

**DESARROLLO DE UNA CÁMARA DE ATMÓSFERA CONTROLADA
PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS EN FRESCO**

Diego Fernando Sierra Blanco

Id: 000275414

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingenierías

Bucaramanga

2019

DESARROLLO DE UNA CÁMARA DE ATMÓSFERA CONTROLADA PARA LA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS EN FRESCO

Diego Fernando Sierra Blanco

Id: 000275414

Proyecto de grado para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Directora de proyecto

Dr.agr. Sandra Patricia Cuervo

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingenierías

2019

Nota de aceptación:

JURADO

JURADO

Fecha:

*“Si este libro se perdiere como suele suceder,
Le suplico al que lo encuentre que lo sepa devolver,
yo le doy para cigarros y también para beber,
y si no sabe mi nombre aquí lo voy a poner”*

Bernardo Blanco Peña

DEDICATORIA

Podría tardar una tarde entera de cualquier día, dándole forma a esta feliz melancolía. Escribiría 390 poesías dando las gracias a ustedes, pero no me alcanzaría, así que esta va para todos aquellos que pase lo que pase estuvieron, cerca o lejos, pero siempre alumbrando el camino de los demás: a Dios, mi parcerero verdadero, creador de esta pieza maestra llamada universo. A mi familia que, me enseñó que la honestidad, humildad y lealtad, es tan preciada como una gota de rocío en el desierto. A la profe Sandra, por ser cómplice de esta idea cual secuaz de un villano. ¡Más que honor y respeto!. A *Be Careful*, por hacer posible esto. A la facultad de Ingeniería Mecánica, desde el director hasta la secretaria, sin olvidar a los docentes, quienes más que ingenieros, forman personas. A Andrés A., por la colaboración y a Naidú por su paciencia. Una mención especial a mis compañeros, mi segunda familia: Santiago C, Andrés C, Brayam S, Carlos V, Diego B, Duban C, El Fabi-o, Eule y Paz, Johan Q, Jonhy D, Jose B, Juan Soto, Juancho, Chope, Juanse, El churco, Lina, Lewis, Marty, Michi, Oscar A, Sebas C, Sebitas 10, Chely, El gringo y Los Mexicanos Oscar y Hugo, por jurar y ser parte del club de la resistencia; por reír, llorar, sonreír, salir cantando villancicos en abril y porque en la oscuridad me prestaron su corazón. A Vane, maravillosa mujer, por siempre ser luz y folklor. A la Socia, por el cariño y 10 años de amistad. A los muchachos de la realeza: Javi, David, Dani, Brad y Nico. A Camila, por ser la más especial, la autora de muchos verbos. Al abuelo, maestro de la paciencia, quien se fue y no me vio en concierto.

11:50 pm. Aún tengo más preguntas que respuestas.

-Pet Fella.

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS	7
LISTADO DE FIGURAS.....	8
LISTADO DE ILUSTRACIONES.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1.ANTECEDENTES.....	14
2.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
3.ALCANCE.....	17
4.JUSTIFICACIÓN.....	18
5.OBJETIVOS.....	19
5.1. Objetivo general.....	19
5.2. Objetivos específicos.....	19
6.MARCO TEÓRICO	21
6.1. Cámara de atmósferas controladas.....	21
6.1.1 Empobrecimiento de oxígeno: LO, ULO y HLO.....	22
6.1.2 Enriquecimiento de CO ₂	23
6.1.3 Captura de CO ₂	24
6.1.4 Procesos de enfriamiento	25
6.1.5 Temperatura de punto de rocío, humedad relativa y la carta psicrométrica.....	29
6.2 Maduración y producción de etileno	31
6.3 Crecimiento bacteriano.....	34
6.4 Otros métodos de conservación de alimentos.....	35
6.5 Control de variables.....	36
6.5.1 Sensor de calidad de aire MQ135	38
6.5.2 Sensor de temperatura DHT22.....	42
6.5.3 NodeMCU. board de desarrollo con módulo ESP8266 wifi	43
6.6 Propiedades de la manzana	45

6.6.1 Biología.....	45
6.6.2 Normatividad.....	49
7.METODOLOGÍA	52
<i>Parámetros preliminares de control</i>	52
<i>Desarrollo de la cámara</i>	53
<i>Requerimientos de diseño</i>	53
<i>Obtención de la carga térmica</i>	54
<i>Obtención de la concentración estimada de O₂</i>	55
<i>Subsistemas de la cámara</i>	55
<i>Trasmisión de datos e interfaz</i>	56
<i>Realización de pruebas</i>	56
8.MATERIALES	60
9.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
10.1 Desarrollo de la cámara de atmósfera controlada	62
10.2 Prueba 1. Control de concentración de CO ₂	71
10.3 Prueba 2. Lote 1.	72
10.4 Prueba 2. Lote 2.	75
10. CONCLUSIONES	87
11. BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXO 1. CÓDIGO ARDUINO	94
ANEXO 2. CÓDIGO NODEMCU ESP8266	94
ANEXO 3. PRESUPUESTO	111

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de oxígeno para cada tipo de atmósfera controlada. [9]	23
Tabla 2. concentraciones gaseosas para atmósferas en equilibrio de diferentes frutos.....	26
Tabla 3. Atributos biológicos y efectos benéficos del etileno sobre las frutas. [32]	32
Tabla 4. Contenido de azúcar y pectina (%) de algunas variedades de manzana. [48].....	45
Tabla 5. Contenido de aminoácidos en manzana fresca. [48]	46
Tabla 6. Minerales en manzana fresca. [48]	47
Tabla 7. Contenido de vitaminas en 100 g de manzana fresca. [48]	47
Tabla 8. Requisitos de madurez para algunas manzanas. [51]	50
Tabla 9. Clasificación por tamaño de las manzanas. [51].....	51
Tabla 10. Materiales utilizados en las pruebas.	60
Tabla 11. Condiciones de frontera cámara de atmósfera controlada.....	62
Tabla 12. Prueba control de CO ₂ con refrigeración, sin humidificación y sin inyección de CO ₂	71
Tabla 13. Análisis fisiológico y químico del Lote 1.....	74
Tabla 14. Evidencia fotográfica prueba 2 Lote 2.....	75
Tabla 15. Comparación entre peso, diámetro y altura del Lote 2.	78
Tabla 16. Niveles de fructosa del Lote 2.....	78
Tabla 17. Niveles brix del Lote 2.....	79
Tabla 18. Niveles de azúcar del Lote 2.....	79
Tabla 19. pH del Lote 2.....	80

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diseño de preservación de materia animal y vegetal [2].....	14
Figura 2. Control automático para el equilibrio de temperatura y humedad entre un almacenamiento y el exterior. [3]	15
Figura 3. Captura de CO ₂ mediante procesos termodinámicos. [18]	24
Figura 4. Punto de rocío [28].....	30
Figura 5. Proceso de saturación adiabática. [28]	30
Figura 6. La carta psicrométrica [28].....	31
Figura 7. Concentración de gases para temperatura de 13 °C. [33]	33
Figura 8. Tasa de respiración para una temperatura de 13 °C. [33]	34
Figura 9. Placa Arduino UNO [43].....	37
Figura 10. Sensor MQ135. [45].....	39
Figura 11. Curvas de sensibilidad del sensor MQ135 para distintos gases. [46]...	40
Figura 12. Dependencia del sensor MQ135 por temperatura y humedad. [46]	41
Figura 13. Sensor DHT22 [45]	43
Figura 14. Placa NodeMCU ESP8266 y sus características. [47].....	44
Figura 15. Síntesis metodología	52
Figura 16. Subsistemas de la cámara de atmósfera controlada.	63
Figura 17. Comportamiento de la humedad relativa en estado transitorio del sistema.	81
Figura 18. Comportamiento del CO ₂ en el interior de la cámara en estado transitorio del sistema.	82
Figura 19. Comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara en estado transitorio del sistema.	83
Figura 20. Comportamiento de la humedad relativa en estado estable.	84
Figura 21. Comportamiento del CO ₂ en estado estable.....	85
Figura 22. Comportamiento de la temperatura en estado estable.	86

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Espacio utilizable del refrigerador para la cámara de atmósfera controlada.	64
Ilustración 2. Esquema cámara de atmósfera controlada.	65
Ilustración 3. Sistema de inyección de CO ₂	66
Ilustración 4. Ventilador, humidificador y tubo de salida de gas.	67
Ilustración 5. Tablero de control.	68
Ilustración 6. Sistema de control y potencia.	69
Ilustración 7. Código base de datos.	70
Ilustración 8. Vista de la base de datos desde un ordenador.	70
Ilustración 9. Pesaje final de la manzana utilizada en la prueba 1.	71
Ilustración 10. Lote 1 Manzana 1.	73
Ilustración 11. Lote 1 Manzana 2.	73
Ilustración 12. Lote 1 Manzana 3.	74
Ilustración 13. Lote 2 en el interior de la cámara de atmósfera controlada.	77

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Desarrollo de una cámara de atmósfera controlada para la conservación de alimentos en fresco

AUTOR(ES): Diego Fernando Sierra Blanco

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR(A): Sandra Patricia Cuervo Andrade

RESUMEN

La industria agrícola en Colombia presenta una problemática de fluctuaciones de los diferentes tipos de alimentos perecederos que se cultivan, en especial, los frutos climatéricos, desencadenando alzas significativas en las épocas entre una cosecha y otra, y caídas abruptas en los precios cuando hay cosechas. Esto significa grandes pérdidas para los campesinos, debido a que un gran porcentaje del cultivo se pierde antes de llegar a los puntos de distribución, y a su vez, pérdidas para los consumidores, quienes no obtienen un producto de calidad. El objeto de este proyecto es la adaptación de un refrigerador comercial, mediante el control de humedad y mezcla de gases del aire, añadido al control de temperatura, para aumentar el tiempo de conservación de frutos en fresco, disminuyendo su tasa de respiración. El uso de atmósferas controladas por medio de sistemas de enfriamiento, humidificación por ultrasonido y control de $[\text{CO}_2]$, comparado con las demás técnicas (LO, ULO, HLO y control de etileno) para controlar el ambiente, permiten una relación costo beneficio aceptable para mejorar la calidad de los productos. Implementando el uso de microcontroladores, sensores y actuadores compatibles con Arduino para la automatización de este proceso, se disminuyen drásticamente los costos comparados con otro tipo de controladores, haciendo la implementación de este proyecto asequible a un mayor número de comunidades. Los resultados de la calidad de los alimentos se validan mediante normas técnicas colombianas que existen para cada tipo de cultivo, que consisten en muestras de dureza, forma y color para un adecuado control de calidad. El desarrollo de este proyecto se realiza en dos etapas: una primera fase de obtención de requerimientos técnicos obtenidos de la literatura y de diferentes investigaciones previas, una segunda fase de construcción del modelo físico y, una etapa de validación de resultados, siguiendo la normatividad de la entidad pertinente.

PALABRAS CLAVE:

Arduino, Atmósfera, Conservación, Respiración, Senescencia

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Development of a controlled atmosphere chamber for fresh food preservation

AUTHOR(S): Diego Fernando Sierra Blanco

FACULTY: Facultad de Ingeniería Mecánica

DIRECTOR: Sandra Patricia Cuervo Andrade

ABSTRACT

The agricultural industry in Colombia presents a problem of fluctuations of the different types of perishable foods that are grown, especially the climacteric fruits, triggering significant increases in this type of food at times between one harvest and another, and steep falls in the Prices when there are crops. This means large losses for farmers, because a large percentage of the crop is lost before reaching distribution points, and in turn, losses for the consumer, because it does not obtain a quality product. The purpose of this project is the adaptation of a commercial refrigerator, by controlling humidity and mixing gases from the air, added to the temperature control, to increase the preservation time of fresh fruits by decreasing their respiration rate. The use of atmospheres controlled by means of cooling, ultrasonic humidification and carbon dioxide control systems CO₂, compared to the other techniques (LO, ULO, HLO and ethylene control) to control the environment, allow a relationship Acceptable cost benefit to improve product quality. By implementing the use of microcontrollers, sensors and actuators compatible with Arduino for the automation of this process, costs are drastically reduced compared to other controllers, making the implementation of this project affordable to a greater number of communities. The results of food quality are validated by the different Colombian technical standards that exist for each type of crop, which consist of samples of hardness, shape and color for adequate quality control. The development of this project is carried out in two stages: a first phase of obtaining technical requirements obtained from the literature and of different previous investigations, a second phase of construction of the physical model and finally, a stage of validation of results, following the regulations of the relevant entity.

KEYWORDS:

Arduino, Atmosphere, Conservation, Respiration, Senescence.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La industria colombiana frutícola cada vez es más grande, aumentando una problemática de disponibilidad y de competitividad general para dar el salto a mercados más globalizados, los cuales requieren una alta calidad de los productos que se ofrecen.

Esta apertura en el mercado de los alimentos en fresco da vía a investigar en técnicas y métodos para conservar los alimentos; en este caso perecederos; encontrando oportunidades de mejorar su conservación mediante estudios de cultivo de las semillas, etapa de germinación, cosecha y, por último, el almacenamiento en la post cosecha, asegurando la integridad del producto.

Colombia ha presentado un aumento significativo en la producción de la manzana desde 1998 y que, ha presentado descensos de producción entre el 2006 y 2011. En 2013 su producción fue de 2547 Toneladas, lo que hace importante la investigación para mejorar la calidad y la disponibilidad del producto en los tiempos entre cosechas, con unas propiedades de aproximadamente 80% de peso en agua, 15% de carbohidratos y un 5% de proteínas, convirtiéndola en una fruta con altos valores nutricionales.

El desarrollo de tecnologías de refrigeración y control de humedad han posibilitado la entrada del concepto de atmósferas controladas para la conservación de estos alimentos, así como de control de mezcla de componentes del aire y producción de etileno. Dentro de esta tecnología se destaca el uso de ambientes con cantidades pequeñas de oxígeno (ULO y HLO), el cual es un acelerador de la maduración de los alimentos en fresco; cantidades moderadas de dióxido de carbono, el cual puede afectar las condiciones fisiológicas del alimento; Control de etileno. Esto requiere un trabajo de control de variables importante, debido a que se evalúa la temperatura, humedad, mezcla de gases y también la producción de compuestos que surgen a partir del proceso de respiración del fruto, como proteínas, ácidos y hongos.

En la investigación realizada, se desarrollará un prototipo para la conservación de alimentos en fresco mediante el uso de atmósfera controlada, con un control

integrado basado en un lenguaje de programación C y un microcontrolador Arduino, enfocado a la investigación y que se convierta en un modelo de utilidad destinado a pequeños productores de la región de Santander, Colombia.

1. ANTECEDENTES

El uso de cámaras de atmósferas controladas para la conservación de alimentos, en especial alimentos perecederos, inició como una solución para mitigar la cantidad de alimentos que, por su naturaleza de corta vida, no lograban llegar a ser consumidos; esto representaba una gran cantidad de dinero en pérdidas para los cultivadores, ya que cuando se realizaba la cosecha de los diferentes frutos, la competencia era muy grande y su valor disminuía [1]. Con la entrada de la tecnología y la automatización se pueden lograr resultados muy beneficiosos para el productor, porque su producto se puede comercializar en cualquier época del año, independientemente del tiempo de cosecha y lograr una mayor calidad, lo que significa un aumento en la rentabilidad.

A mitad del siglo pasado, se creaba la atmósfera controlada mediante la inyección manual de gases (Nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono) mediante diferencias de presión, sumado a un control de ventilación con el objetivo de controlar el proceso de producción de carbohidratos, el cual fue automatizado mediante el uso de compuertas lógicas.

Figura 1. Diseño de preservación de materia animal y vegetal [2]

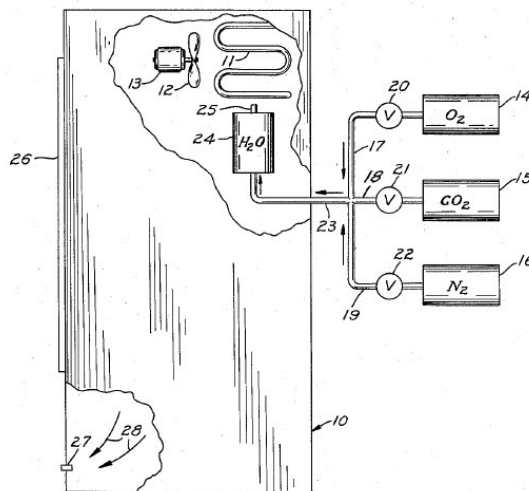
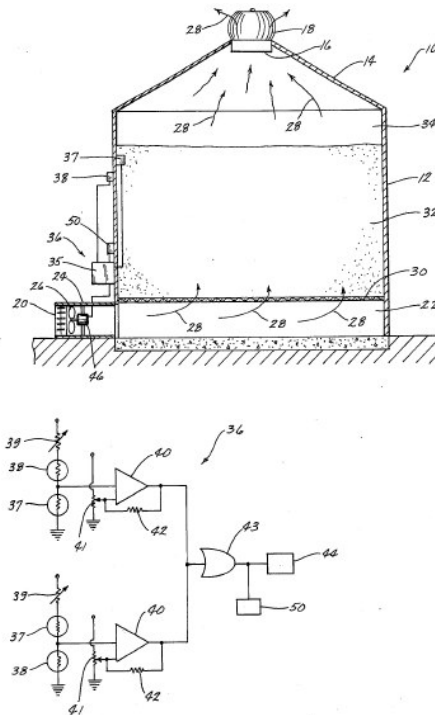


Figura 2. Control automático para el equilibrio de temperatura y humedad entre un almacenamiento y el exterior. [3]



En la actualidad, se han encontrado métodos de unir los procesos de refrigeración, control de humedad y gases, para diferentes fines que inciden en la calidad del producto, como la acidez, la pérdida de olores, la pérdida de agua, el contenido nutricional, el pH, debido a que estos factores afectan de diferentes formas a cada tipo de alimento.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La necesidad creciente de mejorar los estándares de calidad de los alimentos ha hecho más tediosa la labor de conservación de alimentos, debido a que la salud pública es un tema muy delicado y frágil cuando se trata del proceso y transformación de los frutos para el consumo humano. Así también, el desconocimiento de aplicaciones de atmósferas controladas para la conservación de alimentos en fresco como una solución factible para ciertos alimentos que tienen un tiempo de vida corto antes de que comience el deterioro celular, hace más difícil la comercialización de estos. Por último, los altos costos de logística, almacenamiento y transporte de estos alimentos elevan el precio y pueden perjudicar la calidad del producto. Se plantea el uso de dispositivos de atmósferas controladas como solución factible para elevar la calidad o, en su defecto, mantener la calidad, reduciendo el tiempo del proceso de maduración y, obtener datos que sean útiles para una estandarización de estos procesos. Este proyecto, consiste en el diseño de una cámara de atmósferas controladas, a partir de dispositivos de refrigeración de uso comercial, adaptando un nuevo control de variables atmosféricas y de estudios preliminares enfocados al comportamiento de diferentes alimentos después de su cosecha, como lo son las frutas, debido a su tiempo de maduración rápida y, finalmente la construcción del dispositivo con el cual, se da la posibilidad de realizar pruebas de campo y tomar datos experimentales, para compararlos con otros estudios en diferentes partes del globo.

3. ALCANCE

Enfocado hacia una primera etapa de tecnificación del agro en la región, se plantea este proyecto hacia las pequeñas y medianas empresas ubicadas en el sector rural, como una solución para abarcar la demanda de frutas de calidad en los tiempos entre cosechas, y que las diferentes agrupaciones campesinas adopten esta solución para aplicarla en los diferentes tipos de cultivos que se puedan producir en otros sectores del país, y como finalidad obtener una mayor diversidad de frutos disponibles en cualquier momento, independientemente de la periodicidad de las cosechas, con un bajo costo que sea asequible a la población rural.

4. JUSTIFICACIÓN

La conservación de alimentos perecederos es un tema bastante complicado, debido a que se requiere un gran esfuerzo para obtener una calidad aceptable en el momento en el que llega a las manos al consumidor. Sumado a eso el comportamiento de la respiración y la senescencia de estos después de su cosecha. Se plantea una solución a esta problemática mediante dispositivos de atmósferas controladas, los cuales disminuyen la respiración de los productos, debido a que el proceso metabólico de estos continua después de haber sido recolectadas, mediante cambios en los niveles de oxígeno y dióxido de carbono presentes en el ambiente al cual se someten, así como también cambios en la temperatura, humedad y, en algunos casos, de etileno. Como resultado de este control, se alarga significativamente la vida del alimento. Esto hace que se incremente la disponibilidad de los alimentos que son conservados aumentando la oferta para los consumidores. Cabe resaltar que, cada alimento se comporta de manera diferente; esto se puede observar en el tipo y la cantidad de microorganismos que se generen y la cantidad de recursos ambientales necesiten para su metabolismo. El diseño del dispositivo tiene en cuenta un rango bastante amplio para el control y la modificación de los parámetros, con el objeto de abarcar la mayor cantidad de productos, haciendo que el dispositivo sea de uso universal.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Desarrollar una cámara para la conservación de alimentos en fresco, mediante el control de parámetros atmosféricos, como temperatura, humedad, así como los niveles de oxígeno y dióxido de carbono contenidos en el aire, para mitigar la actividad respiratoria de los alimentos, prolongando su vida.

5.2. Objetivos específicos

Alcanzar requerimientos estándar para la aplicación de atmósfera controlada para la conservación de alimentos en fresco, mediante pruebas sobre los diferentes parámetros a tener en cuenta, basadas en una revisión bibliográfica.

- **Resultado:** Realizar una recopilación de datos del proceso de maduración de los frutos.
- **Indicador:** La recopilación de los datos obtenidos debe facilitar la selección de una metodología de diseño.

Diseñar una cámara de atmósfera controlada a partir de los requerimientos obtenidos en instancias preliminares.

- **Resultado:** Diseño del dispositivo.

- **Indicador:** El dispositivo debe contar con requerimientos estándares enfocados para el sector alimenticio.

Construir una cámara de atmósfera controlada que pueda operar en diversas configuraciones de temperatura, humedad y mezcla de gas-vapor, en especial de las concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno, para abarcar la mayor cantidad de productos en el sector alimenticio.

- **Resultado:** Cámara para atmósfera controlada automatizada.
- **Indicador:** El dispositivo debe aumentar la vida del producto sin verse afectado la calidad del mismo.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Cámara de atmósferas controladas

Las cámaras atmósferas controladas para la conservación de frutas son un mecanismo utilizado en una gran variedad de alimentos, en especial en frutos no climatéricos, para controlar y reducir el metabolismo del alimento una vez que ha sido recolectado. Esto prolonga la vida del producto y disminuye el proceso de maduración y senescencia, manteniendo la calidad del producto y la disponibilidad del mismo.

Esto es posible mediante el uso de cámaras de atmósferas controladas, que son dispositivos que intervienen modificando la composición gaseosa de la atmósfera en un espacio cerrado, en la que se realiza un control de regulación de las variables físicas del ambiente. Esta técnica está asociada a bajas temperaturas; acentúa el efecto de la refrigeración sobre la actividad celular en el producto, evitando ciertos problemas fisiológicos [4].

Controlar los parámetros de para el cuidado del producto, es una tarea bastante tediosa, debido a que existen diversos rangos de temperatura, humedad y concentración de los componentes del aire que se deben tener en cuenta. La senescencia se refiere a los cambios sufridos por el metabolismo, la producción de etileno y de otras sustancias, a lo largo del tiempo. Estas sustancias, tales como el ácido abscísico y los jasmonatos, se les atribuyen los cambios en la estructura celular del producto. En contraparte, hormonas como las giberelinas, citoquininas y brasinoesteroides, se relacionan con un retraso en la senescencia del producto. Otro factor importante a lo largo de todo el proceso de maduración del producto, es el etileno, el cual es un compuesto químico responsable de los procesos de estrés en las plantas, así como en la maduración de los frutos. Los niveles de este compuesto varían a lo largo del proceso de maduración del producto conforme lo hace la tasa de respiración que presentase el fruto [5]. Hay varias formas para producir etileno, la más utilizada en la industria es:

- Generación del ácido 2-cloroetano fosfónico (etefón) en solución acuosa. Cuando el nivel de acidez es mayor a 5, la molécula de etefón se hidroliza espontáneamente liberando etileno.

Sumado a todo esto, se presenta otro parámetro, el cual es la sensibilidad a concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono, en función de la temperatura de conservación. Cuando la temperatura aumenta o la duración del almacenamiento aumenta, también lo hace el límite de tolerancia al oxígeno. La tolerancia de los productos a elevados niveles de dióxido de carbono disminuye al disminuir los niveles de oxígeno [6]. Algunos estudios afirman que la pérdida de peso en el fruto en su proceso de maduración no tiene una relación significativa entre la temperatura y el tiempo de conservación, sino de la composición atmosférica a la cual se exponga el fruto. [7] [8] A lo largo del desarrollo de la industria alimenticia, se han implementado varios de estos métodos para la conservación de alimentos.

6.1.1 Empobrecimiento de oxígeno: LO, ULO y HLO.

Las atmósferas de bajo contenido de oxígeno LO, ultra bajo contenido de oxígeno ULO e Hiper bajo contenido de oxígeno HLO, son unos métodos que consisten en disminuir el porcentaje de oxígeno dispuesto en la atmósfera que se va a controlar, ya que en este entorno se disminuye la tasa de respiración y el calor generado por la fruta y, a su vez, controlar la producción de etileno. También se consigue frenar el metabolismo de azúcares, proteínas, lípidos, ácidos, pectinas y vitaminas, como consecuencia, evitar la formación de algunos géneros fúngicos. El fruto una vez expuesto a estas condiciones queda en forma latente, pero con la posibilidad de una reactivación vegetativa una vez que este entre en contacto con la atmósfera exterior. Cabe aclarar que la técnica HLO supone un gran riesgo por hipoxia de los frutos. [9] Algunos frutos como la papaya pueden tolerar concentraciones de oxígeno hasta de 0,2%. El rango promedio de concentraciones de oxígeno para la mayoría de los frutos se encuentra

entre el 1% y el 5%, debido al riesgo de respiración anaerobia, elevación de niveles de etanol y acetaldehído, causando sabores y aromas no deseados. [10] [11]

Tabla 1. Nivel de oxígeno para cada tipo de atmósfera controlada. [9]

Técnica	Nivel Oxígeno [%]
Atmósfera estándar	4.0 - 3.0
LO	3.0 - 2.0
ULO	1.9 - 1.2
HLO	1.1 - 0.8

6.1.2 Enriquecimiento de CO₂

Esta técnica consiste en disminuir drásticamente la actividad respiratoria de la fruta, mediante inyección de dióxido de carbono en la atmósfera controlada, desplazando el oxígeno presente. Con esto, se garantiza una actividad respiratoria considerablemente menor, sin afectar la pigmentación y ayudando a la conservación de la firmeza del alimento. [12] Esta acción sobre la respiración del fruto es mucho más importante que el efecto que causan las bajas temperaturas. [13] Los rangos de concentraciones de dióxido de carbono nominales de estas cámaras están entre 8% y 20%, (En éste rango máximo, se mitiga en gran cantidad el crecimiento de hongos) [14] donde la menor cantidad de dióxido de carbono favorece el mantenimiento del peso del producto y, altos contenidos de dióxido de carbono disminuyen la senescencia de la fruta, debido a que el dióxido de carbono actúa como un inhibidor compatible del etileno.

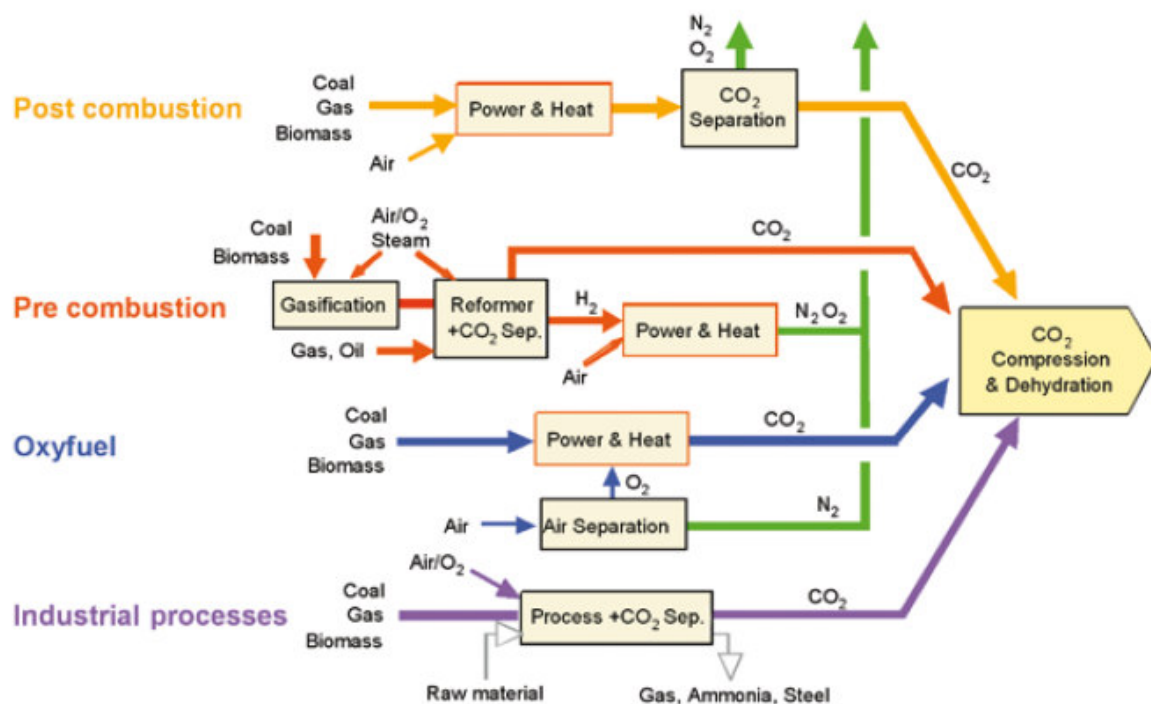
Altas concentraciones de CO₂ provocan injurias fisiológicas y favorecen la infección de tejidos y el desarrollo de *Black spot*, [10] y [15] ocasionan una pérdida considerable de azúcares al disminuir el proceso de

conversión de polisacarosa, produciendo pérdida de olor y aumento de la acidez [16]. Algunos frutos pueden resistir concentraciones de dióxido de carbono cercanas a 30%. [17]

6.1.3 Captura de CO₂

En la actualidad existen 3 técnicas para capturar el CO₂ mediante procesos termodinámicos de post combustión, pre combustión y oxi combustión.

Figura 3. Captura de CO₂ mediante procesos termodinámicos. [18]



En el proceso de post combustión, el CO₂ se separa mediante la aplicación de solventes químicos o físicos. Esto permite que la separación se lleve a cabo en temperaturas relativamente bajas y con bajos índices de CO₂ que no se lograron separar en la mezcla final. Generalmente, se utilizan disoluciones acuosas de alcanolaminas [19].

Para capturar el CO_2 antes de la combustión se pretende eliminar la molécula de carbono existente en el gas de síntesis proveniente de la gasificación del carbono o gas natural previamente a su combustión. Como resultado, con la pre combustión se obtendrá una producción de hidrógeno altamente puro, para conseguir el gas de síntesis (Hidrógeno y Monóxido de Carbono) que, mediante la reacción de desplazamiento de agua-gas convierta el CO en CO_2 .

Por último, las tecnologías de oxidcombustión están basadas en la combustión directa del combustible con O_2 en ausencia de nitrógeno. Al utilizar O_2 como comburente, los gases de combustión serán fundamentalmente dióxido de carbono y agua. Por tanto, una de las ventajas de la oxidcombustión es que el dióxido de carbono se obtiene con elevada pureza, de modo que, puede ser separado del agua con relativa facilidad en un condensador.

6.1.4 Procesos de enfriamiento

La humedad cumple un papel importante en la conservación de los alimentos en fresco, debido a que, con el tiempo, dichos alimentos comienzan a perder agua y, por consiguiente, a perder peso. Varias investigaciones sugieren humedades relativas en un rango de entre el 80% y 95% para evitar la proliferación de bacterias, combinados con atmósfera de alto contenido de dióxido de carbono (12,6%), con resultados de pérdida de peso aproximadamente de 23%, para almacenamiento de más de 30 días. [20] [21] Pérdidas de peso superiores al 5% causan una disminución en la calidad del producto. [22]

Las técnicas de control de gases se complementan con bajas temperaturas y altas humedades. Esto prolonga la vida del fruto y evita la proliferación de bacterias y hongos, que son los mayores causantes de la muerte de alimento.

[12] A su vez, ralentizan los procesos metabólicos que inciden en el envejecimiento de los tejidos del producto. [21] Los frutos que se exponen a técnicas de control de gases sumados a técnicas de refrigeración sufren un mucho menor daño en comparación a frutos que se conservan a condiciones ambiente. [23] [24]

A continuación, se presenta una tabla de concentraciones gaseosas para atmósferas en equilibrio, acompañado por un rango de temperaturas de conservación de algunos productos.

Tabla 2. concentraciones gaseosas para atmósferas en equilibrio de diferentes frutos.

Producto	Temperatura [°C]	% Oxígeno	% Dióxido de carbono
Chabacano	0-5	2-3	2-3
Aguacate	5-13	2-5	3-10
Brócoli	0-5	1-2	5-10
Calabaza	0-5	3-5	5-7
Cereza	0-5	3-10	10-12
Coles de Bruselas	0-5	1-2	5-7
Coliflor	0-5	3-5	2-5
Champiñón	0-5	3-10	10-15
Espárragos	0-5	1-2	5-10
Espinacas	0-5	2-5	10-20
Fresa	0-5	Aire	15-20
Granada	4-6	Aire	0-2

Kiwi	0-5	Aire	5
Lechuga	0-2	10	0
Limón	12-14	5-10	0-2
Mandarina	4-5	2	0-2
Mango	10-15	2-5	5
Manzana	0-5	5-10	1-2
Melón	2-4	10-12	10-15
Durazno	0-5	1-2	5
Naranja	2-4	10-12	0-2
Papaya	10-15	5	10
Pera	0-5	2-3	0-1
Pepino	8-12	3-5	0
Piña	10-15	5	10
Toronja	10-15	3-10	5-10
Jitomate	8-12	3-5	0

Podemos observar que, los valores de temperatura nunca alcanzan temperaturas bajo cero; esto es muy importante evitarlo, debido a que se puede producir la congelación del producto, alterando la estructura celular del mismo (sobre todo en productos sensibles al frío), y se debe mantener la temperatura estable, debido a que en el proceso de maduración se produce calor. En este proceso de respiración también se produce pérdida de agua de forma natural. Para contrarrestar este fenómeno, se utilizan humedades

relativas elevadas mediante humidificadores, sin llegar a humedades mayores al 90%; produce condensación y favorece el crecimiento de moho [25].

En la industria frigorífica y la conservación de alimentos se utilizan en su mayoría cámaras frías para éste propósito, en donde se obtiene un compartimento aislado del ambiente exterior y se mantiene a temperaturas bajas, mediante la obtención de frío artificial, de varias maneras:

- Fusión de sustancias y sometiéndolas a bajas temperaturas.
- Disolución de sustancias que convenientemente asociadas, procuran descensos notables de temperatura.
- Evaporación de líquidos volátiles, gases licuados o agua.

Las temperaturas en el condensador, en el evaporador y del fluido refrigerante utilizados en las cámaras frías son importantes para obtener la eficiencia del proceso, ya que controlan la presión y la capacidad de disipación de calor y a su vez, la capacidad de compresión [26].

Los métodos de enfriamiento aplicados en la conservación de alimentos y en la industria frigorífica en general, son los siguientes:

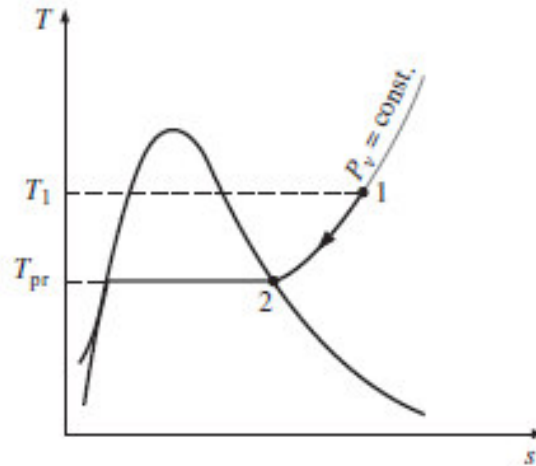
- Enfriamiento por radiación. Proceso que utiliza varios circuitos de tubería colocados en los lados o en el techo de la cámara, absorbiendo la energía radiante de la atmósfera aislada, disminuyendo su temperatura.
- Enfriamiento por ventilación seca. El fluido de enfriamiento se hace pasar por un ventilador y se enfría cuando entra en contacto con la tubería. Abandona su humedad bajo la forma de escarcha y se empuja al interior de la cámara y se distribuye.
- Enfriamiento por ventilación húmeda. El fluido de enfriamiento se enfría por contacto directo con solución salina. Este proceso requiere el enfriamiento de la salmuera.

Otra forma de fabricar hielo artificial para mantener la refrigeración de la cámara de atmósferas controladas es agitar el fluido (salmuera) en el momento de su congelación mediante unas rejillas que se agitan para mejorar la estructura del hielo [27].

6.1.5 Temperatura de punto de rocío, humedad relativa y la carta psicrométrica

La temperatura de punto de rocío hace referencia a la temperatura a la que se inicia la condensación si el aire se enfría a presión constante [28].

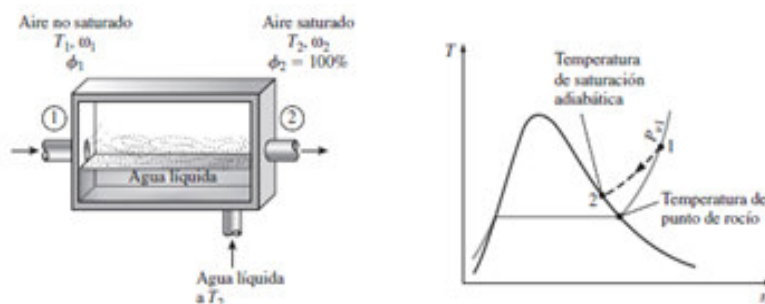
Figura 4. Punto de rocío [28]



Es decir, en el instante donde la temperatura del aire disminuya hasta tal punto, se encuentre con la línea divisoria de vapor saturado, a una presión constante, el agua contenida en el aire se empezará a condensar.

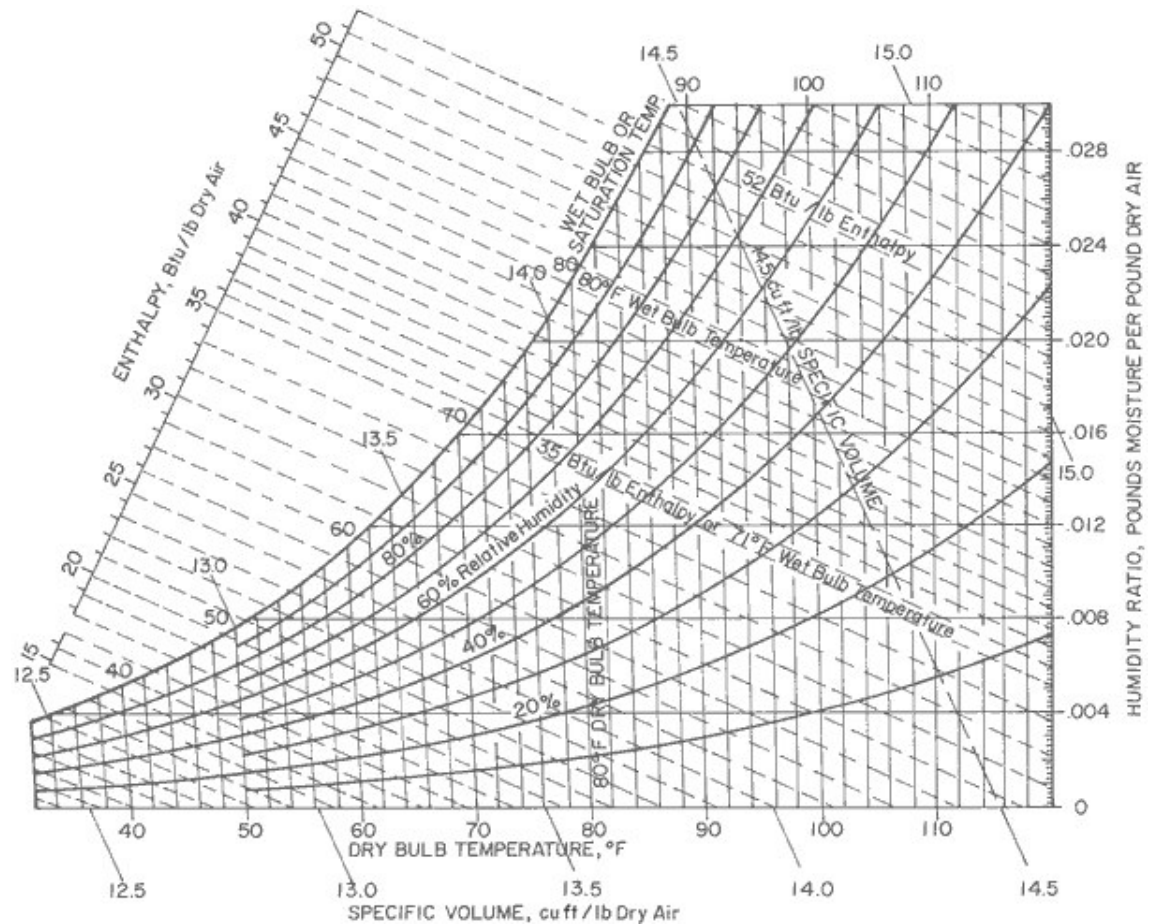
La humedad relativa hace referencia a la cantidad de vapor de agua que posee una masa de aire con respecto a la máxima cantidad de agua que podría tener en relación con su presión y temperatura. Este valor se obtiene a partir de un balance de energía entre la entrada y la salida de un sistema de flujo estacionario que posee agua, por el cual se hace atravesar aire no saturado, como se ilustra en la siguiente imagen:

Figura 5. Proceso de saturación adiabática. [28]



La carta psicrométrica se basa en un sistema gráfico que presenta el comportamiento de las diferentes propiedades termodinámicas de un elemento o compuesto para una presión específica.

Figura 6. La carta psicrométrica [28]



6.2 Maduración y producción de etileno

La maduración es la etapa más importante que atraviesa la fruta antes de la cosecha, debido a que es el tiempo en donde se realizan procesos de transformación de componentes, que dan como resultado los rasgos propios de la

fruta como olores, sabores, forma, color, tamaño, textura y contenido nutricional. A medida que el fruto va desarrollándose, se produce etileno; un compuesto gaseoso que contiene dos átomos de Carbono, cuatro de Hidrógeno y un doble enlace, que juega un papel importante en el control de la senescencia de los órganos, respuesta al estrés, germinación de la semilla, cicatrización de las heridas y la iniciación del proceso de maduración. [29] La firmeza del fruto es uno de los parámetros más dependientes de la producción de este gas. [30] En este proceso se aumenta la tasa de respiración del fruto, debido a que es proporcional a la velocidad de transporte de material proteínico y enzimático que ocurre en esta etapa. [31] La ecuación química que muestra el desarrollo del fruto se muestra a continuación.



Tabla 3. Atributos biológicos y efectos benéficos del etileno sobre las frutas. [32]

Atributos Biológicos	Efectos Benéficos
Gas incoloro	Promueve el desarrollo de pigmentación
Compuesto de ocurrencia natural	Estimula la maduración climatérica
Rápida difusión dentro del tejido	Promueve el desverdizado en cítricos
Producido a partir de metionina vía ACC	Estimula la dehiscencia en nueces
Síntesis inhibida en tejido reproductivo vegetal	Altera la expresión sexual en cucurbitaceae
Síntesis promovida en tejido climatérico reproductivo	Promueve el florecimiento en bromeliaceae

Requiere oxígeno para ser sintetizado, y oxígeno y dióxido de carbono para ser activado	Reduce depósitos de cereales por inhibición de la elongación del tallo
---	--

Ciertas condiciones de estrés pueden introducir cambios fisiológicos en el desarrollo del fruto como un aumento de la respiración, sensibilidad a bajas o altas temperaturas, aparición de heridas mecánicas, infección por patógenos y estrés nutricional. [29]

En las siguientes figuras, podemos observar el consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono, como resultado del proceso de maduración en bananos Grow Michel, así como su tasa de respiración.

Figura 7. Concentración de gases para temperatura de 13 °C. [33]

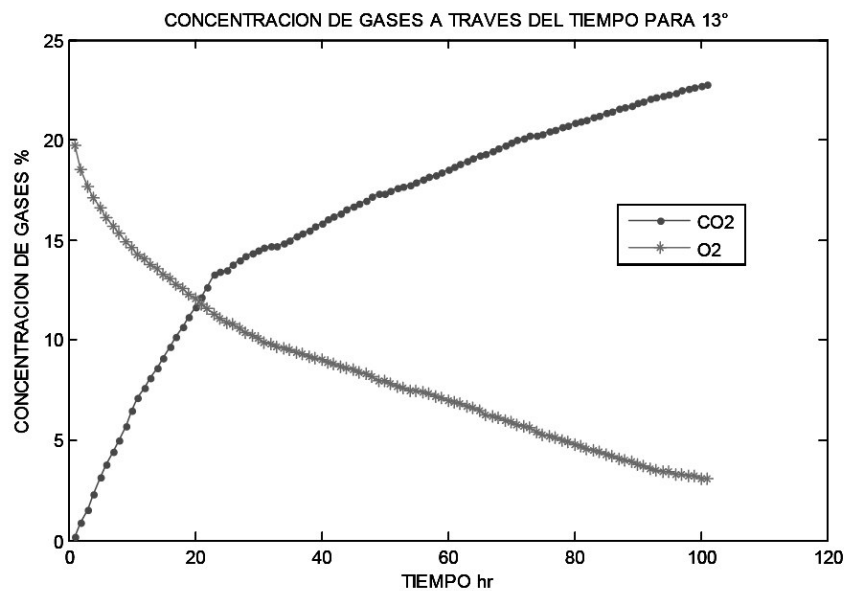
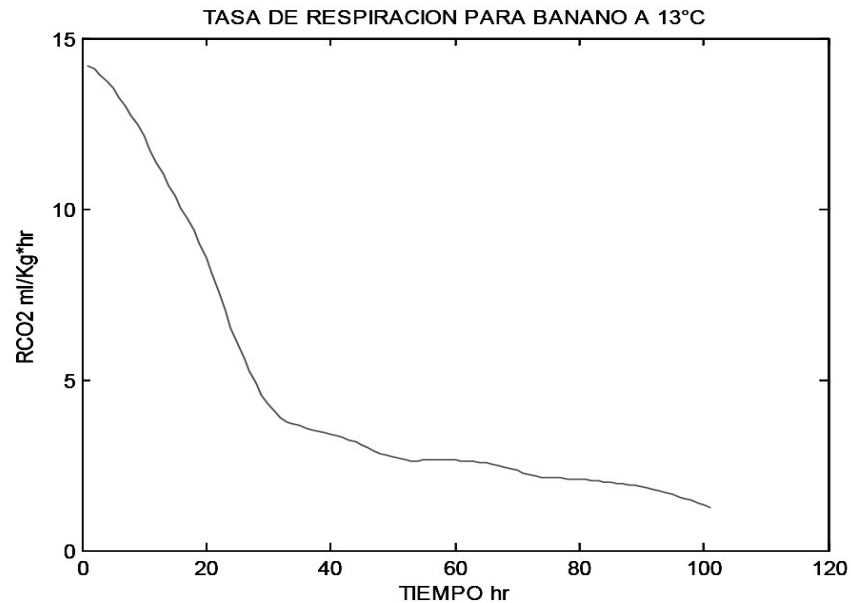


Figura 8. Tasa de respiración para una temperatura de 13 °C. [33]



Podemos observar, que la cantidad de oxígeno disminuye progresivamente en simultáneo con un aumento en la concentración de dióxido de carbono. Este comportamiento es similar para los frutos climatéricos.

6.3 Crecimiento bacteriano

Uno de los factores que es fundamental en el desarrollo de microorganismos en el proceso de maduración de los frutos es el pH. Algunos microorganismos, como algunas bacterias, pueden tolerar un rango de pH entre 4 y 9. En contraparte, los mohos y levaduras, que son productos de procesos químicos inherentes a la maduración del fruto, pueden tolerar valores de pH por debajo de 3.5. Éstos microorganismos pueden sobrevivir en condiciones adversas debido a que la microflora natural de la superficie de los frutos ocasionan cambios de textura, favoreciendo el desarrollo bacteriano. [34]

Una manera muy eficaz de mitigar el desarrollo de microorganismos en el fruto es disminuyendo la temperatura del fruto [35], ocasionando un aumento en los niveles de acidez. La capacidad de limitar éste desarrollo depende del tipo de microorganismo, especie, tipo y concentración de acidez en el fruto. [13] También se puede retrasar la proliferación de microorganismos aerobios combinando niveles cercanos a 4 kPa de oxígeno y 15 kPa de dióxido de carbono, obteniendo una mejor apariencia, color y textura y reduciendo al 10% las pérdidas por podredumbres. [11]

6.4 Otros métodos de conservación de alimentos

En la actualidad, existen muchas variables de las cámaras de atmósfera controlada, así como de nuevas técnicas que se adicionan a la refrigeración y al control de gases que interactúan en el proceso de maduración de los frutos. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

Uso de 1-Metilciclopropeno (1-MCP).

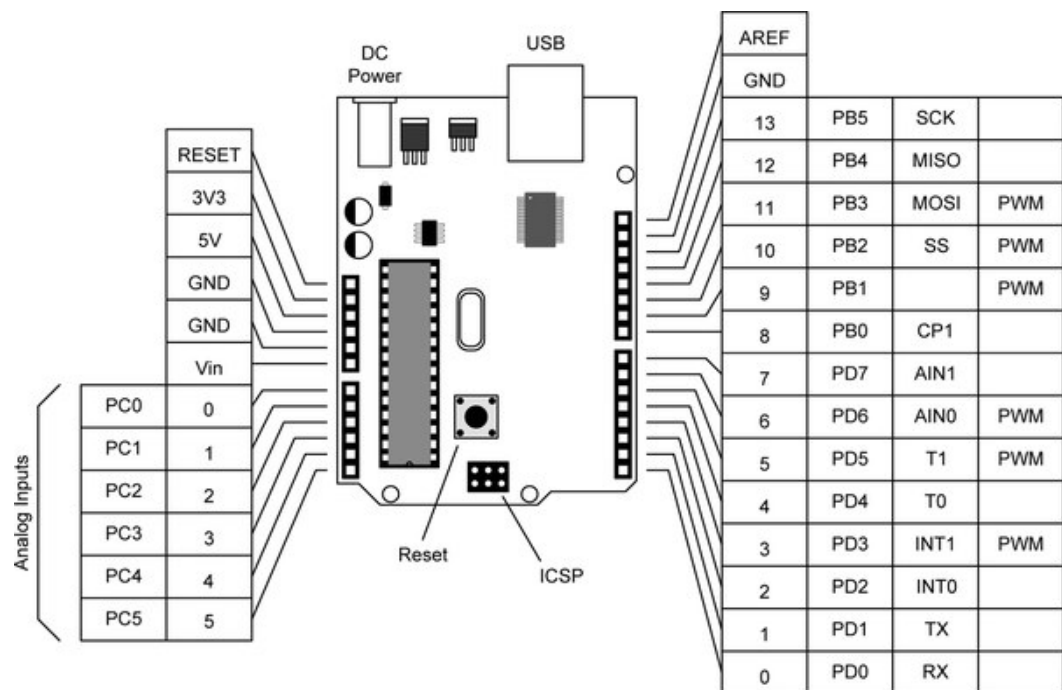
- Este método consiste en rociar este compuesto como agente bloqueador de receptores de etileno, controlando la senescencia de los frutos. También se ha demostrado que es muy efectivo para el control de escaldadura superficial en manzanas [36]. Estudios han demostrado que utilizando este agente se reduce la acidez titulable del fruto, independiente del sistema de conservación, sin generar efectos nocivos en la pulpa de la fruta. [37] [38]
- UV-C.
- Consiste en exponer a los frutos a un tratamiento con radiación UV-C con longitudes de onda de 200-280 nm para la desinfección de frutos antes de su almacenamiento, [39] exponiendo el fruto a reflectores de acero con lámparas de luz germicida. Este tratamiento es efectivo para tiempos de conservación de hasta 2 meses. [40]
- Cámara de atmósfera controlada dinámica.
- A diferencia de la cámara de atmósfera controlada convencional, ésta funciona a concentraciones muy bajas de oxígeno, con valores alcanzando el LMO, y reajusta la concentración de oxígeno cada vez que los frutos alcanzan el límite mínimo de oxígeno LMO debido a su proceso de respiración. [41] El control de estas cámaras se basa en sensores de fluorescencia de la clorofila que pueden detectar, los niveles de estrés por hipoxia en manzanas peras y otras especies. [42]

6.5 Control de variables

El control de variables mediante el uso de sistemas integrados con arduino; consisten en una placa de hardware libre, que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de conexiones, permitiendo una fácil adecuación de

sensores y actuadores, hacen atractivo su uso para diferentes propósitos en áreas enfocadas a control orientado a objetos, debido a su bajo costo, facilidad en el momento de programar el controlador y la accesibilidad que puede tener. Existen muchas placas de diversos fabricantes que incorporan variaciones en los modelos de microcontroladores, pero ofrecen una funcionalidad similar a la de las placas arduino. El hecho de ser un software libre hace que cualquiera pueda mejorar el ambiente de trabajo (desarrollo de software y lenguaje de programación); variantes no oficiales de arduino y la creación de librerías software que se adaptan a necesidades específicas.

Figura 9. Placa Arduino UNO [43]



Para cada aplicación de arduino existen librerías, que son un conjunto de instrucciones de un lenguaje de programación agrupadas de una forma coherente, es decir, realizan operaciones relacionadas que el usuario quiere para obtener un resultado determinado. También proveen funcionalidad extra, permitiendo reducir el código de programación, convirtiéndolo en flexible y modular. [44]

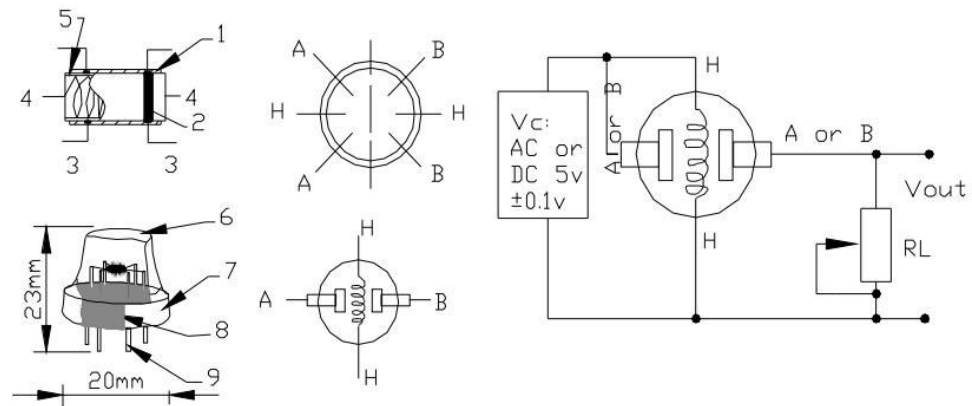
Entre las características físicas más importantes del arduino, podemos observar:

- La alimentación. El voltaje de funcionamiento de la placa arduino es de 5 V, y podemos obtener esta alimentación eléctrica mediante fuentes externas AC/DC o una batería o en su defecto, conectarlo a un ordenador.
- El voltaje y la corriente de salida ofrecido se encuentra en un rango de entre 9 – 12 V DC y 250 mA, respectivamente.
- Entradas y salidas digitales. Dispone de 14 pines hembra de entradas o salidas digitales, numeradas desde 0 hasta 13. En estos se realiza la conexión de los sensores para que a placa pueda recibir datos del entorno, y así, poder enviar una señal a un actuador para ejercer un control sobre esta variable.
- Entradas analógicas. Dispone de 6 entradas analógicas, etiquetadas desde A0 hasta A5, que pueden funcionar con una alimentación de entre 0 y 5 V.
- Salidas analógicas. La placa arduino no dispone de pines hembra para salidas analógicas, sino que utiliza algunos pines hembra de las salidas digitales específicas para simular un comportamiento analógico. Estos pines están referenciados con la etiqueta PWM.
- Reloj. La placa arduino posee internamente un reloj, que guía la rapidez de la ejecución de las instrucciones del microcontrolador.

6.5.1 Sensor de calidad de aire MQ135

Este sensor es utilizado para la detección de contaminación del medio ambiente, y es utilizado como alarma para domicilios, donde se desee prevenir contaminación aeróbica. Detecta la concentración de gas en diversos porcentajes, enviando una señal analógica y digital, que puede ser procesada por un microcontrolador.

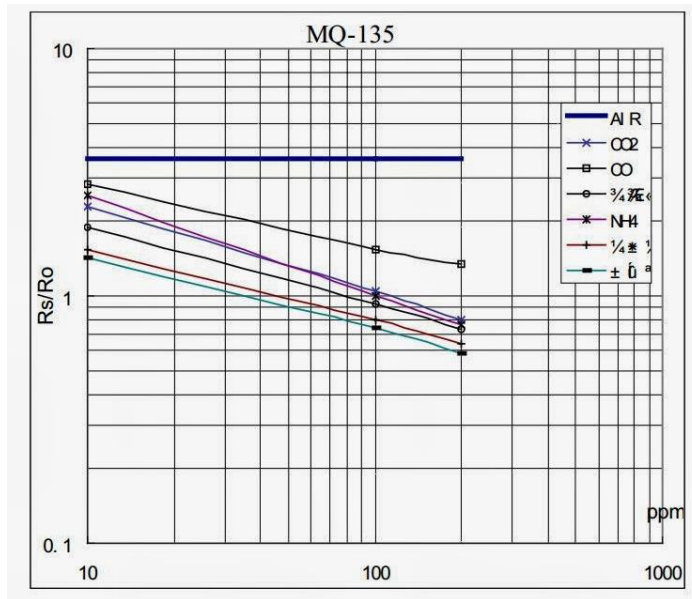
Figura 10. Sensor MQ135. [45]



- Entre sus especificaciones técnicas están: Voltaje de operación. 5 V DC.
- Corriente de operación. 150 mA.
- Potencia de consumo 800 mW.
- Tiempo de precalentamiento 20 s.
- Resistencia de carga con potenciómetro.
- Detección de partes por millón 10 ppm – 1000 ppm.
- Concentración detectable de amoníaco, sulfuro, benceno, humo
- Concentración de oxígeno 2% - 21%.
- Humedad de operación <95% RH
- Temperatura de operación de -20°C – 70°C.

Para calibrar el sensor de dióxido de carbono se requieren los siguientes datos:

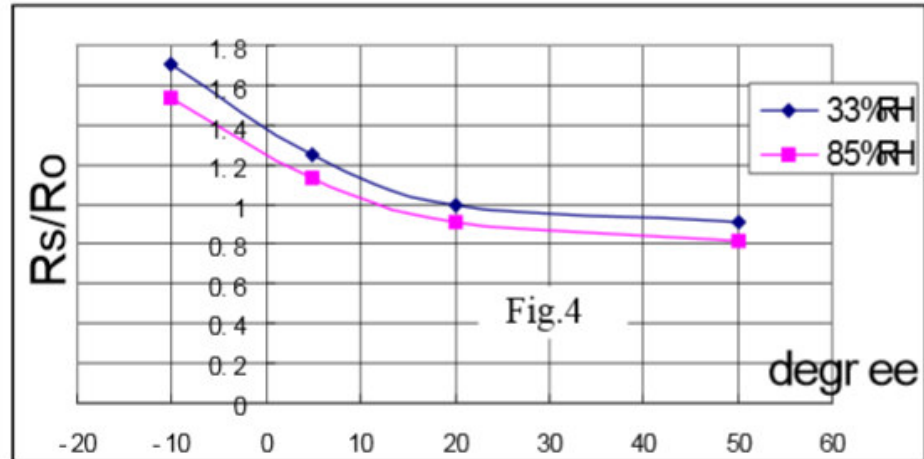
Figura 11. Curvas de sensibilidad del sensor MQ135 para distintos gases. [46]



En la imagen anterior se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- 20°C con Humedad de 65%
- Concentración de oxígeno de 21%
- $R_l = 20 \text{ K}\Omega$
- R_0 = Resistencia del sensor a 100 ppm de HN, en el aire limpio.
- R_s = Resistencia del sensor a varias concentraciones de gases

Figura 12. Dependencia del sensor MQ135 por temperatura y humedad. [46]



Dónde se definen los siguientes parámetros:

- R_0 = Resistencia del sensor a 100 ppm de NH_3 en aire a 33% de Humedad y 20°C
- R_s = Resistencia del sensor con 100 ppm de NH_3 en el aire a diferentes temperaturas y humedades.

La primer imagen, permite ajustar a una función del tipo $y = a \cdot x^b$, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{R_s}{R_0} = a \cdot (\text{ppm})^b$$

$$\frac{R_s}{R_0} = a \cdot (\text{ppm})^b$$

$$\text{ppm} = \left(\frac{R_s}{R_0} \cdot \frac{1}{a} \right)^{1/b} \quad (2)$$

Tomando varios puntos y realizando un ajuste de mínimos cuadrados podemos obtener el factor de escala y el exponente para el gas que queremos medir, en este caso, dióxido de carbono. [46]

$$a = 5.5973021420$$

$$b = -0.365425824$$

Necesitando sólo una cantidad conocida del gas cuya concentración queremos medir, calculando así el valor de R_o calibrado. Calibrando el sensor con la concentración de este gas presente en el aire ambiente obtenemos:

$$R_s \text{media} = \frac{\sum_1^n R_s}{n} \quad (3)$$

Siendo:

R_s : Resistencia del sensor.

$$R_s \text{media} = 1024 \cdot \left(\frac{R_L}{adc} \right) - R_L \quad (4)$$

V_c : Tensión de alimentación (5 V).

adc : Voltaje digital de salida que se obtiene al leer la salida analógica a la que está conectado el sensor.

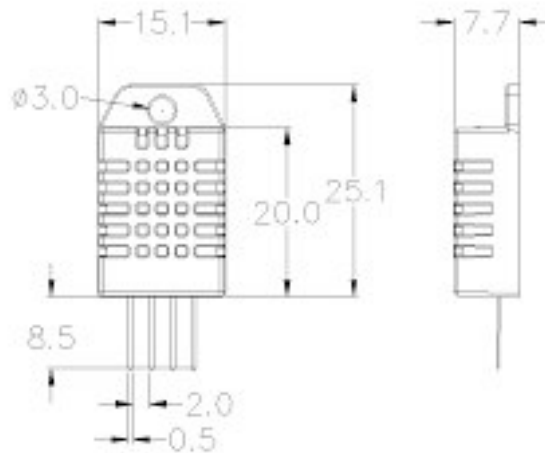
R_L : Resistencia de carga.

n : Número de lecturas realizadas durante la calibración del sensor.

6.5.2 Sensor de temperatura DHT22

El sensor DHT22 es un sensor digital de humedad y temperatura. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para evaluar el aire circundante, y envía una señal digital que el microprocesador puede capturar.

Figura 13. Sensor DHT22 [45]



Entre sus especificaciones técnicas están:

- Voltaje de alimentación de 3.3 – 6 V DC.
- Temperatura de trabajo -40°C – 80°C.
- Precisión de medición de temperatura 0.5°C.
- Resolución de temperatura 0.1 °C.
- Rango de medición de humedad 0% – 100% RH.
- Precisión de medición humedad 2%.
- Resolución de humedad 0.1% RH
- Tiempo de censado 2 s.

6.5.3 NodeMCU. board de desarrollo con módulo ESP8266 wifi

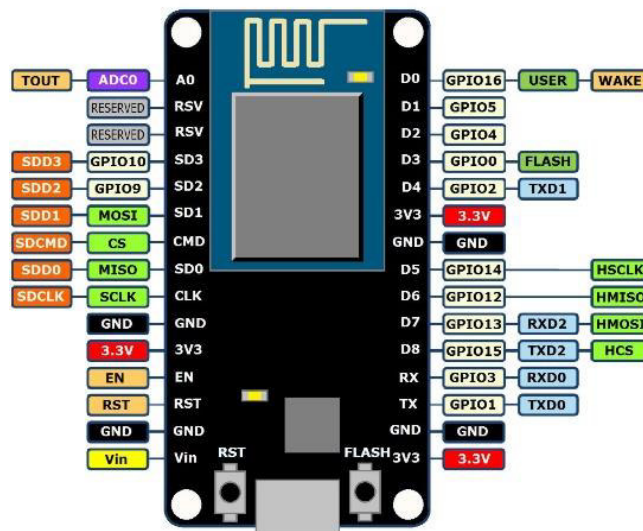
El ESP8266 es un kit de desarrollo de código abierto, que utiliza el lenguaje de programación Lua para crear un ambiente de desarrollo propicio para aplicaciones que requiera conectividad WiFi de manera rápida.

Funciona mediante el protocolo TCP/IP. La mayoría de modelos dispone de varias entradas/salidas digitales, así como de una entrada analógica. Su función más importante es establecer una conexión WiFi para entornos amigables con Arduino y Raspberry.

Las principales características del ESP8266 son:

- 32.bit RISC CPU: Tensilica Xtensa LX106 corriendo a 80MHz.
- 64 KiB de RAM para instrucciones y 96 KiB de RAM para datos.
- IEEE 802.11 b/g/n WiFi.
- 16 pines GPIO.
- SPI e I2C.
- UART en los pines dedicados.
- Convertidor Analógico Digital de 10 bit.

Figura 14. Placa NodeMCU ESP8266 y sus características. [47]



6.6 Propiedades de la manzana

6.6.1 Biología

Es una fruta comestible, fruto del manzano *Malus domestica*. Su origen proviene de la región sur del cáucaso, en la región de Kazajistán. Posee los siguientes componentes:

- Pectinas.
- Aminoácidos. Cisteína, glicina, arginina, histidina, isoleucina, lisina, serina, valina y metionina.
- Ácidos glutamínico, Vitamina F, málico, oleico, palmítico y cafeico.
- Azúcares. Fructosa, glucosa y sacarosa.
- Fibra.
- Elementos. Calcio, hierro, magnesio, nitrógeno, fósforo, potasio y zinc.

La tabla 4 muestra la cantidad de azúcares, sacarosa y pectina presentes en las diferentes variedades de manzana.

Tabla 4. Contenido de azúcar y pectina (%) de algunas variedades de manzana. [48]

Variedad	Azúcares totales	Azúcares reductores	Sacarosa	Pectina
Delicious	11,79	8,81	2,89	0,42
Golden Delicious	12,39	7,89	3,78	0,64
Jonathan	11,45	8,29	2,79	0,59
Jubilee	12,6	8,02	3,9	0,61
McIntosh	10,89	8,3	2,61	0,52
Newton	11,67	7,5	4,18	0,6
Spartan	11,32	9	1,95	0,54

Stayman	11,69	7,05	5,02	0,61
Winesap	12,82	10,67	3,14	0,75
Northern Spy	12,05	9,15	2,69	0,63
Stirling	11,98	7,94	3,16	0,6
Rome Beauty	10,65	7,16	3,49	0,56
York Imperial	12,38	8,07	4,31	0,53
Lowry	13,23	8,64	3,59	0,32

La tabla 5 muestra el contenido promedio de aminoácidos presentes en una manzana fresca.

Tabla 5. Contenido de aminoácidos en manzana fresca. [48]

Aminoácido	%	Aminoácido	%
Alanina	0,007	Lisina	0,012
Arginina	0,006	Metionina	0,002
Ácido aspártico	0,034	Fenilalanina	0,005
Cistina	0,003	Prolina	0,002
Ácido glutámico	0,02	Serina	0,006
Glicina	0,008	Treonina	0,007
Histidina	0,003	Triptofano	0,002
Isoleucina	0,008	Tirosina	0,004
Leucina	0,012	Valina	0,009

La tabla 6 muestra en partes por millón, la cantidad de minerales que posee una manzana fresca.

Tabla 6. Minerales en manzana fresca. [48]

Mineral	ppm	Mineral	ppm
Calcio	7	Cloro	4,2-6,2
Hierro	1,8	Cromo	0,03
Magnesio	50	Cobalto	0,1
Fósforo	70	Yodo	0,02
Potasio	1150	Molibdeno	0,3
Zinc	0,4	Selenio	0,9-1,6
Cobre	0,4	Sodio	8,9-9,2
Manganeso	0,4		

En la tabla 7 se muestran las concentraciones de las diferentes vitaminas que contienen 100 g de manzana fresca.

Tabla 7. Contenido de vitaminas en 100 g de manzana fresca. [48]

Vitamina	Concentración
Ácido ascórbico	5,7 mg
Tiamina	0,017 mg
Riboflavina	0,014 mg
Niacina	0,077 mg
Ácido pantotéico	0,061 mg
Vitamina B6	0,048 mg
Ácido fólico	2,8 mcg
Vitamina A	5,3 mg

Se estima hay entre 5000 y 20000 variedades de manzana en el mundo, pero sólo una pequeña porción alcanza los requerimientos para ser cultivadas de manera comercial. Entre las variedades más populares se encuentran:

Bramley, Criterion, Fuji, Gala, Golden delicious, Granny Smith, McIntosh y Reineta.

La época de maduración de la manzana depende del genotipo y de los factores climáticos donde se cultive, como la influencia de los temporales de invierno y calor durante el desarrollo del fruto, que pueden variar con la época del año (si hay estaciones). El requerimiento de frío de la variedad de la manzana determina la época de brotación de las yemas florales y del periodo requerido desde la floración hasta la maduración. [49]

Durante su proceso de maduración es propensa a ser atacada por hongos del género *penicillium*, que pueden causar heridas en la fisionomía del fruto, como lo son: manchas, ablandamiento, putrefacción del corazón y pardeamiento seco. También pueden sufrir fisiopatías comunes como: escaldaduras, manchas amargas, vitrescencia y daños por frío.

La mayoría de variedades de manzana se conservan de la siguiente forma:

- Temperaturas de entre 7 °C y 5 °C. Sin embargo, algunas técnicas someten el fruto a temperaturas de entre 2 °C y 0 °C.
- Atmósferas con concentraciones de oxígeno de 3% - 5% y de 0,3% a 3% de dióxido de carbono.

Para las bajas temperaturas (2°C – 0°C), se disminuye el oxígeno por debajo del 1,5% hasta el 0,5% (LMO), para evitar la producción de alcohol etílico, conservando el olor y el sabor. [50]

6.6.2 Normatividad

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO realizó un listado de los requisitos mínimos para garantizar la calidad del producto, en este caso, la manzana. Estos requisitos son:

- Estar enteras. Pedúnculo puede estar ausente, pero garantizando un corte limpio.
- Exentas de podredumbres.
- Consistencia firme.
- Exentas de cualquier materia extraña visible.
- Exentas de plagas.
- Exentas de humedad externa anormal.
- Exentas de olores o sabores extraños.
- Exentas por daños causados por bajas y/o altas temperaturas.
- Exentas de signos de deshidratación.

Adicionalmente, se clasificaron las manzanas según sus tolerancias máximas para defectos, citados a continuación:

- Categoría extra. Las manzanas de esta categoría deberán ser de calidad superior y características de la variedad. La pulpa deberá estar sana. Sin defectos, salvo defectos superficiales muy leves, sin alterar el aspecto general del producto.
- Categoría I. Poseen ligeros defectos de forma, coloración o defectos leves en la piel.

- Categoría II. Manzanas que no pueden clasificarse en categorías superiores, pero que cumplen los requerimientos mínimos especificados anteriormente.

A su vez, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, en la norma NTC 3523-1, expidió los requisitos que deben cumplir las manzanas de ciertas variedades destinadas a ser consumidas en estado fresco. En la norma, resalta el índice de madurez expresado en la firmeza de la pulpa, medida al momento del embarque.

Tabla 8. Requisitos de madurez para algunas manzanas. [51]

Variedad	Madurez máxima *		Madurez mínima *	
	DaN **	lbf	DaN **	lbf
Yellow Newton	5,8	13	8,4	19
Granny Smith	5,8	13	8,4	19
White Winter	5,3	12	8	18
Rome Beauty	5,3	12	8	18
Golden Delicious	5,3	12	7,6	17
Winesap	5,3	12	7,6	17
Stayman Winesap	5,3	12	7,6	17
Grupo Delicious	5,3	12	7,6	17
Jonathan-Blacklion	5,3	13	7,1	16
King Davis	5,8	12	7,1	16
Red King Oregon	5,3	12	7,6	17
Red Spur	5,3	12	7,1	16
Starkrimson	5,3	12	7,1	16
Otras Variedades	5,3	12	-	-

* Los valores corresponden a la firmeza de la pulpa, medida con presionómetro correctamente calibrado, de vástago de 11,11 mm (7/16") de diámetro y expresados en decaNewton.

** Para efectos de esta norma: 1daN = 2.25 lb f= 1.02 kgf.

FAO también realiza una clasificación por las dimensiones de la manzana, mostradas en la tabla 9.

Tabla 9. Clasificación por tamaño de las manzanas. [51]

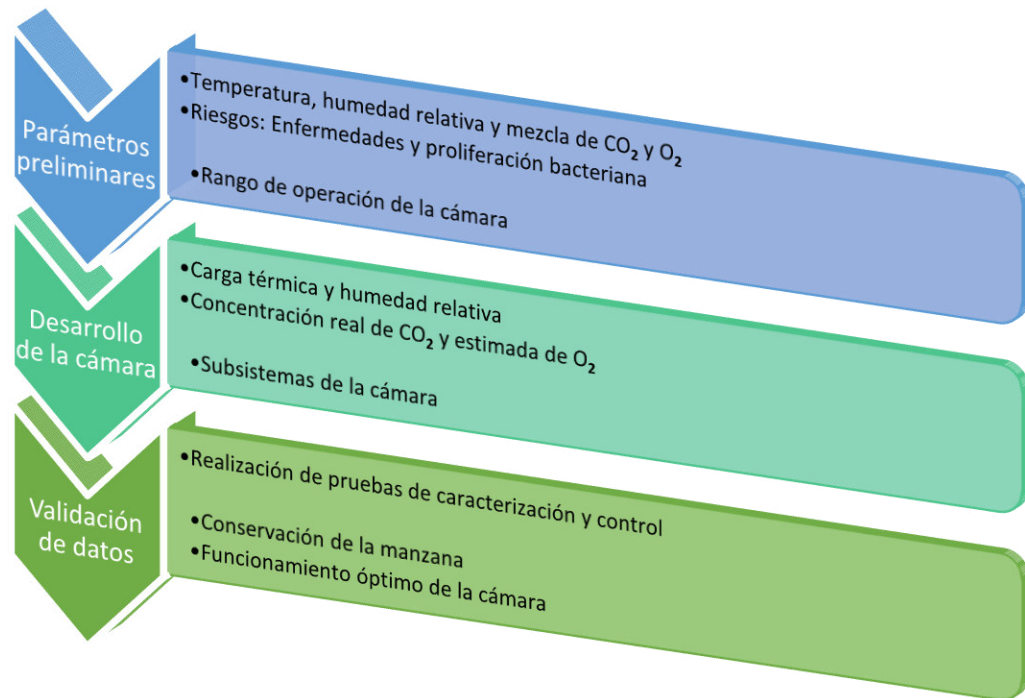
Calibre*	Diámetro ecuatorial en mm				Masa unitaria en g		
	Variedades alargadas		Variedades redondeadas				
	Mayor que	Igual o menor que	Mayor que	Igual o menor que	Mayor que	Igual o menor que	x
80	80	83	84	87	238	262	250
88	77	80	81	84	214	240	257
100	74	77	78	81	186	214	200
113	71	74	75	78	167	187	177
125	68	71	72	75	152	168	160
138	65	68	70	72	138	152	145
150	62	65	68	70	126	140	133
163	59	62	66	68	117	129	123
175	57	59	64	66	108	120	114
180	55	57	62	64	105	117	111
198	53	55	60	62	96	106	101
216	51	53	58	60	88	98	93

* Número de unidades en 20 kg neto.

7. METODOLOGÍA

Para encontrar la metodología que se aplicará al desarrollo de la cámara de atmósfera controlada de bajo costo, se realizó una búsqueda en la literatura para encontrar los requerimientos técnicos para el adecuado funcionamiento de la cámara. Este proceso se compone de tres etapas mencionadas a continuación.

Figura 15. Síntesis metodología



Parámetros preliminares de control

Se realizó una búsqueda de información en diferentes bases de datos para obtener los parámetros que intervienen en el proceso de maduración de los alimentos como; de temperatura, humedad y mezcla de CO_2 y O_2 , para

ralentizar el proceso de maduración de una manzana *royal gala*, teniendo en cuenta:

- El riesgo de aparición de una enfermedad por frío en el fruto, debido a bajas temperaturas.
- La muerte por asfixia de la manzana causada por altas concentraciones de CO₂.
- La pérdida de olor, sabor y peso en la manzana debido a bajas humedades.
- La muerte por hipoxia, como consecuencia de la falta de O₂ en la atmósfera a la cual se expone el fruto.
- El posible crecimiento y proliferación de bacterias en la corteza e interior del fruto.

Desarrollo de la cámara

Requerimientos de diseño

Para el desarrollo de la cámara se utilizará la metodología de Pahl y Beitz enfocada en el proceso de diseño, que inicia en la concepción de una o varias ideas ilustradas en dibujos técnicos, con el fin de obtener una perspectiva preliminar a la construcción y poder corregir errores, ultimar detalles y hacer un listado de los materiales para su construcción. A su vez, antes de la etapa de construcción, se creará un código para el control de los dispositivos electrónicos que se acoplen a la cámara, con el fin de conseguir un monitoreo de las variables y crear un sistema de lazo cerrado para manipular estas variables. Para la obtención de la tasa de respiración, se realizarán pruebas de generación de CO₂ a un alimento en particular en diferentes condiciones ambientales. Las pruebas a realizar consisten en usar una muestra de una fruta climatérica tipo pomo (manzana), insertada en un recipiente hermético,

expuesta a diferentes condiciones de temperatura y circulación de aire, con una duración de cinco (5) días. El patrón a seguir es la cantidad de CO₂ que una muestra genere en ese tiempo. Una vez construida la máquina se realizarán pruebas piloto para este fruto con los parámetros obtenidos en la literatura, utilizando el control de variables anteriormente mencionado.

De acuerdo a los parámetros determinados que afectan el proceso metabólico de la manzana, se realizaron unas pruebas para determinar el comportamiento en un ambiente normal, y poder realizar comparaciones con manzanas expuestas a ambientes controlados. Dentro de los parámetros encontrados que acentúan en mayor proporción en el proceso de maduración se encuentran:

Obtención de la carga térmica

Para conocer la cantidad de energía que se necesita extraer de la cámara mediante el proceso de refrigeración, se utiliza el calor específico y el peso del alimento, junto con la diferencia de temperaturas entre el ambiente y la cámara de atmósfera controlada. [52]

$$Q = W * H_s * \Delta T \quad (5)$$

También es necesario conocer la carga que generará el proceso de respiración de fruto. La siguiente ecuación permite conocer este parámetro:

$$Q_r = W * H_r \quad (6)$$

Donde W es la carga, H_s es el calor específico del alimento, H_r es el calor de respiración y ΔT es la diferencia de temperatura entre el ambiente y el interior de la cámara.

Obtención de la concentración estimada de O_2

Para calcular la concentración de O_2 presente en el interior de la cámara se debe saber el porcentaje de N_2 (79%), CO_2 (0,035%), de O_2 (21%) y de vapor de agua (69% HR) que hay en el aire ambiente a la altitud sobre el nivel del mar donde se encuentre la cámara (aprox. 950 m.s.n.m.), adicional a la densidad del aire a la temperatura ambiente ($1,112 \text{ kg/m}^3$ a 29°C), hallando así los volúmenes parciales de estos componentes del aire a temperatura ambiente, para luego recalcular estos volúmenes parciales con los parámetros del interior de la cámara (5°C de temperatura, 93% de HR y 5.5% de CO_2), hallando así, la concentración estimada de O_2 en el interior de la cámara. Para este cálculo tomamos el aire como gas ideal, asumimos que la presión en el interior de la cámara es igual a la presión atmosférica a 950 m.s.n.m. y despreciamos las concentraciones de otros gases presentes en el ambiente como Ar, Kr, H_2 , He, Ne y CH_4 .

Subsistemas de la cámara

Para el acondicionamiento de la cámara de atmósfera controlada utilizará un refrigerador comercial no frost, de 177 litros de capacidad. Para la medición de la humedad relativa y temperatura en el interior de la cámara se dispondrá de un sensor Adafruit DHT22. Además, un sensor Adafruit MQ135 será el responsable de la medición de la concentración de CO_2 . La humidificación se va a realizar mediante un humidificador-vaporizador ultrasonido sumergido en un recipiente lleno de agua. No se necesita deshumidificar el ambiente,

debido a que el proceso de maduración de los alimentos consume humedad del ambiente, y se requiere mantener altos niveles de humedad relativa. Un ventilador mantendrá la circulación del aire. Un sistema integrado arduino se encargará del control de las variables anteriormente descritas. Un sistema de inyección compuesto por un tanque de CO₂ con una capacidad de 25 kg acoplado a un regulador de presión, disminuirá la presión del CO₂ a 25 psi. Un manómetro de 0-1000 psi y otro de 0-60 psi se dispondrán antes y después del regulador, para monitorear la presión del sistema. Una válvula solenoide realizará el control de apertura y cierre del paso de CO₂.

Trasmisión de datos e interfaz

El sistema arduino integra los subsistemas de medición, estableciendo un enlace con un módulo Wifi NodeMCU esp8266, que enviará los datos recolectados durante el funcionamiento a una base de datos creada en la nube, donde el usuario podrá observar el comportamiento de la cámara y extraer los registros para realizar diferentes tipos de análisis.

El usuario también podrá ver el tiempo real de las mediciones realizadas en la cámara, mediante una pantalla Nextion de 4.3 in.

Realización de pruebas

Para corroborar el correcto funcionamiento de la cámara, se realizarán dos (2) pruebas, la primera enfocada hacia el comportamiento de la fruta y la segunda, enfocada en el funcionamiento de la cámara de atmósfera controlada.

Primera prueba

Para evaluar la cantidad de CO₂ que una manzana fresca genera en su proceso de maduración, se dispuso una manzana *royal gala*, cultivada en el departamento de Boyacá, Colombia, previamente pesada en una balanza de plataforma, en un recipiente cerrado de 1 l de capacidad. Un sensor de temperatura-humedad y otro de concentración de CO₂ se ubicaron junto a la manzana en el recipiente. A su vez, éste recipiente se colocó en el interior de la cámara de atmósfera controlada. Se analizó su comportamiento pasados nueve (9) días calendario, iniciando el día 22 de julio de 2019 a las 10:00 am hora local, y finalizando el día 31 de julio de 2019 a las 4:30 pm hora local. La cámara se configuró para una temperatura mínima de 4 °C y una temperatura máxima de 7 °C. Se comparó el peso inicial de la manzana y el peso al finalizar la prueba, junto con la medición de la concentración de CO₂.

Segunda prueba

Para determinar los efectos que ejerce el CO₂, sumado a bajas temperaturas y altas humedades en la conservación de una manzana, se tomaron dos (2) lotes de manzana *royal gala*, cultivadas en el departamento de Boyacá, Colombia, y se distribuyeron de la siguiente forma.

Lote 1

Tres (3) manzanas se destinaron para realizar análisis fisiológicos y químicos, para obtener una caracterización del fruto y posibilitar la comparación posterior con el *Lote 2*. El *Lote 1* no fue sometido a ningún tratamiento en la cámara.

Se realizó el siguiente procedimiento para la obtención de datos:

- Se midió la altura y el diámetro de la manzana con un calibrador.
- En el analizador de humedad se ubicó una rodaja de manzana como muestra, se expuso a 105 °C durante 1 minuto. Se comparó el peso de esta muestra antes y después de su exposición a esta temperatura. Esta prueba se realizó 3 veces por cada manzana.
- Se maceraron trozos de una manzana para extraer aproximadamente 20 ml de zumo. Se ubicó en un vaso de cristal el zumo y se añadió aproximadamente 50 ml de agua destilada y se midió el pH de la muestra. Este proceso se realizó 3 veces por cada manzana.
- Se colocó en el lector del refractómetro de azúcar invertido un poco de zumo de manzana para obtener la medición. Se realizaron 3 mediciones por cada manzana.
- Se colocó en el lector del refractómetro de fructosa un poco de zumo de manzana para obtener la medición. Se realizaron 3 mediciones por cada manzana.
- Se colocó en el lector del refractómetro de acidez brix un poco de zumo de manzana para obtener la medición. Se realizaron 3 mediciones por cada manzana.

Lote 2

Se dispuso de once (11) manzanas, a las cuales se les realizó un pesaje y una medición de su altura y diámetro ecuatorial. 10 manzanas se ubicaron dentro de la cámara de atmósfera controlada y fueron sometidas a una prueba con descarga de entre 22000 ppm y 30000 ppm CO₂, a una temperatura de entre 4 °C y 8 °C y una humedad

relativa de entre 88% y 93%, mientras que una manzana se dejó fuera de la cámara para que sirviera como testigo, expuesta a condiciones ambiente. La prueba tuvo una duración de 11 días, iniciando el jueves 5 de septiembre de 2019 a las 2:00 pm hora local, y finalizando el día lunes 16 de septiembre de 2019 a las 8:00 am hora local.

El día lunes 16 de septiembre, se realizó en el *Lote 2* los mismos análisis que se realizaron en el *Lote 1*, para una comparación de los datos obtenidos.

La manzana testigo se le realizaron todas las pruebas mencionadas anteriormente.

Las manzanas 1 y 2 se destinaron para el análisis en el refractómetro de fructosa.

Las manzanas 3 y 4 se les realizó el análisis en el refractómetro de acidez brix.

Las manzanas 5 y 6 fueron objeto del análisis en el refractómetro de fructosa.

Las manzanas 7 y 8 se dispusieron para realizar la prueba en el analizador de humedad.

Las manzanas 9 y 10 se les extrajo una muestra para realizar un análisis de pH.

8. MATERIALES

Los equipos utilizados para la medición de parámetros se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Materiales utilizados en las pruebas.

Instrumento	Descripción
 pHmetro Martini Instruments	Mide la actividad del ión Hidrógeno en soluciones acuosas, indicando su grado de acidez expresada como pH
 Balanza Ohaus Explorer	Instrumento que sirve para medir la masa de los objetos



Analizador de
humedad
Torbal

Determina la
proporción de
humedad de una
muestra con el
método de materia
seca y consta de una
unidad de pesaje y
una unidad de
calentamiento



Refractómetro
de azúcar
invertido

Determina el
contenido de azúcar
en un rango de 0% a
90% Brix.



Refractómetro
de fructosa

Convierte el índice
de refracción de una
muestra en % de
peso de fructosa.



Refractómetro
de sólidos
solubles

Mide los niveles de
sólidos solubles

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

10.1 Desarrollo de la cámara de atmósfera controlada

Requerimientos de diseño

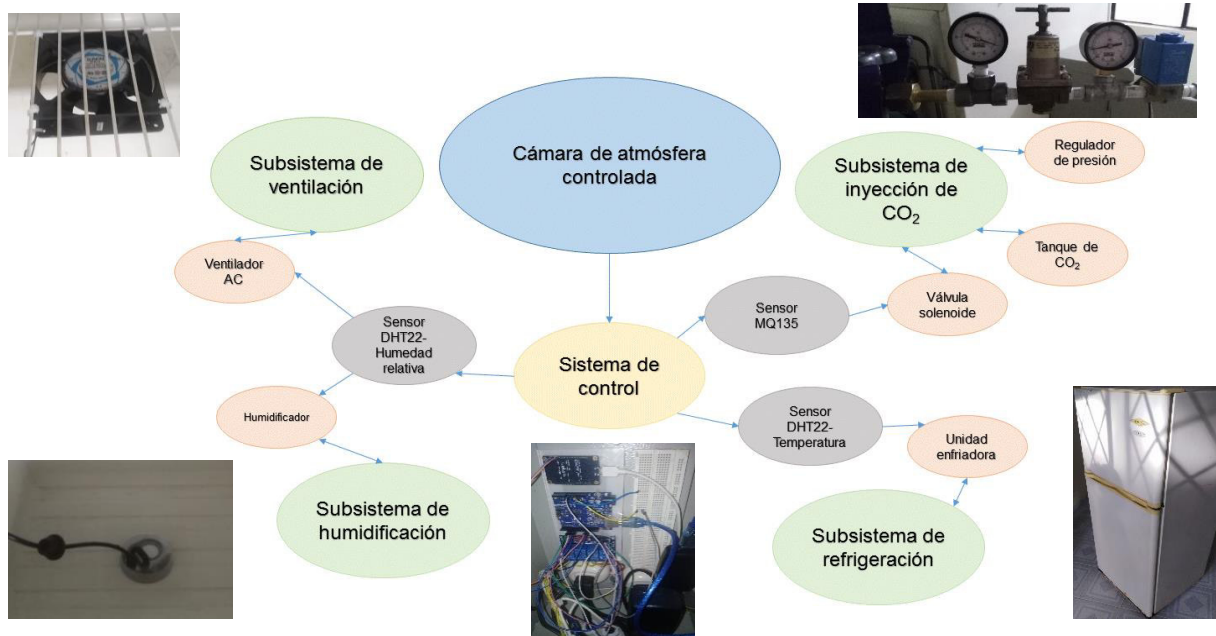
La cámara de atmósfera controlada desarrollada se divide en subsistemas, cada subsistema cumple una función en el mantenimiento de las condiciones internas, actuando cuando éstas se encuentran cerca de los límites frontera mencionados en la tabla 11.

Tabla 11. Condiciones de frontera cámara de atmósfera controlada.

Condiciones de frontera de la cámara de atmósfera controlada		
Temperatura	Humedad relativa	Concentración de CO ₂
4 °C – 7 °C	88% - 92%	24000 ppm – 28000 ppm
Temperatura mínima	Humedad relativa máxima	Concentración de CO ₂ máxima
2 °C	95%	32000 ppm

Los subsistemas que conforman la cámara de atmósfera controlada se muestran en la figura 16.

Figura 16. Subsistemas de la cámara de atmósfera controlada.



Equipo de enfriamiento

Para el enfriamiento de la cámara de atmósfera controlada y propiciar una hermeticidad apropiada para evitar fugas de gas o entradas de calor, se optó por utilizar un refrigerador HACEB que posee un sistema No Frost, debido a que no se desea la formación de escarcha en las paredes internas de la cámara. Esta nevera cuenta con una capacidad de 177 l para la refrigeración en fresco.

La unidad de enfriamiento tiene las siguientes características:

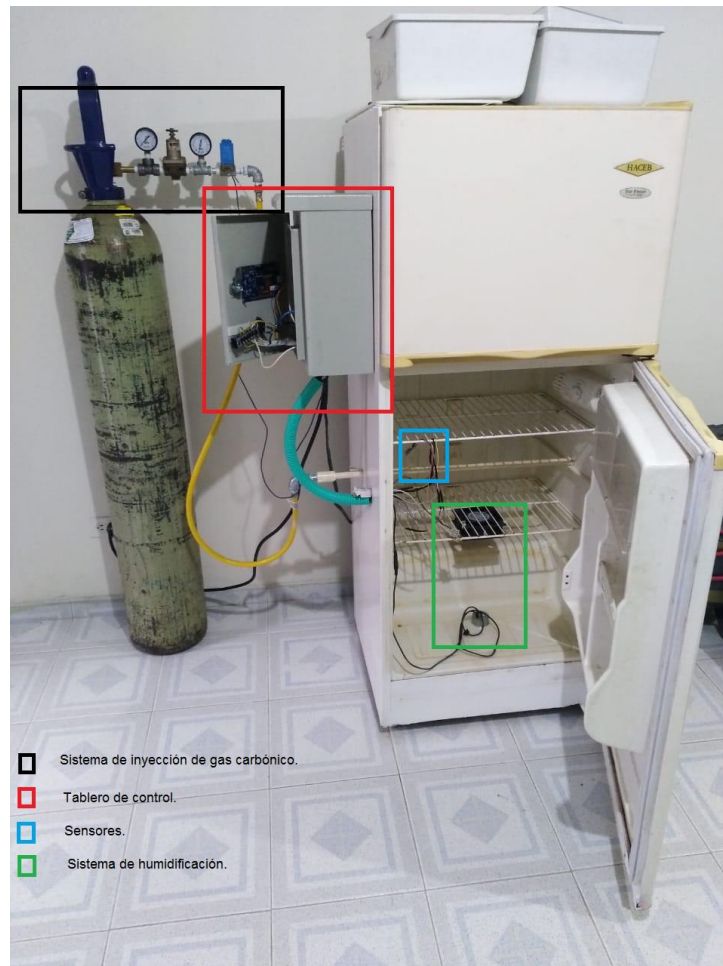
- Modelo N10-NF M
- Clase I
- Consumo 2.0 kW/h - 24h
- Voltaje 115 V
- Corriente 1.9 A
- Frecuencia 60 Hz
- Refrigerante R 134a

Ilustración 1. Espacio utilizable del refrigerador para la cámara de atmósfera controlada.



El esquema global de la cámara de atmósfera controlada se muestra en la ilustración 2.

Ilustración 2. Esquema cámara de atmósfera controlada.



Sistema de inyección de CO₂

Para el sistema de inyección de dióxido de carbono se utiliza un tanque de 25 kg de este gas, a una presión de 850 psi, con una válvula de salida manual CGA 320. Se utiliza un regulador de presión de la marca WATTS de ¼ in de entrada y de salida, el cual reduce la presión del sistema a menos de 45 psi (límite máximo de operación del sistema), a continuación, se ubica la válvula solenoide marca DANFOSS para controlar la inyección en la cámara. Un par

de manómetros se ubican antes y después del regulador, para que el operario pueda chequear la presión en todo momento.

Ilustración 3. Sistema de inyección de CO₂.



El gas es transportado mediante una manguera común de gas domiciliario hasta la entrada de la cámara, donde se conecta a un tubo de CPVC, el cual ingresa al interior de la cámara, y el gas sale por medio de unos orificios que tiene en el interior de la cámara.

Sistema de humidificación y ventilación

Un humidificador ultrasonido de 24 VDC, con una capacidad de humidificación de 1 metro cúbico se conecta al tablero de control, el cual se activa cuando la humedad relativa disminuye por debajo del 85%. El humidificador posee un dispositivo de ultrasonido el cual, sumergido en un

recipiente lleno de agua dispuesto en el piso del interior de la cámara, genera vapor de agua instantáneamente.

Ilustración 4. Ventilador, humidificador y tubo de salida de gas.



Adicionalmente sobre el recipiente se ubica un ventilador SUNON SP101A que se enciende en simultáneo con el humidificador, haciendo que el vapor de agua y el gas inyectado circule en toda la cámara. El ventilador tiene las siguientes características:

- Voltaje 115 V AC
- Frecuencia 50-60 Hz
- Corriente 0.21 A

Sistema de control

El sistema de control se basa en 4 dispositivos, la placa Arduino UNO, una placa NodeMCU ESP8266, un relé mecánico de 4 canales y una protoboard.

En la placa Arduino se ubican las entradas digitales y la alimentación (VCC y GND) de los sensores y de los 4 canales del relé, así como de la conexión con el módulo WiFi. Adicionalmente se ubica una interfaz mediante una pantalla Nextion de 4.3 in para verificar el estado de los sensores y sus respectivas mediciones.

En el anexo 1, se presenta el código de programación utilizado en la placa Arduino, y en el anexo 2, se presenta el código de programación utilizado en la tarjeta NodeMCU para la transmisión de datos Wi-Fi.

Ilustración 5. Tablero de control.

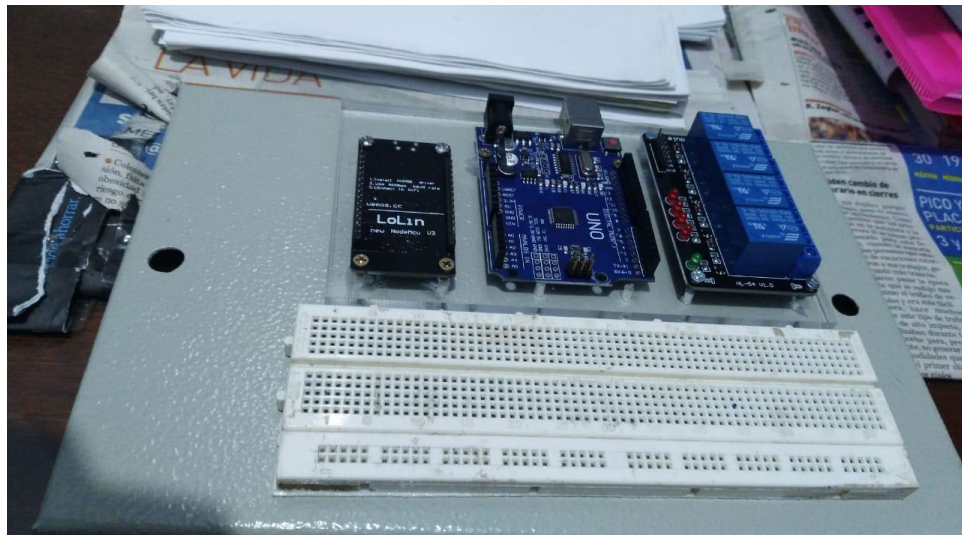
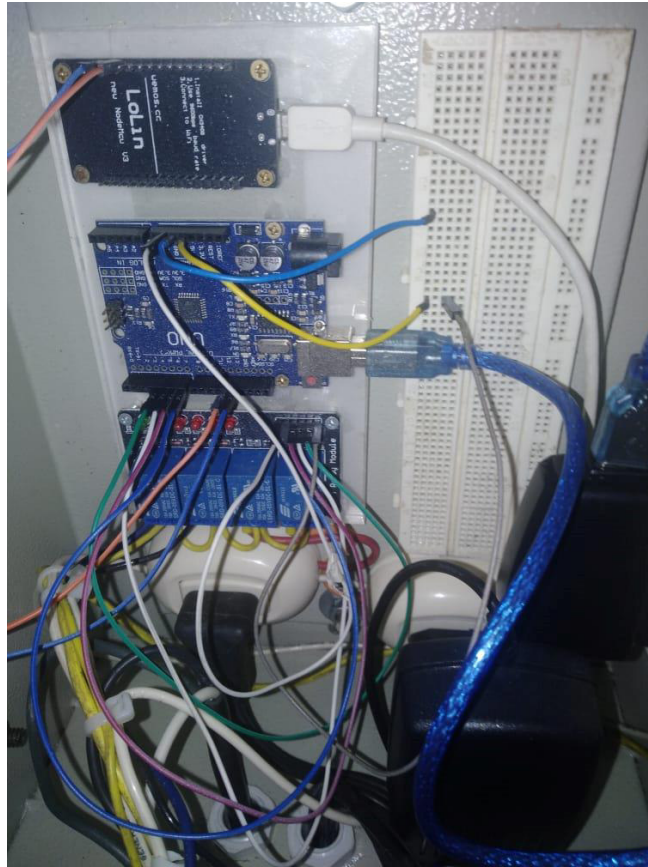


Ilustración 6. Sistema de control y potencia.



Los datos de las variables obtenidos, se guardaron en una base de datos, mediante la tarjeta NodeMCU ESP8266, en la dirección web <http://www.ruedadifusion.com/JP/Diego/visualizar.php>, donde se ordenan mediante una tabla por el siguiente código:

Ilustración 7. Código base de datos.

```
1 <?php
2
3 define('HOST','127.0.0.1');
4 define('USER','ruedadi_jp');
5 define('PASS','Juanpablito22');
6 define('DB','ruedadi_Camara_DiegoDB');
7
8 $temperatura=$_REQUEST['temperatura'];
9 $humedad=$_REQUEST['humedad'];
10 $mq=$_REQUEST['lecturamq'];
11
12 $conn = mysqli_connect(HOST,USER,PASS,DB);
13 // Check connection
14 if ($conn->connect_error) {
15     die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
16 }
17 $sql="INSERT INTO `Registros` (`fecha`, `temperatura`, `humedad`, `lecturaMQ`)
18     VALUES (now(), '$temperatura', '$humedad', '$mq')";
19
20 if ($conn->query($sql) === TRUE) {
21     echo "OK";
22 } else {
23     echo "Error: " . $sql . "<br>" . $conn->error;
24 }
25
26 $conn->close();
27 ?>
```

Se puede observar los resultados ordenados por fecha, hora y tipo de variable. Dando clic sobre la fecha, se despliega un calendario, en el cual se ordenan los datos registrados cada día según la hora de medición.

Ilustración 8. Vista de la base de datos desde un ordenador.



10.2 Prueba 1. Control de concentración de CO₂

En la ilustración 9, se observa el procedimiento de pesaje de la manzana una vez concluida la prueba 1.

Ilustración 9. Pesaje final de la manzana utilizada en la prueba 1.



Tabla 12. Prueba control de CO₂ con refrigeración, sin humidificación y sin inyección de CO₂.

Peso inicial [g]	Peso final [g]
202	195
Día	CO ₂ [ppm]
jul-22	3400
jul-24	5016
jul-25	5088
jul-26	5500
jul-27	6700
jul-28	8828
jul-31	10413

De la tabla 12, puede observar que hay un incremento significativo en la producción de CO₂ entre los primeros dos (2) días y un comportamiento creciente durante toda la prueba. La muestra perdió 7 g de peso transcurridos 9 días.

10.3 Prueba 2. Lote 1.

Para demostrar los efectos que ejerce el CO₂, bajas temperaturas y altas humedades en la conservación de los frutos climatéricos en fresco, se tomaron dos lotes de manzanas royal gala cultivados en el municipio de Boyacá, Colombia y se distribuyeron de la siguiente forma.

Lote 1: Tres (3) manzanas se destinaron para realizar análisis fisiológicos y químicos, para obtener una caracterización del fruto y posibilitar la comparación posterior con el Lote 2. Este Lote no fue sometido a ningún tratamiento en la cámara.

Lote 2: Once (11) manzanas se ubicaron en la cámara para realizar la prueba con descarga de CO₂, con una duración de once (11) días, iniciando el Jueves 5 de Septiembre de 2019 a las 2:00 pm hora local, y finalizando el día Lunes 16 de Septiembre de 2019 a las 8:00 am hora local.

El día Lunes 16 de Septiembre, se realizó al Lote 2 los mismos análisis que se realizaron en el Lote 1, para comparar los datos.

Lote 1

Se realizó un pesaje a cada manzana en la balanza digital de plataforma.

Ilustración 10. Lote 1 Manzana 1.



Ilustración 11. Lote 1 Manzana 2



Ilustración 12. Lote 1 Manzana 3.



La tabla 13 muestra los resultados de las pruebas del Lote 1. Se realizaron 3 pruebas de pH, Azúcar, Fructosa y acidez por cada manzana.

Tabla 13. Análisis fisiológico y químico del Lote 1.

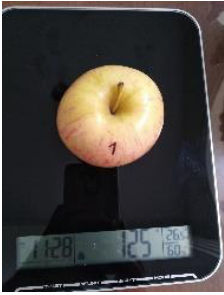
No.	Peso [g]	Diámetro [mm]	pH	Azucar inv.**	Fructosa***	Brix****
1	110,801	65,4	4,36	11,8	12	16,1
			4,21	8,9	11,5	16,1
			3,81	10,7	11,6	16,3
2	100,406	64	4,1	13,1	13,7	15,4
			4,07	12,1	12,9	15
			3,63	12,3	13,1	15,1

			4,4	14,2	13,3	15,2
3	101,237	62,4	3,96	12,2	13,2	15,5
			3,75	12,8	13,4	15

10.4 Prueba 2. Lote 2.

La tabla 14 muestra la evidencia fotográfica de las manzanas antes y después de la prueba con descarga de CO2.

Tabla 14. Evidencia fotográfica prueba 2 Lote 2.

Antes	Después	Antes	Después
			
			



En la ilustración 13 se muestra la ubicación de las manzanas en el interior de la cámara de atmósfera controlada.

Ilustración 13. Lote 2 en el interior de la cámara de atmósfera controlada.



La tabla 14 muestra el peso de cada manzana que fue expuesta a la inyección de CO₂ y un testigo, que se expuso a temperatura ambiente. En todas las manzanas expuestas al CO₂ se presentan pérdidas de peso menores a 2 g, la mitad de la pérdida de peso, comparada con la manzana testigo. En comparación la prueba 1 (sin inyección de CO₂ y sin humidificación), las manzanas del Lote 2 perdieron significativamente menos peso en una mayor cantidad de días después de su cosecha. Los resultados obtenidos en la cámara corroboran los trabajos de otros autores que obtuvieron efectos benéficos cambiando la composición atmosférica para tiempos de conservaciones mayores a 20, con pérdidas de peso menores al 6%. [23] [24] [53]

Tabla 15. Comparación entre peso, diámetro y altura del Lote 2.

No.	Peso inicial [g]	Peso final [g]	Pérdida de peso [g]	Diámetro inicial [mm]	Diámetro final [mm]	Altura inicial [mm]	Altura final [mm]
Testigo	131	127	4	62,7	62,5	63,7	63
1	125	124	1	61	61	65,3	65
2	128	126	2	67,8	67,6	54,4	54
3	134	133	1	57	55,2	56	55,8
4	132	132	0	66	65,6	57,4	57,2
5	124	123	1	63,3	63	57	56,1
6	123	122	1	63,8	64	55,4	55
7	130	128	2	64,6	64	59	58,6
8	135	133	2	61,8	61,6	66,8	66
9	113	111	2	65,7	65	54,6	53,5
10	125	124	1	69	68,7	59	58,6

La prueba inicial se realizó a una temperatura de 25,5 °C y a 65% de Humedad relativa

La prueba final se realizó a una temperatura de 24,6 °C y a 63% de Humedad relativa

La tabla 16 muestra una menor cantidad en los niveles de fructosa en las manzanas 1 y 2 del Lote 2 en comparación con el testigo. Esto se asocia a la acción del CO₂ como inhibidor en la producción de azúcares presentes en el proceso de maduración del fruto.

Tabla 16. Niveles de fructosa del Lote 2.

Refractómetro de fructosa			
No.	Testigo	1	2
Fructosa	17	12,1	12,5
	16,6	12	12,7
	17,1	12,3	12,7

La prueba se realizó a 24,4 °C con compensación automática de temperatura ATC.

La tabla 17 expone los grados brix de las manzanas 3 y 4 comparadas con el testigo, en donde no se evidencia cambios significativos por la exposición a CO₂.

Tabla 17. Niveles brix del Lote 2.

Refractómetro brix			
No.	Testigo	3	4
Brix	19,1	18,1	19,8
	18,6	18	19,9
	17,1	17	19,8

La prueba se realizó a 23,8 °C con compensación automática de temperatura ATC.

Los niveles de azúcares mostrados en la tabla 18, corroboran los resultados de otros trabajos, donde se confirma que altas concentraciones de CO₂ mitigan el metabolismo del fruto y con ello, la producción de azúcares. [35] [14].

Tabla 18. Niveles de azúcar del Lote 2.

Refractómetro de azúcar invertido			
No.	Testigo	5	6
Azúcar Invertido	16	15,3	14,3
	16,3	16,4	14,9
	16,4	15,5	14,8

La prueba se realizó a 23,8 °C con compensación automática de temperatura ATC.

En la tabla 19 se presentan los valores de pH obtenidos para el testigo y el lote 2.

Tabla 19. pH del Lote 2.

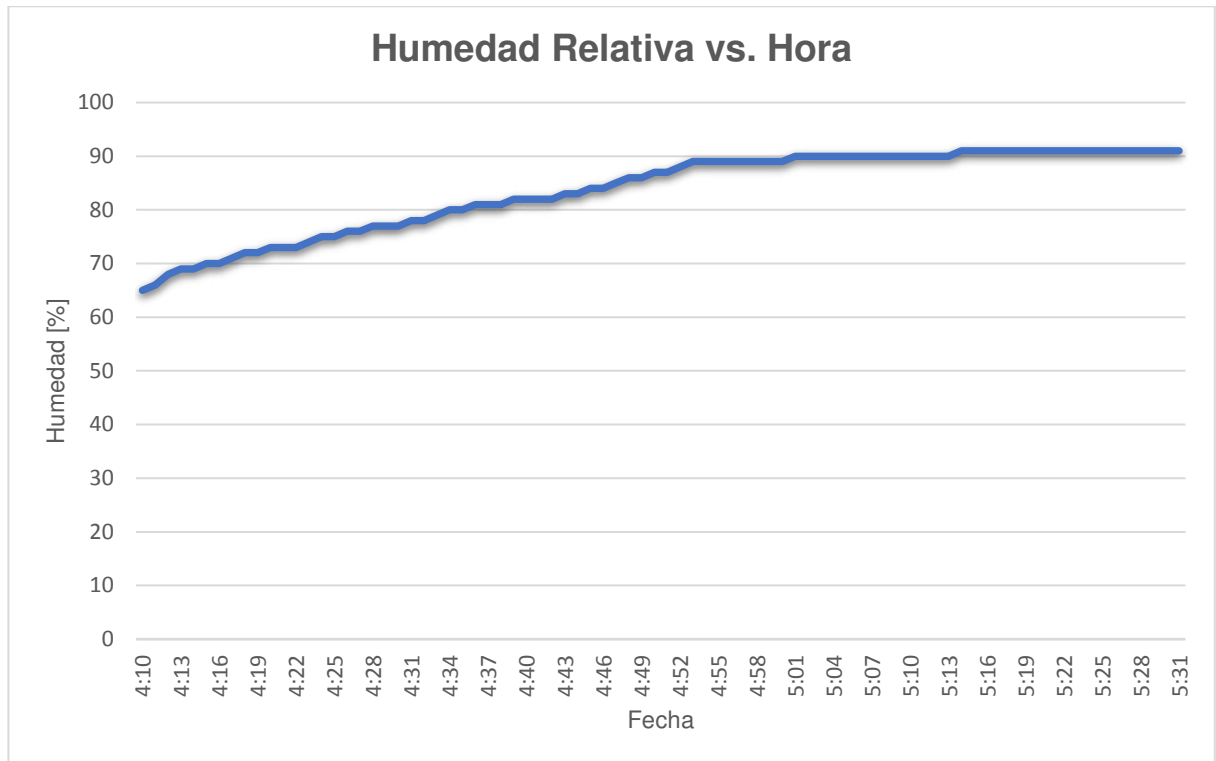
Prueba de pH			
No.	Testigo	7	8
pH	4,15	3,92	3,88
	3,98	3,83	3,86

Las lecturas de pH en las manzanas tratadas en la cámara se encuentran por debajo de 4.6, clasificando las manzanas usadas en la experiencia en alimentos con alta acidez. En estos niveles de pH microorganismos que pueden ocasionar daños o alteraciones en la muestra se exponen a condiciones difíciles para su crecimiento. Según la FAO, los alimentos que presentan pH menores a 4.6, tienen menos probabilidades de que bacterias tales como *Clostridium botulinum* o *Salmonella typhimurium* se reproduzcan. [54] [34]

Estado transitorio

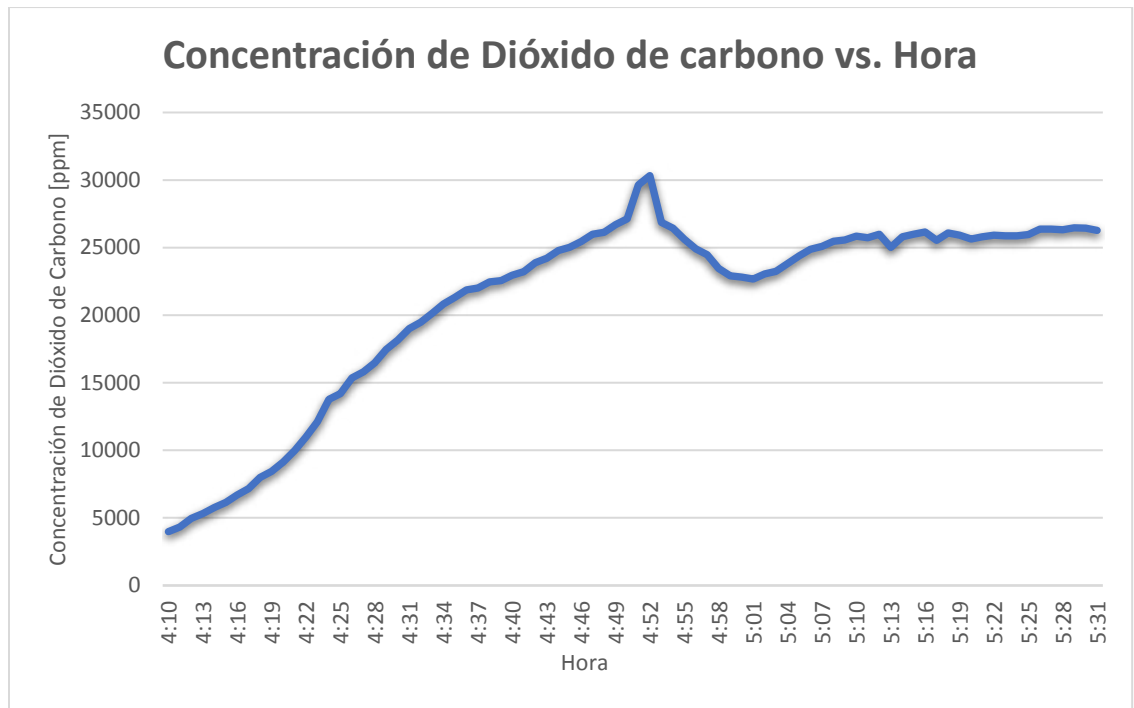
Los resultados de la prueba del Lote 2 con descarga de CO₂ en estado transitorio se muestran a continuación:

Figura17. Comportamiento de la humedad relativa en estado transitorio del sistema.



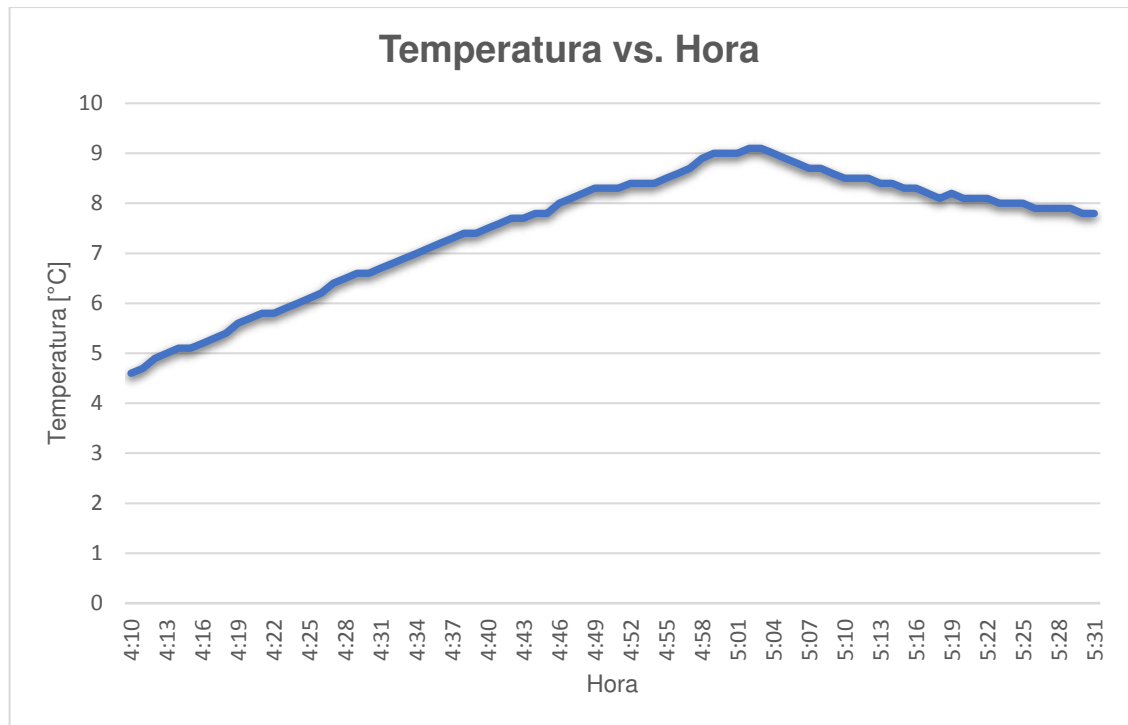
En la figura 16 se puede observar que la humedad relativa llega a un punto estable de 90% en 1 hora, cuando su valor inicial es la humedad relativa atmosférica del lugar. No se observan valores fuera de los rangos de trabajo estipulados, debido a que la capacidad del humidificador ultrasonido es mayor a la capacidad exigida en la cámara de atmósfera controlada.

Figura 18. Comportamiento del CO₂ en el interior de la cámara en estado transitorio del sistema.



Podemos observar un pico en donde la concentración de CO₂ llega a 3000 ppm, esto se debe a que el sensor MQ135 se ubicó muy cerca del ventilador y la entrada del CO₂, lo que ocasiona un cambio de temperatura en el sensor y, por consiguiente, modificando la lectura.

Figura 19. Comportamiento de la temperatura en el interior de la cámara en estado transitorio del sistema.

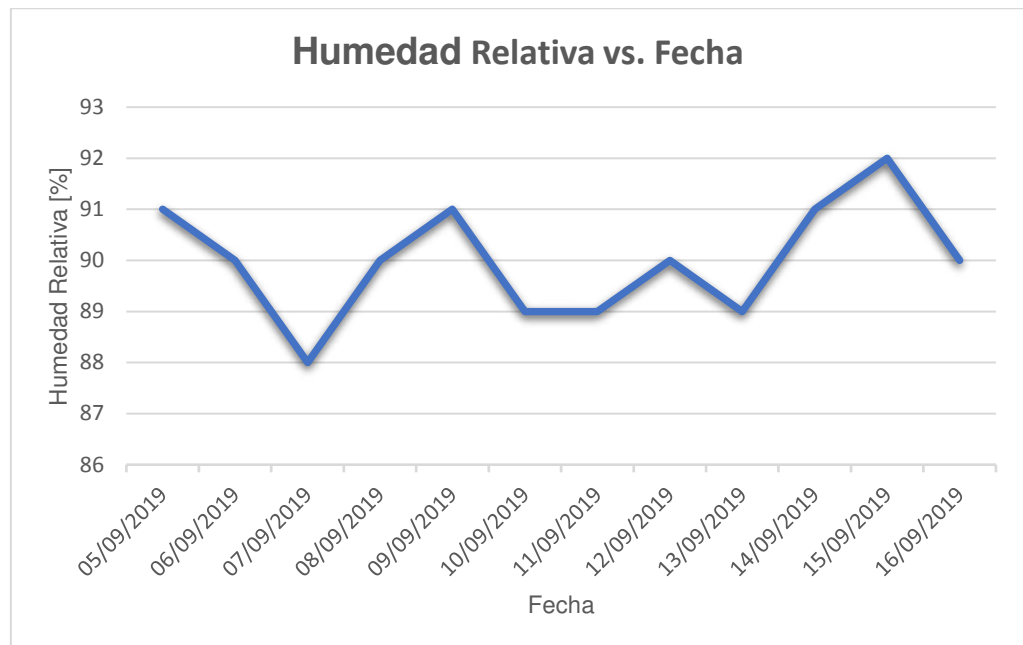


Según las figuras, la cámara de atmósfera controlada llega a su set point ($\text{CO}_2 > 25000 \text{ ppm}$) en aproximadamente una (1) hora, manteniendo una presión de 18 psi en la inyección de CO_2 , debido a que el proceso de inyección de gas genera hielo en la superficie de la tubería y como consecuencia, una disminución abrupta en la temperatura interna del dispositivo.

Estado estable

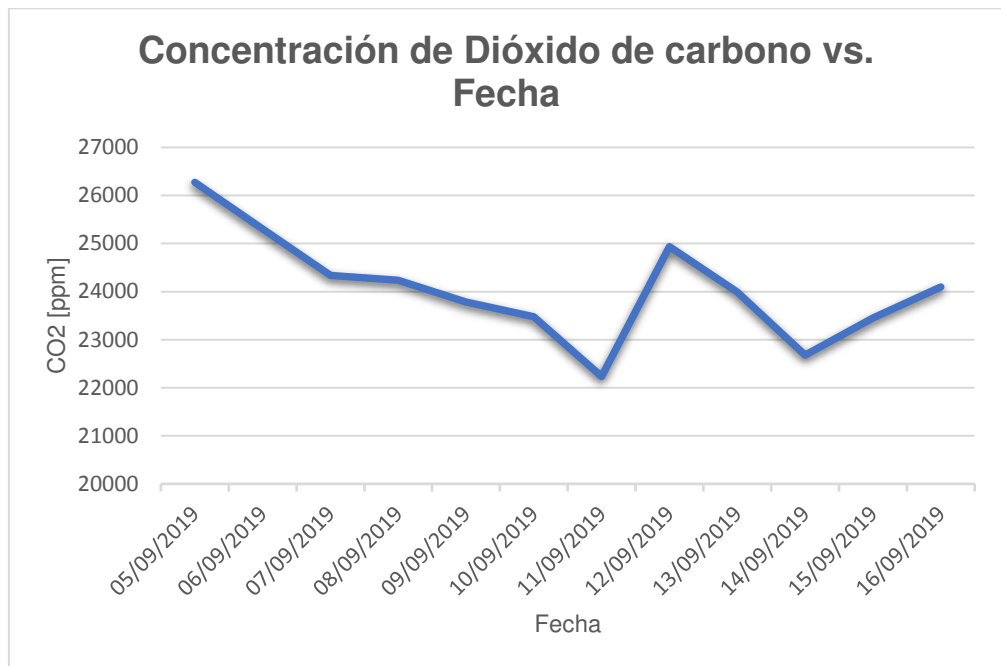
Los resultados de la prueba del Lote 2 con descarga de CO_2 en estado estable se muestran a continuación:

Figura 20. Comportamiento de la humedad relativa en estado estable.



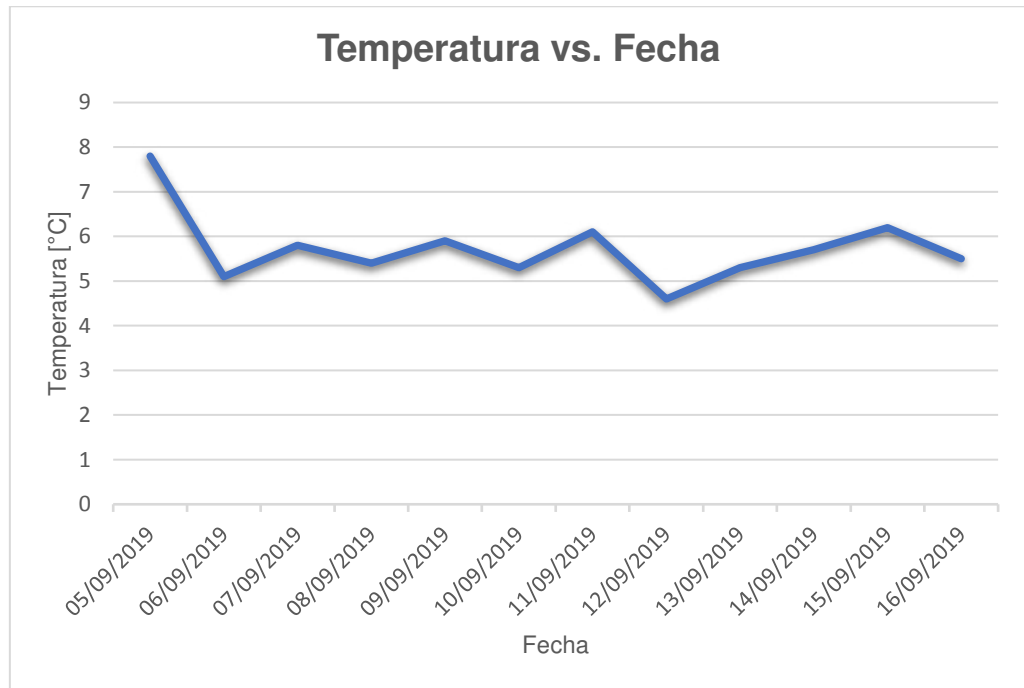
La humedad relativa transcurrido el primer día de prueba, disminuye debido a la actividad metabólica de la manzana y a las condiciones secas del refrigerador. En la figura 19, se puede observar el comportamiento on/off del controlador; humidificando cuando se detecta una disminución y apagando el subsistema cuando hay un aumento en la humedad relativa.

Figura 21. Comportamiento del CO₂ en estado estable.



La figura 20 muestra una fluctuación en los valores de la concentración de CO₂, debido a la circulación del aire en la cámara causada por el ventilador dispuesto en su interior.

Figura 22. Comportamiento de la temperatura en estado estable.



Los datos mostrados en los once (11) días revelan un control eficaz para mantener la humedad relativa por encima del 85%. A su vez, la temperatura se mantuvo en los rangos deseados, exceptuando en los primeros instantes de la inyección de CO₂, el cual llega al interior de la cámara con una temperatura menor a la de cámara, debido al efecto Joule-Thompson. [28]

Los valores en la medición de la concentración de CO₂ presentan una fluctuación, causada por la circulación del aire en la cámara, causada por el ventilador dispuesto en su interior.

10. CONCLUSIONES

La cámara de atmósfera controlada cumplió con los requerimientos propuestos para la conservación de manzanas *royal gala*, controlando las variables mediante el uso de tecnologías de bajo costo.

La cámara de atmósfera controlada fabricada redujo considerablemente la pérdida de peso de manzanas *royal gala* de 7 g en el testigo a 2 g las manzanas expuestas a atmósfera controlada en 11 días.

Las manzanas utilizadas en la prueba presentaron una reducción en su metabolismo, causando una disminución en los niveles de fructosa de 17 en el testigo a 12 en las manzanas almacenadas durante 11 días en atmósfera controlada.

Se incrementó los niveles de sólidos solubles en un 32% en las manzanas almacenadas en atmósfera controlada pasados 11 días, con respecto a la muestra inicial.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Macgillivray, Competitividad en frutas como estrategia para la pobreza, Armenia, Colombia: Simposio internacional de postcosecha, 1996.
- [2] K. Bedrosian, A. Brody, M. St. Joseph y N. J. Morristown, Aparatus and method of preserving animal and plant materials, Delaware, EEUU, 1962.
- [3] L. Sylvester y R. R. Steffen, Automatic control for maintaining equilibrium temperature/moisture between stored grain and atmosphere, New Hampton, Iowa, EEUU, 1976.
- [4] ASHRAE, Heating, ventilating and air-conditioning systems and equipment, Atlanta, 2012.
- [5] D. A. T. Márquez, Atmósferas controladas: una técnica complementaria de la refrigeración.
- [6] J. Quintero, Mecanismos implicados en la maduración y senescencia, 2013.
- [7] C. A. Mondaca Arriagada, Comportamiento de paltas "Hass" almacenadas en atmósfera controlada, Santiago, Chile, 2003.
- [8] W. Magaña B, M. Balbín A, J. Corrales G, A. Rodriguez C y C. Saucedo V, Principales características de calidad de las pitahayas (*hylocereus undatus haworth*) frigoconservadas en atmósferas controladas, La Habana, Cuba: Revista ciencias técnicas agropecuarias, 2006.
- [9] J. Farré Mòdol, Cálculo y diseño de una instalación de conservación de fruta, Zaragoza, 2010.
- [10] M. J. Oliveira Fonseca, N. Rocha Leal, S. A. Cenci, P. R. Cecon, R. E. Bressan-Smith y N. Botrel, Control de la atmósfera en la conservación postcosecha de las papayas "Sunrise solo" y "Golden", Sete Lagoas/MG, Brasil, 2003.
- [11] SIMIENTE. Sociedad agronómica de chile, Calidad organoléptica y microbiológica de bastones de apio almacenados en atmósfera controlada, Santiago, Chile, 2003.

- [12] I. Tahir y H. Nybom, Tailoring organic aples by cultivar selection, Production system, and Post-harvest treatment to improve quality and storage life, Alnarp, Sweden, 2006.
- [13] G. Garcia Muñoz, Métodos alternativos de conservación de alimentos, Coahuila, México, 2010.
- [14] J. A. Orjuela Castro, A. L. Pinilla Ortiz y J. R. Rincón Murcia, Aplicación de la tecnología de atmósfera controlada para la conservación de la granadilla, Bogotá D.C., 2002.
- [15] Centro de conservación y biodiversidad agrícola de Tenerife, Evaluación de la aplicación de atmósfera controlada para el saneamiento de tubérculos de papas afectadas por polilla guatemalteca de la papa (*Tecia solanivora*), Tenerife, España, 2011.
- [16] G. Martinez, Diseño de una cámara para retardar la maduración del mango y guayaba., Bogotá D.C., 1988.
- [17] A. D. Sora, G. Fischer y R. Florez, Almacenamiento refrigerado de frutos de mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth.) en empaques con atmósfera modificada, Bogotá, D.C., 2006.
- [18] Pontificia Universidad Católica, «Tecnologías de mitigación de emisiones en centrales termoeléctricas a carbón.,» [En línea]. Available: <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno10/mitigacion/CO2.html>. [Último acceso: 10 05 2019].
- [19] S. Escolástico Rozalén, Membranas de separación de gases basadas en conductores iónicos mixtos y sus aplicaciones en catálisis, Valencia, 2012.
- [20] Y. Gariépy, G. S. V. Raghavan y R. Thériault, Controlled atmosphere storage of celery with the silicone membrane system, Québec, Canadá, 1986.
- [21] L. C. Ayala Sanchez, C. P. Valenzuela Real y Y. Bohórquez Pérez, Variables determinantes de la madurez comercial en la mora de castilla (*Rubus glaucus* BENTH), Tolima, Colombia, 2013.
- [22] B. Pantástico, Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables., Westport: AVI Publishing Company , 1975.

- [23] L. Argenta , X. Fan y J. Mattheis, Delaying establishment of controlled atmosphere or CO₂ exposure reduces "Fuji" apple CO₂ injury without excessive fruit quality loss.
- [24] P. Younmoon y Y. Seackwon, Poststorage physiology and quality changes of "Fuji" apples as influenced by harvest maturity and storage procedures, 1999.
- [25] R. H. A.-R. C. A. Z. Elizabeth hodson, Procesamiento y conservación de alimentos en américa y el caribe, Bogotá: Colciencias, 1996.
- [26] P. J. Rapin, Instalaciones frigoríficas, Barcelona: Boixareu editores, 1993.
- [27] F. Luba, La industria frigorífica: producción y aplicaciones del frío artificial, Barcelona.
- [28] Y. Cengel y M. Boles, Termodinámica, México D.F.: McGraw Hill, 2012.
- [29] E. D. Corpas Iguarán y O. A. Tapasco Alzate, Hallazgos de la biosíntesis del etileno en frutas climatéricas y de los factores que afectan la ruta metabólica, Manizales, Colombia, 2014.
- [30] J. M. Lelièvre, A. Latché, B. Jones , M. Bouzayen y J. C. Pech , Ethylene and fruit ripening, 1997.
- [31] O. Pérez Priego, L. Testi, F. Orgaz y F. J. Villalobos, A large closed canopy chamber for measuring CO₂ and water vapour exchange of whole trees, Córdoba, España, 2010.
- [32] S. M., Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvesting biology and technology, 1999.
- [33] M. O. Barrero, J. W y J. W, Modelamiento de la tasa de respiración de banano, variedad Gross Michel, basado en las ecuaciones de la cinética enzimática de Michaelis-Menten, Ibagué, Colombia.
- [34] P. Landa Salgado, A. M. Hernández Anguiano, J. Corrales García, G. Mora Aguilera y C. Chaidez Quiroz, Sobrevivencia de salmonella typhimurium en melón "Cantaloupe" durante el almacenamiento refrigerado en atmósferas controladas, Montecillo, México: Revista Fitotec, 2009.
- [35] F. Gallo P y C. A. Gomez M, Manejo postcosecha, almacenamiento y transporte de frutas de Colombia, Bogotá D.C., 1990.

- [36] S. M. Blankeship, New material could revolutionize tree fruit industry., Good fruit grower, 2000.
- [37] G. Calvo , Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) en manzanas cv. red delicious cosechadas con tres estados de madurez y conservadas en frío convencional y atmósfera controlada, INTA, Argentina.
- [38] F. Xuetong y J. F. Matheis, Development of apple superficial scald, soft scale, core flush and grassiness require ethylene action., EEUU: Agricultural Research Service, 1998.
- [39] G. A. Gonzáles Aguilar, C. Y. Wang, J. G. Buta y D. T. Krizek, Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe "Tommy Atkins" mangoes., J. Food Science Technology.
- [40] B. Hess Pierce y A. A. Kader, Responses of "Wonderful" pomegranates to controlled atmospheres, California, EEUU: Acta Horticulturae.
- [41] A. P. Candan y G. Calvo, Atmósferas controladas dinámicas: una alternativa para el control de la escaldadura superficial en peras, Río negro, Argentina, 2016.
- [42] A. H. Wright , J. M. Delong, P. A. Harrison, A. H. Gunawardena y R. K. Prange, The effect of temperature and other factors on chlorophyll a fluorescence and the lower oxygen limit in apples (*malus domestica*)., 2010.
- [43] Infootec, «Infootec,» [En línea]. Available: <https://www.infootec.net/arduino/>. [Último acceso: 13 04 2019].
- [44] O. Torrente, Arduino. Curso práctico de formación, México D.F.: Alfaomega, 2013.
- [45] Aosong Electronics Co, Ltd., Digital-output relative humidity & temperature sensor/module.
- [46] F. M. Millán, Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino, Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza, 2016.
- [47] BrickoGeek, «BrickoGeek,» [En línea]. Available: <https://tienda.bricogeek.com/wifi/1033-nodemcu-v3-esp8266.html>. [Último acceso: 12 04 2019].
- [48] K. B. Lal y P. C. Sharma, Handbook of fruit science and technology, New York, 1995.

- [49] S. Mendoza Gonzalez, R. A. Martinez Peniche, M. R. Fernandez Montes, A. Rumayor Flores y E. Castillo Castañeda, Época de maduración y calidad de fruto de genotipos de manzana en Cadereyta, Qro., Querétaro, 2008.
- [50] M. J. Delhom, La conservación frigorífica de las manzanas, Tarragona, España, 1987.
- [51] I. C. d. N. T. y. C. ICONTEC, Norma Técnica Colombiana 3523-1. Industrias agrícolas. Frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos. Manzana., Bogotá, D.C., 2001.
- [52] Heatcraft refrigeration, Engineering manual, commercial refrigeration, cooling and freezing, load calculations and reference guide, Stone Mountain, GA. EEUU, 2008.
- [53] S. P. Gallego Corrales, C. E. Riaño Luna y L. Orozco Gallego, Determinación del comportamiento químico y fisiológico de Feijoa Sellowiana en almacenamiento, Caldas, Colombia, 2003.
- [54] FAO, «Organización Mundial de la Salud,» FAO, [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/botulism>. [Último acceso: 13 07 2019].
- [55] S. Bodbodak y M. Moshfeghifar, Advances in modified atmosphere packaging of fruits and vegetables, Teherán, Irán, 2016.
- [56] M. O. Vega García, Uso de atmósferas controladas de ultra bajo oxígeno para preservar la calidad de manzana, Cuauhtémoc, México, 2004.
- [57] T. d. Freitas, C. Sautter , A. C. Silveira y A. Brackmann, Universidad Federal de Santa María, Centro de Ciencias Rurales. Dpto. de Fitotecnia., Montevideo, 2007.
- [58] A. Herrero y J. Guardia , Conservación de frutos-manual técnico., Madrid: Mundi Prensa, 1992.
- [59] F. Artés Calero, El envasado en atmósfera modificada mejora la calidad de consumo de los productos hortofrutícolas intactos y mínimamente procesados en fresco, Murcia, España, 2006.
- [60] F. Artés y F. Hernandez , Reducción de daños por frío en la refrigeración hortofrutícola., 2004.

- [61] F. Artés, Modificaciones de la atmósfera y tratamientos térmicos para reducir los daños por el frío en la postrecolección hortofrutícola, Bogotá D.C.: 2° Congreso de Iberoamericano de Tecnología postcosecha y agroexportaciones, 2000.
- [62] F. Artés, Mejora de la calidad hortofrutícola mediante la conservación en atmósfera modificada, Sao Pedro, Brasil, 2004.
- [63] V. López Rubira, F. Artés Hernandez y F. Artés , Evaluación de la calidad de granadas tratadas con uv-c y almacenadas en atmósfera controlada, Elche, España, 2007.
- [64] B. Hess Pierce y A. A. Kader, Responses of "wonderful" pomegranates to controlled atmospheres, *Acta Horticulturae*.
- [65] A. Jurado, A. I. Carrapiso, C. García y M. L. Timón, Elaboración del jamón ibérico en cámaras de atmósfera controlada, *Mundo ganadero*, 2002.
- [66] D. C. Slaughter, Métodos para el manejo de la maduración en mango: una revisión bibliográfica, California, EEUU, 2009.
- [67] A. Kader y B. Mitcham, Optimum procedures for Ripening mangoes. In: fruit ripening and Ethylene management, California, EEUU, 2008.
- [68] P. Landa Salgado, A. M. Hernández Anguiano, J. Corrales García , G. Mora Aguilera y C. Chaidez Quiroz, Sobrevivencia de salmonella typhimurium en melón cantaloupe durante el almacenamiento refrigerado en atmósferas controladas, Montecillo, Mexico, 2009.

ANEXO 1. CÓDIGO ARDUINO

```
#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <DHT.h>

#include <DHT_U.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <ArduinoJson.h>

#include <MQ135.h>

//Constantes

#define DHTTYPE DHT11

SoftwareSerial mySerial(12, 13); // RX, TX

// el serial normal sera el SoftwareSerial Serial(0, 1); //rx y tx

//***** DHT *****

DHT dht(3, DHTTYPE); //digitales

const byte cantidad_DHT = 1;

double temperaturas[cantidad_DHT];

double humedades[cantidad_DHT];

//***** MQ *****

const byte cantidad_MQ = 1;

MQ135 mq135_sensor1 = MQ135(A2);

int lecturasmq[cantidad_MQ];

//***** RELAY *****
```

```
//normalmente abierto
```

```
const byte ValorEncendido = LOW;
```

```
const byte ValorApagado = HIGH;
```

```
//Asignaciones
```

```
byte ValorEstadoHumidificador = ValorApagado;
```

```
byte ValorEstadoCompresor = ValorApagado;
```

```
byte ValorEstadoValvula = ValorApagado;
```

```
//Definicion de puertos
```

```
const byte RHumidificador = 4; // se activa cuando la humedad es menor de 85 y se apaga cuando es 95
```

```
const byte RCompresor = 5; //temperatura 7-4
```

```
const byte RVentilador = 6; //se activa cuando el humidificador se enciende y se apaga en su defecto
```

```
const byte RValvulaSolenoide = 7; // se activa cuando las ppms son menores iguales a 30.000
```

```
//Variables necesarias para calcular el Oxigeno
```

```
const double volumen_nevera = .177;
```

```
const double concentracion_nitrogeno = .153688;
```

```
const double concentracion_oxigeno = .041227;
```

```
const double concentracion_agua = .003718;
```

```
const double densidad_co2 = .0003892;
```

```
const double respiracion = .007968;
```

```
const double peso_aire = .196824;
```

```

//Oxigeno

double oxigeno = 0;

void setup() {

    // put your setup code here, to run once:

    Serial.begin(9600);

    while (!Serial) continue;

    String cadena="baud=9600";

    writeString(cadena);

    Serial.println("serial inicializado");

    mySerial.begin(115200);

    while (!mySerial) continue;

    Serial.println("serial nodemcu inicializado");

    //DHT

    pinMode(3, INPUT);

    //Rele

    pinMode(RHumidificador, OUTPUT);

    pinMode(RCompresor, OUTPUT);

    pinMode(RVentilador, OUTPUT);

    pinMode(RValvulaSolenoid, OUTPUT);

    //MQ

```

```

pinMode(A2, INPUT);

dht.begin();

}

void loop() {

    float temperature = 0;

    float humidity = 0;

    for (int i = 0; i < cantidad_DHT; i++) {

        String buf;

        if (i == 0) {

            Serial.println("-----Sensor DHT 1-----");

            temperaturas[i] = dht.readTemperature();

            humedades[i] = dht.readHumidity();

            humidity += humedades[i];

            temperature += temperaturas[i];

            Serial.print("temperatura: ");

            Serial.println(temperature);

            Serial.print("humedad: ");

            Serial.println(humidity);

        } else {

            //Agregar mas sensores

        }
    }
}

```

```
}
```

```
for (int i = 0; i < cantidad_MQ; i++) {
```

```
    if (i == 0) { //primera vez
```

```
        float rzero = mq135_sensor1.getRZero();
```

```
        float correctedRZero = mq135_sensor1.getCorrectedRZero(temperature, humidity);
```

```
        float resistance = mq135_sensor1.getResistance();
```

```
        float ppm = mq135_sensor1.getPPM();
```

```
        float correctedPPM = mq135_sensor1.getCorrectedPPM(temperature, humidity);
```

```
        Serial.println("-----Sensor 1 MQ-135-----");
```

```
        Serial.print("Letura pin: ");
```

```
        Serial.println(analogRead(A2), DEC);
```

```
        Serial.print("PPM : ");
```

```
        Serial.println(ppm);
```

```
        Serial.print(" Corrected PPM : ");
```

```
        Serial.println(correctedPPM);
```

```
        lecturasmq[i] = correctedPPM;
```

```
    }
```

```
    else {
```

```
        if (i == 1) {
```

```
            //descomentar para agregar otro sensor
```

```

/*

float rzero = mq135_sensor2.getRZero();

float correctedRZero = mq135_sensor2.getCorrectedRZero(temperature, humidity);

float resistance = mq135_sensor2.getResistance();

float ppm = mq135_sensor2.getPPM();

float correctedPPM = mq135_sensor2.getCorrectedPPM(temperature, humidity);

Serial.println("-----Sensor 1 MQ-15-----");

Serial.print(" Corrected PPM: ");

Serial.println(correctedPPM);

Serial.print("temperatura: ");

Serial.println(temperature);

Serial.print("humedad: ");

Serial.println(humidity);

lecturasmq[i] = correctedPPM;

*/

}

}

}

oxigeno = ObtenerO2(lecturasmq);

upload(temperaturas, humedades, lecturasmq, oxigeno);

```

```

//////////////////////////////////Temperaturas//////////////////////////////////

//*****Promedio*****
*****

double promedio_temperatura = 0;

//Humedad

double promedio_humedad = 0;

for (int i = 0; i < cantidad_DHT; i++) {

    promedio_temperatura += temperaturas[i];

    promedio_humedad += humedades[i];

}

promedio_temperatura /= cantidad_DHT;

promedio_humedad /= cantidad_DHT;

if (promedio_temperatura <= 4) { //Rcompresor

    //se apaga

    Serial.println("compresor deberia estar apagada");

    if (ValorEstadoCompresor != HIGH) {

        Serial.println("compresor apagado");

        digitalWrite(RCompresor, ValorApagado);

        ValorEstadoCompresor = ValorApagado;

    }

} else {

```

```

if (promedio_temperatura >= 7) {

    //se prende

    Serial.println("compresor deberia estar encendido");

    if (ValorEstadoCompresor != LOW) {

        Serial.println("compresor prendido");

        digitalWrite(RCompresor, ValorEncendido);

        ValorEstadoCompresor = ValorEncendido;

    }

}

}

Serial.print("Temperatura promediada:");

Serial.println(promedio_temperatura);

////////////////////////////////////Humedad////////////////////////////////////

//*****Promedio*****

*****

if (promedio_humedad <= 85) {

    Serial.println("Humidificador deberia estar encendido");

    if (ValorEstadoHumidificador != LOW) {

        Serial.println("Hum y vent prendidos");

        digitalWrite(RHumidificador, ValorEncendido); //ValorEncendido

        digitalWrite(RVentilador, ValorEncendido);

        ValorEstadoHumidificador = ValorEncendido;

```

```

    }

} else {

    if (promedio_humedad >= 91) {

        Serial.println("Humidificador deberia estar apagado");

        if (ValorEstadoHumidificador != HIGH) {

            Serial.println("Hum y vent apagados");

            digitalWrite(RHumidificador, ValorApagado);

            digitalWrite(RVentilador, ValorApagado); //ValorApagado= HIGH

            ValorEstadoHumidificador = ValorApagado;

        }

    }

}

Serial.print("Humedad promediada:");

Serial.println(promedio_humedad);

////////////////////////////////////Calidad aire////////////////////////////////////

//*****Promedio*****
*****

double promedio_ppm = 0;

for (int i = 0; i < cantidad_MQ; i++) {

    promedio_ppm += lecturasmq[i];

}

promedio_ppm /= cantidad_MQ;

```

//solenoid con logica inversa, si no es el caso entonces cambiar el los valores despues de:
ValorEstadoValvula por sus inversos, es decir; donde hay HIGH poner LOW

//tambien cambiar el valor asignacion por sus inversos, es decir; si esta ValorApagado cambiar a
valor encendido

```
if (promedio_ppm <= 15000) {  
  
    //se prende  
  
    Serial.println("solenoid deberia estar encendido");  
  
    if (ValorEstadoValvula != HIGH) {  
  
        Serial.println("Solenoide prendido");  
  
        digitalWrite(RValvulaSolenoide, ValorApagado);  
  
        ValorEstadoValvula = ValorEncendido;  
  
    }  
} else {  
  
    if (promedio_ppm >= 30000) {  
  
        //se apaga  
  
        Serial.println("solenoid deberia estar apagado");  
  
        if (ValorEstadoValvula != LOW) {  
  
            Serial.println("Solenoide apagado");  
  
            digitalWrite(RValvulaSolenoide, ValorEncendido);  
  
            ValorEstadoValvula = ValorEncendido;  
  
        }  
    }  
}
```

```

    }

    Serial.print("PPM promediada:");

    Serial.println(promedio_ppm);

    prepareToWrite(promedio_temperatura,promedio_humedad,promedio_ppm,oxigeno);

    delay(2000);

}

void upload(double temps[], double humds[], int mqs[], double O2) {

    const size_t capacity = JSON_OBJECT_SIZE(4) + 60;

    StaticJsonDocument<capacity> doc;

    doc["t"] = temps[0];

    doc["h"] = humds[0];

    doc["p"] = mqs[0];

    doc["O"] = O2;

    Serial.print("se mandara al nodemcu:");

    serializeJsonPretty(doc, Serial);

    Serial.println();

    if (mySerial.available() > 0)

    {

        serializeJsonPretty(doc, mySerial);

    }

}

```

```

/*

const double concentracion_nitrogeno = .153688;

const double concentracion_oxigeno = .041227;

const double concentracion_agua = .003718;

const double densidad_co2 = .0003892;

const double respiracion = .007968;

const double peso_aire = .196824;

*/

double ObtenerO2(int mqs[]) {

    double co2 = mqs[0] / 1000000 * peso_aire / volumen_nevera;

    double total = co2 + concentracion_nitrogeno + concentracion_oxigeno + concentracion_agua +
    respiracion;

    double oxigeno_corregido = concentracion_oxigeno / total;

    return oxigeno_corregido;

}

void prepareToWrite(double mtemp,double mhum,double mppm,double mox){

    String cadena_Temperatura = ""; //Variable en blanco de Temperatura

    cadena_Temperatura = "temp.val="; //De esta manera se asignan los valores

    cadena_Temperatura.concat(mtemp); //Se concatena para evita problemas y se hace igual que el
    request que tenemos

    writeString(cadena_Temperatura);

    delay(100);

```

```

String cadena_Humedad = ""; //Variable en blanco de humedad

cadena_Humedad = "hum.val="; //De esta manera se asignan los valores

cadena_Humedad.concat(mhum); //Se concatena para evita problemas y se hace igual que el
request que tenemos

writeString(cadena_Humedad);

delay(100);

String cadena_PPM = ""; //Variable en blanco de PPM

cadena_PPM = "ppm.val="; //De esta manera se asignan los valores

cadena_PPM.concat(mppm); //Se concatena para evita problemas y se hace igual que el request
que tenemos

writeString(cadena_PPM);

String cadena_ox = ""; //Variable en blanco de PPM

cadena_ox = "ox.val="; //De esta manera se asignan los valores

cadena_ox.concat(mox); //Se concatena para evita problemas y se hace igual que el request que
tenemos

writeString(cadena_ox);

}

void writeString(String stringData) { // Used to serially push out a String with Serial.write()

    for (int i = 0; i < stringData.length(); i++)

    {

        Serial.write(stringData[i]); // Push each char 1 by 1 on each loop pass
    }
}

```

```
}
```

```
Serial.write(0xff); //We need to write the 3 ending bits to the Nextion as well
```

```
Serial.write(0xff); //it will tell the Nextion that this is the end of what we want to send.
```

```
Serial.write(0xff);
```

```
// end writeString function
```

ANEXO 2. CÓDIGO NODEMCU ESP8266

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <ArduinoJson.h>

//Constantes
const byte cantidad_MQ=1;
const byte cantidad_DHT=1;

const char* ssid = "Familia Gomez"; // Enter SSID here
const char* password = "munecalatiene"; //Enter Password here
const char* server = "ruedadifusion.com";

//variables
double lecturasSensorDeGas[cantidad_MQ]; //ppm
double lecturasSensorDeHumedad[cantidad_DHT]; // %
double lecturasSensorDeTemperatura[cantidad_DHT]; //grados celsius

WiFiClient client;

SoftwareSerial mySerial(D5, D6); // RX, TX

//comunmente abierto
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  mySerial.begin(115200);
  while (!Serial) continue;

  WiFi.begin(ssid, password); //Connect to your WiFi router
  Serial.println("");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```

    delay(500);
    Serial.print("-");
}
Serial.println("");
Serial.println("WiFi conectado");
Serial.print("Listo para recibir");
}

void sendData() {

    HTTPClient http; //Declare object of class HTTPClient
    String postData = "?temperatura=" + String(lecturasSensorDeTemperatura[0]) +
"&humedad=" + String(lecturasSensorDeHumedad[0]) + "&lecturamq=" +
String(lecturasSensorDeGas[0]) ; //Note "?" added at front

    http.begin("http://ruedadifusion.com/JP/Diego/InsertData.php"); //Specify request
destination
    http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded"); //Specify content-
type header

    int httpCode = http.POST(postData); //Send the request
    String payload = http.getString(); //Get the response payload

    Serial.println(httpCode); //Print HTTP return code
    Serial.println(payload); //Print request response payload
    http.end(); //Close connection

    Serial.println("Enviado");

}

void loop() {

    if(getJsonFromArduino()==true){
        sendData();
    }
}

```

```

bool getJsonFromArduino(){
    StaticJsonBuffer<1000> jsonBuffer;
    JsonObject& root = jsonBuffer.parseObject(mySerial);
    if (root == JsonObject::invalid())
        return false;

    Serial.println("JSON recibido");
    root.prettyPrintTo(Serial);

    Serial.print("Temperatura: ");
    lecturasSensorDeTemperatura[0]=root["temperatura"];
    Serial.print(lecturasSensorDeTemperatura[0]);
    Serial.println("");

    Serial.print("Humedad: ");
    lecturasSensorDeHumedad[0]=root["humedad"];

    Serial.print(lecturasSensorDeHumedad[0]);
    Serial.println("");

    Serial.print("aire: ");
    lecturasSensorDeGas[0]=root["aire"];
    Serial.print(lecturasSensorDeGas[0]);
    Serial.println("");

    Serial.println("-----xxxxx-----");
    return true;
}

```

ANEXO 3. PRESUPUESTO

Presupuesto cámara de atmósfera controlada

Cant.	Descripción	Precio	Destino
1	Refrigerador haceb	300000	refrigeración
1	Humidificador ultrasonido	87000	humidificación
1	Ventilador ac	20000	ventilación
1	Tanque co2 25 kg	151000	inyección
1	Regulador watts 1/4 in	450000	inyección
1	Válvula solenoide 1/4 in	110000	inyección
1	Manómetro 1000 psi	18000	inyección
1	Manómetro 60 psi	18000	inyección
2	Unión T galvanizada 1/4	30000	inyección
1	Unión recta cga320 bronce	26000	inyección
5	Niple galvanizado 1/4 in	15000	inyección
1	Expansión 1/2 galvanizado	4000	inyección
2	Codo 1/2	8000	inyección
1	Niple galvanizado 1/2 in	2500	inyección
1	Expansión galvanizado 3/8 - 1/2 in	4500	inyección
1	Expansión galvanizado 1/2 - 1/4 in	4500	inyección
1	Acople cpvc 1/2	600	inyección
1	Tapón 1/2 in	500	inyección
1	Tubo cpcv 1/2 in x 1 m	3600	inyección
1	Caja de control galvanizada	80000	control
1	Pantalla nextion 4.3 in	120000	control
1	Base acrílica	8000	control
1	Placa arduino uno	21000	control
1	Placa nodemcu	20000	control
1	Relé 4 canales arduino	33000	control
4	Tomacorrientes	12000	control
1	Cable encauchetado 2m	4000	control
1	Clavija con polo a tierra	2000	control
1	Interruptor de arranque	500	control
1	Bornera	4000	control
3	Fuentes de 5 v ac/dc	30000	control
1	Cable blanco cal. 14 6m	6000	control
1	Cable amarillo cal. 14 6m	6000	control
1	Cable negro cal. 14 2m	2000	control
		1601700	TOTAL