



Antonio José de Sucre
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA

**SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA
PRODUCCION DE HORTALIZAS HIDROPÓNICAS CON ALTO CONTENIDO
NUTRICIONAL EN LA CORPORACIÓN UNIVERSITARIA ANTONIO JOSÉ DE
SUCRE.**

**ANGEL ZAMAR MESA SIERRA.
CARLOS ANDRÉS MARTÍNEZ SUAREZ.
AUTORES**

**ASESOR METODOLÓGICO: SERGIO ANTONIO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ.
ASESOR TEMÁTICO: HENRIQUE JAVIER ROMERO CÁRDENAS.
ASESOR TEMÁTICO: ROLANDO JOSÉ LÓPEZ MARTÍNEZ**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA- SEMESTRE NOVENO

2021

Contenido

Resumen	5
1. Introducción	6
2. Planteamiento del problema.....	7
3. Justificación.	10
4. Objetivos.....	12
4.1. Objetivo general	12
4.2. Objetivos específicos.....	12
Marco teórico.....	13
5.Criterios de selección tecnológica.	13
5.1. La temperatura y humedad relativa del aire.....	13
5.2. Dióxido de carbono	14
5.3. Intensidad luminosidad	15
5.4. Conductividad del agua	17
5.5. Concentración de PH y temperatura de la solución nutritiva.....	18
5.6. Tiempo de macronutrientes y micronutrientes en el sistema.	20
5.7. Tarjeta del sensor de pH	21
5.8. Tarjeta principal de procesamiento.	22
6. Marco conceptual	26
6.1. Temperatura.....	26
6.2. Humedad	26
6.3. Concentración de dióxido de carbono	27
6.4. Brillo solar	27
6.5. Concentración de pH en la solución nutritiva.....	29
7. Estado del arte.....	29
8. Metodología.....	32
8.1. Diseño de investigación.....	32
8.2. Procedimiento de la investigación.....	33
8.2.1. 1er etapa. Estudio descriptivo.	33
8.2.2. 2da etapa. Desarrollo tecnológico	34
8.2.3. 3ra etapa. Validación del prototipo.....	34
9. Cronograma de actividades	36
10. Resultados.....	36
12. Conclusion.	48

13. Recomendaciones.....	50
14. Bibliografía	51

Lista de tablas.

Tabla 1. Especificaciones técnicas sensor de humedad y temperatura.	13
Tabla 2. Especificaciones técnicas sensor de dióxido de carbono.....	14
Tabla 3. Especificaciones técnicas sensor de intensidad lumínica.	16
Tabla 4. Especificaciones técnicas sensor de luz visible seis landas.....	16
Tabla 5. Especificaciones técnicas sensor de conductividad.	17
Tabla 6. Especificaciones técnicas sonda de medición de la temperatura de la solución.	18
Tabla 7. Especificaciones técnicas sensor de pH.....	20
Tabla 8. Especificaciones técnicas módulo relé.	21
Tabla 9. Especificaciones técnicas microcontrolador.	23
Tabla 10. Especificaciones técnicas raspberry pi 3.	24
Tabla 11. Especificaciones técnicas módulo RTC.....	25
Tabla 12. Primera etapa. Desarrollo investigativo.....	33
Tabla 13. Segunda etapa. Desarrollo tecnológico.	34
Tabla 14. Tercera etapa. Implementación del sistema.	34
Tabla 15. Cronograma de actividades.....	36
Tabla 16. Comparación en diferentes horas entre la temperatura y la humedad comparación en diferentes horas entre la temperatura y la humedad.	39
Tabla 17. Tiempos de irrigación establecidos en el invernadero hidropónico.....	41
Tabla 18. Experimento #1	46
Tabla 19. Experimento #2	47
Tabla 20. Experimento #3	47

Lista de figuras.

Figura 1. Sensor temperatura y humedad Fuente: ferretronica, (2020)	13
Figura 2. Sensor de CO2 MG811 Fuente: vistrónica,(2019).	14
Figura 3. Sensor de luz TSL2591. Fuente: Autores del proyecto.....	15
Figura 4. Sensor de luz AS7262 Fuente: Autores del proyecto.....	16
Figura 5. Sensor de conductividad eléctrica analógico para ARDUINO. Fuente: didacticaselectronicas, (2020)	17
Figura 6. Sensor de temperatura DS18B20 para la solución nutritiva. Fuente: electronilab, (2020).....	18
Figura 7. Sensor de pH analógico para ARDUINO. Fuente: ferretronica, (2020).....	19
Figura 8. Módulo relé de dos canales para ARDUINO Fuente: vistrónica , (2020)	20
Figura 9. Tarjeta de control sensor de pH fuente: autores del proyecto.	22
Figura 10. Tarjeta de control Arduino Fuente: vistrónica, (2020).....	22
Figura 11. Raspberry pi 3. Fuente: (amazon, 2020)	24
Figura 12. Módulo RTC_DS1307, para el control fuente: (mercadoshops, 2019)	25

Figura 13. Temperatura promedio por hora en la ciudad de Sincelejo fuente: (Ideam, 2019)	26
Figura 14. Influencia de la concentración de Co2 en un invernadero. Fuente: (nutricontrol, 2015)	27
Figura 15. Rango fotosintético activo Fuente: (California Lightworks, 2016)	28
Figura 16. Diagrama de bloque del sistema propuesto. Fuente: Autores del proyecto.	35
Figura 17. Estructura general del invernadero prototipo fuente: autores del proyecto.	38
Figura 18. Sensor temperatura y humedad Fuente: autores del proyecto.	39
Figura 19. Medición de luminosidad fuente: autores del proyecto.	40
Figura 20. Medición de luminosidad Fuente: autores del proyecto.	40
Figura 21. Sensor de temperatura de la solución nutritiva y sonda del pH fuente: autores del proyecto.	41
Figura 22. Caja circuito de control del invernadero fuente: autores del proyecto.	42
Figura 23. Pantalla de visualización de los datos obtenidos por los sensores fuente: autores del proyecto	42
Figura 24. Captura de información por los sensores. Fuente: autores del proyecto.	43
Figura 25. Estructura final externa del prototipo de invernadero hidropónico fuente: autores del proyecto.	44
Figura 26. Estructura final interna del prototipo de invernadero hidropónico Fuente: autores del proyecto.	44
Figura 27. Primera prueba en el invernadero fuente: autores del proyecto.	45
Figura 28. Lechuga crepa morada, experimento # 1. Fuente: autores del proyecto.	45
Figura 29. Lechuga crepa morada, experimento # 2 fuente: autores del proyecto.	46
Figura 30. Lechuga crespita morada, Experimento número 1 fuente: autores del proyecto.	47

Resumen

Las urbes modernas crecen a ritmos acelerados, esto debido al fenómeno de explosión demográfica causado por el aumento en la natalidad y la migración desde las zonas rurales hacia la urbana, por lo que las exigencias de agua y alimento que éstas necesitan día a día aumentan cada vez más, mientras que las tierras son cada vez menos productivas debido a los efectos de la sobreexplotación industrial y los efectos del cambio climático; es por ello que los invernaderos hidropónicos vienen en auge, brindando la capacidad de producir distintos alimentos durante todo el año, y ahorrando materias primas, como agua, área de cultivo entre otras. Para mejorar estos sistemas de producción se propone el diseño de un sistema de monitoreo y control automatizado y de bajo costo para la producción de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional. El desarrollo de esta propuesta tecnológica se concibe como una solución a los problemas de implementación de estos sistemas que son de difícil adquisición ya sea por costos, porque no cumplen con los requisitos o porque no son de uso libre. El método se enmarcó en un enfoque cuantitativo y se desarrolló en 3 etapas; la primera de estas corresponde a la investigación de los parámetros necesarios para una producción óptima y eficiente de cultivos, mediante la identificación de las tecnologías de producción hidropónica más aptas a las condiciones de CORPOSUCRE y el estudio de los parámetros técnicos para la automatización del invernadero, la segunda etapa fue el desarrollo tecnológico del prototipo, por lo que se realizó el diseño del mismo en base a los parámetros operacionales definidos en la primera etapa y por último la validación de la funcionalidad y operatividad de este. Al finalizar esta propuesta se identificó que el uso de estas tecnologías son una solución muy práctica al momento de implementar las siembras hidropónicas, logrando monitorear parámetros ambientales o medidas físico-químicos, permitiendo una producción óptima y eficiente durante todo el año y con altos estándares de calidad.

1. Introducción

Cuando se hace referencia al cultivo hidropónico automatizado, inicialmente se resaltan las ventajas y desventajas que existe entre un sistema de cultivo hidropónico y el cultivo convencional. Como bien se sabe, la población humana está aumentando y por ende las exigencias de alimentación aumentan consigo misma, según (ONU, 2019) en 2018, por primera vez en la historia, las personas de 65 años o más a nivel mundial superaron en número a los niños menores de cinco años. Sin embargo, para 2050 la población de África Subsahariana podría duplicarse y la India superaría a China como el país más poblado, llegando el planeta a los 9000 millones de habitantes en ese año.

Por ende, la cosecha con los métodos tradicionales en el futuro se verá afectada, ya sea por las exigencias de la raza humana o por los cambios en el planeta debido al cambio climático. La producción de hortalizas en los invernaderos hidropónicos es una forma de generar alimentos en los sectores rurales y urbanos, que en conjunto con un sistema de monitoreo y control automatizado puede tener la capacidad de optimizar la producción e incluso llegar a producir alimentos de gran calidad y con poca intervención humana, además de que la hidroponía brinda una forma de ahorrar elementos necesarios para la producción como lo es el agua, espacio, entre otros factores. Lo que brinda una mejor calidad en la producción final, esta es una forma de mitigar la problemática mundial que se espera para el futuro; esto según un estudio de la (FAO, 2015) afirma que, otra preocupación que se plantea con frecuencia es que gran parte del mundo se dirige hacia la escasez de agua. Puesto que a la agricultura se destina el 70% aproximadamente de toda el agua utilizada para uso humano, se teme que esto pueda afectar al futuro de la producción de alimentos. Una vez más, no parece que haya razón para alarmarse a nivel mundial, pero en algunos países, regiones y localidades, vienen sufriendo de escaseces de agua. Los recursos renovables de agua disponibles en una zona dada, consisten en la cantidad añadida por las precipitaciones y el caudal fluvial entrante menos la cantidad perdida por evapotranspiración.

Hoy en día a nivel mundial, existen sistemas de monitoreo y control automatizado que permiten al productor hidropónico revisar el proceso de su producción, como lo es la empresa (Spread, 2019), la cual posee tecnología hidropónica de punta en automatización,

de tal manera que cuenta con una producción diaria cerca de treinta mil lechugas por día, con el trabajo de apenas 25 empleados, teniendo una producción anual de once millones de lechugas, las cuales son cultivadas con el uso de luz artificial. Esta empresa genera producción durante todo el año sin verse afectada por las estaciones, ni tampoco por el cambio climático, todo sin pesticidas y solo se usa agua enriquecida con nutrientes. Pero la complejidad de adquisición de estos sistemas, ya sea por costo, porque no son de uso libre, o no cumplen con las necesidades que se requieren para llevar un registro constante del desarrollo de las plantas, hace que el trabajo en los cultivos sea más complejo de realizar, siendo mucho más dificultoso para el productor llevar el seguimiento de crecimiento de las plantas y por ende este inconveniente ocasiona pérdidas en sus cultivos (Taquilla, 2017).

El objetivo de esta investigación es diseñar un sistema de monitoreo y control automatizado y de bajo costo como herramienta tecnológica para la optimización de la producción en los invernaderos hidropónicos, de igual forma con esta herramienta tecnológica se busca adaptar el sistema a tal punto que permita cosechar alimentos que con la agricultura tradicional no pueden ser cosechados en la costa caribe colombiana y de igual forma en el departamento de Sucre.

2. Planteamiento del problema.

La producción de alimentos a través de la actividad agrícola enfrenta múltiples retos y desafíos desde la estructura del suelo, su fertilidad, acceso al agua, y la exposición a plagas y enfermedades, estos factores van empeorando año tras año, como consecuencia del fenómeno de cambio climático, todo esto a pesar de los diversos esfuerzos llevados a cabo desde las áreas de bioquímica y bioingeniería para el fortalecimiento de la producción agrícola.

Es por ello, que en los nuevos métodos agrícolas como el cultivo hidropónico en invernadero el cual brinda una buena producción, pero es indispensable la aplicación de instrumentos de seguimiento y control que permitan automatizar estos espacios, ya que así, se logra tener un registro sobre las variables de cultivo, permitiendo reducir el impacto de

los factores limitantes en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, asegurando una producción constante de alimentos durante todo el año con altos estándares de calidad (Celis, Hernández, & Sherwell, 2013).

A nivel internacional, existen muchos invernaderos hidropónicos, los cuales se ubican en diferentes partes del mundo lo que implica tener diferentes entornos climáticos. Es en este punto, donde las ciencias de la ingeniería se han abierto paso desde las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), interviniendo en la mejora y optimización de los procesos agrícolas, mediante el uso de la instrumentación y control de procesos en la cual a través de la medición, seguimiento y acciones control se busca reducir la acción limitante de las variables químicas y ambientales que intervienen en los cultivos.

De igual forma a nivel mundial existen sistemas de monitoreo y control automatizados, los cuales son diseñados con tecnologías de punta, pero sus costos de adquisición son altos, y en la mayoría de los casos no son de uso libre o están diseñados para entornos diferentes, lo cual se convierte en una gran problemática para que el productor hidropónico pueda realizar una automatización en estos sistemas. (Taquilla, 2017).

Dentro de este mismo campo, el impacto de las TIC ha contribuido a generar soluciones sostenibles para las ciudades del futuro, aportando a la propuesta de estos procesos agrícolas en el contexto de ciudades inteligentes, donde la aplicación de estos métodos de cultivos automatizados permitirá a las grandes urbes autoabastecerse de un stock alimentario con productos frescos, libre de pesticidas tóxicos, frutas y verduras plenamente maduras, reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero por la reducción de la logística de transporte, menos gasto energético en el desarrollo de la actividad agrícola, puntos verdes de purificación del aire de las ciudades, entre otros beneficios (Gobernación de Sucre, 2016).

Con base en lo anteriormente descrito, la producción de alimentos en invernaderos hidropónicos en condiciones normales no brinda una producción como cuando se automatiza, por lo que es necesario el desarrollo de propuestas que aprovechen todo

este avance técnico y tecnológico en el sector agrícola, a fin de asegurar las necesidades alimenticias de las comunidades, y así seguir abonando esfuerzos en la producción en medios hidropónicos en el contexto de ciudades inteligente, y de igual forma brindar un apoyo en el marco de ciudades cada vez más pobladas y con una mayor exigencia de recursos.

A nivel local, en el departamento de Sucre son muy escasos los sistemas de monitoreo y control a gran escala, automatizado y que sean capaz de monitorear las variables físico-químicas dentro del mismo. Una respuesta generalizada a esta afirmación puede deberse a la implementación de ganadería extensiva o que los cultivos tradicionales del departamento requieren grandes extensiones como, por ejemplo: la yuca, el maíz, el arroz, el ñame y otros alimentos que se producen en el departamento, así lo afirma (Minagricultura, 2019) en el departamento de Sucre, para el 2018 se contaba con una utilización del suelo de 1.091.700 ha, de este total, el 70 % se destinaba para el cultivo de pastos de las cuales 763.661 ha fueron destinadas a la ganadería y ocuparon el primer lugar en el territorio, seguida del 14,2 % del área en cuerpos de agua y en tercer lugar con el 9,7 % el área de cultivos agrícolas (Transitorios, Anuales, Permanentes y Semipermanentes). Por otra parte, 2,2% del total del área estaba ocupada por bosques y un 4% en otros usos como: Afloramiento rocosos e infraestructura urbana y rural.

En este orden de ideas se plantea la implementación de un sistema automatizado que sea capaz de obtener parámetros físicos-químicos como temperatura y humedad ambiental, luminosidad, pH, conductividad, temperatura de la solución nutritiva y dióxido de carbono. y que a su vez sea de bajo costo, con el objeto de generar un registro del comportamiento de las hortalizas durante todos los meses del año.

Con base a lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo un sistema de monitoreo y control automatizado con tecnología Arduino puede mejorar el crecimiento de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional en el contexto de ciudades inteligentes en la Corporación Universitaria Antonio José de sucre (CORPOSUCRE)?

3. Justificación.

A nivel mundial existe una preocupación generalizada respecto a una futura crisis alimentaria y del agua por motivos de la explosión demográfica que se viene desarrollando en las zonas urbanas, y sumado esto los efectos del cambio climático; por ende, las ciudades del mañana estarán cada vez más pobladas y requerirán de una mayor cantidad de alimentos y una gestión eficiente del agua (Yamaguchi, Takahashi, & Hayashi, 2018; Cerro, 2018).

Es por ello que se ha venido innovando en el mejoramiento de los cultivos, hacia unos más productivos y que no se vean afectados por las variables climáticas y del terreno, conllevando al surgimiento del método de cultivo hidropónico, puesto que el sembrado tradicional presenta diversas limitantes como la necesidad de hacer los terrenos cada vez más fértiles; ~~limitantes presente en muchas naciones~~ al momento de tratar de asegurar la canasta alimenticia, por lo que éstas han definido estrategias de fortalecimiento agrícola a partir de la tecnificación e innovación tecnológica, conllevando a la producción de alimentos mediante diversas técnicas y metodologías, demostrando ser una de las más efectivas la siembra hidropónica y sus variantes, ya que de esta se obtiene un mayor rendimiento de los cultivos aumentando su productividad por encima de los tradicionales, puesto que la disponibilidad de agua, nutrientes, niveles de radiación, temperatura ambiental, y la densidad de siembra o disposición de las plantas no son una limitante, por lo que pueden ser fácilmente controladas. Además, que la acción de patógenos o plagas se ve fácilmente reducida, gracias al control de las condiciones de desarrollo del sembrado, permitiendo optimizar el rendimiento del cultivo, y lograr una producción limpia y orgánica (Beltrano & Gimenez, 2015; Yamaguchi, Takahashi, & Hayashi, 2018).

Los invernaderos y la hidroponía no son una novedad en el entorno tecnológico agrícola, pero plantea grandes oportunidades para mejorar en el avance de la misma, ejemplo de ello son las fábricas de plantas, método empleado en la producción industrial de alimentos de origen vegetal en invernaderos hidropónicos; dicho método productivo fue inventado en los 80's, y ha venido evolucionando en conjunto con el desarrollo de la electrónica e

informática, por lo que en la actualidad esta industria cuenta con procesos más eficientes gracias a la automatización y control de parámetros de producción. (Goldstein et al, 2018).

Es así que a fin de evitar la vulnerabilidad nutricional a la que están expuestas las personas de escasos recursos económicos del municipio de Sincelejo, es necesario explorar alternativas que contribuyan de forma sostenible el aumento del stock alimentario de la región en la producción de fuentes balanceadas de alimento para que así no se perjudique la economía de los actores más vulnerables.

Con fundamento en lo anteriormente planteado, a nivel mundial existen muchos sistemas hidropónicos automatizados con tecnología de última generación, pero el departamento de Sucre al encontrarse en una región con mucha desigualdad (DNP, 2017) es muy difícil adquirir estos sistemas debido a sus costos, es por ello que desde el punto de vista tecnológico se plantea el diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control automatizado y de bajo costo para optimizar la producción de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional en la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre, a fin de garantizar una buena producción dentro del invernadero propuesto.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

- Desarrollar un sistema de monitoreo y control automatizado para la producción de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional en el contexto de ciudades inteligentes en la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre.

4.2. Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos del proceso de automatización del invernadero para la producción óptima y eficiente de plantas nutricionales en medio hidropónico.
- Diseñar un sistema de monitoreo y control automatizado de bajo costo para optimizar la producción de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional.
- Validar la operatividad del sistema de monitoreo y control en el invernadero propuesto a fin de optimizar la producción de hortalizas hidropónicas.

5. Marco teórico.

5.1 Criterios de selección tecnológica.

5.1.1 La temperatura y humedad relativa del aire

Estas variables intervienen directamente en el proceso de transpiración de la planta, en la fotosíntesis, es de ahí que se requiera de un sensor que tenga la capacidad de medir estas dos variables, y más en las condiciones climatológicas de la ciudad de Sincelejo, cuyas temperaturas oscilan entre 20°C y 36°C siendo estas las condiciones más extremas. El sensor seleccionado para medir este parámetro se muestra en la figura 1 y se detalla en la tabla 1.

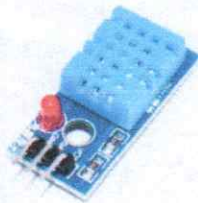


Figura 1. Sensor temperatura y humedad Fuente: ferretronica, (2020).

Tabla 1. Especificaciones técnicas sensor de humedad y temperatura.

Especificaciones técnicas sensor de humedad y temperatura.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Humedad y temperatura	DHT11
	Alimentación de 3.3V a 5VDC
	Corriente máxima 2.5mA durante la conversión
	Lectura de humedad con un +/- 5% de precisión
	Lectura de temperatura con un +/- 2°C de precisión
	Capaz de medir humedad de 20% a 80%
	Capaz de medir temperatura de 0 a 50°C

	No más de 1 Hz en velocidad de muestreo (una vez cada segundo)
	Dimensiones: 15.5mm x 12mm x 5.5mm
Costos	Valor : \$ 13.000
Distribuidor autorizado	Mouser electronics

5.1.2 Dióxido de carbono

Para la medición del nivel de dióxido de carbono al interior del invernadero se empleó un monitor de CO₂ a fin de conocer las concentraciones de este y en caso de ser necesario, buscar métodos auxiliares que contribuyan a regular la concentración del gas dentro del invernadero, por tal motivo se utilizó un sensor CO₂ MG811 para controlar esta variable dentro del cultivo se puede observar en la figura 2 y se detalla en la tabla 2.



Figura 2. Sensor de CO2 MG811 Fuente: vistronica,(2019).

Tabla 2. Especificaciones técnicas sensor de dióxido de carbono.

Especificaciones técnicas sensor de dióxido de carbono.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
	MG811
Concentración de Dióxido de Carbono (CO₂)	Voltaje de operación 5 V
	Resistencia 30.0±5%
	Corriente de operación 200mA
	Potencia de operación 1200mW
	Temperatura de operación 20°C-50°C

	Rango de operación de 350- 10000 ppm CO ₂
	No más de 1 Hz en velocidad de muestreo (una vez cada segundo)
	Dimensiones: 32mm x 42mm
Costos	Valor : \$ 130.000
Distribuidor autorizado	DFROBOT

5.1.3 Intensidad luminosidad

En el invernadero propuesto, para el cálculo de la iluminación se empleó un sensor de intensidad lumínica como se observa en la figura 3 y se detalla en la tabla 3, y un sensor de luz visible capaz de captar seis bandas tal como se observa en la figura 4 y se detalla en la tabla 4, parámetros importantes para las hortalizas para su fotosíntesis y desarrollo óptimo y saludable.



Figura 3. Sensor de luz TSL2591. Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 3. Especificaciones técnicas sensor de intensidad lumínica.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Intensidad Lumínica	TSL2591
	Voltaje de operación 3.3-5V Regulador integrado
	Lux Rango: 188 uLux hasta 88.000 Lux.
	Comunicación I2C
	Temperatura de operación 20°C-50°C
	Rango de temperatura: -30 a 80 C
	Dimensiones: 19mm x 16mm x 1mm
Costos	Valor : \$ 28.000
Distribuidor autorizado	DFROBOT

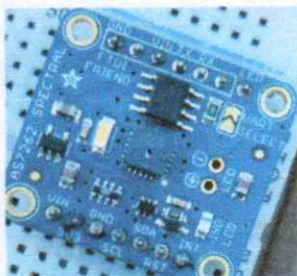


Figura 4. Sensor de luz AS7262 Fuente: Autores del proyecto.

Tabla 4. Especificaciones técnicas sensor de luz visible seis landas

Especificaciones técnicas sensor de luz visible seis landas.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Luz visible seis landas.	AS7262
	Voltaje de operación 3.3 ~ 5.5V
	Detección de luz visible para rojo, naranja,

	amarillo, verde, azul y violeta.
	temperatura de operación de -40°C- +85°C
	Dimensiones: 35mm x 46mm
Costos	Valor : \$ 100.000
Distribuidor autorizado	Ams

5.1.4 Conductividad del agua

La conductividad en la solución acuosa que contiene el sustrato nutricional de las hortalizas está ligada con el nivel de las sales minerales presentes en el mismo, este indicador permite detectar individualmente los niveles de cada uno de los compuestos minerales disueltos en el tanque de almacenamiento, sin embargo, da una idea de cuando los niveles de estos están decayendo, sirviendo como un indicador de cuando se debe suministrar nuevamente sustrato al sistema. Como dispositivo de monitoreo de esta variable se emplea un sensor de conductividad eléctrica analógico de referencia Gravity TDS Meter V1, compatible con la plataforma ARDUINO, empleado en la medición de los niveles de electrolitos dentro del agua, y aplicado en principalmente en la agricultura, el sensor utilizado para estas medidas se observa en la figura 5 y se detalla en la tabla 5.



Figura 5. Sensor de conductividad eléctrica analógico para ARDUINO. Fuente: didacticaselectronicas, (2020)

Tabla 5. Especificaciones técnicas sensor de conductividad.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Conductividad.	Gravity TDS Meter V1
	Voltaje de operación 3.3~ 5.5V

	0 ~ 2.3V salida de señal analógica
	Corriente de trabajo: 3 ~ 6mA
	Rango de medición de TDS: 0 ~ 1000ppm
	Sonda impermeable para inmersión a largo plazo en agua.
	Precisión de medición de TDS: $\pm 10\%$ F.S. (25 ° C)
	Dimensiones: 42mm x 32mm
Costos	Valor : \$ 85.000
Distribuidor autorizado	DFROBOT

5.1.5. Concentración de PH y temperatura de la solución nutritiva.

Unos de los factores mas importantes son el pH y la temperatura de la solución nutritiva, los cuales garantizan el buen desarrollo de las hortalizas, el dispositivo seleccionado para la medición de la temperatura de la solución nutritiva fue el sensor de referencia DS18B20, como se observa en la figura 6 y se detalla en la tabla 6 .



Figura 6. Sensor de temperatura DS18B20 para la solución nutritiva. Fuente: electronilab, (2020)

Tabla 6. Especificaciones técnicas sonda de medición de la temperatura de la solución.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Temperatura de la solución nutritiva.	DS18B20
	Voltaje de operación 3.3~ 5.5V

	Rango de temperatura: -55 a 125°C
	Interfaz 1-Wire (funciona con un solo pin)
	Sonda impermeable para inmersión a largo plazo en agua.
	Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$)
	Largo: 91cm Diámetro: 4mm
Costos	Valor : \$ 18.000
Distribuidor autorizado	NTC Termistor

El pH de la solución acuosa es un factor que como ya se ha visto puede limitar la capacidad de asimilación de las sales minerales por parte de la planta, es así que se debe de conocer en todo momento dicha variable a fin de evitar la deficiencia de nutrientes en la misma. El sensor empleado para esta tarea es un sensor de pH analógico de referencia DIY MORE PH-4502C como se observa en la figura 7 y se detalla en la tabla 7, este sensor es compatibles con ARDUINO cuyas especificaciones de temperatura y precisión en la medición, determinan el estado de la calidad del agua en todo momento.



Figura 7. Sensor de pH analógico para ARDUINO.

Fuente: ferretronica, (2020)

Tabla 7. Especificaciones técnicas sensor de pH.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Concentración de pH	PH-4502C
	Voltaje de operación 5V
	Consumo de Corriente: 5 ~ 10mA
	Rango de medición: 0 ~ 14
	Temperatura de Funcionamiento: 0 ~ 80 °C
	Precisión: $\pm 0.1\text{pH}$ (25 °C)
	Sonda de pH con conector BNC Controlador pH 2.0 (3 pines)
Costos	Valor : \$ 160.000
Distribuidor autorizado	TONGLING

5.1.6 Tiempo de macronutrientes y micronutrientes en el sistema.

Los tiempos de irrigación para la solución nutritiva están directamente ligados a la ubicación geográfica donde se encuentre el invernadero, para la ciudad de Sincelejo donde las temperaturas llegan a alcanzar hasta los 35°C es necesario la implementación del sistema que cada cierto tiempo este suministrándole el contenido nutricional a las plantas en la figura 8 se evidencia el modulo actuador para el control de activación de la electrobomba, este dispositivo se detalla en la tabla 8.

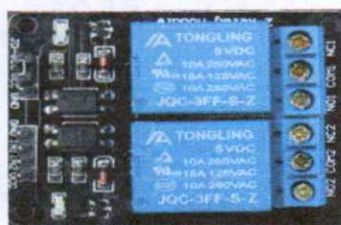


Figura 8. Módulo relé de dos canales para ARDUINO Fuente: vistronica , (2020)

Tabla 8. Especificaciones técnicas módulo relé.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Temperatura de la solución nutritiva.	Módulo relé de dos canales
	Voltaje de operación 5V TTL
	Diodo de protección en cada bobina de los Relés
	Diodo LED indicador de estado para cada canal
	Soporta tensiones de 250VAC a 10A aprox.
	Consumo de cada bobina aproximado a 40mA
	Se activa por pulso bajo
Costos	Valor : \$ 10.000
Distribuidor autorizado	DIY-MORE

Durante el proceso de transpiración de las plantas, se estará perdiendo fluido por evaporación, es así, con el fin de mantener niveles operativos de agua se adicionará al sistema un sensor de nivel de agua en el tanque, ya que la falta de dicho liquido puede afectar drásticamente el desarrollo de estas.

5.1.7 Tarjeta del sensor de pH

Como se puede observar en la figura 9, el circuito de control cuenta con dos potenciómetros, el primero que es el que se encuentra más cercano al conector BNC es el que regula el offset y el otro es el limitante para la medición de concentración de pH.

Offset: el rango de media de la sonda oscila entre valores negativos y positivos. El 0 representa un pH de 7.0. Para poder utilizarlo con *Arduino* este circuito añade un valor de offset al valor medido por la sonda, de esta forma el *ADC* solo tendrá que tomar muestras

de valores positivos de tensión. Por lo tanto, forzaremos un pH de 7.0 desconectando la sonda del circuito y cortocircuitando la parte interna del conector BNC con la exterior. Con un multímetro medimos el valor del *pin Po* y ajustamos el potenciómetro para que sea 2.5V.

Límite De Ph: Este Potenciómetro es para establecer un valor del límite del circuito sensor de pH que hace que el *LED* rojo se encienda y la señal de *pin Do* se ponga en *ON*, con estos pasos el sensor queda totalmente calibrado.



Figura 9. Tarjeta de control sensor de pH fuente: autores del proyecto.

5.1.8 Tarjeta principal de procesamiento.

Para capturar todos los datos obtenidos por los sensores se utilizó la plataforma Arduino UNO R3 como se observa en la figura 10 y se detalla en la tabla 9, la cual brinda buena respuesta en la captura y envío de información en el sistema.



Figura 10. Tarjeta de control Arduino Fuente: vistronica, (2020)

Tabla 9. Especificaciones técnicas microcontrolador.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Microcontrolador principal para el procesamiento de los datos capturados por los sensores.	Arduino Uno R3
	Voltaje de operación 5V
	Microcontrolador: Atmega328
	Pines de E / S digital: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
	Pines de entrada analógica: 6
	Memoria Flash: 32 KB (0.5 KB utilizado por Bootloader)
	SRAM: 2 KB (ATmega328)
	EEPROM: 1 KB (ATmega328)
	Velocidad de reloj: 16 MHz
Costos	Valor : \$ 35.000
Distribuidor autorizado	ARDUINO

Para capturar los datos obtenidos por la tarjeta Arduino UNO R3 (figura 13) y ser mostrados en el monitor, los datos se obtendrán a través de la comunicación serial y se representarán en un monitor que se ubicara en el invernadero, para esto se utilizó una tarjeta raspberry pi 3 como se puede observar en la figura 15 y se detalla en la tabla 13.

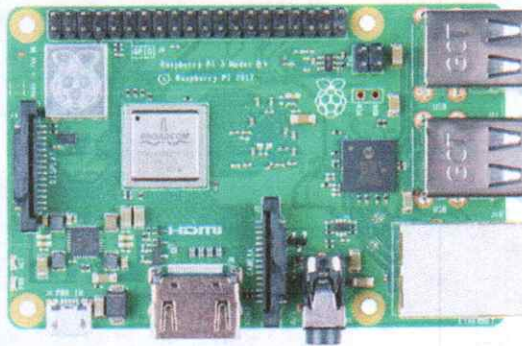


Figura 11. Raspberry pi 3. Fuente: (amazon, 2020)

Tabla 10. Especificaciones técnicas raspberry pi 3.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Capturas y representación de los datos a través de monitor.	Raspberry pi3
	Voltaje de operación 5V
	CPU + GPU: Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC @ 1.4GHz
	RAM: 1GB LPDDR2 SDRAM
	Wi-Fi + Bluetooth: 2.4GHz y 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac, Bluetooth 4.2, BLE
	Ethernet: Gigabit Ethernet sobre USB 2.0 (300 Mbps)
	GPIO de 40 pines
	HDM
	4 puertos USB 2.0
	Puerto CSI para conectar una cámara.
	Puerto DSI para conectar una pantalla táctil
Costos	Valor : \$ 250.000
Distribuidor autorizado	RASPBERRY

En el sistema propuesto se necesitará llevar un control preciso para la irrigación de la solución nutritiva, para llevar el control de tiempos se seleccionó un módulo RTC de referencia RTC-DS1307 como se observa en la figura 16 y se detalla en la tabla 14, el cual permite mantener la hora precisa en el sistema por un tiempo muy prolongado en el rango de los 3 años.

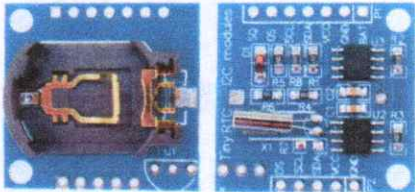


Figura 12. Módulo RTC_DS1307, para el control fuente: (mercadoshops, 2019)

Tabla 11. Especificaciones técnicas módulo RTC.

Clasificación de las variables	Indicadores a medir
Tiempos para el control de activación del relé actuador.	Módulo RTC DS1307
	Voltaje de operación 5V
	Memoria de almacenamiento: 24C32 EEPROM 32KB I2C
	Batería: LIR2032/CR1225
	Interfaz: I2C (controlar RTC DS1307 y AT24C32)
	Función: Lectura/Escritura
	Señal de reloj: Para el microcontrolador (salida de 1Hz para microcontroladores en cascada)
Costos	Valor : \$ 10.000
Distribuidor autorizado	ARDUINO

6. Marco conceptual.

En este apartado se analizan los principales factores ambientales y físico químicos en el proceso de automatización de cultivos hidropónicos, que correspondió a la optimización del espacio del cultivo, el control de nutrientes con precisión, la eliminación de plagas y enfermedades transmitidas por el suelo, la calidad de la luz a la que se debe de exponer las plantas, todos estos parámetros son detallados a continuación:

6.1. Temperatura

La temperatura promedio en Sincelejo es de 27.1°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 31 y 35°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 21 y 23 °C. El sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación oscila entre 6 y 8 horas/día. La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 76 y 84 %, siendo mayor en los meses de octubre y noviembre (Ideam, 2019). A continuación, en la figura 13, se observa mediciones de la temperatura por mes en la ciudad de Sincelejo, en la parte inferior se observa la temperatura promedio, temperatura mínima, media y máxima de cada mes.

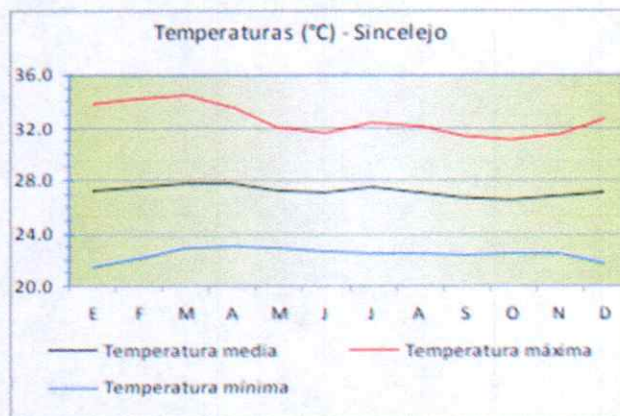


Figura 13. Temperatura promedio por hora en la ciudad de Sincelejo fuente: (Ideam, 2019)

6.2. Humedad

En la ciudad de Sincelejo la humedad es muy estable, alrededor de su media anual del 80%, aumentando ligeramente con la nubosidad y la temperatura.

6.3. Concentración de dióxido de carbono

El CO_2 es esencial para que se produzca la fotosíntesis en las plantas. Su aporte es muy importante para el correcto desarrollo del cultivo, además del agua y la luz. Al aumentar la concentración de CO_2 en el interior de un invernadero se incrementa la actividad fotosintética, lo que se traduce en un aumento de la precocidad, el rendimiento, la producción (del orden del 15-25%) y la calidad de la cosecha. Para que se produzca una buena asimilación del CO_2 , el factor más importante es la radiación solar, aunque también influyen la ventilación, la temperatura y humedad. Para producir unos óptimos de calidad y cantidad, la planta requiere una concentración de CO_2 de 700 a 1000 ppm. Sin embargo, la concentración en el exterior está en torno a 350-380 ppm, y en el interior del invernadero puede llegar incluso a niveles inferiores de 100 ppm, si no se produce una buena ventilación a continuación en la figura 14, se evidencia como hace relación la concentración de dióxido de carbono con la fotosíntesis de las plantas a mayor concentración se evidencia una aceleración del crecimiento (Nutricontrol, 2015).

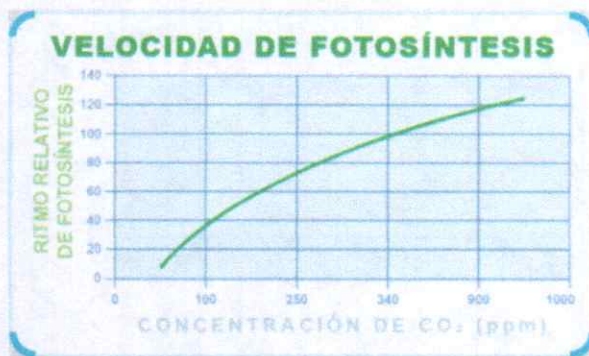


Figura 14. Influencia de la concentración de CO_2 en un invernadero. Fuente: (nutricontrol, 2015)

6.4. Brillo solar

Expresado como el promedio de horas con brillo solar mensual recibido en cada sitio, en Sincelejo se registran 2.093 horas anuales con una media mensual de 174,4 horas, para un 48,4%, muy por encima del promedio nacional de las principales ciudades y lugares de interés. Que es el 42,4% (Informe Ambiental Sincelejo, 2017). Ya que este factor tiene una inferencia directa con el desarrollo de las hortalizas, influyendo principalmente en la rentabilidad de los cultivos, su contenido de nutrientes y perfil de sabor.

Las longitudes de ondas efectivas en las fotosíntesis se ubican dentro del rango anteriormente descrito, ya que son las responsables de estimular los procesos metabólicos de la planta, como la actividad foto trópica, crecimiento del tallo y de las hojas, la floración, la producción de frutas, la generación de antioxidantes, la formación de clorofila, y la actividad fotosintética; estos procesos son característicos de longitudes de ondas en específico, luz ultravioleta (10nm-400nm) que en longitudes de onda de 350nm promueve la acumulación de compuestos fenólicos, mejora la actividad antioxidante de los extractos de plantas, más no tiene ningún efecto significativo en el crecimiento; luz azul (430nm-450nm) es la encargada de fomentar el crecimiento vegetativo, esencial para la germinación de plántulas y plantas jóvenes durante la etapa vegetativa de crecimiento, limita el crecimiento de las plantas maduras, estimula la producción de pigmentos secundarios que mejoran los colores y fomenta la producción de compuestos aromáticos; luz roja (640nm-680nm) tiene una reacción muy fuerte a la acción fotosintética, lo que estimula la generación de carbohidratos y azúcares en el cultivo, permitiendo que estos tengan mejor sabor y mayor cantidad de nutrientes dentro de sus composición y frutos, además tiene una fuerte incidencia en los procesos de germinación y floración como se evidencia en la figura 15 donde se encuentran los valores de la longitud de onda del rango fotosintético de las plantas (California Lightworks, 2016).

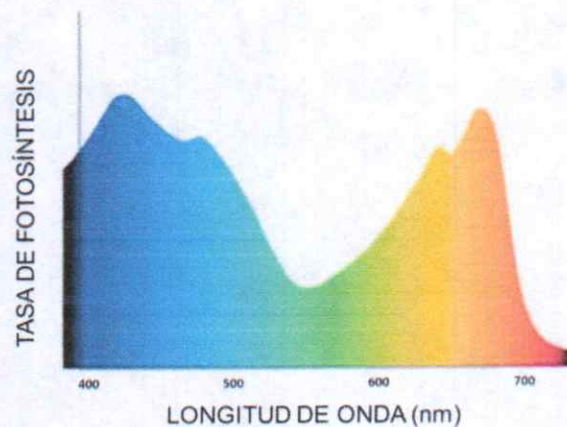


Figura 15. Rango fotosintético activo Fuente: (California Lightworks, 2016)

6.5. Concentración de pH en la solución nutritiva

El pH se refiere a la concentración de iones de Hidrogeno (H^+) los cuales determinan el grado de acidez y basicidad de una solución. El índice de la escala de pH es muy importante en procesos químicos, biológicos, industriales y en general en la vida cotidiana, por ejemplo, la diferencia entre la lluvia normal y la lluvia ácida sólo se expresa a través de la escala del pH. Según (Hydro, 2015), el pH óptimo para los cultivos hidropónicos oscila entre (5.6 y 6.5), gracias a estos parámetros nos permite saber que tan acida o básica esta la solución, ya que a partir de 1 a 5 se consideran ácidos, de (8 a 14) básicos y de (5,5 a 6,5), neutros en este rango la planta asimila fácilmente ya que los elementos se encuentran solubles.

7. Estado del arte.

El termino automatización, según (Abarca, 2016) , es el principio de todo sistema de control automático es la aplicación del concepto de realimentación o feedback (medición tomada desde el proceso que entrega información del estado actual de la variable que se desea controlar) cuya característica especial es la de mantener al controlador central informado del estado de las variables para generar acciones correctivas cuando así sea necesario.

Gracias a los distintos avances tecnológicos se han venido desarrollando formas que faciliten la producción de alimentos en medios hidropónicos, entre los cuales se presenta la optimización de los mismos a través de la automatización, como es el caso de Fernández, Costa, y Lemos (2018) quienes construyeron un pequeño prototipo de invernadero hidropónico transparente, donde se monitoreaban las condiciones ambientales internas de temperatura, nutrientes, y luminosidad, controlando las dos primeras a fin de lograr un óptimo crecimiento de las plantas; el dispositivo además realizaba el seguimiento del crecimiento del cultivo mediante una cámara y un software de procesamiento de imágenes, el cual no solo mostraba el progreso del crecimiento, sino las condiciones ambientales bajo las cuales estaban las hortalizas, también permitieron que los usuarios pudieran acceder a la información e imágenes en tiempo real de lo que sucedía en el invernadero desde cualquier sitio, utilizando internet de las cosas, lo que facilitó el cuidado de las condiciones en el prototipo y por ende del cultivo.

Además del uso de las nuevas tecnologías en el monitoreo y control de las condiciones ambientales para el crecimiento de los cultivos, en el campo de la hidroponía se ha venido trabajando en el análisis de cómo estas condiciones interfieren en los aspectos productivos de la planta, una de estas variables es el tratamiento lumínico, en donde los estudios demuestran que la calidad de la luz tiene una inferencia directa con el desarrollo de las plantas, ya que esta influye en el proceso de fotosíntesis en el que las hortalizas emplean la luz para convertirla en carbohidratos, azúcares, y otros macro y micronutrientes, por lo que dependiendo la calidad de la misma se estimulara el desarrollo vegetativo y con ello aumenta su rendimiento, además de ajustar la composición química permitiendo alterar su contenido, nutrientes y perfil de sabor (Li, et al., 2012; Chen, Liu, Song, Sun, & Chen, 2015; Goldstein, 2018). Una de esas nuevas tecnologías que ha contribuido a la optimización y sostenibilidad del procesos de producción verde hidropónica es el diodo emisor de luz o LED, el cual reduce la temperatura de radiación disminuyendo la temperatura interna dentro del invernadero, su tiempo de vida operativo es mayor, no genera ningún tipo de radiación toxica, la conversión energética de los mismos es altamente eficiente y emite longitudes de ondas específicas, por lo que se puede suplementar a la planta con el espectro de luz efectivo que ella requiere en su proceso de crecimiento y producción (Namgyel, et al., 2018). Ejemplo del impacto de la calidad de la suplementación lumínica en el desarrollo vegetativo de la planta son las investigaciones de Li, et al. (2012) que estudiaron la incidencia de cuatro configuraciones de luces LED rojas y azules en el desarrollo de las plantas de fresa, realizando énfasis en la producción de flores y frutos; Chen, Liu, Song, Sun, & Chen (2015) en la cual se estableció una relación directa entre la luz roja y azul en el crecimiento de la planta de lechuga, y el nivel de azúcar soluble y vitamina C en la misma; por otra parte Namgyel, et al. (2018) quien encontró que la suplementación con luz azul LED en las lechugas contribuye a su crecimiento, morfología y pigmentación; además de otras investigaciones conducidas en espinaca, rábano, stevia, tomate, etc.

Según Jai, Dontha, Tripathy, & Mande (2018) el crecimiento de la población en las áreas urbanas hace que estas exijan cada vez más un mayor volumen de recursos, entre ellos el alimento y el agua, por lo que es necesario que estas urbes se conviertan en unidades

productoras mediante la agricultura urbana, para así asegurar la seguridad alimentaria de las mismas y a la vez que generan un aumento en el stock alimentario regional, con lo que se podría liberar parte de los terrenos agrícolas rurales de su responsabilidad en el sistema de seguridad alimentaria y realizar una transición a sembradíos de productos de exportación, causando un boom económico sin arriesgar la nutrición de las comunidades. En esta misma investigación Jai, Dontha, Tripathy, & Mande (2018) proponen un prototipo de sistema hidropónico automático con monitoreo a tiempo real que puede ser fácilmente aplicado en pequeños espacios como el jardín de un balcón, optimizando la funcionalidad de los espacios.

Hoy día la hidroponía se viene aplicando en la solución de las problemáticas alimenticias de comunidades rurales en zonas de baja productividad agrícola, a fin de aumentar la disponibilidad de alimentos en la comunidad, como es el caso de la población de Xacxamayo(puebla- México), donde mediante la aplicación de técnicas básicas de siembra hidropónica se fue concientizando a la población de las capacidades productivas de este método de cultivo a fin de reducir la brecha nutricional de la comunidad de San José Xacxamayo(puebla- México), la cual venía sufriendo por la accesibilidad y disponibilidad de alimentos en su territorio, presentándose así trastornos alimenticios como la obesidad en las mujeres y casos de desnutrición crónica infantil; al finalizar el proyecto se logró el aumento de familias con capacidad de producción de verduras para el autoconsumo, y el aumento de los cultivos por vía hidropónica (Celis, Hernández, & Sherwell, 2013).

El proyecto de innovación tecnológica, derechos humanos y las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para el beneficio de los grupos vulnerables, realizado por Fernando Ortiz, Frida Vargas y María Beltrán (2011), donde se llevó a cabo un invernadero en la Mixteca Alta de Oaxaca, donde se capacitaba a la población femenina aplicando las TIC's; al final del proyecto se logró la construcción de módulos hidropónicos eficientes y automatizados, con ahorro de agua, energía y horas hombre a fin de combatir la problemática del cultivo tradicional, la pobreza y la desnutrición, obteniendo alimentos nutritivos y sanos para el autoconsumo, además de la formación de capital humano en nuevos esquemas de producción agrícola.

En Colombia este tipo de proyectos se han venido realizando en pequeñas comunidades de la geografía nacional, como en el proyecto implementación de la investigación - acción – participación (IAP) en el desarrollo de cultivos hidropónicos con la finalidad de fortalecer la seguridad alimentaria en la comunidad de la vereda San Isidro, municipio San Juan de Rioseco, Cundinamarca, por Camilo Hernández y Raquel Sarmiento (2017), en el que se guio a la población en el método de producción hidropónico para garantizar su seguridad alimentaria y sustento económico, ya que los suelos y el agua de esta comunidad se concentran en la agricultura industrial.

8. Metodología

8.1. Diseño de investigación.

El presente proyecto posee un enfoque cuantitativo enmarcado en tres fases, una primera de tipo descriptiva donde se busca realizar una descripción exacta de las variables que intervienen en el proceso de crecimiento de las plantas que se cultivan en medios hidropónicos, para después correlacionar la información recolectada y determinar el nivel de relación entre las distintas variables con el desarrollo de las especies vegetales a estudiar, todo ello mediante un diseño de carácter experimental de condiciones y variables controladas.

Luego de determinar los parámetros operativos óptimos en la siembra hidropónica se pasa a la ejecución de la segunda fase que corresponde a una investigación aplicada enmarcada en un desarrollo tecnológico, según MINCIENCIAS este tipo de investigación se entiende como la aplicación de los resultados de la investigación o de otro tipo de conocimiento científico, en la fabricación de nuevos materiales, productos, para el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o prestación servicios, así como la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes, incluyendo dentro de esta actividad la materialización de los resultados de la investigación en un plano, esquema o diseño, así como la creación de prototipos no comercializable y los proyectos de demostración inicial o proyectos piloto, siempre que los mismos no se conviertan o utilicen en aplicaciones industriales o para su explotación comercial”. De modo que al final de este se obtenga el diseño de un prototipo de invernadero hidropónico automatizado para la

producción de alimentos balanceado y que aporten en su equilibrio nutricional, como parte del desarrollo del concepto de Sincelejo ciudad inteligente.

La tercera etapa de este proyecto corresponde a la validación de dicho sistema en las instalaciones de la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre, para los estudios de optimización técnica, tecnológica y los impactos a futuro que esta pueda causar a fin de generar sostenibilidad alimentaria y agrícola en CORPOSUCRE.

8.2. Procedimiento de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación, los objetivos específicos serán ejecutados por etapas, como se puede evidenciar a continuación.

8.2.1. 1er etapa. Estudio descriptivo.

En esta primera etapa del proyecto se llevará a cabo un estudio de naturaleza descriptiva con el propósito de estipular las exigencias físico-químicas que requieren las plantas en un método de producción hidropónica a fin de garantizar la producción eficiente de las mismas.

Tabla 12. Primera etapa. Desarrollo investigativo

Objetivos Específicos	Actividades
Identificar los requerimientos del proceso de automatización del invernadero para la producción óptima y eficiente de plantas nutricionales en medio hidropónico.	Revisión bibliográfica de las metodologías y tecnologías aplicadas en la siembra hidropónica a fin de determinar sus ventajas y desventajas en base a los criterios de producción, espacio y recursos necesarios. Análisis de los componentes electrónicos de medición y control de variables físico-químicas que requiera el invernadero hidropónico para su automatización. Estudio del efecto de las variables físicas y químicas en el desarrollo y producción de las plantas seleccionadas. Establecimiento de las relaciones existentes entre los parámetros físico-químicas estudiadas con el nivel de crecimiento, producción y calidad de los alimentos de las plantas de estudio en hidroponía.

8.2.2. 2da etapa. Desarrollo tecnológico

Esta etapa corresponde a la construcción de un sistema de monitoreo y control automatizado en base a los criterios operativos de automatización estipulados en la etapa anterior.

Tabla 13. Desarrollo tecnológico.

Objetivos Específicos	Actividades
Diseñar un sistema de monitoreo y control automatizado para optimizar el rendimiento de producción de hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional.	Realización del bosquejo de circuito del invernadero hidropónico automatizado en base a los sensores de medición y controladores definidos en la etapa anterior.
	Codificación del sistema de monitoreo y control del invernadero hidropónico en base a los factores correlacionales determinados en la etapa anterior.
	Construcción del invernadero hidropónico automatizado a partir de los criterios tecnológicos y espaciales analizados en el desarrollo del mismo.

8.2.3. 3ra etapa. Validación del prototipo.

Tabla 14. Tercera etapa. Implementación del sistema.

Objetivos Específicos	Actividades
Validar la operatividad del invernadero propuesto a partir de un análisis de la capacidad productiva del mismo vs los recursos necesarios para su operación.	Análisis de la funcionalidad técnica del prototipo en base al testeo de los sistemas de monitoreo y control de la variables físico-químicas del mismo. En esta etapa, se realizará la validación completa del sistema propuesto, ejecutando inicialmente pruebas experimentales de laboratorio, para determinar las variables físico-químicas que más influyen en el crecimiento de las hortalizas hidropónicas con alto contenido nutricional. Para los casos en los que sea posible, se realizarán pruebas pilotos en entornos controlados, para verificar la funcionalidad del prototipo en otros contextos.

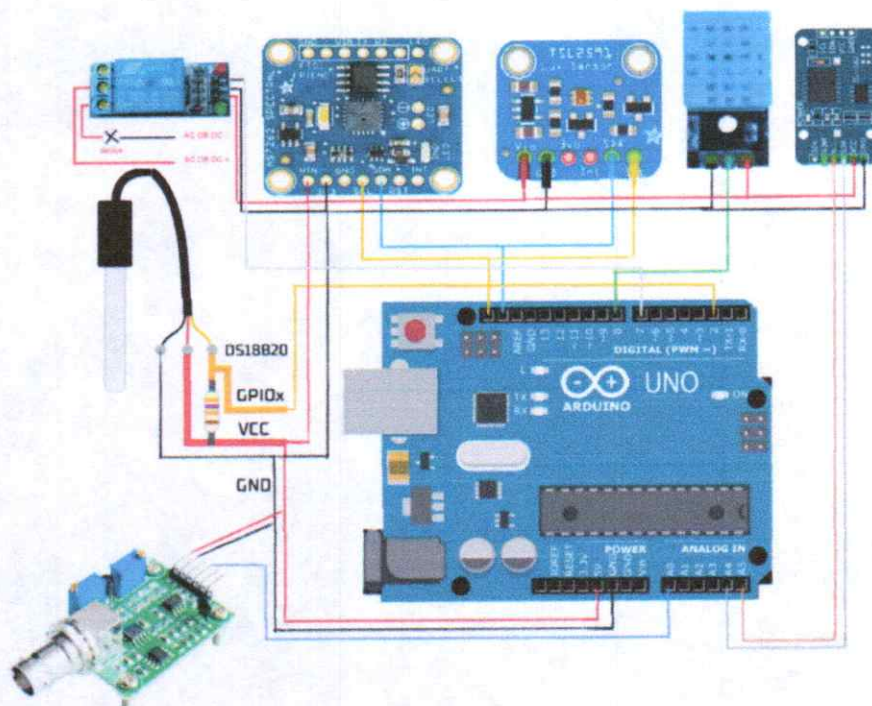


Figura 16. Diagrama de bloque del sistema propuesto. Fuente: Autores del proyecto.

9. Cronograma de actividades

En la tabla 15, se pueden evidenciar los avances teóricos y prácticos realizados en el transcurso de realización de este proyecto de investigación.

Tabla 15. Cronograma de actividades

Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	MESES									
	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
ETAPA 1										
Revisión bibliográfica										
Selección técnica de siembra hidropónica										
Análisis de los componentes electrónicos										
Definir plantas a estudiar										
Estudio de variables Físico-Químicas										
Relación de variables con parámetros de desarrollo vegetal										
ETAPA 2										
Bosquejo de circuito										
Codificación del sistema de monitoreo y control										
Construcción del prototipo										
Análisis de la funcionalidad técnica										
Evaluación de la capacidad productiva										
REDACCIÓN DEL INFORME FINAL (ARTÍCULO)										
Informe final (Artículo)										
Publicación científica										

10. Resultados

Para el desarrollo de esta herramienta tecnológica, a nivel de hardware se utilizó una tarjeta Raspberry py 3B, un arduino Uno, sensores de temperatura, humedad, nivel, conductividad, ph, entre otros. A nivel de software; se trabajó con el lenguaje de programación Arduino el cual está basado en la programación C++. En la figura 17, se evidencia el diagrama esquemático de la estructura general del prototipo de granja hidropónica diseñada en conjunto con un sistema de monitoreo y control automatizado de bajo costo.

El funcionamiento principal de la herramienta propuesta, se enmarcó en el diseño un sistema de monitoreo complementario para los cultivos en hidroponía, capaz de recopilar datos en tiempo real relacionados con la calidad de los parámetros de gran importancia que se deben tener en cuenta es los cultivos hidropónicos, gracias a la interacción de la tecnología Arduino y sensores para la medición de algunas variables ambientales como temperatura, humedad, Ph, cantidad de luz dentro del invernadero, Co₂, temperatura del agua, entre otros. Luego de capturar esta información, el prototipo almacena estos datos en una tarjeta Raspberry pi modelo B, generando una cadena de información que se muestra en un monitor integrado en el invernadero, los valores de los sensores se actualizan en el monitor cada un minuto. En la figura 22, se puede observar el prototipo y los sensores que se ubican en el invernadero ubicado en la Corporación Universitaria Antonio José de Sucre.

La circulación de agua se realizó con una hidróbomba de 1/2 hp, esta acción fue controlada en tiempos exactos por un módulo de tiempo RTC (figura12), conectado la tarjeta Arduino Uno, que mediante su codificación activaba un módulo relé encargado de activar la bomba en las horas sol del día, donde se hacían 6 irrigaciones con tiempos de 15 minutos cada hora, en el trascurso de 12:00 PM hasta las 7:00pm se establecieron 9 irrigaciones con tiempos de 15 minutos cada media hora para contrarrestar los picos donde la temperatura es mucho más elevada, los tiempos de irrigaciones se pueden observar en la tabla 17 .

Se ubicó un tanque contenedor de 250 litros, donde reposaba la solución nutritiva, y a su vez se instaló un sensor de conductividad y de concentración de pH, estos se encontraban constantemente obteniendo datos de la solución utilizada. Por otro lado, el invernadero contaba internamente con un sensor de nivel de agua, pero se verifico que al estar al aire libre la temperatura de la solución nutritiva captada por la sonda de referencia DS18B20 alcanzaba los 30 °C, temperatura que no fue conveniente durante las pruebas de verificación ya que se evaporizaba cierta cantidad de agua con solución nutritiva, es por ello que se decidió enterrar el tanque, de esta forma se verificó que de esta manera la temperatura de la solución nutritiva disminuyó en gran porcentaje, manteniendo la temperatura en el rango de los 28°C, en el sistema propuesto también se utilizaron dos sensores de luminosidad un luxómetro de referencia AS7262 (ver figura 19), el segundo de

referencia TSL2591(ver figura 20), estos sensores se encargaron de verificar la cantidad de luz que estaban recibiendo las hortalizas en el invernadero. Por otro lado a los tubos de irrigación se les hizo una recirculación de agua para mantener oxigenada la solución nutritiva, debido a que la no oxigenación de esta ocasiona la aparición de bacterias y moho en los tubos contenedores donde se ubican las hortalizas, los datos obtenidos en las pruebas realizadas se pueden observar en la figura 24.

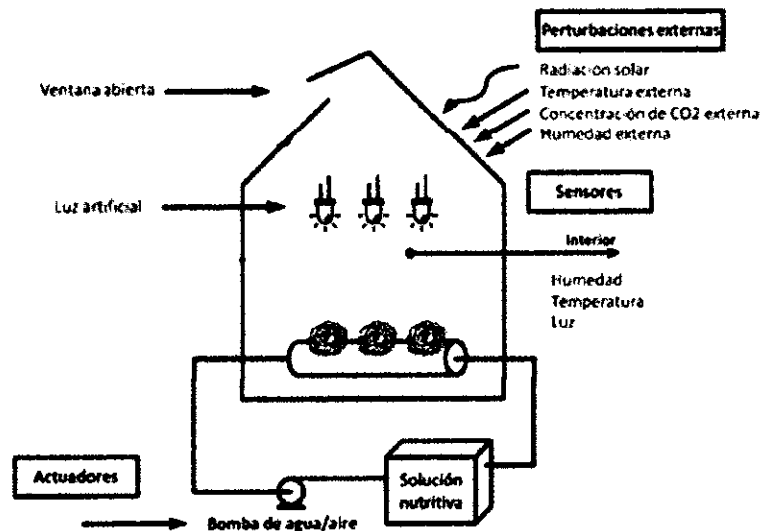


Figura 17. Estructura general del invernadero prototipo fuente: autores del proyecto.

Después de la selección de todos los sensores, se procedió a la etapa de experimentación.

11. Pruebas de verificación de funcionalidad de los sensores utilizados en el sistema de monitoreo y control.

Primordialmente, se verificó la funcionalidad individual de cada uno de los sensores, se implementó un sensor de temperatura dht11 como se observa en la figura 18, ubicado debajo de los tubos, para su funcionalidad fue pertinente integrar el sensor en una caja negra a fin de impermeabilizar dicho dispositivo para no ocasionar daños y por consiguiente lectura de datos erróneos.



Figura 18. Sensor temperatura y humedad Fuente: autores del proyecto.

Tabla 16. Comparación en diferentes horas entre la temperatura y la humedad comparación en diferentes horas entre la temperatura y la humedad.

Hora del día	Temperatura del módulo (°C)	Humedad (%)
08:14 pm	25.4	67
10:15 pm	30.5	60.8
12:30 pm	31.2	60.0
02:00 pm	34.6	45.5
03:00 pm	35.7	40.6
04:15 pm	31.9	58.2
06:00 pm	30.1	60.6

En la tabla 16, se verificó la funcionalidad del sensor de referencia DHT11, el cual mostró un funcionamiento con parámetros aceptados a pesar de ser un sensor de bajo costo su porcentaje de error es de un $\pm 2\%$ como se muestra en la tabla 16, este sensor tomaba muestras cada 1 segundo y los enviaba a la tarjeta Arduino, la cual por consiguiente enviaba los datos al software de procesamiento Raspbian, para así ser mostrados en el monitor que se montó dentro del invernadero.

Se utilizó un sensor de luminosidad de referencia AS7262, y se verificó que específicamente este sensor captaba 6 canales de luz los cuales son: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, tal como se muestra en la figura 19.



Figura 19. Medición de luminosidad fuente: autores del proyecto.

Se utilizó un sensor de luminosidad de referencia tsl2591, los datos se muestran en las líneas de datos en medio de la figura 20, hace referencia a la información capturada por el sensor y procesada en el Arduino uno R3. Corroborando la información con un luxómetro de referencia UNI-T UT383 como se muestra en la figura 20, el cual mostró una respuesta confiable ya que las diferencias entre las mediciones del sensor con relación al luxómetro eran muy pequeñas con un porcentaje de error de $\pm 2\%$.



Figura 20. Medición de luminosidad Fuente: autores del proyecto.

Se trabajó con un sensor de pH y su sonda correspondiente, además se utilizó un sensor de temperatura para la solución nutritiva, se verificó el óptimo funcionamiento de la sonda para medir la concentración de pH y la sonda para medir la temperatura de la solución nutritiva como se observa en la figura 21, ya que como se mencionó anteriormente estos son dos parámetros que intervienen directamente en el desarrollo de las plantas en el

invernadero, también se verificó la funcionalidad del sensor de temperatura para la solución nutritiva de referencia DS18B20, el cual es un sensor analógico y de poca complejidad en su funcionamiento.



Figura 21. Sensor de temperatura de la solución nutritiva y sonda del pH fuente: autores del proyecto.

En el paso 2, se procedió con la verificación del funcionamiento general de todos los sensores y sistema en general, los tiempos de irrigación, estableciendo los tiempo de irrigación como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Tiempos de irrigación establecidos en el invernadero hidropónico.

HORA	MINUTO	ESTADO
7	0	ACTIVAR
7	15	DESACTIVAR
8	0	ACTIVAR
8	15	DESACTIVAR
9	0	ACTIVAR
9	15	DESACTIVAR
10	0	ACTIVAR
10	15	DESACTIVAR
11	0	ACTIVAR
11	15	DESACTIVAR
11	45	ACTIVAR
12	0	DESACTIVAR
12	30	ACTIVAR
12	45	DESACTIVAR
13	15	ACTIVAR
13	30	DESACTIVAR
14	0	ACTIVAR
14	15	DESACTIVAR

14	45	ACTIVAR
15	0	DESACTIVAR
15	15	ACTIVAR
15	30	DESACTIVAR
16	0	ACTIVAR
16	15	DESACTIVAR
16	45	ACTIVAR
17	0	DESACTIVAR
17	15	ACTIVAR
17	30	DESACTIVAR
18	45	ACTIVAR
18	0	DESACTIVAR

En la figura 22, se observa la caja donde se encuentran los componentes electrónicos encargados de hacer el procesamiento de los datos obtenidos por los sensores mediante la placa Arduino uno, una vez obtenidos estos datos, utilizando la placa raspberry pi 3(figura 14), la cual se utiliza como un ordenador en el cual se le instala el sketch de Arduino para representar todos los datos en tiempo real mediante una pantalla que se encuentra en todo momento en el invernadero como se observa en la figura 23.

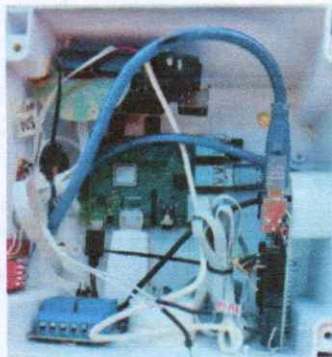


Figura 22. Caja circuito de control del invernadero fuente: autores del proyecto.



Figura 23. Pantalla de visualización de los datos obtenidos por los sensores fuente: autores del proyecto

A continuación en la figura 24, se muestra la captura obtenida en las pruebas realizadas en la huerta hidropónica donde se puede evidenciar todos los parámetros medidos por cada uno de los sensores, con estas mediciones se pretende realizar unas gráficas para obtener los valores que se tienen durante el día y así poder correlacionar los parámetros obtenidos y los óptimos que requieren cada hortaliza en los diferentes climas para su desarrollo.

```

COM16
-----
Temperatura amb: 27 Humedad amb: ===67%
-----
Cantidad pH: 5.96
-----
Temp: 33; Violeta: 19596; Azul: 23260; Verde: 14844; Amarillo: 14054; Naranja: 8571; Rojo: 11369
-----
IR: 12523;Full: 30316;Visible: 17793;Lux: 1704.302124
-----
Temperaturaliq= 26.69 C
-----
Temperatura amb: 25 Humedad amb: ===67%
-----
Cantidad pH: 6.03
-----
Temp: 33; Violeta: 19440; Azul: 23056; Verde: 14759; Amarillo: 13970; Naranja: 8541; Rojo: 11304
-----
IR: 13548;Full: 32575;Visible: 19027;Lux: 1813.745483
-----
Temperaturaliq= 26.69 C
-----
Temperatura amb: 25 Humedad amb: ===67%
-----
Cantidad pH: 5.83
-----
Temp: 33; Violeta: 19546; Azul: 23086; Verde: 14757; Amarillo: 13933; Naranja: 8535; Rojo: 11246
-----
IR: 13521;Full: 32574;Visible: 19053;Lux: 1818.761718

```

Figura 24. Captura de información por los sensores. Fuente: autores del proyecto.

Por último, en las figuras 25, se evidencia el diseño final del prototipo de invernadero hidropónico, el cual en el primer experimento se cubrió completamente con plástico transparente, pero a pesar de tener aireación por la parte superior la temperatura interna era demasiado elevada ya que la ciudad de Sincelejo posee un clima cálido todo el año, por lo que se decidió cambiar el recubrimiento por poli sombra el cual está a un cerramiento de un 70% de color azul como se observa en la figura 26, pero aun así se evidenció que las temperaturas eran muy altas por lo que para estado futuro sería conveniente agregar otro poli sombra para que de esta manera la temperatura dentro del invernadero disminuya, el invernadero propuesto también cuenta con una tubería en PVC, con una distribución de cincuenta (50) agujeros para la ubicación de las hortalizas como se muestra en la figura 26

y figura 27, donde se estará depositando las semillas para el crecimiento de las hortalizas. El tipo de hortaliza a cultivar condiciona que tipo siembra se deberá llevar a cabo, ya sea de forma directa en las canastas o de forma indirecta que es las que requieren trasplante.



Figura 25. Estructura final externa del prototipo de invernadero hidropónico fuente: autores del proyecto.



Figura 26. Estructura final interna del prototipo de invernadero hidropónico Fuente: autores del proyecto.



Figura 27. Primera prueba en el invernadero fuente: autores del proyecto.

En el proceso de verificación del sistema, se realizaron los siguientes experimentos:



Figura 28. Lechuga crepa morada, experimento # 1. Fuente: autores del proyecto.

En este aparatado se realizó el experimento #1, primordialmente se realizaron pruebas pilotos para la verificación y funcionalidad de cada uno de los sensores, después de verificar que los dispositivos y sensores utilizados funcionaban correctamente, se procedió con el trasplante de lechuga crespa morada, lechuga crespa verde y Batavia, realizando irrigaciones de media hora por cada hora transcurrida y con variables como se detallan en la tabla 17. Como se observa en la figura 28, los resultados en este primer experimento no fueron nada favorables, debido a que las concentraciones de Ph eran demasiado altas en comparación con las investigaciones realizadas por otros autores, y otro factor que influyó fue el tiempo de irrigación, los cuales fueron demasiado extensos, por lo que se procedió con el experimento número 2, como se muestra en la página siguiente. *Tabla 18.*

Experimento #1

Hora	Temperatura	Humedad	luminosidad	Concentración de pH	Temperatura de la solución nutritiva
6:00 – 07:00	24.0°C – 35.4°C	67% - 35.6%	16.000LUX – 45.000LUX	6.8 – 7.2	24.0 °C – 27.3°C



Figura 29. Lechuga crepa morada, experimento # 2 fuente: autores del proyecto.

En este aparatado se realizó el experimento #2, para este segundo experimento se llevó a cabo un nuevo trasplante después de verificar la funcionalidad del sistema y verificación de temperatura y concentración de Ph y demás variables como se detalla en la tabla 19, en este experimento se establecieron tiempos de irrigación en el transcurso de 6:00 am hasta las 12:00pm de 15 minutos por cada hora transcurrida, y en el transcurso de 12:00pm hasta las 6:00pm se realizaron irrigaciones de 15 minutos por cada media hora, obteniendo resultados en el desarrollo de la planta como se observa en la figura 29.

Tabla 19. Experimento #2

Hora	Temperatura	Humedad	luminosidad	Concentración de pH	Temperatura de la solución nutritiva
6:00 – 07:00	24.0°C – 35.4°C	67% - 35.6%	16.000LUX – 45.000LUX	5.7 – 6.8	24.0 °C – 27.3°C



Figura 30. Lechuga cressa morada, Experimento número 1 fuente: autores del proyecto.

En este aparatado se realizó el experimento #3, en función a los experimentos anteriormente mostrados se decidió ajustar la concentración de pH en los rangos aceptables, de tal manera que a la planta le fuera más fácil asimilar los nutrientes, las irrigaciones se realizaron con la misma configuración mencionada en el experimento número 2, obteniendo un desarrollo de la planta como se observa en la figura 30, con variables que se detallan en la siguiente tabla 20.

Tabla 20. Experimento #3

Hora	Temperatura	Humedad	Luminosidad	Concentración de pH	Temperatura de la solución nutritiva
6:00 – 07:00	24.0°C – 35.4°C	67% - 35.6%	16.000LUX – 45.000LUX	5.0 – 5.6	24.0 °C – 27.3°C

12. Conclusion.

Al finalizar este proyecto de investigación tecnológico, se logró el diseño de una herramienta tecnológica la cual consiste en un sistema de monitoreo y control automatizado y de bajo costo para la producción de hortalizas hidropónicas y que aporten en su equilibrio nutricional, como parte del desarrollo del concepto de Sincelejo ciudad inteligente. Se concluye que, para el diseño de la herramienta tecnológica, se utilizaron softwares de programación libres. Es importante tener en cuenta algunos conceptos y parámetros importantes como lo es la oxigenación y recirculación del agua, una concentración balanceada de PH, es importante el funcionamiento óptimo de este sensor ya que este parámetro determina el comportamiento de la planta, un mal tratamiento de la solución nutritiva ocasiona la aparición de hongos, moho y plantas no deseadas, la concentración de pH optimo en el invernadero oscila en el rango de 5 – 5.6 o máximo 6.7, la temperatura de la sustancia nutritiva no debe ser muy elevada esta debe estar en un rango máximo de 28°C – 29 °C.

Se concluye que, los sensores seleccionados a pesa de ser de bajo costo cumplieron con las expectativas que se esperaban, es recomendable la sustitución de estos dispositivos por unos sensores más calibrados y certificados, para así lograr adquisición de datos con mejor precisión. Se concluye que, en base a los experimentos realizados, el sistema puede realizar diferentes tareas a la vez, y de igual forma guarda la información a fin de para proyectos futuros realizar estudios en base o a los datos recopilados durante todo el año. De igual forma se pretende realizar una mejora al sistema en general, debido a que es una tecnología menos utilizada que la agricultura en tierra, hay menos personas expertas en el tema o empresas especializadas en hidroponía y los que hay suelen ser muy costosos, es por ello que al aplicar la automatización se puede lograr una optimización en la producción en estos sistemas. Además, por lo general se tiende a no resaltar las desventajas y por ello es importante conocerlas.

Ahora bien, luego de haber realizado las pruebas y el diseño en relación a los objetivos planteados, en torno a los aspectos técnicos de este proyecto se logró concluir lo siguiente:

- ✓ ***En cuanto a la integración de los datos obtenidos por los sensores,*** se concluye que los sensores seleccionados en el diseño de este prototipo cumplen con las exigencias necesarias en el invernadero a pesar de ser dispositivos de bajo costo, ofreciendo datos con tasas de error muy bajas y en el rango aceptable.
- ✓ ***En cuanto al Sistema de irrigación,*** se concluye que los tiempos de activación de este, están determinados por la ubicación geográfica y por la época del año, estableciendo así las diferentes formas en las que se puede activar la irrigación.
- ✓ ***En cuanto al sistema de monitoreo de variables:***

El sistema funciona de forma correcta, las pruebas de tiempo de captura y de procesamiento de datos por la tarjeta arduino en conjunto con la raspberry pi 3, eran muy cortos, por lo tanto, respondía de manera acertada durante la funcionalidad del proceso en el invernadero hidropónico.
- ✓ ***En cuanto al diseño del prototipo físico,*** este fue basado en la adquisición de herramientas de poca complejidad y de bajo costo para su fácil manejo y replica, permitiendo que soportes ambientes arduos y de exposición a la intemperie, tal como se observa en la figura 25.
- ✓ ***En cuanto a la autonomía del sistema,*** si cumple con lo establecido gracias a la implementación de un sistema de automatización para la irrigación, llevando un control preciso de las horas a las que debía ser activada la bomba de irrigación, y de la misma forma respondía en función de las variables fisicoquímicas presentes en el sistema, permitiendo así la realización de múltiples tareas a la vez.
- ✓ ***En cuanto a las variables físico- químicas,*** se concluye que uno de los factores más delicados e importantes en un invernadero hidropónico es la concentración de pH, variable que solo puede ser controlada con la adición de sustancias nutritivas, la temperatura, como se observa en cada uno de los experimentos realizados, las concentraciones de pH determinan el comportamiento de la planta.

- ✓ *En cuanto a los sistemas en general, se* obtuvo el diseño de un prototipo de invernadero hidropónico automatizado para la producción de alimentos balanceado y que aporten en su equilibrio nutricional, como parte del desarrollo del concepto de Sincelejo ciudad inteligente.

13. Recomendaciones

- Adicional al conjunto de sensores es recomendable la aplicación de un sistema de monitoreo del cultivo empleando imágenes, ya que el color y forma de las plantas es un indicativo infalible de las condiciones químicas y climatológicas a la que está expuesto, sirviendo esto como una medida de precaución en caso de que alguno de los sistemas no esté funcionando correctamente.
- El uso de energía solar fotovoltaica para alimentar estos sistemas es aconsejable, ya que ayuda a reducir los recursos energéticos empleados, apoyándose en la energía libre que presenta el sol y más aún en el caribe colombiano, donde se cuenta con un gran potencial fotovoltaico.

14. Bibliografía

ONU. (2019). *La población mundial sigue en aumento, aunque sea cada vez más vieja*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457891>

FAO. (2015). *¿Hay suficiente agua?* Obtenido de

<http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>

minagricultura. (2019). *CADENAS PRODUCTIVAS PRESENTES EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE*. Obtenido de

<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/DEA/Sucre.pdf>

Yamaguchi, S., Takahashi, Y., & Hayashi, T. (2018). Small Indoor Hydroponic System with Renewable Energy. *18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)* (págs. 313-318). IEEE.

Cerro, C. (2018). Developing solutions for dealing with water and food scarcity: Atmospheric water generator and urban farm tower. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences*. IEEE.

(Beltrano & Gimenez, 2015; Yamaguchi, Takahashi, & Hayashi, 2018). Cultivo en hidroponía. Recopilado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46752>.

(Goldstein, 2018; Fernandes, Costa, & Lemos, 2018). "hidroponia". Recopilado de <http://eprints.uanl.mx/18572/1/1080289243.pdf>

ferretronica. (2020). *Ferretronica*. Obtenido de

[https://ferretronica.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-](https://ferretronica.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11?variant=12189757898845¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2020-01-11&utm_source=google&utm_medium=vistronica)

[dht11?variant=12189757898845¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2020-01-11&utm_source=google&utm_medium=vistronica](https://ferretronica.com/products/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht11?variant=12189757898845¤cy=COP&utm_medium=product_sync&utm_source=google&utm_content=sag_organic&utm_campaign=sag_organic&utm_campaign=gs-2020-01-11&utm_source=google&utm_medium=vistronica)

vistronica. (2019). *vistronica*. Obtenido de

[https://www.vistronica.com/es/sensores/sensor-de-co2-mg811-](https://www.vistronica.com/es/sensores/sensor-de-co2-mg811-detail.html?gclid=EAIaIQobChMIosrVy43R7gIVCsiGCh34WwjVEAYYASABEgLPB_D_BwE)

[detail.html?gclid=EAIaIQobChMIosrVy43R7gIVCsiGCh34WwjVEAYYASABEgLPB_D_BwE](https://www.vistronica.com/es/sensores/sensor-de-co2-mg811-detail.html?gclid=EAIaIQobChMIosrVy43R7gIVCsiGCh34WwjVEAYYASABEgLPB_D_BwE)

didacticaselectronicas. (2020). *didacticaselectronicas*. Obtenido de recuperado de

<https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/ambientales/gravity-analog-electrical-conductivity-sensor-meter-for-arduino-sensor-sensores-an%C3%A1logo-de-conductividad>

electronilab. (2020). *electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>

ferretronica. (2020). *ferretronica*. Obtenido de recuperado de

<https://ferretronica.com/products/modulo-sensor-de-ph-analogo-0-14-con-sonda-bnc>

vistronica. (2020). *vistronica*. Obtenido de recuperado de

[https://www.vistronica.com/es/potencia/modulo-rele-de-2-canales-](https://www.vistronica.com/es/potencia/modulo-rele-de-2-canales-detail.html?gclid=EAIaIQobChMI1938xZnR7gIVxbKGCh3oZgEuEAQYAYABEgL5E_D_BwE)

[detail.html?gclid=EAIaIQobChMI1938xZnR7gIVxbKGCh3oZgEuEAQYAYABEgL5E_D_BwE](https://www.vistronica.com/es/potencia/modulo-rele-de-2-canales-detail.html?gclid=EAIaIQobChMI1938xZnR7gIVxbKGCh3oZgEuEAQYAYABEgL5E_D_BwE)

vistronica. (2020). *arduino*. Obtenido de <https://www.vistronica.com/es/board-de-desarrollo/arduino/board/arduino-uno-r3-compatible-detail.html>

amazon. (2020). *raspberry pi 3 modelo B*. Obtenido de

<https://www.amazon.es/Raspberry-Model-microSDXC-Adaptador-Velocidad/dp/B07SSB22GQ>

mercadoshops. (2019). *Modulo rtc*. Obtenido de https://yonivazkez.mercadoshops.com.mx/MLM-730686685-modulo-reloj-rtc-ds1307-arduino-_JM?quantity=

Ideam. (2019). *Características climatológicas de ciudades*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20tem>

nutricontrol. (2015). *influencia del Co2 en los invernaderos*. Obtenido de recuperado de <http://nutricontrol.com/2015/como-influye-el-dioxido-de-carbono-co2-en-el-cultivo-en-invernadero/#:~:text=Para%20producir%20unos%20%C3%B3ptimos%20de,se%20produce%20una%20bue>

Informe Ambiental Sincelejo. (2017). *1er Informe Ambiental. "ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE DEL MUNICIPIO DE SINCELEJO" - Vigilancia 2016*. Sincelejo.

Abarca, P. (2016). *El abc de la automatización | Sistemas de control automático*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/sistemas-de-control-automatico.pdf>

Fernandez, M., Costa, B., & Lemos, J. (2018). Hydroponic greenhouse crop optimization. *13th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing* (págs. 270-275). IEEE.

Chen, R., Liu, H., Song, S., Sun, G., & Chen, R. (2015). Effects of light quality on growth and quality of lettuces in hydroponic. *12th China International Forum on Solid State Lighting (SSLCHINA)* (págs. 154-156). IEEE.

Namgyel, T., Siyang, S., Khunarak, C., Pobkrut, T., Norbu, J., Chaiyasit, T., & Kerdcharoen, T. (2018). IoT based hydroponic system with supplementary LED light for smart home farming of lettuce. *15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (pp. 221-224). IEEE.

Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu, Z., & Wang, X. (2012). Effect of supplemental illumination on the growth of strawberry plants. *Symposium on Photonics and Optoelectronics*, págs. 1-4.

Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu, Z., & Wang, X. (2012). Effect of led supplemental illumination on the growth of strawberry plants. *IEEE, 2012 Symposium on Photonics and Optoelectronics*, 1 - 4.

Jai, N., Dontha, B., Tripathy, A., & Mande, S. S. (2018). Near Real Time-Sensing System for Hydroponics Based Urban Farming. *3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* (págs. 1-5). IEEE.

Celis, K., Hernández, M., & Sherwell, A. (2013). *Implementación de un programa de cultivo de hidroponia para incrementar la disponibilidad de verduras en la comunidad de Xacxamayo*. Puebla: Universidad Iberoamericana Puebla.

Alcaldía de Sincelejo. (2016). *Plan de Desarrollo 2016 – 2019. "Ciudad con Visión"*.
Alcaldía de Sincelejo. (2016). *Plan de Desarrollo 2016-2019 "Ciudad con Visión"*.

amazon. (2020). *raspberry pi 3 modelo B*. Obtenido de <https://www.amazon.es/Raspberry-Model-microSDXC-Adaptador-Velocidad/dp/B07SSB22GQ>

ARDUINO. (s.f.). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

ARDUINO. (s.f.). *What is Arduino?* (ARDUINO) Recuperado el 25 de 06 de 2019, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Aune, D., Giovannucci, E., Boffetta, P., Fadnes, L. T., Keum, N., Norat, T., . . . Vatten, L. T. (2017). Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Epidemiology*, 46(3), 1029-1056.

Beltrano, J., & Gimenez, D. (2015). *Cultivo en Hidroponía*. Buenos Aires: Universidad de la Plata.

Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de La Plata.

California Lightworks. (22 de julio de 2016). *News California Lightworks*. Obtenido de <https://news.californialightworks.com/light-spectrum-and-plant-growth/>

Cerro, C. (2018). Developing solutions for dealing with water and food scarcity: Atmospheric water generator and urban farm tower. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences*. IEEE.

Cerro, C. (2018). Developing solutions for dealing with water and food scarcity: Atmospheric water generator and urban farm tower. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (págs. 1-6). IEEE.

Chen, R., Liu, H., Song, S., & Sun, G. (2015). Effects of light quality on growth and quality of lettuces in hydroponic . *12th China International Forum on Solid State Lighting* (págs. 154-156). IEEE.

COLCIENCIAS . (2018). *Libro Verde 2030*. Bogotá.

COLCIENCIAS. (2018). *Libro Verde 2030*. Bogotá.

Departamento Nacional de Planeación - DNP. (2007). *Una aproximación a la vulnerabilidad*. Bogotá, D. C.: Departamento Nacional de Planeación.

Departamento Nacional de Planeación, D. (2007). *Una aproximación a la vulnerabilidad*. Bogotá D.C.

didacticasselectronicas. (2020). *didacticasselectronicas*. Obtenido de recuperado de <https://www.didacticasselectronicas.com/index.php/sensores/ambientales/gravity-analog-electrical-conductivity-sensor-meter-for-arduino-sensor-sensores-an%C3%A1logo-de-conductividad>

Direct Industry. (s.f.). *Humidity sensor-AM1001 AOSONG*. (Aosong Electronics Co.,Ltd.) Recuperado el 10 de Junio de 2019, de http://pdf.directindustry.com/pdf/aosong-electronics-co-ltd/humidity-sensor-am1001-aosong/121567-472713-_4.html

Direct Industry. (s.f.). *Humidity sensor-AM1001 AOSONG*. Obtenido de http://pdf.directindustry.com/pdf/aosong-electronics-co-ltd/humidity-sensor-am1001-aosong/121567-472713-_4.html.

El Meridiano. (8 de 12 de 2017). Se incremento obesidad y desnutrición infantil. *El Meridiano*.

El Meridiano. (8 de Diciembre de 2017). Se incremento obesidad y desnutrición infantil . *EL MERIDIANO*.

electronilab. (2020). *electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>

FAO. (2015). *¿Hay suficiente agua?* Obtenido de <http://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>

Fernandes, M., Costa, B., & Lemos, J. (2018). Hydroponic greenhouse crop optimization. *13th APCA International Conference on Automatic Control and Soft Computing (CONTROLO)* (págs. 270-275). Ponta Delgada: IEEE.

Fernandez, C. (22 de Noviembre de 2017). Sedentarismo y mala alimentación dispararon el sobrepeso y la obesidad. *El TIEMPO*.

Fernández, C. (22 de 11 de 2017). Sedentarismo y mala alimentación dispararon el sobrepeso y la obesidad. *EL TIEMPO*.

Gilsanz, J. (2007). *HIDROPONÍA*. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Montevideo: Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología.

Gobernación de Sucre. (2016). *Plan de Desarrollo 2016-2019 "Sucre Progresa en Paz"*. Sincelejo.

Gobernación de Sucre. (2016). *Plan de desarrollo 2016-2019. Sucre progresa en paz*. Sincelejo: Gobernación de Sucre.

Gobierno de Colombia. (2018). *Tipología de proyectos*. Colciencias.

Goldstein, H. (2018). The Green Promise of Vertical Farms. *IEEE SPECTRUM*, 50-55.

Goldstein, H. (2018). *The Green Promise of Vertical Farms*. IEEE SPECTRUM.

Hernandez, C., & Sarmiento, R. (2017). *Implementación de la investigación-acción-participación (IAP) en el desarrollo de cultivos hidropónicos con la finalidad de fortalecer la seguridad alimentaria en la comunidad de la vereda san isidro, municipio San Juan de Rioseco, Cundinamarca*. Bogotá D.C: Universitaria Agustiniana.

Hernandez, C., & Sarmiento, R. (2017). *Implementación de la investigación-acción-participación (LAP) en el desarrollo de cultivos hidropónicos con la finalidad de fortalecer la seguridad alimentaria en la comunidad de la vereda san isidro*. Bogotá D.C: Universidad Agustiniana.

Hidroponía al cubo. (1 de abril de 2020). Obtenido de <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/conductividad-electrica/#:~:text=Una%20soluci%C3%B3n%20hidrop%C3%B3nica%20t%C3%ADpica%20suele,mismo%20valor%20que%20mS%2Fcm>

Ideam. (2019). *Características climatológicas de ciudades*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc#:~:text=La%20tem>

ideam. (2019). CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES. 9.

Jai, N., Dontha, B., Tripathy, A., & Mande, S. (2018). Near Real Time-Sensing System for Hydroponics Based Urban Farming . *3rd International Conference for Convergence in Technology* (págs. 1-5). IEEE.

Li, Y., Chen, H., Ji, H., Wang, S., Zhu, Z., & Wang, X. (2012). Effect of led supplemental illumination on the growth of strawberry plants. *Symposium on Photonics and Optoelectronics* (pp. 1-4). IEEE.

Marin, A. (2003). *BALANCEO Y CALIBRACIÓN E INSTALACIÓN DE USUARIOS POR LA RED DE CABLE COAXIAL*. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL

SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE - SENA - ANTIOQUIA, Antioquia. Medellín: Pregon Ltda. Obtenido de minagricultura. (2019). *CADENAS PRODUCTIVAS PRESENTES EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE*. Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/PublishingImages/Paginas/DEA/Sucre.pdf>

Ministerio de Ambiente y Protección Social. (2012). *Dimensión Seguridad Alimentaria y Nutricional*.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2011). *Calidad en la vivienda de interés social*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2012). *Dimensión Seguridad Alimentaria y Nutricional*.

nutricontrol. (2015). *CÓMO INFLUYE EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂) EN EL CULTIVO EN INVERNADERO*. Obtenido de <http://nutricontrol.com/2015/como-influye-el-dioxido-de-carbono-co2-en-el-cultivo-en-invernadero/#:~:text=Para%20producir%20unos%20%C3%B3ptimos%20de,se%20produce%20una%20buena%20ventilaci%C3%B3n>.

nutricontrol. (2015). *influencia del Co₂ en los invernaderos*. Obtenido de recuperado de <http://nutricontrol.com/2015/como-influye-el-dioxido-de-carbono-co2-en-el-cultivo-en-invernadero/#:~:text=Para%20producir%20unos%20%C3%B3ptimos%20de,se%20produce%20una%20bue>

Olympios, C. M., & Choukr-Allah, R. (1999). Overview of soilless culture: advantages, constraints, and perspectives. *Protected cultivation in the Mediterranean region*, 31, 307-324.

ONU. (2019). *La población mundial sigue en aumento, aunque sea cada vez más vieja*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2019/06/1457891>

Ortiz, F., Vargas, F., & Beltrán, M. (2011). Innovación Tecnológica, Derechos Humanos y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (tic) para el Beneficio de los Grupos Vulnerables. *Cuarto Foro Internacional de Derechos Humanos y Tecnologías de la Información y la Comunicación* (págs. 37-42). Instituto Politécnico Nacional.

Ortiz, F., Vargas, F., & Beltrán, M. (2011). Innovación Tecnológica, Derechos Humanos y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (tic) para el Beneficio de los Grupos Vulnerables. *Cuarto Foro Internacional de Derechos Humanos y Tecnologías de la Información y la Comunicación*. (págs. 37-42). Instituto Politécnico Nacional.

Poorter, H., & Napel, O. (2000). *The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review*. doi:10.1071/PP99173_CO

Real Academia Española - RAE. (13 de Febrero de 2019). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/?id=KLUyebV>

Resh, H. M. (2015). *Hydroponics for the home grower*. Anguilla: CRC Press. doi:10.1201/b18069

Rodríguez, D. A. (2013). *Producción de hortalizas en sistemas NFT*. Perú: Universidad Agraria la Molina.

Sandbox Electronics. (s.f.). *MG811 CO2 sensor*. Obtenido de <https://sandboxelectronics.com/files/SEN-000007/MG811.pdf>

Sandbox Electronics. (s.f.). *MG811 CO2 Sensor*. Recuperado el 15 de Junio de 2019, de <https://sandboxelectronics.com/files/SEN-000007/MG811.pdf>

Smithers Oasis. (2015). *Manual de Hidroponía*. México: Oasis EASY PLANT.

Spread. (2019). *fabricas de verduras en japon*. Obtenido de <https://www.france24.com/es/20191231-f%C3%A1bricas-de-verduras-en-las-ciudades-de-jap%C3%B3n-para-reemplazar-al-campo>

Tukey Jr, H. B. (1970). The leaching of substances from plants. *Annual review of plant physiology*, 21(1), 305 - 324.

Turkey, J. (1970). *The leaching of substances from plants. Annual review of plant physiology*. doi:10.1146/annurev.pp.21.060170.001513

Vela, R. N. (2013). *Líneas de transmisión*. Veracruz, México: Universidad Veracruzana. Obtenido de <http://libros.uv.mx/index.php/UV/catalog/download/FC173/124/384-1?inline=1>

Yamaguchi, S., Takahashi, Y., & Hayashi, T. (2018). Small Indoor Hydroponic System with Renewable Energy. *18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)* (págs. 313-318). IEEE.

Yamaguchi, S., Takahashi, Y., & Hayashi, T. (2018). Small Indoor Hydroponic System with Renewable Energy. *18th Internacional Conference on Control, Automation and Systems*. IEEE.

Lista de referencias de las figuras.

I. RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS Y POTENCIALES BENEFICIARIOS

4.1 Aporte de conocimientos para la solución de problemas y el desarrollo de potencialidades regionales. (Aumentos de productividad, incremento de las exportaciones, diseño de políticas, transferencia de capacidades, etc.)

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario

1.2 Aporte de conocimientos para el fortalecimiento de procesos de gestión regional del desarrollo científico, tecnológico y de la innovación. (construcción de espacios de interacción entre actores, volumen de recursos gestionados, consolidación del ente ejecutor en la promoción de CyT, construcción de cooperación científica internacional. etc.)

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario

4.3 Generación de nuevo conocimiento. (Incluye resultados/productos que corresponden a nuevo conocimiento científico o tecnológico o a nuevos desarrollos o adaptaciones de tecnología, etc.)

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario
1 Artículo completo de investigación sometido a publicación en revista indexada nacional o internacional.	Revista indexada	GINTEING
1 Capítulo de libro de investigación presentado	Capítulo de libro resultado de investigación	GINTEING

4.4 Fortalecimiento de la capacidad científica regional (Incluye resultados/productos tales como formación de recurso humano (jóvenes investigadores, postgrado, formación de emprendedores), realización de cursos relacionados con las temáticas de los proyectos, formación y consolidación de redes de investigación, etc.)

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario

4.5 Apropriación social del conocimiento (Incluye aquellos resultados/productos que son estrategias o medios para divulgar o transferir el conocimiento o tecnologías generadas en el proyecto a los beneficiarios potenciales y a la sociedad en general. Incluye tanto las acciones conjuntas entre investigadores y beneficiarios como artículos o libros divulgativos, cartillas, videos, programas de radio, presentación de ponencias en eventos, entre otros.

Para cada uno de los resultados/productos esperados identifique (en los cuadros a continuación) indicadores de verificación (ej: publicaciones, patentes, registros, videos, certificaciones, etc.) así como las instituciones, gremios y comunidades beneficiarias, nacionales o internacionales, que podrán utilizar los resultados de la investigación para el desarrollo de sus objetivos, políticas, planes o programas

Resultado/Producto esperado	Indicador	Beneficiario

II. IMPACTOS ESPERADOS A PARTIR DEL USO DE LOS RESULTADOS:

Impacto esperado	Plazo: corto (1-4 años), mediano (5-9 años), largo (10 años o más)	Indicador verificable	Supuestos*

Los impactos esperados son una descripción de la posible incidencia del uso de los resultados del proyecto en función de la solución de los asuntos o problemas estratégicos regionales abordados. Se pueden lograr en el corto, mediano y largo plazo, como resultado de la aplicación de los conocimientos o tecnologías generadas y/o apropiadas en el área temática en la cual se inscribe el proyecto. Los impactos pueden agruparse, entre otras, en las siguientes categorías: capacidad científico-tecnológica, impactos sociales, económicos, ambientales, de productividad y competitividad.

Los supuestos indican los acontecimientos, las condiciones o las decisiones, necesarios para que se logre el impacto esperado.