MONITOREO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA LECHUGA EN UN CULTIVO URBANO EMPLEANDO EL SENSOR AMG8833

GINA PAOLA CASTAÑO ESQUIVEL

Los Libertadores
Fundación Universitaria

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D. C.
2018

MONITOREO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA LECHUGA EN UN CULTIVO URBANO EMPLEANDO EL SENSOR AMG8833

GINA PAOLA CASTAÑO ESQUIVEL

Trabajo de grado para optar El Título de Ingeniero Electrónico

Director:
John Petearson Anzola Anzola
Ingeniero Electrónico

Coodirector:
Jorge Luis Nisperusa Toledo
Ingeniero Fisico

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D. C.
2018

CONTENIDO

1 RESUMEN6

2 INTRODUCCIÓN7

3 OBJETIVOS10

3.1 OBJETIVO GENERAL10

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS10

4 JUSTIFICACIÓN11

5 ANTECEDENTES13

6 MARCO TEÓRICO18

6.1 Generalidades de la lechuga18

Siembra19

Cuidados20

Plagas y enfermedades21

Lechuga en agricultura de precisión y en cultivos urbanos21

6.4.1 Sensores de temperatura27

- Sensor DHT2227
- SKU (SEN0137)27
- LM3528
- Sensor RT10029
- Termopar y Termistor29
- Termopar tipo K30
- Sensor RTD30
- Pirómetro31

7 ELEMENTOS UTILIZADOS34

7.2 Sensor de Temperatura y Humedad DHT21 AM230136

- Características36

7.3 Sensor de temperatura MLX9061436

- Caracteristicas37

8 METODOLOGÍA37

9. ALCANCES Y LIMITACIONES40

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS41

Los Libertadores Fundación Universitaria

CONCLUSIONES46
BIBLIOGRAFÍA47
ANEXOS50

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Clasificacion de Cultivos**¡Error! Marcador no definido.**
Figura 2. Etapa Experimental con los sensores de Temperatura 38

Los Libertadores
Fundación Universitaria

GLOSARIO

Bilateral: Aquello que pertenece o se refiere a un par de costados, partes, lados o aspectos de una misma cosa.

Dosel: Cubierta aérea con que un cultivo resguarda el suelo.

Estrés Hidrico: es un fenómeno cada vez más extendido que provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobreexplotados, ríos secos, lagos contaminados) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina.

Foliar: Son las hojas primordiales que son producidas de los cotiledones de las semillas que han germinado recientemente.

Fitosanitarios: es un adjetivo que alude a lo que se vincula a prevenir y tratar las diversas enfermedades que pueden padecer las plantas. Los controles fitosanitarios, por lo tanto, son muy importantes en la agricultura.

Geomantica: Es una disciplina que engloba las Geociencias con la integración y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

Incertidumbre: Exactitud y Precisión en las mediciones.

Infrarojo: La radiación infrarroja, o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética, de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas.

Irrigacion: Se puede definir la irrigación como el conjunto de dispositivos sociotécnicos que permiten aportes artificiales de agua sobre tierras, para obtener una producciónagrícola.

Termografia: es una técnica que permite determinar temperaturas a distancia y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Latermografía permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras térmicas o de termovisión.

1 RESUMEN

La Agricultura Urbana es un sistema de alimentos saludables donde se revisa la tendencia actual y las perspectivas del desarrollo de la producción y el comercio de productos agrícolas certificados. Como innovación y estrategia para resolver de forma integral los problemas actuales de la producción de alimentos se utiliza la Agricualtura de presicion que busca minimizar la contaminación ambiental y maximizar las ganancias mediante el control de cantidad de fertilizantes agregados al suelo tomando en cuenta los nutrientes ya existentes en toda la superficie a cultivar y el requerimiento especifico de los mismos por parte del cultivo. También se basa en la detección temprana de plagas y patógenos en los campos agrícolas de tal manera que se use la menor cantidad posible de pesticidas, que son dosificados en forma controlada y lenta antes de que el ataque por parte de las plagas o los patógenos sea irreversible. La Agricualtura moderna quiere fomentar eficiencia en los recuersos disponibles, la sostenibilidad del recurso agrícola, la preservación del medio ambiente y tener una diferenciación respecto a sus competidores.

En este sentido, las denominadas Redes de sensores Inalambricos pueden ser una herramienta para monitorear, predecir y optimizar la gestión y los recursos de la actividad agrícola en tiempo real.

Los **Sensores**, captan la información del entorno (Temperatura, humedad ambiente, humedad suelo, radicación solar, pluviometría…) y la transfieren al equipo remoto.
Con lo anterior se evidencia la importancia de medir temperatura superficial con el uso de sensores infrarrojo donde en este trabajo se plasma la consulta y la aplicación del Sensor AMG8833 8X8.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

2 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la industrialización y automatización de la agricultura mundial, es cada vez más necesaria para el mejoramiento de los índices de productividad y efectividad en una población global que, cada día, demanda más alimentos de calidad que comprendan un proceso productivo impecable y sostenible con el medio ambiente. Lo anterior comprende que los agricultores de grandes y pequeñas proporciones deben establecer varios métodos para una producción rentable, como: sistemas eficientes de irrigación, control de plagas, manejo de condiciones atmosféricas entre diversos factores alterantes del rendimiento de un cultivo industrial y doméstico o urbano.

En grandes ciudades del mundo, la población ha optado por tomar sus alimentos de una huerta propia, es decir, la sociedad cada vez más prefiere tomar sus frutas, verduras, y hortalizas de un cultivo domestico propio, en donde se han controlado muchos de los factores que la industria de frutas y verduras pasa por alto con el objetivo de mejorar sus valores de efectividad. Pero, ¿cuáles son dichos factores?. La industria de alimentos en el mundo ha venido usando sustancias químicas con diferentes finalidades, dentro de las cuales está el manejo de plagas y prevención de las mismas, fertilización de las tierras de cultivo para incrementar su aptitud para determinadas plantas o control de malezas que ponen en peligro la producción; sin embargo, estas sustancias químicas tienen consecuencias bilaterales en el campo, puesto que muchos de los alimentos conservan trazas de dichas que al ser consumidos tienen consecuencias adversas en el organismo, sin mencionar las nefastas consecuencias al medio ambiente.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Siendo así, se evidencia la necesidad de método agricultor que sea sostenible económica y medio ambientalmente, por lo que en la actualidad, se ve la agricultura orgánica como un enfoque altamente en tendencia, dado que esta técnica está reglamentada en virtud de leyes y programas de certificación en pro de fortalecer el suelo, por medio de la prohibición de insumos sintéticos y tóxicos (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor, 2005), genera un impacto altamente positivo en los agro ecosistemas, puesto que se

reduce o elimina la contaminación de fuentes hídricas, con menor costo de producción, conservando los nutrientes naturales y los ciclos de energía propios de la planta y el suelo.

En este sentido, la agricultura de precisión es considerada como un conjunto de herramientas, que al interactuar entre sí, permiten mejorar procesos agrícolas con un nivel de precisión mayor al encontrado en los procesos de agricultura tradicional. La puesta en marcha de la agricultura de precisión mejora la toma de decisiones, ya que éstas están basadas en datos numéricos de distintas variables como: pH del suelo y la planta, condiciones de fertilizante en suelo, tipo de suelo, temperatura ambiental, temperatura del aire, temperatura del suelo y la planta, condiciones de cosecha de la planta, condiciones de luz, suministro de agua, entre otros. La agricultura de precisión, consigue mejorar la eficiencia de siembra, la de abonado y la de aplicación de fitosanitarios, mediante tecnología de control, monitoreo y medición. Una de las variables de medición más extendidas en la agricultura, es la temperatura, ya que con esta variable es posible caracterizar el estado de un cultivo, dado que con esta variable es posible determinar en qué condiciones se encuentra el cultivo, empleando técnicas de cálculo para medir factores apremiantes como la humedad del suelo, la vitalidad de la planta, el manejo de plagas, hongos y enfermedades que pueden poner en amenaza una producción masiva de alimentos.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Siendo así, diversos agro procesos se encuentran en vía de automatización por medio de la aplicación de sistemas mecánicos y electrónicos para controlar el proceso , en otras palabras, se busca aplicar sistemas electro-mecánicos para controlar el proceso sin necesidad de intervención humana para su correcto funcionamiento; la automatización, en agronomía, cumple un papel imperante, puesto que optimiza los procesos con el objetivo de incrementar la productividad y calidad de los productos que satisfagan la demanda. A partir del trabajo investigativo se encontró que dentro de los sistemas de automatización, monitoreo y medición de la temperatura se encuentra el uso de termocuplas tipo J, como el trabajo realizado por Jhonny Perea para la medición de la temperatura en invernaderos con el objetivo de monitorear la planta para su máximo rendimiento (Perea Palacios, 2016). Por otro lado está el trabajo realizado por Rodríguez para la automatización inalámbrica de cultivos empleando sensores de temperatura como termopar, RTD,

termistor y sensor IC, obteniendo resultados congruentes y eficientes para el objeto de estudio (Rodríguez Ramírez, 2006).

También se encontró el uso del sensor LM35, empleado por Rodríguez en su trabajo de control de temperatura y humedad para un cultivo de hongos Shiitake, en donde se evidencia un claro ejemplo de la aplicación de dichos gadgets para el mejoramiento continuo de cultivos (Rodríguez, 2012). También, el empleo de infrarrojo, como evidencia el trabajo investigativo encaminado a determinar la temperatura foliar de la lechuga y el aire influenciada por el déficit de presión de vapor, para calcular el estrés hídrico de la planta (Tarqui Delgado , Mena Herrera, Quino Luna, Gutiérrez , & Coela, 2017); como en el trabajo que miden la temperatura del dosel de la planta por medio de termografía infrarroja como un primer paso hacia el monitoreo automatizado del estrés hídrico de la planta (Wang, Yang, Wheaton, Cooley, & Moran, 2009). También se emplean sensores K, PT100, sensores multiespectrales (rayos UVA y IR).

Una de las características de los anteriores sensores, radica en la medición de temperatura se realiza a nivel superficial y ambiental. También se ha encontrado trabajos donde han realizado la medición de temperatura mediante la captura de imágenes térmicas (Wang, Yang, Wheaton, Cooley, & Moran, 2009) (Tarqui Delgado , Mena Herrera, Quino Luna, Gutierrez , & Coela, 2017);, que permiten tomar datos en el momento, datos de temperatura del ambiente, de la semilla (en etapa de siembra), de la hoja (una vez desarrollada la planta), en el dosel o invernadero de la planta, así como la temperatura interna o la temperatura foliar, la cual es un indicador de la marchitez letal en algunas especies vegetales (CID, s.f.).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Con lo anterior, se evidencia la importancia de medir la temperatura, por lo que el uso de herramientas como infrarrojo es vital, con instrumentos como estos se puede hacer la monitorización remota del estado fisiológico y biológico de los cultivos, y así, tener control sobre bioproceso como la fotosíntesis, manejo energético de la planta, eficiencia del uso del agua, e índices de clorofila en la planta (INNOVAGRO, 2014). Con lo anterior evidenciamos las diversas aplicaciones de IR en la agricultura actual, sin embargo, una de las desventajas de los dispositivos térmicos por este espectro, se debe al alto costo de los mismos, haciendo inviable la masificación y utilización de estos.

Con base en la problemática planteada anteriormente, se plantea a continuación la pregunta de investigación.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Monitorear la temperatura Superficial de una planta de lechuga en un cultivo urbano empleando el sensor AMG8833.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un dispositivo de medición de temperatura de bajo costo basado en el sensor AMG8833.
- Realizar un cultivo experimental de Lechuga para monitorear la temperatura.
- Evaluar el desempeño del sensor empleado para su uso en entornos alternos de la agricultura.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

4 JUSTIFICACIÓN

En un cultivo, sin importar su tamaño, es importante mantener un margen de vitalidad de la planta, puesto que esto se ve reflejado en la producción y calidad del alimento, sin embargo, de este se comprenden diferentes factores alterantes de la salud de una planta, como: temperatura, condiciones de salinidad o pH, humedad, condiciones atmosféricas (luz, temperatura del aire, calidad del aire, etc.), manejo de microorganismos no deseados, entre otros.

Todos estos factores, en el mundo actual han sido manejados por medio de barreras físicas o químicas, es decir, por medio de un invernadero se protege un cultivo del rayo directo del sol, o del choque térmico de la noche, así como se han implementado sustancias químicas que desarrollan una liberación prolongada de agua en la planta para mantenerla en condiciones óptimas de humedad. Todos estos avances en el uso de agentes externos al agricultor y la planta en el mundo de los alimentos han tenido consecuencias benéficas y maléficas en el ser humano y el medio ambiente.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Los grandes beneficios del uso de estas barreras, como lo mencionaremos en este trabajo de grado, es que la industria ha crecido de tal manera que es capaz de abastecer a una población mundial que avanza a pasos agigantados y demanda cada día más, sin tener en cuenta que se da solución a los problemas más comunes en la agricultura. Sin embargo, como ya se mencionó, esto tiene consecuencias adversas, como la contaminación de fuentes hídricas, erosión de la tierra, cambio del pH en la tierra (basificación o acidificación), además de los efectos a largo plazo que tiene sobre el ser humano: como afecciones en la piel, vías respiratorias y demás órganos como se exponen en el estudio realizado el instituto Nacional de higiene, Epidemiologia y Microbiología de La Habana, Cuba, en donde explican algunas consecuencias de la exposición crónica a sustancias químicas como fertilizantes, pesticidas o plaguicidas.

Con lo anterior, los trabajos investigativos se están moviendo hacia el desarrollo de vías alternas al uso de químicos para el mejoramiento de las condiciones de cultivo de una planta, por lo que el monitoreo de las condiciones de humedad por medio de una medición en la temperatura superficial (de la corteza de la planta) de un cultivo y la temperatura del aire se ve como un camino eficiente hacia el desarrollo de plantas vitales sin problemas en su producción o cosecha, que no haya empleado sustancias químicas agresivas e invasivas (del Puerto Rodríguez, Suarez Tamayo, & Palacio Estrada, s.f.). Siendo así, se plantea este trabajo de grado para la medición de la temperatura superficial de una planta de lechuga y con base a los datos recolectados, en trabajos futuros se podrá tomar decisiones acerca de sistemas de irrigación de la planta y demás características importantes en los cultivos urbanos, para potencializar al máximo el rendimiento del cultivo urbano, que en la actualidad, se implementa cada vez más en los hogares de las grandes ciudades.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

5 ANTECEDENTES

La agricultura de precisión está teniendo una gran acogida en la producción en el mundo, dado que está basada en principios diferentes a los ahora usados en la agricultura masiva. Esta, es considerada como la aproximación a un sistema con enfoque sostenible, que emplee sistemas de manejo de cultivos y suelos de forma selectiva y “personalizada” según las necesidades y objetivos del cultivo (COSMOAGRO, s.f.).

En el trabajo de García y Flego, se menciona esta técnica como una estrategia administrativa que usa las nuevas tecnologías de la información emergentes y las telecomunicaciones para la recolección de datos útiles, desde diferentes equipos para apoyar soluciones y decisiones relacionadas con los cultivos, en este trabajo se observa un ciclo, el cual se muestra a continuación:

Los Libertadores
Fundación Universitaria

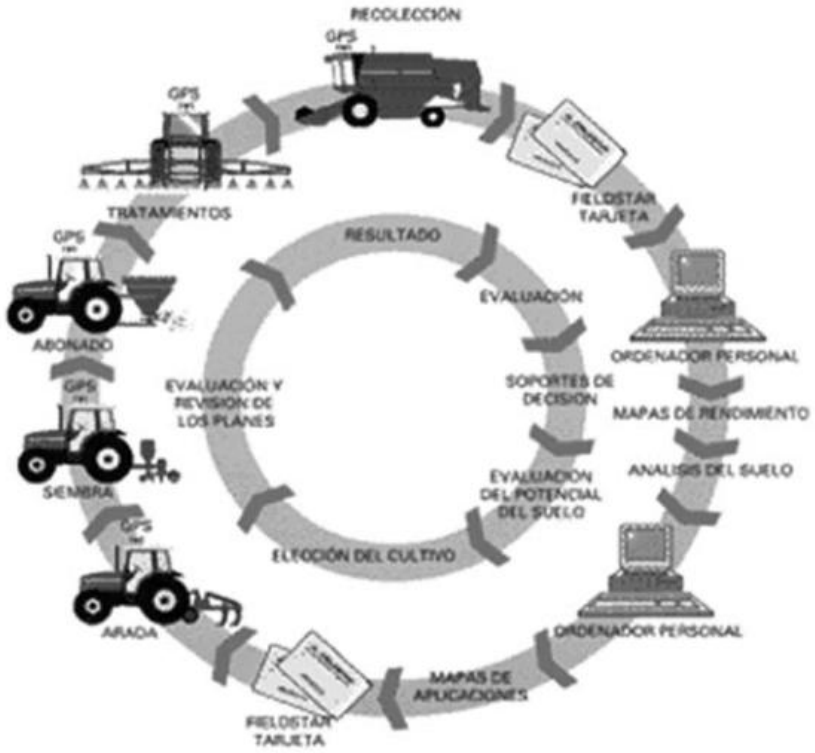


Imagen No. 01 Ciclo de la agricultura de precisión (Garcia & Flego, s.f.)

Los Libertadores
Fundación Universitaria

En la agricultura de precisión se ve un componente claro y vital, la percepción remota, la cual es una herramienta que recibe la información respectiva de cada sensor, es decir, la temperatura de la superficie donde este situado el sensor, el porcentaje de humedad traducido en la conductividad del suelo, el porcentaje de nitrógeno, fotografías aéreas, imágenes infrarrojas, entre otras .

Siendo así, es frecuente que la temperatura sea el parámetro más medido en este campo de aplicación, dado que a raíz de este es posible determinar diversas condiciones de la planta, y tomar decisiones al respecto. A pesar de que realizar medidas de la temperatura con un conjunto adquisitivo de datos es relativamente sencillo, este presenta una incertidumbre considerable dado que medir la temperatura exacta en un área superficial demasiado grande, se hace tedioso e inoficioso, por lo que, en algunos casos, la temperatura es un factor engañoso debido a su simplicidad (BIBING US, s.f.).

En la actualidad se han realizado diversos trabajos de investigación en cuanto a la medición de la temperatura empleando sensores alternativos a los comunes. En el documento realizado por Perea, en donde monitorea la temperatura y humedad de un invernadero de plantas por medio de los sensores: DHT22, SKU y Sensor de luminosidad; y con estos concluir que el uso de sensores se hace cada vez más necesario para el buen rendimiento del cultivo, dado que según los datos obtenidos se tomó acción en cuanto al riego, manejo de fertilizante y control de la fuente lumínica (Perea Palacios, 2016).

De igual manera, en la literatura se encuentran documentos a cerca del uso del sensor de temperatura LM35 en cultivos de hongos silvestres, el cual contribuyo a monitorear la temperatura interna del suelo, en donde fueron sembrados los hongos, con el objetivo de administrar óptimamente el sistema de irrigación según la hora del día y la intensidad de luz que llega al cultivo, es importante mencionar que en esta investigación realizada en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, el sensor LM35 estuvo acompañado de un sensor de humedad Hih-4000-002, donde los valores medidos por los sensores llegan a un micro controlador, el cual era el encargado de interpretar dichos datos y arrojar el porcentaje de humedad o la temperatura del cultivo.

En adición, se encontró que frecuentemente se emplea un sensor de pulso de calor de doble sonda (DPHP) como una solución económica para la medición de humedad del suelo a partir de la temperatura, mostrando una alta variación en los datos respecto a la jornada del día, estudiando así, el primer efecto de la temperatura sobre las plantas (Vinay, Devendra N. , & Maryam, 2017).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Finalmente, se encuentran diversos sensores en el mercado, desde digitales como lo es el DHT22, de baja tecnología como el SKU (SEN0137), o los más comunes a nivel de laboratorio, termocuplas; sin embargo, hasta el momento, el uso de sensores IF no se ha evidenciado de manera significativa en el desarrollo de nuevas tecnologías, dado que esto representaría un paso agigantado a nivel de tecnificación del agro mundial, a través de la implementación de tecnologías que trabajen en sinergia hacia una industria de alimentos cada vez más independiente de agentes químicos externos, y daño ambiental.

Emplear este tipo de tecnología es beneficiosos puesto que la detección remota se traduce en un método no invasivo, no destructivo, rápido y fácil de manejar a diferentes

escalas, desde cultivos urbanos, como es el caso de este estudio, hasta entornos masivos de agricultura (INNOVAGRO, 2014).

Siguiendo con los trabajos realizados hasta el momento en materia de monitoreo y control de cultivos remotamente, se encontró que en México se están empleando termometría infrarroja para medir la temperatura del dosel y el déficit de la presión de vapor para determinar el estrés hídrico del cultivo (CWSI), con el objetivo de calendarizar y optimizar el riego en los cultivos agrícolas (Lopez Lopez, Arteaga , Vazquez Peña, Lopez Cruz, & Sánchez Cohen, 2009). Es importante hacer la salvedad, de que en este proceso investigativo se emplearon plantas de tomates de cáscara, y se medían por medio de una pistola de rayos infrarrojos, que, según el artículo, no menciona de qué tipo.

También se encontró que la medición de la temperatura de la corteza de la planta, no solo es útil en la agricultura de alimentos, sino también en la floricultura, dado que a partir de lo estudiado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, se determinó la variabilidad espacial de la temperatura superficial del suelo y de algunas variables, entre ellas la temperatura de la planta, en la producción de cultivos de crisantemos rojo bajo invernadero; la medición de la temperatura se efectuó a través de una termocuplas sencilla, y se llegó a la conclusión de que existe una alta inestabilidad en los datos por distancias muy cortas entre los sitios de muestreo (0,2m), sugiriendo así, una variabilidad espacial de rango muy corto o que esta es muy pequeña y que la variabilidad dominante es aleatoria (Jaramillo Jaramillo, 2010).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Por otro lado, y continuando con los avances realizados en tecnología infrarroja, se encontró que en Argentina, se han venido evidenciando estudios para establecer la relación entre la temperatura radiactiva de la vegetación y el contenido de agua en el suelo, a partir de la definición de temperatura radiométrica de una planta como el resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados diversos mecanismos físicos, fisiológicos y climáticos que modifican entre sí, la temperatura de la planta (Houspanossian, Schirmbeck, Rivas, & Vázquez, 2007). Para esta metodología se empleó un radiómetro, conocido habitualmente como sensor infrarrojo térmico IRT, el cual registra la temperatura emisiva de las superficies en un ancho de banda de 8 a 14 $\frac{1}{4}$ m (Houspanossian, Schirmbeck, Rivas, & Vázquez, 2007).

Finalmente, se encontró que en el 9º congreso de agroinformática, la revisión y análisis de los índices de estado hídrico de un cultivo por medio de termografía en olivos y almendros, se le dio un enfoque al riego de precisión con el fin de uniformizar la productividad partir de umbrales de estrés hídricos calculado por medio de la temperatura externa de la planta; haciendo uso de cámaras multiespectrales pequeñas y cámaras termográficas a bordo de plataformas UAV que permiten la recopilación de datos para aplicaciones agrícolas y ambientales de precisión (Capraro, 2017).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

6 MARCO TEÓRICO

A pesar de que la finalidad de este trabajo investigativo es el monitoreo de la temperatura superficial de la planta haciendo uso de rayos infrarrojos, se evidencia la necesidad de investigar a cerca de las generalidades de la planta en cuestión, la lechuga.

6.1 Generalidades de la lechuga

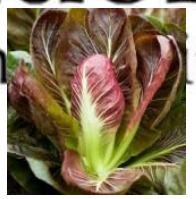
La lechuga es una hortaliza realmente sencilla de cultivar, esta crece en diversos espacios y contenedores, sin embargo esta plante le exige a la tierra dos principales características, que el suelo sea rico en nutrientes y que tenga la propiedad de drenar eficientemente. Entre sus múltiples beneficios, a lechuga cuenta con vitaminas (A,B,C y E), antioxidantes y además, es baja en carbohidratos.

Existe diversas variedades de esta hortaliza, que su diferencia radica desde su forma, color hasta su tamaño y su sabor, por lo cual en este proyecto investigativo, realizamos un cuadro comparativo de las variedades de la lechuga, tabla No. 2.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Tabla No. 2 "Variedades de lechugas con sus características (Via Orgánica, 2015)**"**

Nombre	Características	Imagen ilustrativa
Iceberg (Crispino)	Se caracteriza por ser una esfera de color verde claro a verde intenso, es realmente suave y jugosa.	
Lollo Rossa	Se caracteriza por una textura y un sabor suave. En cuanto a color, es diferente a la lechuga iceberg, puesto que es rojiza en las orillas de la hoja y verde en el centro, se	

	adapta a diferentes condiciones de luz, lo cual la hace muy resistente.	
Vulcan	Son de sabor suave, son rojas en las puntas con una base verde.	
Jericho	Esta variedad, también denominada, lechuga romana, se caracteriza por ser consumida hoja por hoja, tener una hoja mas gruesa	
Cherokee	Es una variedad de lechuga romana, su color es totalmente diferente a las anteriores, es de color vino tino intenso y es apta a climas calorosos.	
Radicchio	Esta lechuga es característica por tener un sabor amargo y algo picante. No se desarrolla bien en climas cálidos ni áridos.	

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Siembra

Esta hortaliza crece fácilmente en cualquier entorno, dado a que es una planta que se adapta a diversos espacios, condiciones y climas, en condiciones ideales, se prefiere

condiciones de medio o completo sol junto con un suelo bien abonado y rico en nutrientes, por lo que hay que hacer una mezcla entre tierra negra y tierra de hoja.

Hay dos formas de sembrar este alimento, siembra directa, en donde se utilizan unas camas de cultivo como contenedores o huacales con una profundidad de 30 cm, es necesario nivelar bien el suelo y trazar surcos de aproximadamente 2 cm de profundidad a lo largo del contenedor o huacal, es necesario tener en cuenta que entre surcos debe haber una separación entre 8 a 10 cm de distancia. Siendo así, se coloca una semilla de lechuga cada 2 cm y se cubre cada semilla con un poco de tierra para ser, posteriormente regada con un poco de agua.

Por otro lado está la siembra de trasplante en donde en donde es completamente necesario tener un semillero o contenedor que posea una nutriente mezcla de sueño con material orgánico de abono. Seguido a esto, es necesario hacer orificios de 0,5 a 1 cm de profundidad en donde se posará la semilla, para después, ser cubierta con mezcla de suelo y ser irrigada con agua. En este método, las plántulas empiezan a brotar entre 4 a 6 días, para ser trasplantadas cuando el segundo par de hojas verdaderas ya haya crecido. En el trasplante de las plántulas es importante tener en cuanto que, las plantas se deben replantar cada 20 cm, dependiendo de la variedad, al sacar las plántulas se debe tener cuidado con las raíces, dado que este paso es irritante para las plantas.

Para este trabajo investigativo se realizó la siembra directa, dado que la finalidad del proyecto no ameritaba para realizar un método adicional como lo es el de trasplante de las plántulas, sin mencionar que en este proceso había factores externos a la ingeniería de este documento investigativo, que, podrían afectar directamente en los resultados de este trabajo de grado.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Cuidados

Si bien el objetivo de este proyecto es monitorear la temperatura interna de las plantas, se veía necesario tener algunos cuidados básicos en la planta, para que esta no se viera afectada por factores externos que alteran o distorsionan los resultados y conclusiones del trabajo experimental de esta investigación; por esto, a continuación se enuncian los cuidados básicos tenidos en cuenta en la siembra, desarrollo y cosecha de las plantas (Via Orgánica, 2015).

- Mantenimiento de la humedad en el suelo con el objetivo de que la planta se desarrolle adecuadamente, sin necesidad de sobresaturarla de agua, lo cual habría incrementado el estrés hídrico de la hortaliza y habría promovido la aparición de enfermedades.
- Cuidado contra las plagas y usando un agrovelo[1], el cual cumplía la función de mantener la temperatura en las noches.
- Revisión de los cogollos diariamente para monitoreo físico de daños en hojas y en tierra.
- Deshoje de hojas muertas o viejas.

Con esto, nos permitimos decir que muchos de estos cuidados contribuyeron a que los datos arrojados por el sensor, posteriormente almacenados, fueran consistentes y coherentes con el desarrollo de la planta, así como este monitoreo abrió una puerta hacia el sistema de riego de la planta.

Plagas y enfermedades

Las principales plagas de este tipo de hortalizas son pulgones, caracoles y babosas, por lo que fue necesario usar agro web y demás cuidados sanitarios para evitar enfermedades y plagas que alteraran el resultado final.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Lechuga en agricultura de precisión y en cultivos urbanos

En adición, se implementa un sistema en tiempo real que rastree y monitoree la vegetación del cultivo en cada momento, por lo que se emplea un cultivo urbano de Lechuga, una hortaliza fuertemente presente en la dieta de la población humana, en donde se facilite la recolección de datos de su crecimiento y desarrollo y con base a

[1] Agrovelo: manto que generalmente es de polipropileno que protege a las plantas de factores físicos externos como insectos y lluvia (Via Orgánica, 2015).

estos tomar acciones correctivas o preventivas en el cuidado de la planta y manejo de insumos o sistema de irrigación. Para que un cultivo de lechuga se desarrollo de manera exitosa es necesario tener en cuenta aspectos como los registrados en la tabla No. 1.

Tabla No. 1 "Requerimientos climáticos para un cultivo de lechugas"

REQUERIMIENTO	RANGO
Temperatura	Germinación: oscila entre 18°C Fase de crecimiento: 14°C-18°C en el día y en la noche 5°C-8°C. Mínima 30°C Máxima -6°C
Humedad Relativa	Entre 60 y 80%
Ph Optimo	6.7 y 7.4
Riego	De 200 -400 ml por planta

Los Libertadores
Fundación Universitaria

6.2 Agricultura de precisión.

La Agricultura de precisión (Edan & Gaines E. , 1994) surgió en Estados Unidos como un ciclo de retroalimentación anual donde se obtenían resultados relacionados con aplicación de insumos en función de las necesidades específicas del terreno. Con el paso del tiempo se empezaron a utilizar las TIC para mejorar el manejo de suelos y cultivos; como resultado, las aplicaciones de AP se extendieron y adaptaron a diferentes labranzas, productos y países. La AP se define como un conjunto de procedimientos y procesos que buscan optimizar espacial y temporalmente el ciclo de vida de diferentes cultivos a través de tecnologías, elementos y estudios de manera amigable con el medio ambiente.

Existe un consenso general acerca de las tecnologías y elementos que se utilizan en la agricultura de precisión, los cuales se encuentran abarcados por la geomántica o disciplina de reunir, analizar, interpretar, distribuir y utilizar información geográfica. Dichas tecnologías y elementos se describen a continuación.

- Sistemas de Posicionamiento: Claves para el control de tráfico agrícola, puesto que proveen datos en tiempo real de su ubicación, facilitan así su gestión y control, y permiten la implementación de rutas óptimas. Dentro de estos sistemas de destacan GPS, GLONASS, Galileo y Beidou.
- Tecnologías de tasa variable (VRT, Variable Rate Technologies): hacen referencia a elementos de aplicación de fertilizantes, pesticidas, herbicidas, agua y suplementos necesarios para el cultivo.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Figura No. 01 “Clasificación de cultivos”

A partir de la figura anterior, se observa como los cultivos se clasifican, teniendo en cuenta que la medición de variables es igual de importante en los cuatro, si lo que se desea es tener una planta saludable en buenas condiciones de humedad y temperatura.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

6.3 Medición de temperatura

La medición y control de la temperatura de las plantas de un cultivo, independiente de su tamaño, se ve imperante dado que esta variable es una herramienta para el cálculo del estrés hídrico de la planta, el cual, según Moreno en su artículo de revisión, es una respuesta desarrollada por las plantas para sobrevivir en condiciones climáticas difíciles con un constante déficit hídrico (Moreno , 2008), puesto que el agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, en algunas horas puede escasear.

Entonces, ¿por qué medir la temperatura?, porque esta variable indica de manera implícita el estado de la planta, dado que por medio de algunos cálculos últimamente desarrollados, se pueden determinar las horas más propicias el riego de los cultivos, empleando, como es el caso de este trabajo, herramientas de medición de la temperatura, para así, organizar y generar un sistema de riego propio de la agricultura de precisión (Moreno , 2008).

Adicionalmente la temperatura puede desencadenar estrés térmico, el cual se ha venido investigando empleando imagenología, entre estos, (InfraRed) IRo índices espectrales de la vegetación como el diferencial normalizado, los sensores multi-angulares en 3D y la fluorescencia para el diagnóstico de diferentes tipos, para medir la temperatura de la corteza del vegetal que incide en la capacidad para absorber, reflejar y transmitir la radiación (Chaves Barrantes & Gutiérrez Soto, 2017).

Siendo así, uno de los factores apremiantes en la agricultura, sin importar su proporción, es la temperatura, es decir la temperatura de la primer barrera que tiene la planta contra el sol o cualquier fuente térmica, puesto que este es un indicador del índice de estrés hídrico de la planta ya que la oscilación en esta variable implica un cambio en la productividad del cultivo. Con esto, se busca optimizar mediante agricultura de precisión los procesos diarios, como riego, teniendo en cuenta características atmosféricas como la temperatura a partir de los datos recolectados en una base de datos medidos a través de un sensor idóneo de la temperatura de la planta. Con esto, ratificamos la importancia de medir la temperatura superficial de la planta, debido a que el proceso de transpiración y crecimiento de la vegetación está directamente implicado con la temperatura, puesto que una fotosíntesis con buen rendimiento y eficiente se da entre 25 y 28ºC (OCW, s.f.).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

6.4. Elementos de medición de la temperatura.

Para el correcto desarrollo de este trabajo investigativo, fue necesario evaluar alguno de los elementos de medición más empleados en la industria y a nivel laboratorio, para determinar finalmente el óptimo para el caso de estudio.

#	Artículos Seleccionados	Parámetros de Medición y sus Sensores					
		Humedad	Temperatura	Capacitivos	Capacidad de Intercambio Catoico (CIC)	Potencial de Hidrogeno (PH)	Conductividad Eléctrica
1	Respuesta del calabacína la conductividad eléctrica del nutriente solución de cultivo hidropónico	SPSS 17 software	SPSS 17 software	X	SPSS 17 software	SPSS 17 software	SPSS 17 software
2	Control de pH, conductividad y monitoreo del nivel de agua para el cuidado cultivos hidropónicos de uso doméstico	X	X	X	X	Arduino UNOAnalog pH Meter Pro	Arduino UNO“MinieC” de Sparky’s Widgets
3	Control de optimización ambiental cultivo hidropónico	SHT71, HIH 4000 y 4030, DHT11	Temocupla tipo J,K, PT100 y LM35	Arduino Mega 2560	X	X	X
4	Manejo sostenible de tierras para cultivos de bioenergía	Arduino UNO	Arduino UNO	X	X	X	X
5	Monitoreo de temperatura, humedad y PH en sistema de lombricultura	Conversor Análogo Digital ADC620	RTD de platino de película	X	X	Conversor Análogo Digital ADC620	X
6	Pirometro	X	Radiación por medio	X	X	X	X

Los Libertadores
Fundación Universitaria

			de la ley Stefan Boltzman				

6.4.1 Sensores de temperatura

- **Sensor DHT22**

El sensor DHT22 es un sensor digital de temperatura y humedad, este sensor emplea un sistema capacitivo de humedad y un trasmistor para medir el aire circundante en un área específica. Este sensor se caracteriza por mostrar los datos mediante una señal digital en el pin de datos, haciendo la salvedad de que no hay pines de entrada analogica.

Este sensor, también se caracteriza por su facildad de uso, sin embargo, requiere sincronizacion cuidadora para tomart datos, con el limitante de que, únicamente se pueden obtener datos cada 2 segundos, por lo que las medidas se hacen minimo cada dos segundos. Al momento de investigacion, se evidencio que si se deseaba conectar mas de un sensor, era necesario que cada uno tuviera su propio pin de datos. Algunas de las caracteristicas tecnicas de este sensor son:

Los Libertadores
Fundación Universitaria

- Alimentacion: 3.3 Vdc ≤ Vcc ≤ 6Vdc
- Rango de medicion de temperatura: -40ºC – 80ºC
- Precision de la medicion de temperatura: <±0,5°C
- Resolucion Temperatura: 0,1ºC
- Rango de medicion de la humedad; de 0 a 100%RH
- Tiempo de sensado: 2 segundos

- **SKU (SEN0137)**

Este es un sensor de baja tecnologia que mide la humedad en primera instancia, y la temperatura del suelo, sin embargo, se tuvo en cuenta por que, según Perea en su trabajo, es propicio para cultuvos urbanos o jardines.

Se trata de una herramienta que cuenta con dos sondas para conducir corriente electrica a traves del suelo circundante, para posteriormente medir la resistencia y obtener la humedad, y por medio de metodos numericos, determinar la temperatura. Es util para recordar al usuario que debe regar las plantas o monitorear el jardin o cultivo. Cuenta con las siguientes especificaciones:

- Fuente de alimentacion: 3.3 V o 5 V
- Señal de tensión de salida: 0 – 4.2V
- Corriente: 35 mA
- Tamaño: 60x20x5 mm (2.36x0.79x0.2")

- **LM35**

Partiendo de que el sensado es el primer paso de este proceso, se encuentra el sensor LM35 como un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1ºC, y un rango de medición entre -55ºC hasta 150ºC.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Este sensor cuenta con una salida lineal y cada grado equivale a 10mV, por lo que se entiende que:

150ºC = 1500 mV
-55ºC = -550 mV

Este, opera de 4v a 30v, se encuentra calibrado directamente en grados Celsius, tiene una precisión garantizada de 0,5ºC a 25ºC, por el fabricante, con una baja impedancia de salida y baja corriente de alimentación, sin mencionar su bajo costo. Es importante mencionar que el sensor LM35 no requiere de circuitos adicionales para calibrarlo externamente; sus características técnicas, anteriormente mencionadas, hacen posible que este integrado sea instalado de manera fácil en un circuito de control.

- **Sensor PT100**

Un sensor PT100 es un sensor de temperatura que a 0ºC tiene 100 Ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. Un sensor de esta naturaleza, es el corazón de cualquier termómetro que funcione por resistencia, es un mecanismo ampliamente usado en la industria, por su forma de montaje y sus características que, básicamente, determina cada uno de sus productores.

Es importante mencionar que el incremento de la resistencia del PT100 no es lineal, este incremento tiene naturaleza creciente y es característico del metal que tiene en su interior, platino. Este sensor es levemente mas costoso, en comparación con los demás expuestos, sin embargo, no son tan rigidos, mecánicamente hablando, como los termopares, superando a estos en aplicaciones de bajas temperaturas (-100ºC a – 200ºC) (SRC, s.f.).

Este tipo de sensor puede, fácilmente entregar precisiones de una decima de grado con la ventaja de que no se descomponen gradualmente, entregando lecturas erróneas.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

- **Termopar y Termistor**

El uso de sensores termopares es cada vez mas extenso en la industria, pese a su facilidad de empleo y bajo costo. Los termopares utilizan la tensión generada en la unión de dos metales en contacto térmico, debido a sus distintos comportamientos eléctricos. Se encontró que la instalación de este tipo de sensores exige requerimientos especiales para evitar corrientes de inducción de algunas fuentes eléctricas cercanas que interfieran en la medición (Rodriguez Ramirez, 2006). En la siguiente tabla, se resumen algunas de las características eléctricas y del acondicionamiento de la señal características de estas herramientas de medida.

Tabla No. “Especificaciones termopar, termistor y sensor IC” (Rodriguez Ramirez, 2006)

Sensor	Características Eléctricas	Acondicionamiento de señal
Termopar	● Termopares parásitos ● Baja salida de voltaje ● Baja sensitividad	● Compensación Col-Injection ● Gran amplificación ● Alta resolución

	• Salida no lineal	• Linealización
Termistor	• Resistencia de salida • Alta resistencia y sensitividad • Drástica salida no lineal	• Excitación de corriente • Alta resolución • Linealización
Sensor IC	• Alto nivel de voltaje o corriente a la salida • Salida lineal	• Fuente de poder • Ganancia moderada

- **Termopar tipo K**

El termopar tipo K tiene un conductor positivo de níquel- cromo y un conductor negativo níquel-aluminio. Existen calibraciones tipo R, S, B, G, C y D para la alta temperatura que ofrecen un rendimiento de hasta 2320ºC. Estos sensores están hechos de metales como; platico, rodio, tungsteno y renio, por lo que son caros.

La calibracion de cada sensor depende de su entorno de desarrollo dado que cada una tiene un rango de temperatura diferente. (OMEGA, s.f.)

- **Sensor RTD**

El sensor de temperatura RTD, esta basado en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura, por ejemplo, la escogencia del platino en los sensores RTD, permite realizar un mayor numero de medidas, a un índice mas alto de exactitud y estabilidad, en comparación con los otros metales empleados (Lopez Bernal, Chavez Porras, Ospina, & Gomez Rivera , 2013).

Tabla No. --- “Tipos y características de sensor RTD” (Lopez Bernal, Chavez Porras, Ospina, & Gomez Rivera , 2013)

Características	**Sensor**				
	RTD de platino de película	*RTD de platino bobinada*	*Termopar*	*Termistor*	*Silicio*
Coste del sensor	Moderado a bajo	Moderado	Bajo	Bajo a moderado	Bajo
Coste del sistema	Moderado	Moderado	Alto	Bajo a moderado	Bajo

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Campo de medida	-200 a 750ºC (560ºC máx., típicamente)	-200 a 850ºC (600ºC máx., típicamente)	-270 a 1800ºC	-200 a 850ºC (600ºC máx., típicamente)	-40 a 125ºC
Intercambiabilidad	±0,1%, ±0,3%	±0,6%, ±0,2%	±0,5%, ±2%	±10%, ±0,2%	±1%, ±3%
Estabilidad	Excelente	Excelente	Pobre	Moderada	Moderada
Sensibilidad	0,39%/ºC	0,39%/ºC	0,4µ/ºC	-4%/ºC	10 mV/ºC
Sensibilidad relativa	Moderada	Moderada	Baja	Muy Elevada	Moderada
Linealidad	Excelente	Excelente	Moderada	No es lineal	Moderada
Pendiente	Positiva	Positiva	Positiva	Negativa	Positiva
Susceptibilidad al ruido	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja

- **Pirómetro**

Este extensamente usado instrumento es una herramienta que facilita la medición de la temperatura sin necesidad de estar en contacto con la superficie, generalmente este permite medir temperaturas superiores a 600ºc, es empleado frecuentemente en la industria de metales incandescentes o en operaciones que empleen temperaturas significativas.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Actualmente hay diferentes variedades de pirómetros, sin embargo el empleado en el trabajo de investigación tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla No. – "Especificaciones técnicas pirómetro (SONEL, s.f.)"

Características	Parámetros
Intervalo de medida	-10ºc – 70ºc
Exactitud	± 0,1ºC
Vida media de la batería	Aproximadamente 100hr en uso continuo
Peso/Dimensiones	11g / 129x22x14 cm (Dimensiones del estuche protector)
Condiciones optimas	10ºc – 35ºc / 60 ± 20%humedad relativa

Transporte y Almacenaje	25 – 55 ºC / 60 ±10% Humedad relativa
Tiempo de medicion	± 5 seg

Partiendo que este instrumento de medición, toma la radiación para calcular la temperatura, es importante tener en cuenta los siguientes datos:

Tabla No. – “Rango de temperatura en infrarrojo para pirómetro ------ (SONEL, s.f.)”

Rango de temperatura en Infrarrojo	D:S	Resolución	Precisión	
-32ºC – 380ºC -25,6ºF - -716 ºF	13,1	0,1ºC 0,1ºF	-31ºC - -20ºC	± 5ºC
			-20ºC – 200ºC	± (1,5%v.m. +2ºC)
			200ºC – 380ºC	± (2%v.m. +2ºC)

Finalmente, es importante mencionar que este es un instrumento de medición que emplea una sonda tipo K, que da el resultado en ºC o en ºF y que cuenta con un coeficiente de emisividad ajustado digitalmente en un rango de 0,1 a 1 (SONEL, s.f.). Se emplea un instrumento de este tipo debido a su facilidad de empleo y gran aporte al objeto investigativo, dado que la temperatura de la corteza de la planta representa una característica importante en el desarrollo y bienestar de la planta, en agricultura a pequeña, mediana y gran escala.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

6.4.1 Sistemas de información

Los trabajos encontrados que pueden clasificarse en esta sección son relativamente pocos, empezando por Ye et al.[27] quienes presentan resultados de investigación acerca de la aplicación del internet de las cosas (IoT: Internet of Things) y los SIG basados en Web (WebGis) en la agricultura. Proponen un modelo de gestión de AP basado en cuatro plataformas: plataforma de infraestructura de información espacial, plataforma de IoT, plataforma de gestión de agricultura y cliente móvil.

En los años Noventa específicamente en 1921 ya se tenía la visión que el uso de la electricidad seria esencial desde el punto de vista tanto de la reducción del costo total del poder y la mano de obra como de la obtención de un mayor rendimiento. Es decir, si se quiere mejorar la eficiencia de la agricultura es imperativo un cambio de los métodos actuales (Borlase Matthews, 1992) el autor sostiene que una mayor eficacia, incluida la elusión de las condiciones climáticas adversas, se obtiene fácilmente por métodos eléctricos.

Según el autor Borlase Matthews la aplicación de métodos eléctricos en la tierra no avanzaba mucho debido sin duda a la gran iniciativa requerida por parte del agricultor y a través de la falta de conocimiento de los mejores de transportación mitting electrical sobre la granja, también consideraba que la alta eficiencia en la agricultura solo se podía alcanzar por métodos eléctricos.

A cabo de los años 1994 ya se inicia el estudio de un método de ingeniería para evaluar el rendimiento de un robot agrícola simulando y comparando diferentes tipos de robots, numero de brazos, configuraciones de brazos múltiples, diseño de espacios de trabajo y características dinámicas, se desarrollaron herramientas de simulación numérica para cuantificar medidas de rendimiento de la maquina como el tiempo de ciclo y el porcentaje de éxito (Edan & Gaines E. , 1994).

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Los robots son máquinas perceptivas que se pueden programar para hacer funcionar una variedad de tareas agrícolas tales como trasplantar, cultivar, pulverización, recorte y cosecha selectiva. A pesar de la tremenda cantidad de aplicaciones robóticas en la industria, muy pocos robots son operativo en la producción agrícola. En contra de lo industrial aplicaciones simples, repetitivas, bien definidas y conocidas a priori, un robot agrícola debe lidiar con un desestructurado, incierto y entorno variable que no puede ser predeterminado. Por lo tanto, fundamental las tecnologías deben ser desarrolladas para resolver problemas difíciles como:

Condiciones ambientales variables como la iluminación (debido a nubes, dirección del sol), deja oclusión; y condiciones ambientales hostiles como polvo, suciedad y extrema temperatura y humedad (Edan & Gaines E. , 1994).

7 ELEMENTOS UTILIZADOS

En cuanto al sensor, es necesario tener en cuenta que todos los sensores disponen de una precisión de medida, la cual es variable en función de los parámetros, en este caso, variable en función de la temperatura, sin embargo, también se encontró que esta variación puede estar dada pese a la salinidad, y demás factores en el medio en el cual se efectúa la medida.

Para determinar, finalmente, el uso del sensor AMG8833 8X8 Thermal Camera IR Infrared Array Thermal Imaging, como sensor optimo para el etudio, fue necesario hacer una consulta de los sensores mas usados actualmente, en la industria y a nivel de laboratorio.

7.1 AMG8833 8X8 Thermal Camera IR Infrared Array Thermal Imaging

El equipo AMG8833 8X8 Thermal Camera IR Infrared Array Thermal Imaging de Panasonic es una matriz 8x8 con sensores términos infrarrojos, lo cual, lo hace una cámara térmica lo suficientemente compacta y simple para su aplicación en este campo de investigación. Es importante mencionar que las temperaturas que alcanza a registrar dicho obturador oscilan entre 0 y 80°c ± 2,5°c, lo cual no lo hace la cámara térmica mas precisa del mercado, pero la hace útil para el objeto investigativo de este trabajo; también cuenta con una velocidad de fotogramas máxima de 10 Hz ofreciendo un rendimiento superior a sus anteriores versiones, el AMG8831 (Panasonic, s.f.).

El uso de cámaras infrarrojas en la actualidad es limitada, debido a diversos factores, como su complejidad y costo, sin embargo, muchas empresas líderes en tecnología, han venido desarrollando sensores de tecnología infrarroja que son más exequibles a la población usuaria o en vías de adquirir una herramienta de esta naturaleza. Es importante mencionar, que actualmente no hay muchos trabajos investigativos realizados con tecnología IR, por lo que este sensor se hace idóneo para llevar a cabo esta labor

Los Libertadores
Fundación Universitaria

investigativa. Las cámaras térmicas son normalmente exclusivas debido a su alto precio, sin embargo, Panasonic, su mayor productor, desarrollo el sensor AMG8833, que a pesar de que, no tengo una gran resolución, puede medir temperaturas entre 0 y 80ºC.

Este sensor tiene un arreglo interno de 8x8, que juega con interpolación para obtener imágenes térmicas mas decentes por dicho arreglo se sensores térmicos infrarrojos térmicos 8x8.

Este sensor cuenta con las siguientes características:

- Chip térmico Panasonic AMG8833 (8x8)
- Alimentación 3,3C
- Comunicación; I2C (0x69 o 0x68)
- Pin de interrupción (INT)

En algunos casos, cuando este sensor se conecta a un micro controlador devolverá una matriz de 64 lecturas individuales de temperatura infrarroja. Este sensor mide temperaturas que oscilan entre 0 y 80ºC con una precisión de ±2,5ºC.

En la imagen No. 2 Se encuentra el sensor térmico que se empleo para llevar a cabo este trabajo investigativo.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

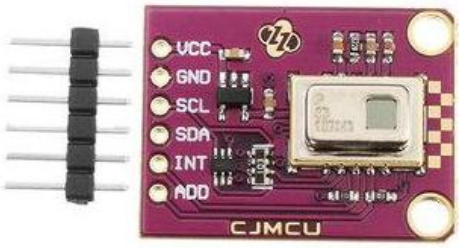


Imagen No. --- “AMG8833 8X8 Thermal Camera IR Infrared Array Thermal Imaging de Panasonic”

7.2 Sensor de Temperatura y Humedad DHT21 AM2301

Este sensor de temperatura y humedad es una versión con cable del DHT21, en un cuerpo de plástico grande. Se trata de un sensor digital básico de bajo costo de temperatura y humedad. Se utiliza un sensor de humedad capacitivo y un termistor para medir el aire circundante, y envía una señal digital en el pin de datos (no son necesarios pines de entrada analógicos). Es bastante simple de usar, pero requiere una cuidadosa sincronización para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos del mismo una vez cada 2 segundos, por lo que al utilizar nuestra librería, las lecturas del sensor pueden ser de hasta 2 segundos atrás.

Simplemente conecte el cable rojo de alimentación a 3-5V, el cable amarillo a su pin de entrada de datos y el cable negro a tierra. A pesar de que utiliza un único pin para enviar datos no es compatible con el protocolo Dallas One Wire! Si desea tener varios sensores, cada uno debe tener su propio pin de datos!

En comparación con el DHT11, este sensor es más preciso, más exacto y funciona en un rango más amplio de temperatura/humedad, pero es un poco más grande y costoso.

- **Características**

Los Libertadores
Fundación Universitaria

- Alimentación: 3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 5.5Vdc
- Corriente: 1-1.5mA
- Rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C
- Precisión de medición de temperatura: <±0.5 °C
- Resolución Temperatura: 0.5°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 3% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de sensado: 2s
- Modelo: AM2301
- Longitud de cable: 25cm

7.2 Sensor de temperatura MLX90614

El Sensor de Temperatura infrarrojo MLX90614 es un chip de silicio con una fina membrana micromecanizada, diseñada para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia. El sensor posee una etapa de amplificación y digitalización de la señal procedente de la membrana. La salida del sensor es lineal y se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente.

El sensor MLX90614 integra un circuito de filtrado de ruido, un conversor A/D de 17 bits de resolución y un procesador digital de señales, entregando un amplio rango de trabajo para objetos desde -70°C hasta 380°C, con una precisión de 0.5°C.

La salida del sensor es de tipo SMBus, que es muy similar al protocolo I2C, además se puede configurar una salida pwm de 10 bits.

- **Caracteristicas**

- Voltaje de Operación: 5V
- Rango de temperatura ambiente de trabajo: -40℃ hasta +170℃
- Rango de temperatura de objeto: -70℃ hasta +380℃
- Precisión: ±0.5°C.
- ADC incorporado de 17 bits
- Protocolo de comunicación SMBUS (I2C)
- No necesita componentes adicionales

Los Libertadores
Fundación Universitaria

8 METODOLOGÍA

Para desarrollar el proyecto se escogio una plata de Lechuga con las siguientes características para su matera: Alto 40 cm, Largo 22 cm, Ancho 40 cm, Fuelle 18 cm, en

la cual se realizò la siembra y se inyectaron sus respectivos nutrientes para que creciera sana.

Se toma la media de las diferentes clases de Temperatura con los sensores S1 (MLX90614), S2 (DHT21 AM2301) y S3 (AMG8833 8X8), utilizando el Nodo ESP32.

Se toman 24 Muestras que equivalen a 24 Horas.

Figura No. 02 “Etapa Experimental”

Los Libertadores
Universitaria

9. ALCANCES Y LIMITACIONES

En cuanto al alcance de este proyecto, se establece que se tiene como finalidad monitorear la temperatura supericial de una planta, en este caso lechuga.

Sin embargo, es preciso mencionar que este trabajo de grado se limitará al manejo de la cámara térmica AMG8833 8X8 (Thermal Camera IR Infrared Array Thermal Imaging de Panasonic), teniendo en cuenta sus características técnicas específicas y usándolas en pro del cumplimiento del objetivo general y específicos de este documento.

El propósito del trabajo investigativo es monitorear la temperatura superficial de la planta empleando este sensor, y así mostrar una aplicación alterna al uso de cámaras térmicas que puede resolverse en un nuevo camino a implementar en la industria para el manejo de cultivos y plantas.

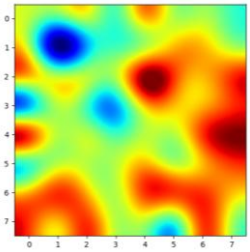
Por otro lado, es importante mencionar que las plantas de lechuga se cultivaran en una matera con las siguientes características Alto 40 cm, Largo 22cm, Ancho 40 cm, Fuelle 18cm, la cual se determinó como la propicia para el objeto de estudio. Seguido a esto, y como se menciona más adelante, en el marco teórico, es necesario realizar un trasplante del vegetal. También es necesario decir que el sistema de riego del vegetal será realizado de forma manual por un usuario, este será calendarizado según las necesidades de la planta.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Foto Real con los sensores en la planta

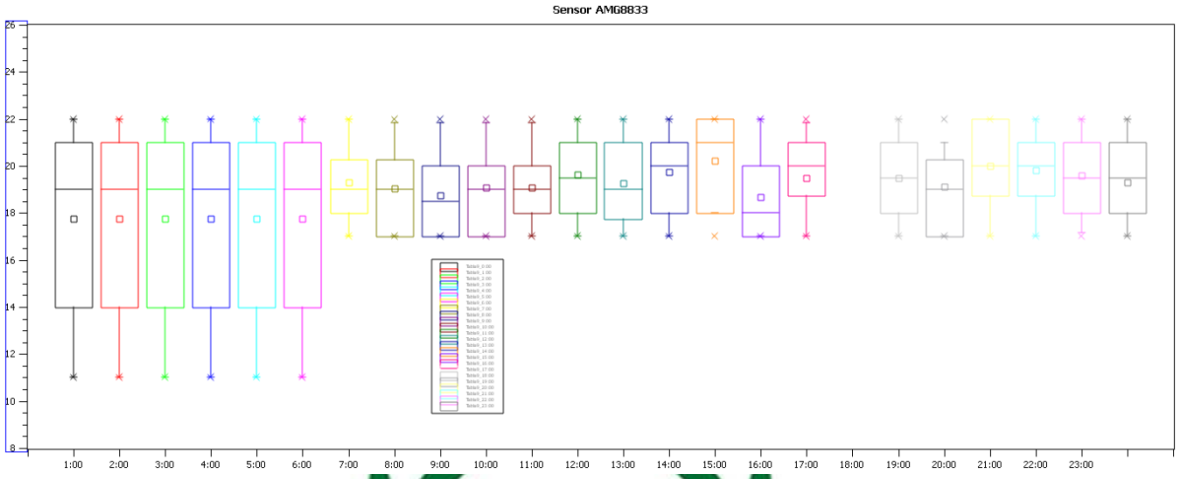
Los Libertadores
Fundación Universitaria

		**AMG8833: 18° +- 3°**
		Humedad: 56%
		DTH21: 17.5°
		Otros: 18.25°

10.1 Diagrama de Cajas Sensor AMG8833

HORA	MEDIA	DESV.ESTANDAR	VARIANZA
0:00	17,75	4,035171458	16,2826087
1:00	17,75	4,035171458	16,2826087
2:00	17,75	4,035171458	16,2826087
3:00	17,75	4,035171458	16,2826087
4:00	17,75	4,035171458	16,2826087
5:00	17,75	4,035171458	16,2826087
6:00	19,9583333	1,731527766	2,99818841
7:00	19,2083333	1,503016291	2,25905797
8:00	19,4583333	1,817288153	3,30253623
9:00	20,2083333	1,503016291	2,25905797
10:00	20,0833333	1,380506103	1,9057971
11:00	19,1666667	1,711004451	2,92753623
12:00	19,9583333	1,680558051	2,82427536
13:00	19,25	1,567329493	2,45652174
14:00	19,9583333	1,654484464	2,73731884
15:00	19,25	1,77543626	3,15217391
16:00	19,2916667	1,627993341	2,65036232
17:00	19,8333333	1,948615265	3,79710145
18:00	18,875	1,776966149	3,1576087
19:00	19,0416667	1,573673815	2,47644928
20:00	19,1666667	1,903467469	3,62318841
21:00	20,4166667	1,316010665	1,73188406
22:00	19,6666667	1,761093205	3,10144928

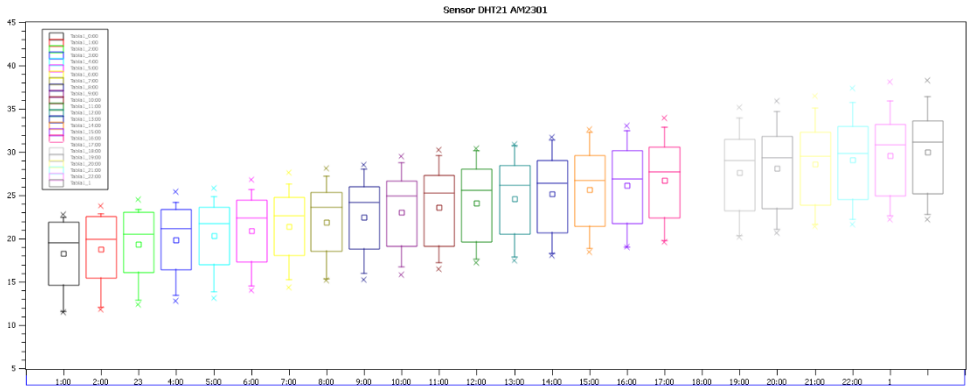
Los Libertadores
Fundación Universitaria



10.2 Diagrama de Cajas Sensor de Temperatura y Humedad DHT21 AM2301

HORA	MEDIA	DESV. ESTANDAR	VARIANZA
0:00	18,0569494	4,0496725	16,39961736
1:00	18,4526579	4,057911203	16,46661392
2:00	18,8483665	4,021678123	16,17389493
3:00	19,244075	4,071725814	16,57895111
4:00	19,6397835	4,09692738	16,78481396
5:00	20,035492	4,115840064	16,94013943
6:00	20,4312006	4,135772847	17,10461704
7:00	20,8269091	4,265069478	18,19081766
8:00	21,2226176	4,360835662	19,01668767
9:00	21,6183261	4,472217981	20,00073367
10:00	22,0140347	4,568995729	20,88112122
11:00	22,4097432	4,613818081	21,28731729
12:00	22,8054517	4,675335862	21,85876542
13:00	23,2011602	4,704383987	22,13122869
14:00	23,5968687	4,709728796	22,18154534
15:00	23,9925773	4,756507589	22,62436445
16:00	24,3882858	4,68900921	21,98680738
17:00	24,7839943	4,731844215	22,39034967
18:00	25,1797028	4,758079726	22,63932268
19:00	25,5754114	4,806759456	23,10493647
20:00	25,9711199	4,781814045	22,86574556
21:00	26,3668284	4,821329937	23,24522236
22:00	26,7625369	4,849469663	23,51735601

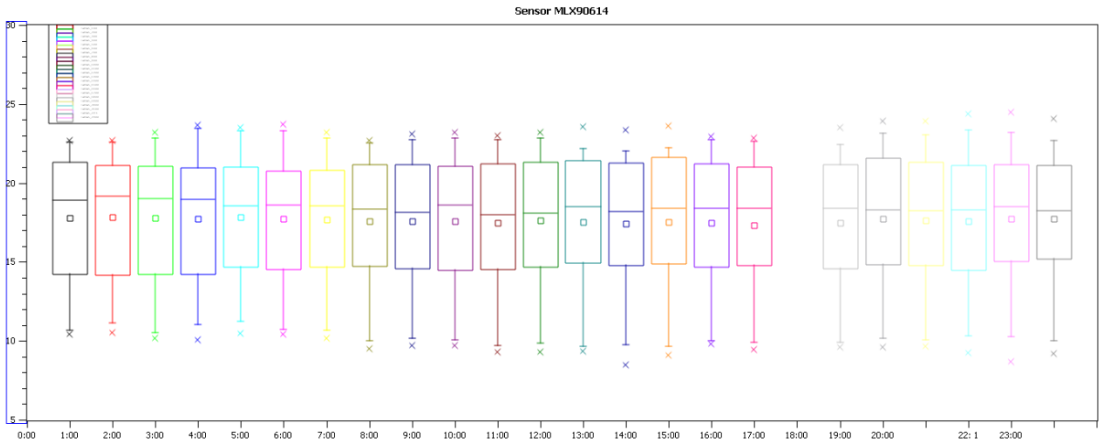
Los Libertadores
Fundación Universitaria

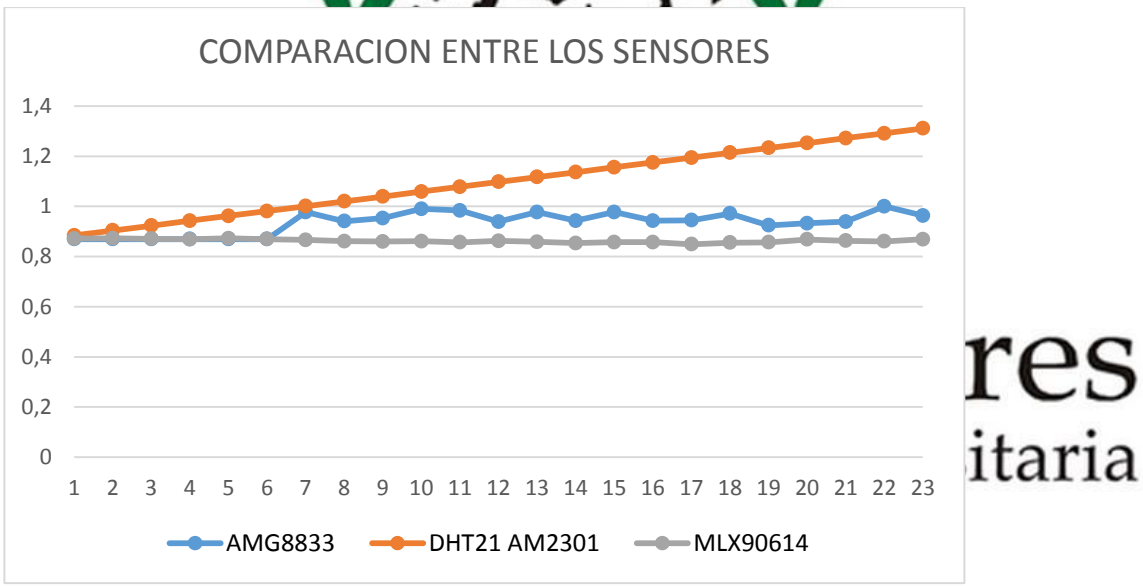


10.3 Diagrama de Cajas Sensor MLX90614

HORA	MEDIA	DESV. ESTANDAR	VARIANZA
0:00	17,78956801	4,145800204	17,18001627
1:00	17,81784696	4,031659208	16,25428
2:00	17,77369202	4,148804013	17,21257471
3:00	17,74072249	4,122967229	16,99985877
4:00	17,81561531	3,978150012	15,82567751
5:00	17,74869699	4,097597808	16,79030779
6:00	17,6813822	4,04522851	16,3638737
7:00	17,57811794	4,17169489	17,40303826
8:00	17,55820295	4,127651339	17,03750558
9:00	17,58119599	4,188094109	17,54013211
10:00	17,49261069	4,226655108	17,86460816
11:00	17,61415549	4,179378238	17,46726246
12:00	17,53543977	4,210587538	17,72504741
13:00	17,4304075	4,242320032	17,99728435
14:00	17,50937904	4,220165987	17,80980096
15:00	17,49963967	4,059267813	16,47765518
16:00	17,33899229	4,09932531	16,80446799
17:00	17,46461323	4,188765751	17,54575852
18:00	17,49285974	4,139833283	17,13821961
19:00	17,72714421	4,204280194	17,67597195
20:00	17,62282463	4,166518129	17,35987332
21:00	17,57511275	4,211391714	17,73582017
22:00	17,74098902	4,303502627	18,52013486
23:00	17,72392762	4,138044929	17,12341583

Los Libertadores
Fundación Universitaria





El Sensor AMG883 se mantuvo por encima de los valores de la Temperatura Ambiente

CONCLUSIONES

- En la consulta realizada se nota una complejidad para el agricultor en la interpretación de los equipos de AP
- En países desarrollados como Europa y Estados Unidos se tiene un amplio conocimientos de la AP ya que su gran aliado es el gobierno por eso su avanzado.
- Se realiza una comparación entre el sensor Infrarrojo AMG8833 y el MLX90614 y muestra un mayor rendimiento en cuanto a la temperatura ambiente.
- El sensor de Temperarura Ambiente presenta un comportamiento creciente debido a que la plata se encontraba en condiciones controladas por lo tanto la Temperatura Ambiente en el del sitio que se encontraba tinde a acumular el calor.

Los Libertadores
Fundación Universitaria

BIBLIOGRAFÍA

Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. Departamento de Agricultura y Proteccion del Consumidor. (2005). *La Agricultura Organica*. Recuperado el 22 de Agosto de 2018, de http://www.fao.org/ag/esp/revista/9901sp3.htm

Perea Palacios, J. (2016). *Diseño de un Sistema de Monitoreo, registro y control de temperatura y humedad para un cultivo de invernadero.* Obtenido de Universidad tecnologica de Pereira: http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7436/621317P434.pdf?sequence=1

Rodriguez Ramirez, J. (2006). *Invernadero. Diseño de un Sistema inalambrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo.* Recuperado el 2018, de Universidad de La Salle: Facultad de Ingenieria de diseño y automatizacion electronica: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16652/T44.06%20R618d.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rodríguez, J. (2012). *Control de temperatura y humedad para cultivo de hongos comestibles Shiitake.* Obtenido de http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/view/3753/6002

Tarqui Delgado, M., Mena Herrera, F., Quino Luna, J., Gutierrez, S., & Ocola, R. (2017). Temperatura Foliar de la lechuga (Lectura Sativa) y aire influenciada por el deficit de presion de vapor. *Revista de investigacion e Innovacion Agropecuaria y de Recursos NAturales* .

Wang, X., Yang, W., Wheaton, A., Cooley, N., & Moran, B. (2009). Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. *Computers and Electronics in Agricuture* .

CID. (s.f.). *Uso de la temperatura foliar como indicador fisiológico temprano de la Marchitez letal (ML) en palma de aceite (Elaeis guineensis, Jacq.)*. Recuperado el 2018, de https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/view/10300

INNOVAGRO. (2014). *Aplicaciondes de la termografia de infrarojos en la agricultura moderna*. Obtenido de https://www.innovagri.es/gestion-del-agua/termografia-infrarrojos-agricultura.html

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Borlase Matthews, R. (1992). *Electro Farming or the application of electricity to agriculture*.

Edan, Y., & Gaines E. , M. (1994). Systems Engineering of Agricultural Robot Design. *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS , 24* (8).

Helmy, Gresia Mahaidayu, M., Nursyahid, A., Agug, T., & Hasan, A. (2017). Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponic Monitoring System Based on Wireless SensorNetwork.

Andaluz, V., Tovar, A., Bedón , K., Ortiz , J., & Pruna , E. (2016). Automatic Control of Drip Irrigation on Hydroponic Agriculture: Daniela Tomato Production .

Desta , Y., Hindersah, H., Hediantna, F., & Agus Triawan, M. (2016). Implementation of real time Fuzzy Logic Control for NFT-Based hydroponix System on Internet Things Environment .

COSMOAGRO. (s.f.). *Principales aspectos de la Agricultura de Precisión*. Recuperado el 2018, de https://www.cosmoagro.com/principales-aspectos-de-la-agricultura-de-precision/

Garcia, E., & Flego, F. (s.f.). *Agricultura de Precision.* Obtenido de Universidad de Palermo: https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf

BIBING US. (s.f.). Recuperado el 2018, de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4966/fichero/f.+Estado+del+arte.pdf

Vinay, P., Devendra N. , S., & Maryam , S. (2017). Compensation of temperature effects for in-situ soil moisture measurement by DPHP sensors. *Computers and Electronics in Agriculture , 141*.

Lopez Lopez, R., Arteaga , R., Vazquez Peña, M., Lopez Cruz, I., & Sanchez Cohen, I. (2009). Indice de estres hidrico como un indicador del momento de riego en cultivos agricolas.

Jaramillo Jaramillo, D. (2010). Variabilidad espacial de la temperatura superficial del suelo y de algunas variables de produccion en cultivos de cristantemo bajo invernadero. *Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellin* .

Houspanossian, J., Schirmbeck, J., Rivas, R., & Vazquez, P. (2007). Relacion entre la temperatura radiativa de la vegetacion y el contenido de agua en suelo. *Teledeteccion - Hcia un mejor entendimiento de la dinamica global y regional* .

Capraro, F. (2017). Revision y Analisis de indices de etado hidrico de cultivos bajo riego utilizando termografia. *Noveno Congreso de Agroinformatica* .

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Via Orgánica. (2015). *Como cultivar Lechuga organica en Casa*. (V. Reynoso, Productor) Recuperado el 16 de 08 de 2018

Moreno , L. (2008). Respuesta de las plantas al estres por deficit hidrico. Una revisión. *Agronomia Colombiana* .

SONEL. (s.f.). PIROMETROS. Recuperado el 2018, de Especificaciones tecnicas : https://www.midebien.com/PDF/Sonel/Termometros-infrarrojos-Sonel-DIT300-DIT500-DataSheet.pdf

Chaves Barrantes, N., & Guitierrez Soto, M. (2017). Respuestas al estres por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquimicos y fisiologicos. *Agronomia Mesoamericana* .

Lopez Bernal, O., Chavez Porras, A., Ospina, E., & Gomez Rivera , W. (2013). Dispositivo para monitoreo de temperatura, humedad y pH en sistemas de lombricultura. *Universidad Nueva Granada* .

OMEGA. (s.f.). *Termopar* . Recuperado el 2018, de ¿Que es un termopar?: https://es.omega.com/prodinfo/termopares.html

SRC. (s.f.). *¿Que es un sensor RTD?* Recuperado el 2018

Los Libertadores
Fundación Universitaria

ANEXOS

Codigo en Arduino

```
1.  ********************************************************************************
    ********/
2.
3.  #include <Wire.h>
4.  #include <WiFi.h>
5.  #include <Adafruit_AMG88xx.h>
6.  #include <WiFiMulti.h>
7.
8.  Adafruit_AMG88xx amg;
9.  float pixels[AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE];
10.
11. WiFiMulti WiFiMulti;
12. const char* ssid     = "WiFi-IoT"; // Your SSID (Name of your WiFi)
13. const char* password = "11111111"; //Your Wifi password
14.
15. const uint16_t port = 1100;
16. const char *host = "172.20.14.124"; // ip or dns
17.
18. void Connect_to_Wifi(){
19.   WiFiMulti.addAP(ssid, password);
20.
21.   Serial.println();
22.   Serial.println();
23.   Serial.print("Wait for WiFi... ");
24.
25.   while (WiFiMulti.run() != WL_CONNECTED) {
26.     Serial.print(".");
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

```
    delay(500);
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
}


void setup() {
    Serial.begin(115600);
    Connect_to_Wifi();
    Serial.println(F("AMG88xx pixels"));

    bool status;
    // default settings
    status = amg.begin();
    if (!status) {
        Serial.println("Could not find a valid AMG88xx sensor, check wiring!");
        while (1);
    }
    Serial.println("-- Pixels Test --");
    Serial.println();
    delay(200); // let sensor boot up
}


void Send_data(String data_send){
  WiFiClient client;
  Serial.print("conectando a ");
  Serial.println(host);

  if (!client.connect(host, port)) {
    Serial.println("connection failed");
    Serial.println("wait 5 sec...");
    delay(5000);
    return;
  }

  client.print(data_send);
  client.stop();
  delay(50);
}
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

```
69.
70. void loop() {
71.   String var, aux = "";
72.    //read all the pixels
73.    amg.readPixels(pixels);
74.
75.    Serial.print("[");
76.    aux = "";
77.    for(int i=1; i<=AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE; i++){
78.      Serial.print(pixels[i-1]);
79.      var = aux + pixels[i-1];
80.      aux = var;
81.      Serial.print(", ");
82.      if(i<AMG88xx_PIXEL_ARRAY_SIZE){
83.        var = aux + ",";
84.        aux = var;
85.      }
86.      if( i%8 == 0 ) Serial.println();
87.    }
88.    Serial.println("]");
89.    var = aux + "";
90.    Serial.println();
91.    //delay a second
92.    Send_data(var);
93.    var, aux = "";
94.    delay(10);
95.
96. }
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Codigo Python

```
import numpy as np

import socket

import sys

import os
```

```
import matplotlib.pyplot as plt


def graficar(imagen):
    imx = imagen.split(",")
    imy = list(np.float_(imx))
    imz = np.array(imy).reshape(8,8)
    ima = imz/imz.max()
    graph = ax.imshow(ima, cmap=plt.cm.get_cmap('jet'), interpolation='lanczos')
    #graph = ax.imshow(ima, cmap=plt.cm.hot, interpolation='lanczos')
    #plt.show(block=False)
    graph.set_data(ima)  # updates heat map in real-time'
    plt.draw()  # plots updated heat map
    plt.pause(0.01)
    plt.show()
    print(imz)


def clear_all():
    """Clears all the variables from the workspace of the spyder application."""
    gl = globals().copy()
    for var in gl:
        if var[0] == '_': continue
        if 'func' in str(globals()[var]): continue
        if 'module' in str(globals()[var]): continue
        del globals()[var]


clear_all()
HOST = ''  # Symbolic name, meaning all available interfaces
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

```
PORT = 1100  # Arbitrary non-privileged port

s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
print 'Socket created'

# Bind socket to local host and port
try:
    s.bind((HOST, PORT))
except socket.error as msg:
    print 'Bind failed. Error Code : ' + str(msg[0]) + ' Message ' + msg[1]
    s.setblocking(False)
    s.close()
    os.system("python /home/nn/PycharmProjects/Punto/amg8833.py")
    sys.exit()

print 'Socket bind complete'

# Start listening on socket
s.listen(0)
print 'Socket now listening'

fig, ax = plt.subplots()
fig.set_tight_layout(True)
plt.ion()

# Query the figure's on-screen size and DPI. Note that when saving the figure to
# a file, we need to provide a DPI for that separately.
#print('fig size: {0} DPI, size in inches {1}'.format(fig.get_dpi(), fig.get_size_inches()))
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

```
while 1:
    conn, addr = s.accept()
    #print 'Connected with ' + addr[0] + ':' + conn.recv(1024)
    im = conn.recv(1024)
    #print (im)
    conn.setblocking(False)
    conn.close()
    graficar(im)

s.close()
```

Los Libertadores
Fundación Universitaria

Los Libertadores
Fundación Universitaria