pines de conexión del sensor, Tomado de adafruit.com, 2020, datasheets.

En cuanto a la conexión, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestra plataforma.

Conclusiones.

De este sensor se puede obtener datos muy exactos ya que, según su datasheet, el porcentaje de error que tiene el dispositivo es muy bajo y permite ser usado para la investigación que se está adelantando, también se cita un estudio de la universidad de Córdoba en Argentina donde realizan la comparación del sensor, con un higrómetro (Sensor calibrado), y su porcentaje de error es mínimo o igual al especificado en su hoja de especificaciones. (Stuchi, 2016).

5.4.6 Tecnología inalámbrica

La reducción de la complejidad de la red de cable y el costo operativo es el objetivo principal de muchas aplicaciones industriales. Muchas tecnologías inalámbricas se desarrollaron en las últimas décadas para abordar este problema específico. Gracias a la tendencia cada vez mayor en la tecnología inalámbrica industria de la comunicación, muchas aplicaciones modernas son capaces de proporcionar un mayor nivel de flexibilidad y movilidad a bajo costo y bajo consumo de energía.

Hay gran popularidad de tecnología inalámbrica y se descubrió que las tecnologías inalámbricas más explotadas en las industrias modernas son:

Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee (Paavola, 2013). Cada tecnología inalámbrica tiene sus propias ventajas y desventajas, por lo tanto, una selección cuidadosa de una tecnología inalámbrica adecuada para la aplicación prevista es esencial.

5.4.6.1 Bluetooth

La tecnología inalámbrica Bluetooth es una comunicación inalámbrica de corto alcance destinada a reemplazar los cables que conectan dispositivos portátiles o fijos mientras se mantiene un alto nivel de seguridad.

Bluetooth funciona a una banda ISM de 2,4 GHz y emplea la técnica de modulación de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS) (Virtanen, 2013). Bluetooth ha sido considerado como una posible alternativa para la implementación de WSN (Virtanen, 2013). Una fortaleza fundamental de Bluetooth inalámbrico La red es la

capacidad de manejar simultáneamente las transmisiones de datos y voz, lo que proporciona a los usuarios una variedad de soluciones innovadoras, como auriculares manos libres para llamadas de voz, capacidades de impresión y fax, y sincronización para PC y teléfonos móviles a bajo consumo y bajo costo.

Las características principales de Bluetooth son (bluetooth.com, 2020):

- La tecnología Bluetooth opera en la banda industrial, científica y médica (ISM) sin licencia a una frecuencia de 2.4 a 2.485 GHz, utilizando un espectro extendido, salto de frecuencia, señal full-duplex a una velocidad nominal de 1600 saltos / seg.
- La capacidad de salto de frecuencia adaptativa (AFH) de la tecnología Bluetooth fue diseñada para reducir la interferencia entre las tecnologías inalámbricas que comparten el espectro de 2.4 GHz.
- Velocidad de datos
 - 1 Mbps para tecnología Bluetooth de baja energía.
 - 1 Mbps para la versión 1.2; Se admiten hasta 3 Mbps para la versión 2.0 EDR.
 - Hasta 24 Mbps compatibles con la versión 3.0 HS.
- El alcance puede variar según la clase de radio utilizada en una implementación:
 - Radios de clase 3: tienen un alcance de hasta 1 metro o 3 pies
 - Las radios de clase 2, que se encuentran más comúnmente en dispositivos móviles, tienen un alcance de 10 metros o 33 pies.
 - Las radios de Clase 1, utilizadas principalmente en casos de uso industrial, tienen un alcance de 100 metros o 300 pies.

5.4.6.2 Wi-fi

Wi-Fi se denomina comúnmente redes de área local inalámbricas (WLAN), es una de las redes en las que se requieren bandas de ondas de radio de alta frecuencia (generalmente a 2,4 GHz o 5 GHz) para la transmisión de datos de un lugar a otro. El Wi-Fi funciona en varios cientos de metros entre dos lugares de transmisión de datos y admiten 2 modos de operación (Paavola, 2013):

- **Modo Ad-Hoc:** permite que las estaciones formen espontáneamente una LAN inalámbrica, en la cual todas las estaciones se comunican entre sí de manera punto a punto.
- **Infraestructura:** la red tiene un punto de acceso (AP), a través del cual se comunica cada estación cliente. Un AP Wi-Fi típico puede tener un alcance de 45 m en interiores y 90 m en exteriores

El Wi-Fi estaba destinado a ser utilizado para dispositivos informáticos móviles, como computadoras portátiles, en LAN, pero ahora se usa a menudo para cada vez más aplicaciones, como Internet, juegos y conectividad básica de productos electrónicos de consumo, como televisores y reproductores de DVD. Hay cuatro generaciones de productos Wi-Fi disponibles (wi-fi.org, 2020). Cada generación se define por un conjunto de características que se relacionan con el rendimiento, la frecuencia y el ancho de banda.

Figura 24*Características de tecnología wifi*

Wi-Fi Technology	Frequency Band	Bandwidth or maximum data rate
802.11a	5 GHz	54 Mbps
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps
802.11n	2.4 GHz, 5 GHz, 2.4 or 5 GHz (selectable), or 2.4 and 5 GHz (concurrent)	450 Mbps

Nota: El grafico las bandas y respuesta de la tecnología wifi, tomado de wi-fi.org, 2020.

Las características principales de Wi-Fi son (wi-fi.org, 2020):

Los productos Wi-Fi funcionan en las bandas de 2.4GHz o 5GHz

- Interoperabilidad: significa que cualquier producto Wi-Fi de diferentes fabricantes puede funcionar en conjunto
- Compatible con versiones anteriores: significa que los nuevos productos Wi-Fi pueden funcionar con productos Wi-Fi más antiguos que funcionan en la misma banda de frecuencia
- robustez

6.4.6.3 ZigBee

ZigBee es una tecnología para comunicaciones inalámbricas de corto alcance. El estándar ZigBee está siendo promovido y desarrollado por la alianza ZigBee, que

contiene más de 200 miembros, incluidas compañías como TI, Freescale, Philips y Samsung (Nordlander, 2011). La capa de enlace de datos ZigBee está diseñada para operar sobre el estándar IEEE 802.15.4. El estándar IEEE 802.15.4 es un protocolo simple de paquete de datos para redes inalámbricas ligeras y especifica las capas de control de acceso físico (PHY) y medio (MAC) para múltiples frecuencias de radio (RF), incluyendo 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz (Nordlander, 2011).

ZigBee tiene como objetivo la automatización sensible al costo, del hogar y del edificio. A diferencia de muchas otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth, los dispositivos ZigBee proporcionan una transmisión de datos confiable de hasta 100 metros o más, mientras consumen una cantidad muy pequeña de energía. También admiten varias topologías diferentes, lo que las hace ideales para cualquier tipo de aplicaciones que se requieran para ser portátiles y de bajo consumo de energía. Las características principales de ZigBee son (ZigBee-ALLIANCE, 2020) :

- Descubrimiento de servicio
- Topología maestra / esclavo
- configuración de red automática
- Direccionamiento dinámico del dispositivo esclavo
- Apretón de manos completo para transferencias de paquetes (transferencia de datos confiable)
- Mecanismo de acceso al canal CSMA / CA
- Velocidad de datos de 20 kbps a 868 MHz, 40 kbps a 915 MHz y 250 kbps a 2,4 MHz
- Funciones de administración de energía.

6.4.6.4 Comparación de ZigBee, Wi-Fi y Bluetooth

Si bien hay muchas tecnologías inalámbricas disponibles en el mercado, ZigBee, Bluetooth y Wi-Fi son las únicas tecnologías que tienen la madurez técnica para ofrecer el rendimiento y el bajo costo requerido en las aplicaciones inalámbricas actuales (Drake, 2015). Cada tecnología inalámbrica tiene sus fortalezas y debilidades y el buen conocimiento de estas características permitirán a los usuarios finales determinar la tecnología inalámbrica más adecuada para sus aplicaciones. La figura 25 muestra la comparación de estas tres tecnologías inalámbricas, en base a su rango de frecuencia, tecnología, rendimiento, rango, consumo de energía, etc.

Figura 25

Características de tecnología wifi

	ZigBee	802.11 (Wi-Fi)	Bluetooth
Data Rate	20, 40, and 250 Kbits/s	11 & 54 Mbits/sec	1 Mbits/s
Range	10-100 meters	50-100 meters	10 meters
Networking Topology	Ad-hoc, peer to peer, star, or mesh	Point to hub	Ad-hoc, very small networks
Operating Frequency	868 MHz (Europe) 900-928 MHz (NA), 2.4 GHz (worldwide)	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz
Complexity (Device and application impact)	Low	High	High
Power Consumption (Battery option and life)	Very low (low power is a design goal)	High	Medium
Security	128 AES plus application layer security		64 and 128 bit encryption

Nota: El grafico detalla las características entre cada tecnología, tomado de drake.com, 2015.

ZigBee se usa principalmente para aplicaciones de monitoreo y control remoto, que generalmente tienen requisitos de ancho de banda muy bajos (20-250 kbps).

Bluetooth es un reemplazo de cable primario para dispositivos de consumo punto a punto y la tecnología Wi-Fi es una tecnología de red desarrollada para la comunicación intensiva de datos, como la transmisión de audio / video y la navegación web gráfica.

Según la información proporcionada por la tecnología ZigBee es capaz de proporcionar redes y dispositivos de baja potencia a gran escala que podrían funcionar durante años con baterías económicas. Wi-Fi y Bluetooth, por otro lado, tienen requisitos de energía mucho más altos, por lo tanto, el tiempo de funcionamiento de la batería será mucho más corto.

El resultado indica que ZigBee tiene un menor consumo en cuanto a recursos, pero por el tipo de proyecto la tecnología que más se aplica es la inalámbrica, ya que tiene la capacidad de transmitir datos de forma local y remota a internet sin requerir una infraestructura tecnológica demasiado grande. Aunque wi-fi requiere un mayor consumo de energía, los invernaderos de subirrigación no tienen extensiones grandes por lo que se puede suministrar energía eléctrica sin inconveniente.

Conclusiones

En conclusión, esta sección no saca ninguna conclusión sobre qué tecnología inalámbrica es superior, ya que la idoneidad de la tecnología inalámbrica depende únicamente de la aplicación. Por ejemplo, la tecnología inalámbrica ZigBee no se puede aplicar a datos altos implementaciones de aplicaciones como transmisión de audio / video y navegación web gráfica debido a sus altos requisitos de ancho de banda. Bluetooth y

Wi-Fi, por otro lado, no son adecuados para aplicaciones con batería debido a su alto consumo de energía características. Para este proyecto en particular, la tecnología inalámbrica Wi-fi fue elegida por varias razones:

- Capacidad de transmitir información localmente y fácil conexión con internet.
- Bajo número de dispositivos para implementación de monitoreo.
- Está diseñado para aplicaciones de monitoreo y control remoto.
- Capacidad de escalamiento para los invernaderos de subirrigación.

5.4.7 Unidad de procesamiento.

La adquisición de datos, el procesamiento de datos y la transmisión de datos. Requieren una unidad central de procesamiento que ayude a medir los factores climáticos a intervenir en cada invernadero de subirrigación. En el mercado hay una gran variedad de dispositivos que pueden ayudar con el control y flujo de información. Y dependiendo del tipo de aplicación, cada microcontrolador tiene sus ventajas y desventajas.

5.4.7.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi (RPI) es una computadora de placa única (SBC) construida por la Fundación Raspberry Pi en el Reino Unido. La Raspberry Pi es una computadora muy económica que ejecuta Linux, pero también incluye una serie de pines GPIO (entrada /

salida de propósito general) que le permiten monitorear componentes electrónicos de computación física y explorar el Internet de las cosas (IoT).

Hay algunos modelos comerciales de Raspberry Pi, el modelo utilizado en este proyecto es Raspberry Pi 3B, como se puede ver en la figura 26, Instalado con S.O. Raspbian.

Figura 26

Placa Raspberry 3B+



Nota: El grafico muestra la placa Raspberry. Tomado de [raspberrypi.org](https://www.raspberrypi.org/documentation/), 2020, documentation.

Su hardware incluye un procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet, 40 pines GPIO (entrada y salida de datos), como se puede ver en la figura 27.

Especificaciones técnicas de Raspberry Pi 3 modelo B+.

Las principales especificaciones técnicas del modelo Raspberry Pi que se utilizaran en este proyecto se pueden ver en la tabla 17.

Tabla 17

Características técnicas de Raspberry pi 3B+

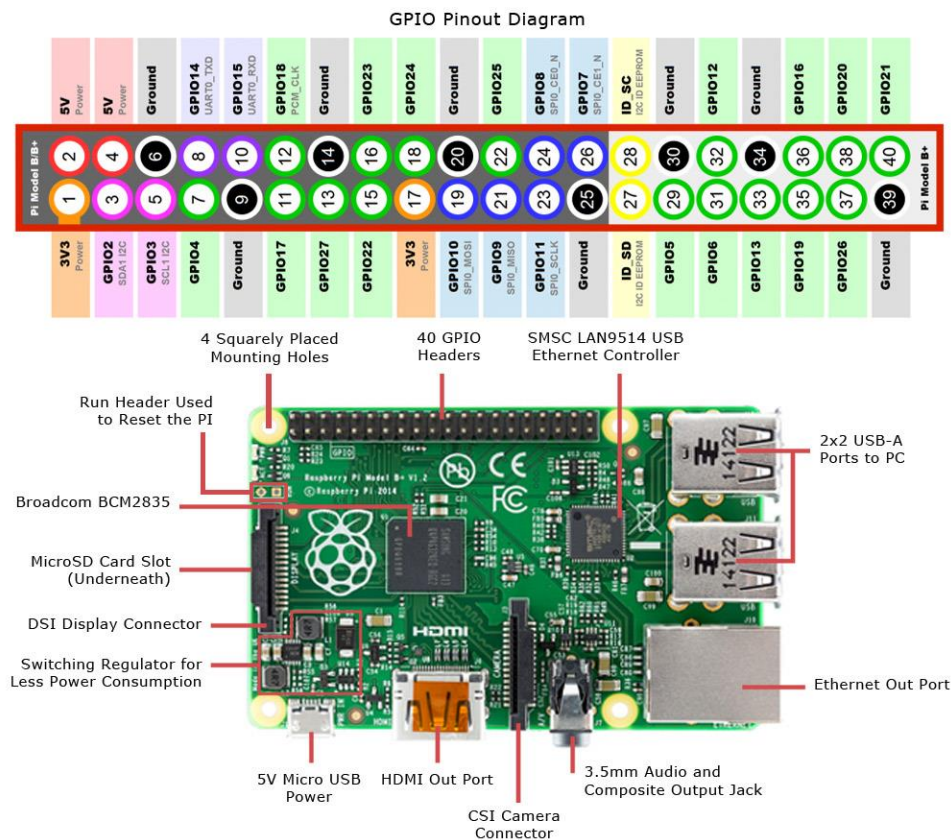
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE • Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) • 4 × USB 2.0 ports
Acceso	Extendido de 40-pin GPIO
Video y Sonido	<ul style="list-style-type: none"> • HDMI • 4 pole stereo output and composite video port
Soporte de SD	Formato Micro SD para cargar el sistema operativo y almacenamiento de datos
Energía de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • 5V/2.5A DC via micro USB connector • 5V DC via GPIO • Power over Ethernet (PoE)

Características de interconexión de Raspberry

Este modelo de Raspberry cuenta con una arquitectura sencilla, en donde toda su distribución no es más grande que un billete de denominación de 5 mil pesos colombianos, donde se puede encontrar con una gran variedad de conexiones tanto entrantes como salientes, la distribución de este dispositivo se puede ver en la figura 27

Figura 27

Distribución interna Raspberry pi 3B+



Nota: El grafico muestra los componentes de la placa Raspberry, tomado de raspberry.org, 2020, documentation.

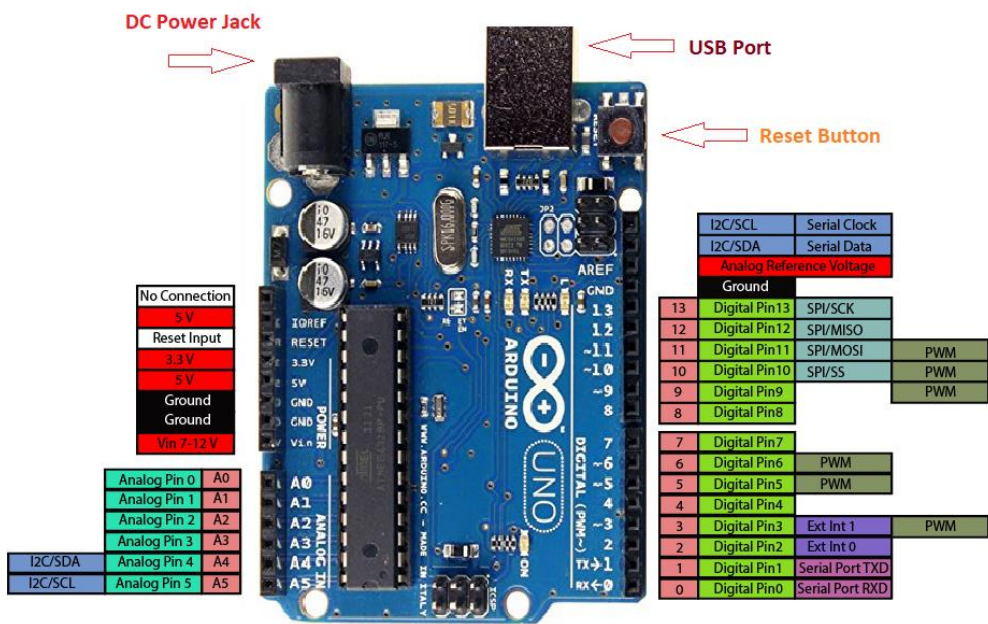
5.4.7.2 Arduino

Arduino es un microcontrolador de placa única destinado a hacer que la aplicación sea más accesible, que son los objetos interactivos y su entorno. El hardware cuenta con una placa de hardware de código abierto diseñada alrededor de un microcontrolador Atmel AVR de 8 bits o un Atmel ARM de 32 bits. Los modelos

El microcontrolador Arduino uno puede detectar el entorno al recibir información de una variedad de sensores y puede afectar su entorno al controlar luces, motores y otros actuadores. El microcontrolador se programa utilizando el lenguaje de programación Arduino y el entorno de desarrollo Arduino.

Figura 29

Distribución pines arduino



Nota: El grafico muestra los componentes de la placa arduino, tomado de arduino.org, 2020, documentation.

Tabla 18*Características técnicas de arduino***Especificaciones técnicas de arduino.**

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 Ma
DC Current for 3.3V Pin	50 Ma
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Conclusión

Tabla 19

Tabla de diferencias Raspberry y arduino

La siguiente tabla muestra las diferencias más notables entre las dos unidades de procesamiento.

Raspberry Pi	Arduino
Es un mini PC que puede ejecutar múltiples programas al mismo tiempo	Es un micro controlador, parte de un ordenador, que ejecuta un único programa una y otra vez.
Es complicado hacerlo funcionar con batería.	Está pensado para funcionar con batería.
Requiere tareas complejas como instalar librerías y software para interactuar con sensores y otros componentes.	Sus componentes y sensores funcionan de manera integrada.
Es caro en relación a Arduino.	Es barato.
Se conecta fácilmente a Internet con su puerto RJ-45 o con WiFi por USB.	Requiere hardware externo para conectarse a Internet y hay que programarlo utilizando código para que funcione. No está pensado para conectar a Internet.
No tiene almacenamiento, pero puede usar su ranura micro SD para ello.	Puede venir con almacenamiento integrado.

Tiene 4 puertos USB para conectar distintos dispositivos.	Solo tiene un puerto USB Type-B hembra para conectarlo a un PC.
Utiliza procesadores ARM.	Utiliza un procesador de familia AVR.
Debemos apagarlo correctamente para que no haya riesgo de corrupción de archivos.	Es un dispositivo plug and play.
El lenguaje de programación recomendado es Python, pero puede usar C, C++ y Ruby también.	Solo utiliza Arduino y C/C++.

El dispositivo seleccionado para esta investigación fue la Raspberry Pi. Esta unidad en particular fue elegida por varias razones, incluida su facilidad de programación, confiabilidad, potencia y robustez y su facilidad de conexión a una red para su conexión con la nube e infraestructura inalámbrica.

5.5 Describir el sistema de control que brinde condiciones óptimas, en un ambiente controlado para la recolección de información y creación de modelos climáticos.

En el presente capítulo se abordará el diseño del sistema de control, seleccionando la arquitectura que mejor se acomoda a la solución planteada. Mas no es la descripción de los elementos ya que esta se encuentra detallada en el capítulo anterior.

5.5.1 Diseño de la solución

En este capítulo explicare sobre el diseño del sistema y su funcionamiento. Como el ordenador recogerá la información de los sensores instalados en los invernaderos de subirrigacion y a través de un servidor de base de datos (InfluxdbDB), instalado dentro de la Raspberry, se podrá monitorear en tiempo real las variables de temperatura y humedad. Los datos almacenados en infulxdb se procesan para enviarlos en tiempo real a grafana y a la nube con el entorno thingspeak y visualizarlos como un gráfico.

5.5.2 Diseño funcional

En casi todas las áreas, el Internet de las cosas puede tener aplicaciones. Dichas estructuras son responsables de recopilar información de los ecosistemas naturales a las casas y fábricas en diferentes entornos. Los dispositivos integrados con capacidades limitadas de CPU, memoria y energía se pueden conectar a una red IoT. Sin embargo, muchos fabricantes todavía esperan ver qué hacer y cuándo comenzar.

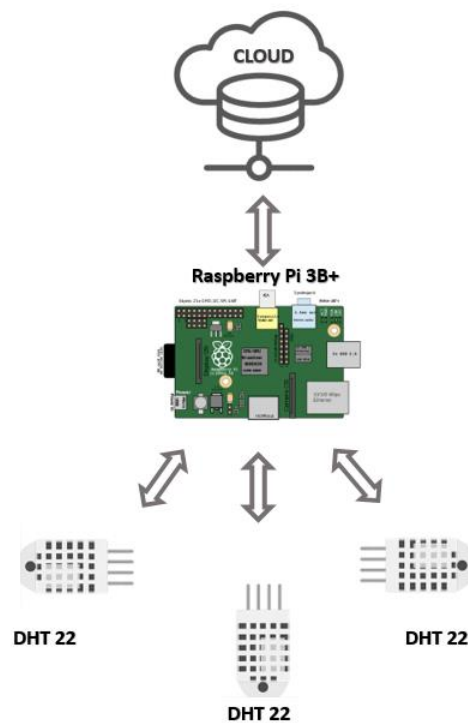
Esto es un beneficio para las pequeñas empresas, ya que pueden avanzar y crear nuevos conceptos que se adapten a Internet de las cosas.

En nuestra arquitectura, consideramos una red WSN, un servidor y una base de datos. Los sensores están extendiendo la red WSN. Los sensores DHT22 adquieren la información sobre el entorno y enviando a la Raspberry para el procesamiento de información.

La Figura 30 muestra las diferentes etapas del escenario sugerido. Dispositivos que construyen la red conectada a sensores, un enrutador de borde, varios servicios que permiten un mayor almacenamiento en el entorno de programación y procesamiento de otras aplicaciones.

Figura 30

Arquitectura de la solución de comunicaciones



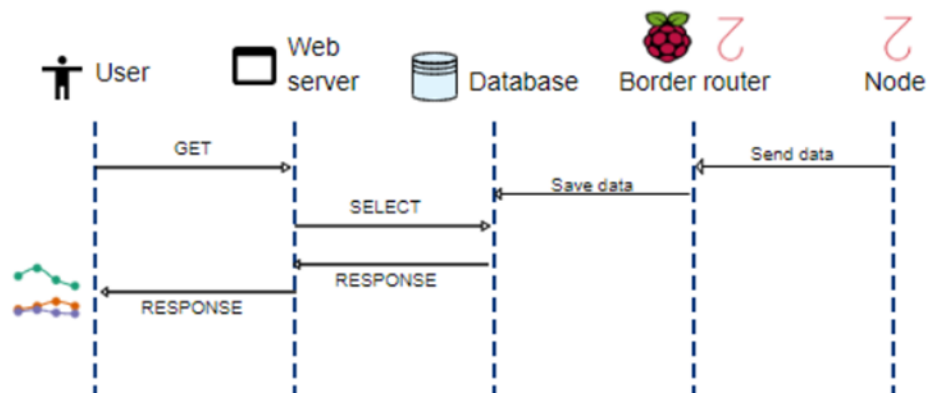
Nota: El grafico muestra los componentes involucrados en el proyecto.

Como se ve en la figura 30, Los datos detectados por el WSN se agregan a la base de datos independientemente del servidor web, esto aumenta la modularidad de la solución y, si se desea, permite que múltiples servidores web se alimenten desde esa misma base de datos. También vale la pena señalar que una Raspberry Pi actúan como un único dispositivo de enrutamiento de borde que conforma la interfaz del enrutador de

borde. El servidor web también tendrá una interfaz de usuario que permite a los usuarios leer datos sobre eventos relevantes recopilados por WSN en tiempo real y en el historial.

Figura 31

Flujo de comunicaciones dentro del sistema.



Nota: Componentes involucrados en el transporte de la información entre dispositivos.

5.5.3 Instalación Raspbian

Raspbian es el sistema operativo seleccionado para ejecutar Raspberry Pi, su función principal será permitir la comunicación entre las redes IP y el WSN compuesto por sensores DHT22 en este caso. En esta sección se proporcionará los pasos sobre cómo hacer que se ejecute una copia Raspbian en nuestro Raspberry Pi.

Una vez que comience, recuerde que necesitará una tarjeta SD o una tarjeta micro SD con un adaptador de tarjeta SD, un mouse de repuesto, un teclado y una pantalla de conexión HDMI.

Raspbian se puede descargar desde el sitio web original. raspberrypi.org/downloads/

- Grabe la imagen del sistema operativo Raspbian en la tarjeta SD utilizando el software SDburning.
- Conecte la tarjeta SD a la Raspberry.
- Use un visor remoto como VNC o Putty para ver el Terminal en la pantalla del portátil.

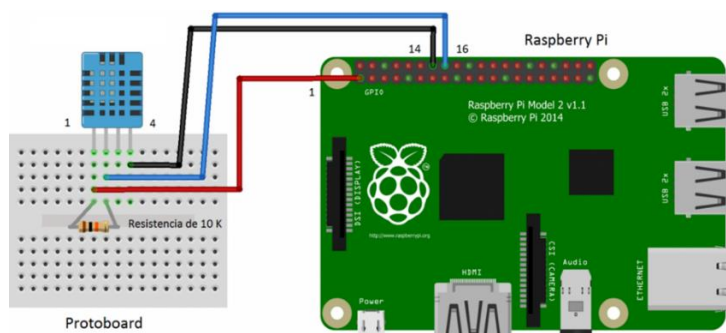
5.5.4 Conexión del sensor con Raspberry

El sensor DHT22 se instalará en cualquiera de los pines GPIO de la Raspberry, los cables no deben superar los 20 metros establecidos por el fabricante para recoger la información de forma óptima.

El sensor trabaja con un voltaje de 3.3v el cual es suministrado por el dispositivo de borde e igualmente los pines GPIO son capaces de recibir tensiones de hasta 5v, que son suministrado por mismo dispositivo, la conexión se puede ver en la figura 32.

Figura 32

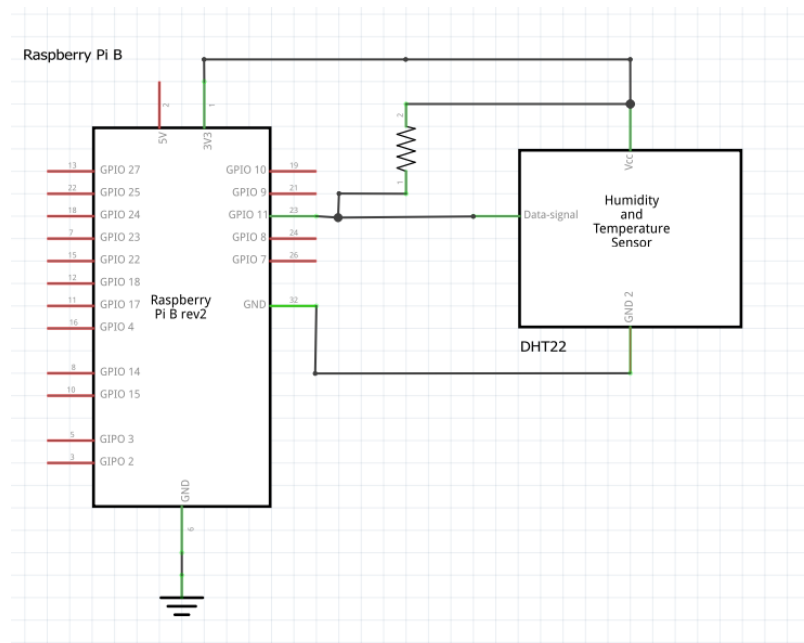
Conexión de dispositivos.



Como se muestra en la Figura 33, el acondicionamiento de la señal requiere una resistencia pull-up. El fabricante sugiere este pull-up para garantizar el estado de la señal. El valor de resistencia se elegirá para la longitud del cable desde la MCU a la placa.

Figura 33

Esquemático de conexión de dispositivos.



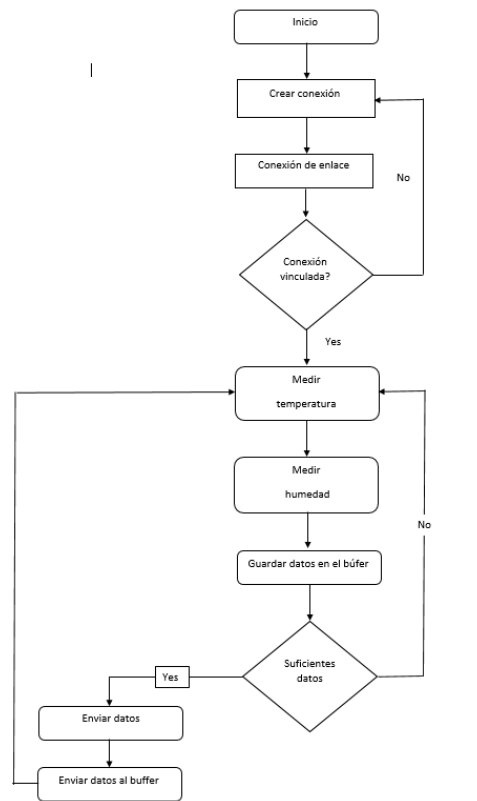
La salida de estos módulos depende de la sincronización del DHT22; de lo contrario, la salida producirá un error. La estructura de los datos consta de 40 bits divididos en cinco bytes. Los primeros 16 bits son para humedad, los siguientes 16 bits son para temperatura y los últimos 8 bits son para paridad.

5.5.5 Arquitectura del programa

Se creó un programa con el propósito de cumplir con los requisitos de esta red. Al mirar un diagrama de flujo figura 34, las acciones de este hilo principal se pueden entender fácilmente.

Figura 34

Adquisición de datos del programa.



También se debe tener en cuenta que cada uno de los nodos del sensor ejecuta una versión ligeramente modificada del mismo código en el que el paquete está etiquetado con una ID, esta ID se usa más tarde para determinar a qué datos se está transmitiendo uno de los dispositivos del nodo del sensor.

En el proyecto, utilizamos Raspberry Pi para diseñar una puerta de enlace IOT que almacena, analiza y transmite datos de sensores a Grafana y la nube.

5.5.6 Base de datos

Se está ejecutando un servidor de base de datos (influxDB) dentro de Raspberry pi, que le permite almacenar todo lo que los sensores pueden enviar en una base de datos no relacional. Esto es para garantizar que la información recopilada en nuestro WSN esté registrada y que esta información se procese para cualquier aplicación de nivel superior. Podría ser una aplicación frontend o una aplicación de escritorio.

Instalando InfluxDB

Para instalar InfluxDB en la Raspberry Pi usaremos los siguientes comandos.

```
sudo apt-get update && sudo apt install apt-transport-https curl
curl -sL https://repos.influxdata.com/influxdb.key |
sudo apt-key add -echo "deb https://repos.influxdata.com/debian
jessie stable" |
sudo tee /etc/apt/sources.list.d/influxdb.list
sudo apt-get update && sudo apt-get install influxdb
```

Iniciando el servicio

```
sudo service influxdb start
```

Es posible verificar que todo funciona correctamente con

```
sudo service influxdb status
```

Para probar la instalación de influxdb, abra el navegador web raspberry pi y escriba:

```
localhost:8086
```

Puede ingresar la dirección IP real de su Raspberry Pi, en lugar de escribir "localhost" en el campo de dirección: Ejemplo: 192.168.1.0:8086

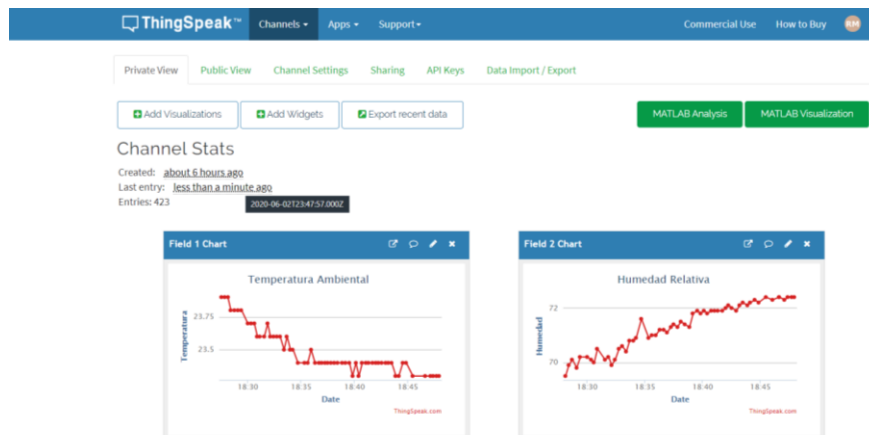
Front End para el IoT

Existen varias plataformas de IoT con algunas aplicaciones gratuitas, diseñadas para simplificar la vida de los integradores de sistemas con respecto a la programación de aplicaciones del usuario, incorporando paneles de control prediseñados para ver los datos entrantes, almacenarlos, etc.

Además, estos sistemas están equipados con un ancho de banda alto para tiempos discretos y señales donde no hay señales continuas. Hay varios en el mercado, pero utilizamos Grafana y en “IoT Analytics - ThingSpeak Internet of Things” En las figuras 35 y 36 podemos ver el tablero de Grafana y de ThingSpeak.

Figura 35

Panel de resultados en internet.



Nota: visualización del panel en la página ThinkSpeak de la temperatura y humedad.

Figura 36

Panel de resultados en servidor local.

```

sensor2.py
1 import Adafruit_DHT
2 import time
3 import requests
4
5 sensor = Adafruit_DHT.DHT22
6 pin = 4
7
8 while True:
9
10     humedad, temperatura = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)
11
12     if humedad is not None and temperatura is not None:
13         #print('Temperatura={temperatura:.2f}°C Humedad={humedad:.2f}%')
14         print("Temperatura = {}°C humedad = {}% ".format(temperatura,humedad))
15     else:
16         print('Fallo la lectura del sensor.Intentar de nuevo')
17
18     enviar = requests.get("https://api.thingspeak.com/update?api_key=BWZE0NYD4DFDYKE76field1="+
19         +str(temperatura)+"&field2="+str(humedad))
20
21     time.sleep(3)
22
Shell
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.200000762939453°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5999984741211%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.4000015256789%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.30000305175781%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.30000305175781%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.30000305175781%
Temperatura = 23.200000762939453°C humedad = 72.4000015256789%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.4000015256789%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5999984741211%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.69999684824219%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.5999984741211%
Temperatura = 23.29999237066547°C humedad = 72.69999684824219%

```

Nota: visualización del panel en la página ThinkSpeak de la temperatura y humedad.

CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

6.1 Conclusiones

Con el desarrollo de la investigación es posible concluir que el uso e implementación de las tecnologías de la información y la comunicación en el proceso de la reproducción vegetativa de la guayaba, constituye un factor importante dentro de las competencias tecnológicas en el sector productivo, así como del componente de innovación y aplicación de las tecnologías en el área de la agricultura.

Se conoció el rendimiento Ton/Ha/año en cultivos con extensión de más de 3 hectáreas, teniendo en cuenta el método de propagación y se determinó que la propagación asexual es el único medio que permite mantener rendimientos altos durante los procesos de producción.

Se identificó el sensor DHT 22 de Asair como la mejor opción para la recolección de la información de las variables humedad y temperatura, ya que su eficacia y exactitud están en el rango de las variables edafoclimáticos de las plántulas de guayaba.

Como unidad de procesamiento las Raspberry cumple con las características técnicas para ser un dispositivo de procesamiento y almacenamiento de información, que a su vez nos da la opción de realizar el análisis de los datos, sin depender de otros equipos.

Se diseñó un sistema de control usando los sensores y dispositivos de procesamiento analizados, buscando su mayor eficiencia con el fin de recoger la información de las variables climáticas que contribuyen con el crecimiento de la plántula de guayaba.

Se diseñaron dos alternativas para la recolección de información de los sensores, que contribuirán con la creación de los modelos climáticos, para la toma de decisiones del personal agrícola.

6.2 Trabajo futuro

Este trabajo abre nuevas puertas para futuros estudios. Con herramientas de big data para analizar el comportamiento del crecimiento de las plántulas en diferentes escenarios, logrando así crear un modelo de reproducción vegetativa que logre obtener las mejores plantas en un menor tiempo.

Y ayudar a recoger información verídica de manera detallada sobre los cultivos, ya que, en la región, ni cultivadores, ni productores y menos las asociaciones, cuentan con información real, solo datos estimados de producción.

Referencias

- Alcaldía Velez. (2019). [velez-santander.gov.co](http://www.velez-santander.gov.co). Obtenido de [velez-santander.gov.co](http://www.velez-santander.gov.co):
<http://www.velez-santander.gov.co>
- Amaya Morales, J. (2015). repository.usta.edu.co. Obtenido de repository.usta.edu.co:
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/876>
- Barragan, C., 2020. ¿Qué Es Un Termistor? – Ayuda Electrónica | Circuitos Electronicos, Ingeniería Electronica. [online] [Ayudaelectronica.com](http://ayudaelectronica.com). Available at:
<<http://ayudaelectronica.com/que-es-un-termistor/>> [Accessed 3 June 2020].
- [bluetooth.com](http://www.bluetooth.com). (2020). [bluetooth.com](http://www.bluetooth.com). Obtenido de [bluetooth.com](http://www.bluetooth.com):
<http://www.bluetooth.com/English/Technology/Pages/Basics.aspx>.
- bricogeek.com. (marzo de 2019). bricogeek.com. Obtenido de bricogeek.com/otros/748-sensor-analogico-de-ph-profesional.html
- [Bonadinstrument.com](http://www.bonadinstrument.com). 2020. Sensor De Suelo SDI-12 Con Medición De Humedad, Temperatura Y Conductividad Eléctrica 3. [online] Available at:
<<http://www.bonadinstrument.com/load-cell/mt10-soil-temperature-moisture-and-ec-sensor.html>> [Accessed 3 June 2020].
- [Cab.inta-csic.es](http://cab.inta-csic.es). 2020. Sensor De Humedad Relativa (RHS). [online] Available at:
<<https://cab.inta-csic.es/remes/es/descripcion-del-instrumento/sensor-de-humedad-relativa-rhs/?r=true>> [Accessed 3 June 2020].
- Contreras, D. (Diciembre de 2018). repository.udistrital.edu.co. Obtenido de repository.udistrital.edu.co:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/15396/1/ÁlvarezContrerasDaysyLiliana2018.pdf>

Dfrobo. (2018 de julio de 2020). dfrobo. Obtenido de dfrobo:

[https://wiki.dfrobot.com/Industrial_pH_electrode_SKU_FIT0348_directindustry.e](https://wiki.dfrobot.com/Industrial_pH_electrode_SKU_FIT0348_directindustry.es)

s. (2019). directindustry.es. Obtenido de directindustry.es:

<https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-temperatura-semiconductor-104943.html>

Didacticaselectronicas.com. 2020. Didácticas Electrónicas. [online] Available at:

[<https://didacticaselectronicas.com/>](https://didacticaselectronicas.com/) [Accessed 3 June 2020].

Digikey.com. 2020. Sensor De Temperatura LM335 - Texas Instruments | Digikey.

[online] Available at: <https://www.digikey.com/es/product-highlight/t/texas-instruments/lm335-temperature-sensor> [Accessed 3 June 2020].

Directindustry.es. 2020. Sensor De Humedad En Línea, Transmisor Y De Humedad En

Línea - Todos Los Fabricantes Industriales - Vídeos - Página 2. [online] Available at: https://www.directindustry.es/fabricante-industrial/sensor-humedad-linea-106183-_2.html [Accessed 3 June 2020].

Drake, J. (2015). Energy Efficiency Comparisons of Wireless Communication

Technology Options for Smart Grid Enabled Devices. GE Appliances & Lighting, 14-20.

Infoagro. (abril de 2018). <https://www.infoagro.com>. Obtenido de

<https://www.infoagro.com>:

https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_guayaba.asp

Li, S. (2012). <https://ieeexplore.ieee.org>. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org>:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/6394494>

Liu, T. (julio de 2016). <https://www.sparkfun.com>. Obtenido de

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>

Mesén, F. (1998). repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr. Obtenido de

repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.c:

<http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/1638?show=full>

Nordlander, J. (2011). Data collection for an individual heat consumption measurement.

Linköping University.

Omega. (Julio de 2012). [Omega.com](http://www.omega.com). Obtenido de [Omega.com](http://www.omega.com):

<http://www.omega.com/prodinfo/thermistor.html>.

Oscar Yesid Monroy-García, D. C.-Q. (Septiembre de 2016). revistas.udistrital.edu.co.

Obtenido de revistas.udistrital.edu.co:

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index>

Paavola, M. (2013). oulu.fi. Obtenido de oulu.fi:

[https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/33.%20Paavola%20M%20\(2007\)%20Wireless%20Technologies%20in%20Process%20Automation%20-%20A%20Review%20and%20an%20Application%20Example.%20December%202007.pdf](https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/33.%20Paavola%20M%20(2007)%20Wireless%20Technologies%20in%20Process%20Automation%20-%20A%20Review%20and%20an%20Application%20Example.%20December%202007.pdf)

- Pothuganti, K. (2014). A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi. researchgate.net, 2-4.
- Raspberry org. (Julio de 2019). Raspberrypi.org. Obtenido de Raspberrypi.org:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- Roveti, D. (2017). www.sensorsmag.com. Obtenido de www.sensorsmag.com:
<http://www.sensorsmag.com/sensors/humidity-moisture/choosing-a-humidity-sensor-a-review-three-technologies-840>.
- Stuchi, F. (2016). rdu.unc.edu.ar. Obtenido de rdu.unc.edu.ar:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi89p6gscHpAhUMJt8KHV9JD40QFjABegQIARAB&url=https%3A%2F%2Frdu.unc.edu.ar%2Fbitstream%2Fhandle%2F11086%2F5058%2FTrabajo%2520Final%2520de%2520Carrera%25201.pdf%3Fsequen>
- Villagrán, E. A. (2016). repositorio universidad nacional. Obtenido de repositorio universidad nacional: <http://bdigital.unal.edu.co/52393/1/1072644298.2016.pdf>
- Virtanen, S. (2013). Adoption and Optimization of Embedded and Real-Time Communication Systems. En S. Virtanen, Adoption and Optimization of Embedded and Real-Time Communication Systems (págs. 200, 234). IGI Global.
- Wi-fi.org. (2020). wi-fi.org. Obtenido de wi-fi.org: <https://www.wi-fi.org>
- ZigBee-ALLIANCE. (abril de 2020). ZigBee-ALLIANCE. Obtenido de ZigBee-ALLIANCE: <https://zigbeealliance.org/solution/zigbee/>

Apéndice

Cotización invernadero CEPAGRO



PRESUPUESTO PARA EL SUMINISTRO DE UN INVERNADERO DE 1000 m² MODELO LA10, SEGÚN CARACTERÍSTICAS CONFIGURACIÓN Y CONDICIONES SIGUIENTES, A SER INSTALADO A 1000 m.s.n.m. EN COLOMBIA:

1. INVERNADERO:

1.1. CARACTERÍSTICAS:

- Se ha calculado con base en la norma europea para invernaderos EN 13031 – 1
- Las naves tienen la cubierta **gótica** abovedada, y las paredes laterales y frontales son rectas. La estructura está formada principalmente con perfiles tubulares, ensamblados entre sí con bridas atornilladas de diseño propio.
- Acción del viento de diseño **80 km/h**.
- Material de la estructura: Acero estructural galvanizado en caliente ASTM A – 653
- La unión de las partes se hace por medio de bridas y tornillos de acero galvanizados.

1.2. CONFIGURACIÓN

- MODELO: LA10 (80)
- 1 nave de 10 m de ancho y 100 m de longitud.
- Ancho total del invernadero 10 m.
- Superficie cubierta: **1000 m²**.
- Separación pilares línea lateral y central: 4 m
- Separación entre arcos: 4 m
- Altura de columna: 4,5 m
- Puerta de acceso en el centro de un lateral, con pre- cámara.
- **Opcional**, canales metálicas de 1,5 mm de espesor, 500 mm de desarrollo, con bajantes en PVC de 6" y descarga a tanque rotomoldeado de 3000 litros, con rebose y conducción a 20 m del invernadero, para su aprovechamiento por el cliente.





1.2.1 PUERTAS

1 unidad de puerta frontal en placa de 1,5 m de ancho x 2.4 m de altura, corrediza, con pre-cámara que posee otra puerta de condiciones similares. Las puertas se instalan cruzadas y llevan ventilador que genera corriente de aire hacia el exterior para facilitar el bloqueo de insectos y otros contaminantes hacia el interior. **Opcional.**



1.2.2.- VENTILACION CENITAL (V.C.)

Ventana cenital fija de 0,8m a lo largo de la nave, con malla anti-trips en su apertura.



Ventana cenital fija



1.2.3.- VENTILACION ENROLLABLE LATERAL (V.E.L.)

2 Uds. de V.E.L. simple de 3.50 m de altura y longitud de 100 m. El accionamiento será por medio malacate de accionamiento manual, mediante el enrollamiento del polietileno en tubos de 32 mm de diámetro. Apertura cubierta con malla anti-trips. Motorización y automatización opcionales.



1.2.4.- VENTILACIÓN FRONTAL (V.F.)

2 unidades de ventilación frontal de 3,5 m de altura y 10 m de longitud, con iguales especificaciones.

1.3. RECUBRIMIENTO

1.3.1.- El film plástico está incluido en esta oferta. Es polietileno coextruido transparente calibre 7.

1.3.2.- Se incluyen todos los accesorios de fijación del film plástico.

1.3.3.- Se incluye malla anti-trips en todas las ventanas laterales y frontales.

2. GUIRNALDAS DE ILUMINACIÓN

Cuatro líneas de luminarias LED en cable encauchetado, distanciadas 2,5 m entre ellas y 2,5 m entre líneas para control de foto-período en las plantas, a 3 m de altura, soportadas en malla construida en cable de acero. Incluye programador de dos ciclos y tablero de control y potencia.





3. VENTILACIÓN FORZADA: Opcional.

Ventiladores de gran caudal instalados en los extremos del invernadero para generar mayores recambios con el medio y con ellos, facilitar el control de humedad relativa, temperatura y niveles de CO₂. La succión de los ventiladores, toma el aire desde compartimentos en malla anti trips, que actúan como filtro para disminuir el riesgo de ingreso de insectos o polen al interior del invernadero y generan en él una presión positiva, que restringe aún más el ingreso de agentes externos. Los ventiladores están calculados para mínimo 15 renovaciones/ hora, solo por su efecto.

Ventiladores destratificadores de 11.000 CFM, que buscan homogeneizar el ambiente dentro del invernadero.



4. PANTALLA TÉRMICA: Opcional.

Pantalla térmica aluminizada al 30% de sombrío, abierta para mejor intercambio de aire, y ayudar a controlar la ganancia de calor o pérdida del mismo y la luz excesiva, cuando sea el caso, según las circunstancias. Accionada por sistema de transmisión por cadena cable y barra de mando motorizada y automatizada por parámetros de luminosidad, temperatura y/o tiempos o accionamiento manual.

5. RIEGO POR ASPERCIÓN PARA HUMIDIFICACIÓN Y ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Fogguers ubicados a 3,5 m de altura en una malla de 2m * 2,5m, con aspersores que con presión de 60 P.S.I., logran gotas del orden de 90 micras, para ayudar a controlar la humedad relativa y la alta temperatura, cuando los valores de humedad lo permitan. También pueden emplearse para riego por aspersión, trabajándolos a menor presión y mayor tamaño de gota. Incluye bomba, filtrado de anillos, tubería PVC de conducción, válvula des-aireadora, manguera de conducción de 16 mm, fogguers en retícula de 2,5m * 2m, estructura de soporte, válvulas manuales por manguera, manómetros, tanque rotomoldeado de 2000 litros para agua cruda y uno de 1000 litros para mezclas. Estará dividido en tres sectores, con válvula manual y solenoide para la automatización por parámetros de temperatura, humedad relativa, humedad de sustrato y tiempos.

6. TOMAS RÁPIDAS PARA RIEGO MANUAL

3 tomas rápidas (bayonetas) de 3/4" para hacer riego manual.



7. AUTOMATIZACIÓN

Se automatizarán ventanas laterales, frontales, pantallas térmicas, ventilación forzada y destratificadores y sistema de humidificación por parámetros de temperatura, humedad relativa, luminosidad, velocidad de viento y presencia de lluvia, con sistemas de alarma y posibilidad de permitir la supervisión desde la Web, siempre y cuando se tenga conectividad disponible en el sitio del montaje. El sistema de riego se automatizará por parámetros de tiempo, conductividad, PH de solución y humedad de sustrato. Permite almacenar información de variables y su graficación.

8. PISO

El piso será nivelado, cubierto con arena de concreto, compactado manualmente y cubierto con geomembrana que conduzca el agua hacia dos canales de cosecha laterales que conducen los excedentes hasta un tanque enterrado de 3000 litros, con rebose y moto-bomba para bombearlo hasta sitio de aprovechamiento para riego u otras aplicaciones, ubicado máximo a 20 m del invernadero.

9. MESAS DE CULTIVO: Opcional

58 Mesas fabricada en tubería de acero estructural y malla eslabonada galvanizada, de 1,2 m de ancho y 8 m de largo, anclada al piso por placa de concreto prefabricada, placa base en acero galvanizado y cuña maciza en fundición, que permiten la nivelación de las mesas. Los caminos entre mesas se plantean de 0,5 m.





10. PRECIO

DESCRIPCIÓN	CANT.	UD.	VR/UNIT (\$)	VR/TOT(\$)	VR/m2
INVERNADERO					
ESTRUCTURA	1.000	m ²	\$ 42.163	\$ 42.162.651	\$ 42.163
POLIETILENO	1	GL	\$ 9.773.494	\$ 9.773.494	
VENTANAS LATERALES ENROLL.	4	UD	\$ 2.144.940	\$ 8.579.759	
VENTANAS FRONTAL ENROLL	2	UD	\$ 671.446	\$ 1.342.892	
MOTORIZACIÓN VENTANAS	4	UD	\$ 2.228.916	\$ 8.915.663	
MALLA ANTI TRIPS CENT.	1	GL	\$ 1.698.795	\$ 1.698.795	
MALLA ANTI TRIPS LAT Y FR.	1	GL	\$ 6.788.554	\$ 6.788.554	
PRECÁMARA	1	UD	\$ 3.952.410	\$ 3.952.410	
GEOMEMBRANA EN SUELO	1.000	m ²	\$ 54.217	\$ 54.216.867	
PANTALLA TÉRMICA MANUAL	1.000	m ²	\$ 10.735	\$ 10.734.940	
MOTORIZACIÓN P. TÉRMICA	1.000	m ²	\$ 18.916	\$ 18.915.663	
GUIRNaldas ILUMINACIÓN	1	GL	\$ 18.222.892	\$ 18.222.892	
VENTILADORES DE GRAN CAUDAL	2	UD	\$ 7.162.651	\$ 14.325.301	
PRECAMARA VENTILADORES	2	UD	\$ 2.168.675	\$ 4.337.349	
DESTRATIFICADORES	2	UD	\$ 2.228.916	\$ 4.457.831	
MESA DE CULTIVO 1,2 * 8 m	56	GL	\$ 2.831.325	\$ 158.554.217	
TOMAS RÁPIDAS DE AGUA	5	UD	\$ 542.169	\$ 2.710.843	
AUTOMATIZACIÓN	1	UD	\$ 19.879.518	\$ 19.879.518	
RIEGO POR ASPERSIÓN	1	GL	\$ 9.217.349	\$ 9.217.349	
RIEGO POR GOTEO	1	GL	\$ 52.856.024	\$ 52.856.024	
SUBTOTAL INVERNADERO				\$ 451.643.012	\$ 451.643
INSTALACIÓN					
MONTAJE ESTIMADO	1000	m ²	26.386	\$ 26.385.542	\$ 26.386
CIMENTACIÓN	1	GL	6.686.747	\$ 6.686.747	\$ 6.687
SUBTOTAL INSTALACIÓN				\$ 33.072.289	\$ 33.072
SUBTOTAL INVERNADERO INSTALADO				\$ 484.715.301	
A.I. (Administración e Imprevistos)	12,00%			\$ 58.165.836	\$ 58.166
Utilidad esperada	10,00%			\$ 48.471.530	\$ 48.472
I.V.A. Sobre U esperada	19,00%			\$ 9.209.591	\$ 9.210
TOTAL PROYECTO				\$ 600.562.258	\$ 600.562

**NOTAS:**

- El precio anterior incluye I.V.A. Sobre utilidad esperada del 10%.
- Colocar canales metálicas para cosechar el agua, tendría un costo adicional de \$ 30.000/m²
- Las medidas finales del invernadero podrán incidir sobre el costo unitario del m² del mismo.
- Si se cambian las medidas se debe reevaluar el precio.
- La cimentación está planteada con base en suelo con capacidad portante de mínimo 1 kg/cm². De ser inferior, los sobre costos serán cubiertos por el cliente.
- No se incluyen trámites para licencia de construcción u otros permisos necesarios para la ejecución in interrumpida de la obra, estos serán a cargo del cliente.
- No se incluyen obras de paisajismo, ni reparación de la carretera existente en caso de deteriorarse con la entrada del camión con los elementos del invernadero.
- El cliente suministra sitio seguro para el almacenamiento de materiales y herramientas, energía eléctrica y agua para el montaje.
- No se incluyen movimientos de tierra para nivelación de terreno, desmonte de árboles o raíces, ni ninguna obra no mencionada en la presente oferta, de solicitarse, su costo será adicional.
- El personal de montajes requerido para trabajo en altura cuenta con los certificados respectivos.

11. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA DEL INVERNADERO

- Pilares líneas laterales de tubo de acero estructural rectangular 90mm *50 mm galvanizado.
- Pilares frontales de tubo rectangular 120 x 60 mm galvanizado.
- Arcos de tubo redondo 60 mm galvanizado, con tirantes y pendolones.
- Ensamblajes entre elementos con capiteles y bridas con tornillos galvanizados.
- Cimentación en concreto de 3000 PSI de 30 cm diámetro por 70 cm de profundidad mínima. Se calcula con base en suelos con resistencia mínima de 1 kg/cm², de ser inferior, el sobre costo que ello implica se evaluará al momento de realizar la obra.
- El cliente garantizará los permisos de planeación y ambientales necesarios para la ejecución in interrumpida de la obra.

12. PLAZOS DE ENTREGA

A pactar al momento de cierre del contrato, se estima en 12 semanas a partir de la firma de contrato y pago de anticipo.

13. GARANTIA

Dos años en estructura, dos años en polietileno por degradación, fallas en fabricación o mala instalación, cubierta por el fabricante del mismo, acorde a sus políticas, seis meses en automatización y componentes eléctricos, seis meses en componentes de desgaste como poleas. No cubre daños por cambios de voltaje, pérdida de fase o tormenta eléctrica.

Se entregarán pólizas de buen manejo de anticipo, calidad de obra y cumplimiento.

14. CONDICIONES DE PAGO

40% de anticipo, 30% a la semana 4, 20% a la semana 9 y saldo contra entrega.

+57 (1) 738 8828

Calle 98* 51-72 Of. 203
Bogotá, Colombia

www.cepagro.com.co
cepagro@cepagro.com.co

**15. PLAZO DE VALIDEZ DE LA OFERTA**

El plazo de validez de la oferta es de 30 días naturales a partir de la fecha de entrega.

Saludos cordiales,

Daniel Esteban Briceño Salinas

Coordinador de Gestión Empresarial

CEPAGRO S.A.S.

Teléfono: [+57-1\) 7388828](tel:+5717388828)


Móvil: [+57\) 317 3710301](tel:+573173710301)

Calle 98 A No. 51 – 72 Ofc. 203

Bogotá D.C. – Colombia

dbriceno@cepagro.com.co

www.cepagro.com.co

 +57 (1) 738 8828

 Calle 98ª 51-72 Of. 203
Bogotá, Colombia

 www.cepagro.com.co
cepagro@cepagro.com.co

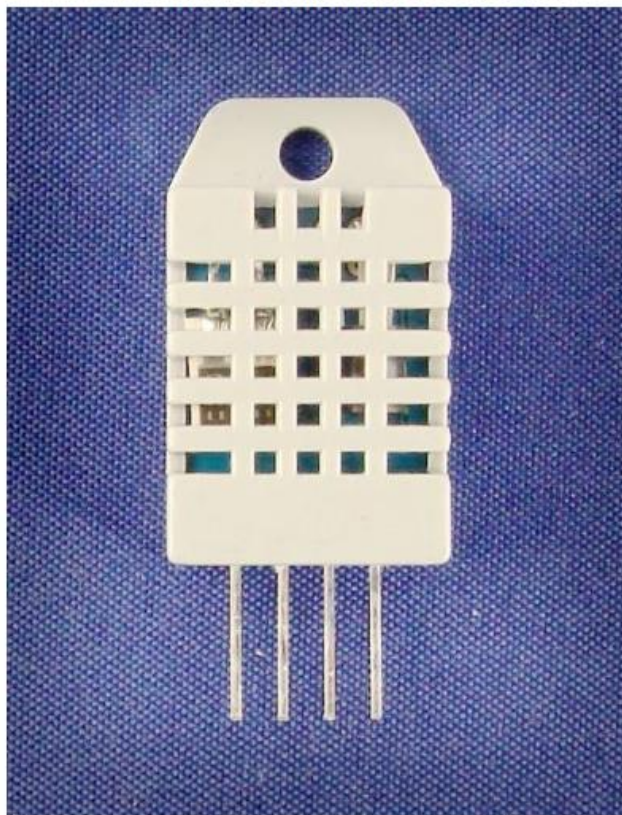
Datasheet DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

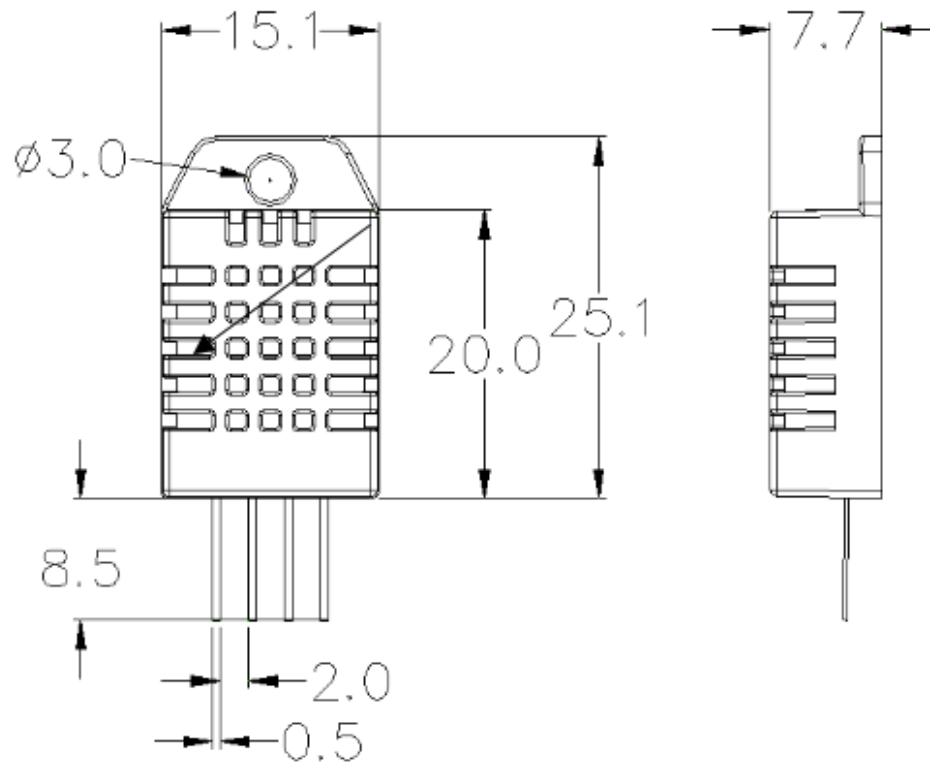
Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +1%RH; temperature +0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit----mm)

1) Small size dimensions: (unit----mm)

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



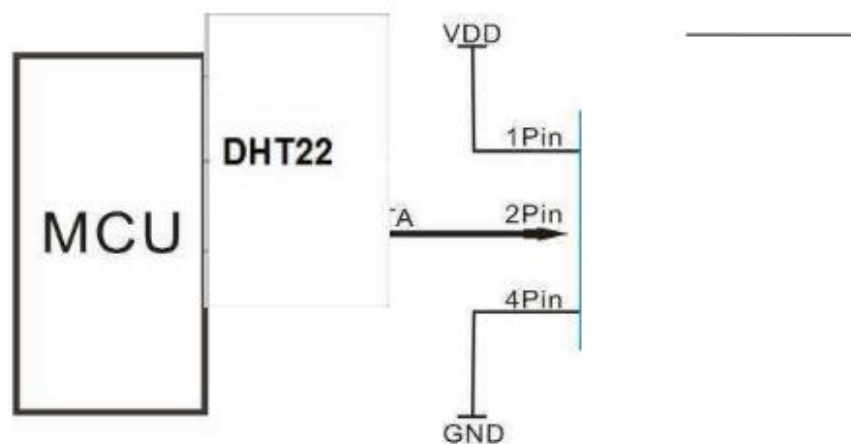
Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD----power supply
2	DATA--signal
3	NULL
4	GND

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

5

Thomas Liu (Business Manager)

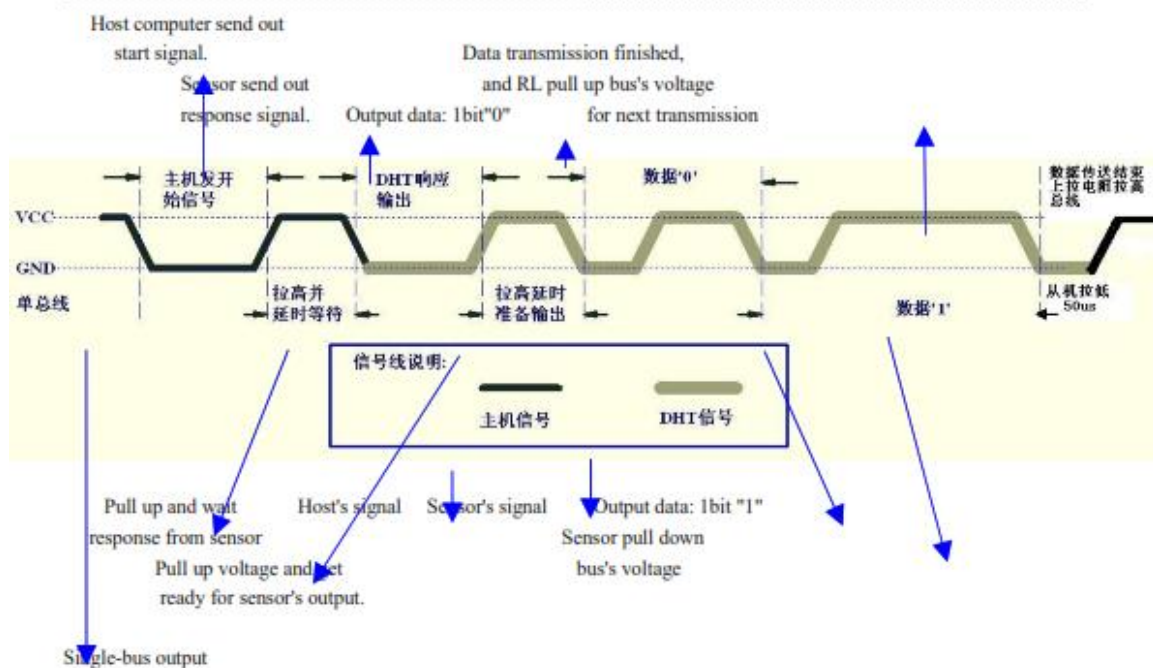
Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

and temperature information to MCU. Without start signal from MCU, DHT22 will not give response signal to MCU. One start signal for one time's response data that reflect the relative humidity and temperature information from DHT22. DHT22 will change to low-power-consumption-mode when data collecting finish if it don't receive start signal from MCU again.

1) Check bellow picture for overall communication process:



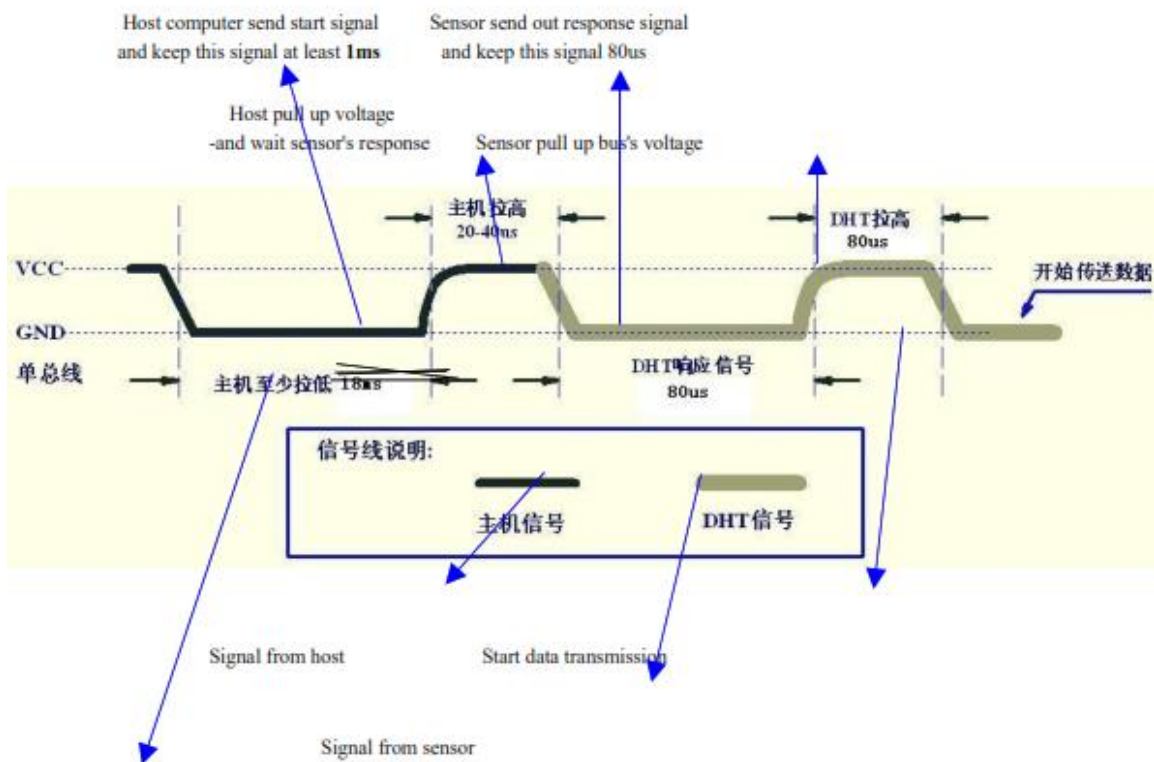
2) Step 1: MCU send out start signal to DHT22

Data-bus's free status is high voltage level. When communication between MCU and DHT22 begin, program of MCU will transform data-bus's voltage level from high to low level and this process must beyond at least 1ms to ensure DHT22 could detect MCU's signal, then MCU will wait 20-40us for DHT22's response.

Check bellow picture for step 1:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

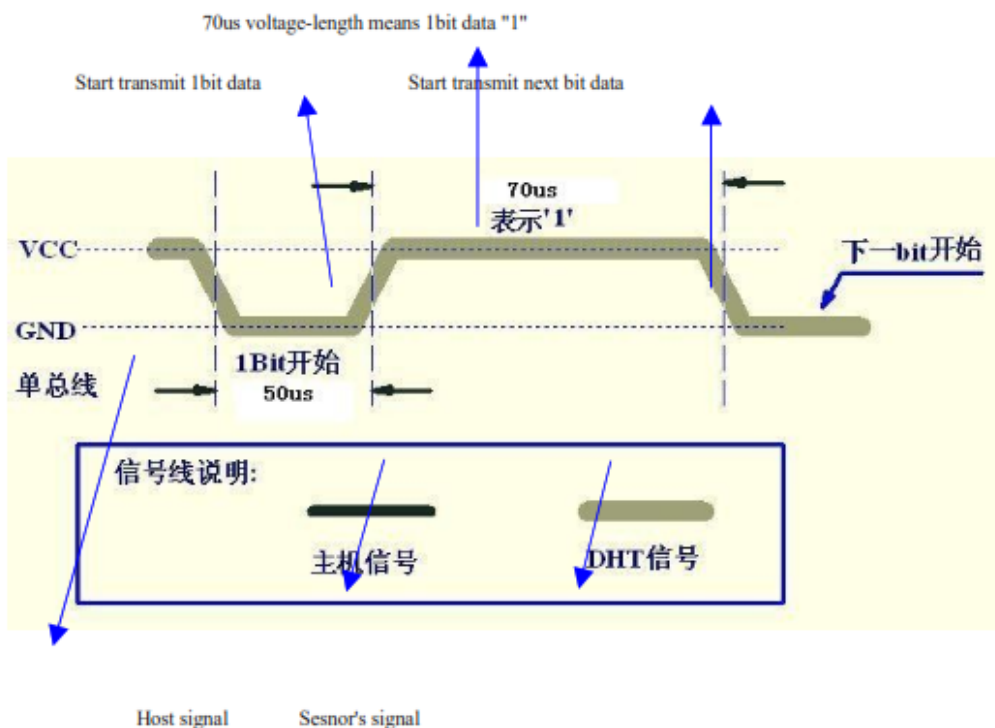
Step 2: DHT22 send response signal to MCU

When DHT22 detect the start signal, DHT22 will send out low-voltage-level signal and this signal last 80us as response signal, then program of DHT22 transform data-bus's voltage level from low to high level and last 80us for DHT22's preparation to send data.

Check bellow picture for step 2:

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Single-bus signal

If signal from DHT22 is always high-voltage-level, it means DHT22 is not working properly, please check the electrical connection status.

7. Electrical Characteristics:

Item	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Power supply	DC	3.3	5	6	V
Current supply	Measuring	1		1.5	mA
	Stand-by	40	Null	50	uA
Collecting period	Second		2		Second

*Collecting period should be : >2 second.

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

8. Attentions of application:

(1) Operating and storage conditions

We don't recommend the applying RH-range beyond the range stated in this specification. The DHT22 sensor can recover after working in non-normal operating condition to calibrated status, but will accelerate sensors' aging.

(2) Attentions to chemical materials

Vapor from chemical materials may interfere DHT22's sensitive-elements and debase DHT22's sensitivity.

(3) Disposal when (1) & (2) happens

Step one: Keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 50-60Celsius, humidity <10%RH for 2 hours;

Step two: After step one, keep the DHT22 sensor at condition of Temperature 20-30Celsius, humidity >70%RH for 5 hours.

(4) Attention to temperature's affection

Relative humidity strongly depend on temperature, that is why we use temperature compensation technology to ensure accurate measurement of RH. But it's still be much better to keep the sensor at same temperature when sensing.

DHT22 should be mounted at the place as far as possible from parts that may cause change to temperature.

(5) Attentions to light

Long time exposure to strong light and ultraviolet may debase DHT22's performance.

(6) Attentions to connection wires

The connection wires' quality will effect communication's quality and distance, high quality shielding-wire is recommended.

(7) Other attentions

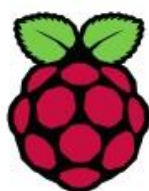
* Welding temperature should be bellow 260Celsius.

* Avoid using the sensor under dew condition.

* Don't use this product in safety or emergency stop devices or any other occasion that failure of DHT22 may cause personal injury.

Datasheet raspberry P

DATASHEET



Raspberry Pi Compute Module 3+

Raspberry Pi Compute Module 3+ Lite

Release 1, January 2019

Copyright 2019 Raspberry Pi (Trading) Ltd. All rights reserved.



3 Block Diagram

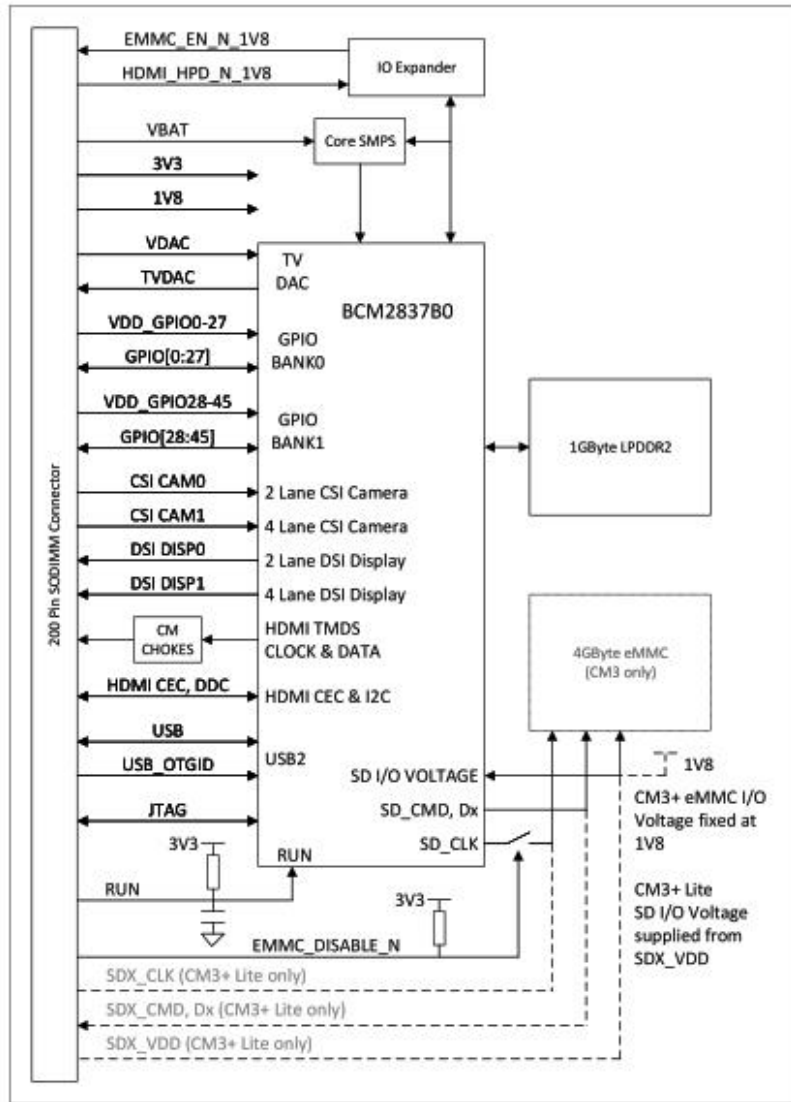


Figure 1: CM3+ Block Diagram



4 Mechanical Specification

The CM3+ modules conform to JEDEC MO-224 mechanical specification for 200 pin DDR2 (1.8V) SODIMM modules and therefore should work with the many DDR2 SODIMM sockets available on the market. **(Please note that the pinout of the Compute Module is not the same as a DDR2 SODIMM module; they are not electrically compatible.)**

The SODIMM form factor was chosen as a way to provide the 200 pin connections using a standard, readily available and low cost connector compatible with low cost PCB manufacture.

The maximum component height on the underside of the Compute Module is 1.2mm.

The maximum component height on the top side of the Compute Module is 2.5mm.

The Compute Module PCB thickness is 1.0mm +/- 0.1mm.

Note that the location and arrangement of components on the Compute Module may change slightly over time due to revisions for cost and manufacturing considerations; however, maximum component heights and PCB thickness will be kept as specified.

Figure 2 gives the CM3+ mechanical dimensions.

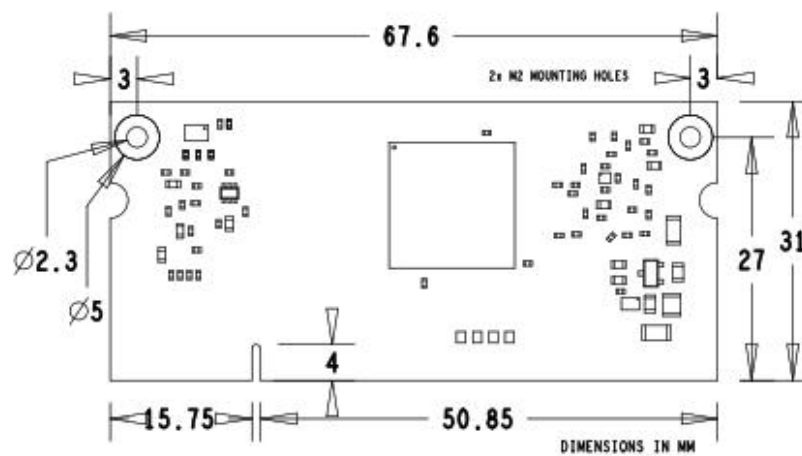


Figure 2: CM3+ Mechanical Dimensions



5 Pin Assignments

EMC	EMC Pin	Pin	EMC	EMC Pin
EMC	1	1	EMC	1
EMC	2	2	EMC	2
EMC	3	3	EMC	3
EMC	4	4	EMC	4
EMC	5	5	EMC	5
EMC	6	6	EMC	6
EMC	7	7	EMC	7
EMC	8	8	EMC	8
EMC	9	9	EMC	9
EMC	10	10	EMC	10
EMC	11	11	EMC	11
EMC	12	12	EMC	12
EMC	13	13	EMC	13
EMC	14	14	EMC	14
EMC	15	15	EMC	15
EMC	16	16	EMC	16
EMC	17	17	EMC	17
EMC	18	18	EMC	18
EMC	19	19	EMC	19
EMC	20	20	EMC	20
EMC	21	21	EMC	21
EMC	22	22	EMC	22
EMC	23	23	EMC	23
EMC	24	24	EMC	24
EMC	25	25	EMC	25
EMC	26	26	EMC	26
EMC	27	27	EMC	27
EMC	28	28	EMC	28
EMC	29	29	EMC	29
EMC	30	30	EMC	30
EMC	31	31	EMC	31
EMC	32	32	EMC	32
EMC	33	33	EMC	33
EMC	34	34	EMC	34
EMC	35	35	EMC	35
EMC	36	36	EMC	36
EMC	37	37	EMC	37
EMC	38	38	EMC	38
EMC	39	39	EMC	39
EMC	40	40	EMC	40
EMC	41	41	EMC	41
EMC	42	42	EMC	42
EMC	43	43	EMC	43
EMC	44	44	EMC	44
EMC	45	45	EMC	45
EMC	46	46	EMC	46
EMC	47	47	EMC	47
EMC	48	48	EMC	48
EMC	49	49	EMC	49
EMC	50	50	EMC	50
EMC	51	51	EMC	51
EMC	52	52	EMC	52
EMC	53	53	EMC	53
EMC	54	54	EMC	54
EMC	55	55	EMC	55
EMC	56	56	EMC	56
EMC	57	57	EMC	57
EMC	58	58	EMC	58
EMC	59	59	EMC	59
EMC	60	60	EMC	60
EMC	61	61	EMC	61
EMC	62	62	EMC	62
EMC	63	63	EMC	63
EMC	64	64	EMC	64
EMC	65	65	EMC	65
EMC	66	66	EMC	66
EMC	67	67	EMC	67
EMC	68	68	EMC	68
EMC	69	69	EMC	69
EMC	70	70	EMC	70
EMC	71	71	EMC	71
EMC	72	72	EMC	72
EMC	73	73	EMC	73
EMC	74	74	EMC	74
EMC	75	75	EMC	75
EMC	76	76	EMC	76
EMC	77	77	EMC	77
EMC	78	78	EMC	78
EMC	79	79	EMC	79
EMC	80	80	EMC	80
EMC	81	81	EMC	81
EMC	82	82	EMC	82
EMC	83	83	EMC	83
EMC	84	84	EMC	84
EMC	85	85	EMC	85
EMC	86	86	EMC	86
EMC	87	87	EMC	87
EMC	88	88	EMC	88
EMC	89	89	EMC	89
EMC	90	90	EMC	90
EMC	91	91	EMC	91
EMC	92	92	EMC	92
EMC	93	93	EMC	93
EMC	94	94	EMC	94
EMC	95	95	EMC	95
EMC	96	96	EMC	96
EMC	97	97	EMC	97
EMC	98	98	EMC	98
EMC	99	99	EMC	99
EMC	100	100	EMC	100
EMC	101	101	EMC	101
EMC	102	102	EMC	102
EMC	103	103	EMC	103
EMC	104	104	EMC	104
EMC	105	105	EMC	105
EMC	106	106	EMC	106
EMC	107	107	EMC	107
EMC	108	108	EMC	108
EMC	109	109	EMC	109
EMC	110	110	EMC	110
EMC	111	111	EMC	111
EMC	112	112	EMC	112
EMC	113	113	EMC	113
EMC	114	114	EMC	114
EMC	115	115	EMC	115
EMC	116	116	EMC	116
EMC	117	117	EMC	117
EMC	118	118	EMC	118
EMC	119	119	EMC	119
EMC	120	120	EMC	120
EMC	121	121	EMC	121
EMC	122	122	EMC	122
EMC	123	123	EMC	123
EMC	124	124	EMC	124
EMC	125	125	EMC	125
EMC	126	126	EMC	126
EMC	127	127	EMC	127
EMC	128	128	EMC	128
EMC	129	129	EMC	129
EMC	130	130	EMC	130
EMC	131	131	EMC	131
EMC	132	132	EMC	132
EMC	133	133	EMC	133
EMC	134	134	EMC	134
EMC	135	135	EMC	135
EMC	136	136	EMC	136
EMC	137	137	EMC	137
EMC	138	138	EMC	138
EMC	139	139	EMC	139
EMC	140	140	EMC	140
EMC	141	141	EMC	141
EMC	142	142	EMC	142
EMC	143	143	EMC	143
EMC	144	144	EMC	144
EMC	145	145	EMC	145
EMC	146	146	EMC	146
EMC	147	147	EMC	147
EMC	148	148	EMC	148
EMC	149	149	EMC	149
EMC	150	150	EMC	150
EMC	151	151	EMC	151
EMC	152	152	EMC	152
EMC	153	153	EMC	153
EMC	154	154	EMC	154
EMC	155	155	EMC	155
EMC	156	156	EMC	156
EMC	157	157	EMC	157
EMC	158	158	EMC	158
EMC	159	159	EMC	159
EMC	160	160	EMC	160
EMC	161	161	EMC	161
EMC	162	162	EMC	162
EMC	163	163	EMC	163
EMC	164	164	EMC	164
EMC	165	165	EMC	165
EMC	166	166	EMC	166
EMC	167	167	EMC	167
EMC	168	168	EMC	168
EMC	169	169	EMC	169
EMC	170	170	EMC	170
EMC	171	171	EMC	171
EMC	172	172	EMC	172
EMC	173	173	EMC	173
EMC	174	174	EMC	174
EMC	175	175	EMC	175
EMC	176	176	EMC	176
EMC	177	177	EMC	177
EMC	178	178	EMC	178
EMC	179	179	EMC	179
EMC	180	180	EMC	180
EMC	181	181	EMC	181
EMC	182	182	EMC	182
EMC	183	183	EMC	183
EMC	184	184	EMC	184
EMC	185	185	EMC	185
EMC	186	186	EMC	186
EMC	187	187	EMC	187
EMC	188	188	EMC	188
EMC	189	189	EMC	189
EMC	190	190	EMC	190
EMC	191	191	EMC	191
EMC	192	192	EMC	192
EMC	193	193	EMC	193
EMC	194	194	EMC	194
EMC	195	195	EMC	195
EMC	196	196	EMC	196
EMC	197	197	EMC	197
EMC	198	198	EMC	198
EMC	199	199	EMC	199
EMC	200	200	EMC	200

Table 2: Compute Module 3+ SODIMM Connector Pinout

Table 2 gives the Compute Module 3+ pinout and Table 3 gives the pin functions.



Pin Name	DIR	Voltage Ref	PDN ^a State	If Unused	Description/Notes
RUN and Boot Control (see text for usage guide)					
RUN	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_DISABLE_N	I	3V3 ^b	Pull High	Leave open	Has internal 10k pull up
EMMC_EN_N_1V8	O	1V8	Pull High	Leave open	Has internal 2k2 pull up
GPIO					
GPIO[27:0]	I/O	GPIO0-27_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 0
GPIO[45:28]	I/O	GPIO28-45_VDD	Pull or Hi-Z ^c	Leave open	GPIO Bank 1
Primary SD Interface^{d,e}					
SDX_CLK	O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CLK
SDX_CMD	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface CMD
SDX_Dx	I/O	SDX_VDD	Pull High	Leave open	Primary SD interface DATA
USB Interface					
USB_Dx	I/O	-	Z	Leave open	Serial interface
USB_OTGID	I	3V3		Tie to GND	OTG pin detect
HDMI Interface					
HDMI_SCL	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Clock (5.5V tolerant)
HDMI_SDA	I/O	3V3 ^b	Z ^f	Leave open	DDC Data (5.5V tolerant)
HDMI_CEC	I/O	3V3	Z	Leave open	CEC (has internal 27k pull up)
HDMI_CLKx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial clock
HDMI_Dx	O	-	Z	Leave open	HDMI serial data
HDMIHPD_N_1V8	I	1V8	Pull High	Leave open	HDMI hotplug detect
CAM0 (CSI0) 2-lane Interface					
CAM0_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM0_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
CAM1 (CSI1) 4-lane Interface					
CAM1_Cx	I	-	Z	Leave open	Serial clock
CAM1_Dx	I	-	Z	Leave open	Serial data
DSI0 (Display 0) 2-lane Interface					
DSI0_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI0_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
DSI1 (Display 1) 4-lane Interface					
DSI1_Cx	O	-	Z	Leave open	Serial clock
DSI1_Dx	O	-	Z	Leave open	Serial data
TV Out					
TVDAC	O	-	Z	Leave open	Composite video DAC output
JTAG Interface					
TMS	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TRST_N	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TCK	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDI	I	3V3	Z	Leave open	Has internal 50k pull up
TDO	O	3V3	O	Leave open	Has internal 50k pull up

^a The PDN column indicates power-down state (when RUN pin LOW)

^b Must be driven by an open-collector driver

^c GPIO have software enabled pulls which keep state over power-down

^d Only available on Lite variants

^e The CM will always try to boot from this interface first

^f Requires external pull-up resistor to 5V as per HDMI spec

Table 3: Pin Functions



6 Electrical Specification

Caution! Stresses above those listed in Table 4 may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device under these or any other conditions above those listed in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Symbol	Parameter	Minimum	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	-0.5	6.0	V
3V3	3V3 Supply Voltage	-0.5	4.10	V
1V8	1V8 Supply Voltage	-0.5	2.10	V
VDAC	TV DAC Supply	-0.5	4.10	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-45 I/O Supply Voltage	-0.5	4.10	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	-0.5	4.10	V

Table 4: Absolute Maximum Ratings

DC Characteristics are defined in Table 5



Symbol	Parameter	Conditions	Minimum	Typical	Maximum	Unit
V_{IL}	Input low voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	-	-	0.6	V
		VDD_IO = 2.7V	-	-	0.8	V
		VDD_IO = 3.3V	-	-	0.9	V
V_{IH}	Input high voltage ^a	VDD_IO = 1.8V	1.0	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V	1.3	-	-	V
		VDD_IO = 3.3V	1.6	-	-	V
I_{IL}	Input leakage current	TA = +85°C	-	-	5	μA
C_{IN}	Input capacitance	-	-	5	-	pF
V_{OL}	Output low voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOL = -2mA	-	-	0.2	V
		VDD_IO = 2.7V, IOL = -2mA	-	-	0.15	V
		VDD_IO = 3.3V, IOL = -2mA	-	-	0.14	V
V_{OH}	Output high voltage ^b	VDD_IO = 1.8V, IOH = 2mA	1.6	-	-	V
		VDD_IO = 2.7V, IOH = 2mA	2.5	-	-	V
		VDD_IO = 3.3V, IOH = 2mA	3.0	-	-	V
I_{OL}	Output low current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 0.4V	12	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 0.4V	17	-	-	mA
		VDD_IO = 3.3V, VO = 0.4V	18	-	-	mA
I_{OH}	Output high current ^c	VDD_IO = 1.8V, VO = 1.4V	10	-	-	mA
		VDD_IO = 2.7V, VO = 2.3V	16	-	-	mA
		VDD_IO = 3.3V, VO = 2.3V	17	-	-	mA
R_{PU}	Pullup resistor	-	50	-	65	kΩ
R_{PD}	Pulldown resistor	-	50	-	65	kΩ

^a Hysteresis enabled

^b Default drive strength (8mA)

^c Maximum drive strength (16mA)

Table 5: DC Characteristics

AC Characteristics are defined in Table 6 and Fig. 3.

Pin Name	Symbol	Parameter	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Digital outputs	t_{rise}	10-90% rise time ^a	-	1.6	-	ns
Digital outputs	t_{fall}	90-10% fall time ^a	-	1.7	-	ns
GPCLK	t_{JOSC}	Oscillator-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	20	ps
GPCLK	t_{JPLL}	PLL-derived GPCLK cycle-cycle jitter (RMS)	-	-	48	ps

^a Default drive strength, CL = 5pF, VDD_IOx = 3.3V

Table 6: Digital I/O Pin AC Characteristics



Figure 3: Digital IO Characteristics

7 Power Supplies

The Compute Module 3+ has six separate supplies that must be present and powered at all times; you cannot leave any of them unpowered, even if a specific interface or GPIO bank is unused. The six supplies are as follows:

1. VBAT is used to power the BCM2837 processor core. It feeds the SMPS that generates the chip core voltage.
2. 3V3 powers various BCM2837 PHYs, IO and the eMMC Flash.
3. 1V8 powers various BCM2837 PHYs, IO and SDRAM.
4. VDACC powers the composite (TV-out) DAC.
5. GPIO0-27_VREF powers the GPIO 0-27 IO bank.
6. GPIO28-45_VREF powers the GPIO 28-45 IO bank.

Supply	Description	Minimum	Typical	Maximum	Unit
VBAT	Core SMPS Supply	2.5	-	5.0 + 5%	V
3V3	3V3 Supply Voltage	3.3 - 5%	3.3	3.3 + 5%	V
1V8	1V8 Supply Voltage	1.8 - 5%	1.8	1.8 + 5%	V
VDACC	TV DAC Supply ^a	2.5 - 5%	2.8	3.3 + 5%	V
GPIO0-27_VDD	GPIO0-27 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
GPIO28-45_VDD	GPIO28-45 I/O Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V
SDX_VDD	Primary SD/eMMC Supply Voltage	1.8 - 5%	-	3.3 + 5%	V

^a Requires a clean 2.5-2.8V supply if TV DAC is used, else connect to 3V3

Table 7: Power Supply Operating Ranges



7.1 Supply Sequencing

Supplies should be staggered so that the highest voltage comes up first, then the remaining voltages in descending order. This is to avoid forward biasing internal (on-chip) diodes between supplies, and causing latch-up. Alternatively supplies can be synchronised to come up at exactly the same time as long as at no point a lower voltage supply rail voltage exceeds a higher voltage supply rail voltage.

7.2 Power Requirements

Exact power requirements will be heavily dependent upon the individual use case. If an on-chip subsystem is unused, it is usually in a low power state or completely turned off. For instance, if your application does not use 3D graphics then a large part of the core digital logic will never turn on and need power. This is also the case for camera and display interfaces, HDMI, USB interfaces, video encoders and decoders, and so on.

Powerchain design is critical for stable and reliable operation of the Compute Module 3+. We strongly recommend that designers spend time measuring and verifying power requirements for their particular use case and application, as well as paying careful attention to power supply sequencing and maximum supply voltage tolerance.

Table 8 specifies the recommended minimum power supply outputs required to power the Compute Module 3+.

Supply	Minimum Requirement	Unit
VBAT (CM1)	2000 ^a	mW
VBAT (CM3,3L)	3500 ^a	mW
3V3	250	mA
1V8	250	mA
VDAC	25	mA
GPIO0-27_VDD	50 ^b	mA
GPIO28-45_VDD	50 ^b	mA
SDX_VDD	50 ^b	mA

^a Recommended minimum. Actual power drawn is very dependent on use-case

^b Each GPIO can supply up to 16mA, aggregate current per bank must not exceed 50mA

Table 8: Minimum Power Supply Requirements

8 Booting

The eMMC Flash device on CM3+ is directly connected to the primary BCM2837 SD/eMMC interface. These connections are not accessible on the module pins. On CM3+ Lite this SD interface is available on the SDX_ pins.



When initially powered on, or after the RUN pin has been held low and then released, the BCM2837 will try to access the primary SD/eMMC interface. It will then look for a file called bootcode.bin on the primary partition (which must be FAT) to start booting the system. If it cannot access the SD/eMMC device or the boot code cannot be found, it will fall back to waiting for boot code to be written to it over USB; in other words, its USB port is in slave mode waiting to accept boot code from a suitable host.

A USB boot tool is available on Github which allows a host PC running Linux to write the BCM2837 boot code over USB to the module. That boot code then runs and provides access to the SD/eMMC as a USB mass storage device, which can then be read and written using the host PC. Note that a Raspberry Pi can be used as the host machine. For those using Windows a precompiled and packaged tool is available. For more information see [here](#).

The Compute Module has a pin called EMMC_DISABLE_N which when shorted to GND will disable the SD/eMMC interface (by physically disconnecting the SD.CMD pin), forcing BCM2837 to boot from USB. Note that when the eMMC is disabled in this way, it takes a couple of seconds from powering up for the processor to stop attempting to talk to the SD/eMMC device and fall back to booting from USB.

Note that once booted over USB, BCM2837 needs to re-enable the SD/eMMC device (by releasing EMMC_DISABLE_N) to allow access to it as mass storage. It expects to be able to do this by driving the EMMC_EN_N_1V8 pin LOW, which at boot is initially an input with a pull up to 1V8. If an end user wishes to add the ability to access the SD/eMMC over USB in their product, similar circuitry to that used on the Compute Module IO Board to enable/disable the USB boot and SD/eMMC must be used; that is, EMMC_DISABLE_N pulled low via MOSFET(s) and released again by MOSFET, with the gate controlled by EMMC_EN_N_1V8. **Ensure you use MOSFETs suitable for switching at 1.8V (i.e. use a device with gate threshold voltage, V_t , suitable for 1.8V switching).**

9 Peripherals

9.1 GPIO

BCM2837 has in total 54 GPIO lines in 3 separate voltage banks. All GPIO pins have at least two alternative functions within the SoC. When not used for the alternate peripheral function, each GPIO pin may be set as an input (optionally as an interrupt) or an output. The alternate functions are usually peripheral I/Os, and most peripherals appear twice to allow flexibility on the choice of I/O voltage.

GPIO bank2 is used on the module to connect to the eMMC device and for an on-board I2C bus (to talk to the core SMPS and control the special function pins). On CM3+ Lite most of bank2 is exposed to allow a user to connect their choice of SD card or eMMC device (if required).

Bank0 and 1 GPIOs are available for general use. GPIO0 to GPIO27 are bank0 and GPIO28-45 make up bank1. GPIO0-27_VDD is the power supply for bank0 and GPIO28-45_VDD is the power supply for bank1. SDX_VDD is the supply for bank2 on CM3+ Lite. These supplies can be in the range 1.8V-3.3V (see Table 7) and are not optional; each bank must be powered, even when none of the GPIOs for that bank are used.

Note that the HDMI_HPD_N_1V8 and EMMC_EN_N_1V8 pins are 1.8V IO and are used for special functions (HDMI hot plug detect and boot control respectively). Please do not use these pins for any other purpose, as the software for the module will always expect these pins to have these special functions. If they are unused please leave them unconnected.



All GPIOs except GPIO28, 29, 44 and 45 have weak in-pad pull-ups or pull-downs enabled when the device is powered on. It is recommended to add off-chip pulls to GPIO28, 29, 44 and 45 to make sure they never float during power on and initial boot.

9.1.1 GPIO Alternate Functions

GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
0	High	SDA0	SA5	PCLK	-	-	-
1	High	SCL0	SA4	DE	-	-	-
2	High	SDA1	SA3	LCD.VSYNC	-	-	-
3	High	SCL1	SA2	LCD.HSYNC	-	-	-
4	High	GPCLK0	SA1	DPLD0	-	-	ARM.TDI
5	High	GPCLK1	SA0	DPLD1	-	-	ARM.TDO
6	High	GPCLK2	SOE_N	DPLD2	-	-	ARM.RTCK
7	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	DPLD3	-	-	-
8	High	SPI0_CEO_N	SD0	DPLD4	-	-	-
9	Low	SPI0_MISO	SD1	DPLD5	-	-	-
10	Low	SPI0_MOSI	SD2	DPLD6	-	-	-
11	Low	SPI0_SCLK	SD3	DPLD7	-	-	-
12	Low	PWM0	SD4	DPLD8	-	-	ARM.TMS
13	Low	PWM1	SD5	DPLD9	-	-	ARM.TCK
14	Low	TXD0	SD6	DPLD10	-	-	TXD1
15	Low	RXD0	SD7	DPLD11	-	-	RXD1
16	Low	FL0	SD8	DPLD12	CTS0	SPI1_CEO_N	CTS1
17	Low	FL1	SD9	DPLD13	RTS0	SPI1_CE1_N	RTS1
18	Low	PCM_CLK	SD10	DPLD14	-	SPI1_CEO_N	PWM0
19	Low	PCM_FS	SD11	DPLD15	-	SPI1_MISO	PWM1
20	Low	PCM_DIN	SD12	DPLD16	-	SPI1_MOSI	GPCLK0
21	Low	PCM_DOUT	SD13	DPLD17	-	SPI1_SCLK	GPCLK1
22	Low	SD0_CLK	SD14	DPLD18	SD1_CLK	ARM_TRST	-
23	Low	SD0_CMD	SD15	DPLD19	SD1_CMD	ARM_RTCK	-
24	Low	SD0_DAT0	SD16	DPLD20	SD1_DAT0	ARM_TDO	-
25	Low	SD0_DAT1	SD17	DPLD21	SD1_DAT1	ARM_TCK	-
26	Low	SD0_DAT2	TE0	DPLD22	SD1_DAT2	ARM_TDI	-
27	Low	SD0_DAT3	TE1	DPLD23	SD1_DAT3	ARM_TMS	-

Table 9: GPIO Bank0 Alternate Functions



GPIO	Default						
	Pull	ALT0	ALT1	ALT2	ALT3	ALT4	ALT5
28	None	SDA0	SA5	PCM_CLK	FL0	-	-
29	None	SCL0	SA4	PCM_FS	FL1	-	-
30	Low	TE0	SA3	PCM_DIN	CTS0	-	CTS1
31	Low	FL0	SA2	PCM_DOUT	RTS0	-	RTS1
32	Low	GPCLK0	SA1	RING_OCLK	TXD0	-	TXD1
33	Low	FL1	SA0	TE1	RXD0	-	RXD1
34	High	GPCLK0	SOE_N	TE2	SD1_CLK	-	-
35	High	SPI0_CE1_N	SWE_N	-	SD1_CMD	-	-
36	High	SPI0_CE0_N	SD0	TXD0	SD1_DAT0	-	-
37	Low	SPI0_MISO	SD1	RXD0	SD1_DAT1	-	-
38	Low	SPI0_MOSI	SD2	RTS0	SD1_DAT2	-	-
39	Low	SPI0_SCLK	SD3	CTS0	SD1_DAT3	-	-
40	Low	PWM0	SD4	-	SD1_DAT4	SPI2_MISO	TXD1
41	Low	PWM1	SD5	TE0	SD1_DAT5	SPI2_MOSI	RXD1
42	Low	GPCLK1	SD6	TE1	SD1_DAT6	SPI2_SCLK	RTS1
43	Low	GPCLK2	SD7	TE2	SD1_DAT7	SPI2_CE0_N	CTS1
44	None	GPCLK1	SDA0	SDA1	TE0	SPI2_CE1_N	-
45	None	PWM1	SCL0	SCL1	TE1	SPI2_CE2_N	-

Table 10: GPIO Bank1 Alternate Functions

Table 9 and Table 10 detail the default pin pull state and available alternate GPIO functions. Most of these alternate peripheral functions are described in detail in the Broadcom Peripherals Specification document and have Linux drivers available.

9.1.2 Secondary Memory Interface (SMI)

The SMI peripheral is an asynchronous NAND type bus supporting Intel mode80 type transfers at 8 or 16 bit widths and available in the ALT1 positions on GPIO banks 0 and 1 (see Table 9 and Table 10). It is not publicly documented in the Broadcom Peripherals Specification but a Linux driver is available in the Raspberry Pi Github Linux repository (`bcm2835-smi.c` in `linux/drivers/misc`).

9.1.3 Display Parallel Interface (DPI)

A standard parallel RGB (DPI) interface is available on bank 0 GPIOs. This up-to-24-bit parallel interface can support a secondary display. Again this interface is not documented in the Broadcom Peripherals Specification but documentation can be found here.



9.1.4 SD/SDIO Interface

The BCM283x supports two SD card interfaces, SD0 and SD1.

The first (SD0) is a proprietary Broadcom controller that does not support SDIO and is the primary interface used to boot and talk to the eMMC or SDX_x signals.

The second interface (SD1) is standards compliant and can interface to SD, SDIO and eMMC devices; for example on a Raspberry Pi 3 B+ it is used to talk to the on-board CYW43455 WiFi device in SDIO mode.

Both interfaces can support speeds up to 50MHz single ended (SD High Speed Mode).

9.2 CSI (MIPI Serial Camera)

Currently the CSI interface is not openly documented and only CSI camera sensors supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface. Supported sensors are the OmniVision OV5647 and Sony IMX219.

It is recommended to attach other cameras via USB.

9.3 DSI (MIPI Serial Display)

Currently the DSI interface is not openly documented and only DSI displays supported by the official Raspberry Pi firmware will work with this interface.

Displays can also be added via the parallel DPI interface which is available as a GPIO alternate function - see Table 9 and Section 9.1.3

9.4 USB

The BCM2837 USB port is On-The-Go (OTG) capable. If using either as a fixed slave or fixed master, please tie the USB_OTGID pin to ground.

The USB port (Pins USB_DP and USB_DM) must be routed as 90 ohm differential PCB traces.

Note that the port is capable of being used as a true OTG port however there is no official documentation. Some users have had success making this work.

9.5 HDMI

BCM283x supports HDMI V1.3a.

It is recommended that users follow a similar arrangement to the Compute Module IO Board circuitry for HDMI output.

The HDMI CK_P/N (clock) and D0-D2_P/N (data) pins must each be routed as matched length 100 ohm differential PCB traces. It is also important to make sure that each differential pair is closely phase matched. Finally, keep HDMI traces well away from other noise sources and as short as possible.

Failure to observe these design rules is likely to result in EMC failure.



9.6 Composite (TV Out)

The TVDAC pin can be used to output composite video (PAL or NTSC). Please route this signal away from noise sources and use a 75 ohm PCB trace.

Note that the TV DAC is powered from the VDAC supply which must be a clean supply of 2.5-2.8V. It is recommended users generate this supply from 3V3 using a low noise LDO.

If the TVDAC output is not used VDAC can be connected to 3V3, but it must be powered even if the TV-out functionality is unused.

10 Thermals

The BCM2837 SoC employs DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling) on the core voltage. When the processor is idle (low CPU utilisation), it will reduce the core frequency and voltage to reduce current draw and heat output. When the core utilisation exceeds a certain threshold the core voltage is increased and the core frequency is boosted to the maximum working frequency of 1.2GHz. The voltage and frequency are throttled back when the CPU load reduces back to an 'idle' level OR when the silicon temperature as measured by the on-chip temperature sensor exceeds 80C (thermal throttling).

A designer must pay careful attention to the thermal design of products using the CM3+ so that performance is not artificially curtailed due to the processor thermal throttling, as the Quad ARM complex in the BCM2837 can generate significant heat output under load.

10.1 Temperature Range

The operating temperature range of the module is set by the lowest maximum and highest minimum of any of the components used.

The eMMC and LPDDR2 have the narrowest range, these are rated for -25 to +80 degrees Celsius. Therefore the nominal range for the CM3+ and CM3+ Lite is -25C to +80C.

However, this range is the maximum for the silicon die; therefore, users would have to take into account the heat generated when in use and make sure this does not cause the temperature to exceed 80 degrees Celsius.

11 Availability

Raspberry Pi guarantee availability of CM3+ and CM3+ Lite until at least January 2026.

12 Support

For support please see the hardware documentation section of the Raspberry Pi website and post questions to the Raspberry Pi forum.