Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN CUARTO FRÍO PARA LA CONSERVACIÓN DE PLÁNTULAS DE FRESA

DESIGN AND SIMULATION OF A COLD ROOM FOR THE CONSERVATION OF STRAWBERRY SEEDLINGS

Julio Ricardo Ramírez Barrera
Investigador independiente, Ecuador

Fernando Ivan Guerrero Vivanco
Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán, Ecuador

Marlon Jonathan Estrella Semblantes
Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán, Ecuador

Fátima Elizabeth Ruiz Mora
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Mario Danilo Villacrés Pérez
Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13858

Diseño y Simulación de un Cuarto Frío para la Conservación de Plántulas de Fresa

Julio Ricardo Ramírez Barrera[1]
julioramirezbarrera@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-2837-1240
Investigador Independiente
Ecuador

Fernando Ivan Guerrero Vivanco
fernando.guerrero@santo.edu.ec
https://orcid.org/0009-0002-4552-3334
Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán
Ecuador

Marlon Jonathan Estrella Semblantes
marlon.estrella@santo.edu.ec
https://orcid.org/0009-0009-5543-8193
Unidad Educativa Santo Domingo de Guzmán
Ecuador

Fátima Elizabeth Ruiz Mora
fruizm2@unemi.edu.ec
https://orcid.org/0009-0006-3300-8182
Universidad Estatal de Milagro
Ecuador

Mario Danilo Villacrés Pérez
mvillacresp2@unemi.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-2031-8222
Universidad Estatal de Milagro
Ecuador

RESUMEN

El presente artículo se desarrolló con la finalidad de diseñar un cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa para evitar su deterioro en un centro de bioproducción en la ciudad de Ambato, proncincia de Tungurahua. Se empleó un diseño experimental de corte longitudinal, la investigación fue de tipo aplicativo dado que el estudio tiene importancia práctica con el propósito de abordar cuestiones específicas relacionadas con la protección de las plántulas de fresa. La población de estudio estuvo conformada por ejemplares de fresa con un tamaño de muestra total de 250.000 plantas. Tras realizar el cálculo de la carga térmica se determinó que, la distribución de las cargas indica que la mayor parte del calor en el espacio proviene de productos o procesos internos, con un 89% de la carga térmica atribuida a estas fuentes. Las pérdidas por transmisión de calor a través de la envolvente del edificio son mínimas (2%), y las infiltraciones de aire y las cargas internas tienen una influencia menor en la carga térmica total (4% y 5%, respectivamente). Por lo expuesto se concluyó que, la simulación mostró una distribución de temperatura adecuada para la conservación de plántulas, con un rango de 4.1°C a 4.46°C.

Palabras clave: bioproducción, cuatro frio**,** plántulas de fresa, termodinámica, simulación

[1] Autor principal
Correspondencia: julioramirezbarrera@gmail.com

Design and Simulation of a Cold Room for the Conservation of Strawberry Seedlings

ABSTRACT

This article was developed with the purpose of designing a cold room for the conservation of 250,000 strawberry seedlings to prevent their deterioration in a bioproduction center in the city of Ambato, province of Tungurahua. A longitudinal experimental design was used, the research was of an application type given that the study has practical importance with the purpose of addressing specific issues related to the protection of strawberry seedlings. The study population was made up of strawberry specimens with a total sample size of 250,000 plants. After calculating the thermal load, it was determined that the distribution of the loads indicates that most of the heat in the space comes from internal products or processes, with 89% of the thermal load attributed to these sources. Losses due to heat transmission through the building envelope are minimal (2%), and air infiltrations and internal loads have a minor influence on the total thermal load (4% and 5%, respectively). From the above, it was concluded that the simulation showed an adequate temperature distribution for the conservation of seedlings, with a range of 4.1°C to 4.46°C.

***Keywords*:** bioproduction, four cold, strawberry seedlings, thermodynamics, simulation

Artículo recibido 08 agosto 2024

Aceptado para publicación: 15 setiembre 2024

INTRODUCCIÓN

El presente artículo denominado “diseño y simulación de un cuarto frío para la conservación de plántulas de fresa” aborda la necesidad de mejorar las técnicas de almacenaje de plántulas de fresa de los distribuidores agrícolas en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato. En el Ecuador la fresa se produce tanto a pequeña como gran escala desde pequeñas fincas hasta en cooperativas y grandes asociaciones agrícolas (Lechón y Chicaiza, 2019). Debido a la gran demanda del producto cabe destacar que la mayor problemática que enfrentan la bioproducción radica en las plagas y en el deterioro de la calidad debido a la pudrición de las plántulas al no almacenarse a temperaturas adecuadas, lo cual repercute en la rentabilidad de los agricultores y por ende en la economía local y nacional (Chávez y Burbano, 2021).

La temática de investigación es de importancia por el gran aporte generado en preservación de la salud de la plántula, así como también en el rendimiento del cultivo. Es relevante puesto que, el desarrollo de prácticas sostenibles en la agricultura es esencial para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental negativo de las actividades agrícolas (Aguilera, 2022). Además, es fundamental perfeccionar las técnicas de conservación como la refrigeración de la plántula en un cuarto frio para certificar la calidad de los productos agrícolas (Carranza et al., 2024), en este sentido los métodos y prácticas de permacultura ofrecen recursos para producir alimentos y otros productos agrícolas a bajos costos ambientales sin comprometer la disponibilidad de alimentos o el bienestar general de las generaciones futuras.

El estudio se basa en la teoría de refrigeración y conservación, incluyendo los principios de termodinámica y transferencia de calor aplicados a los sistemas de enfriamiento (Barrera et al., 2021). Los supuestos clave incluyen la necesidad de mantener la temperatura y la humedad controladas para evitar daños a las plantas y aumentar la viabilidad de producción. Las plántulas requieren protegerse de la luz solar de forma directa en una habitación fría, puesto que la radiación acelera la velocidad de descomposición (Montero, 2022). En tal virtud, para mantener la salud de las plántulas, es fundamental realizar un control temperatura y la humedad cuando sea posible durante el almacenaje. Ante lo expuesto, es necesario mantener a la plántula en una atmósfera controlada a 6°C y una humedad relativa de 80% a 90%, bajo dichas condiciones se puede almacenar la plata hasta 20 días.

Según Cengel y Boles (2015) “primera ley de la termodinámica se enfoca en la conservación de la energía y la segunda afirma que la energía tiene calidad, así como cantidad, y los procesos reales ocurren hacia donde disminuye la calidad de la energía” (p. 22). En este sentido la refrigeración es el proceso de transferir calor de un sitio físico a otro. Este mecanismo tiene muchas aplicaciones, incluidas, entre otras, refrigeradores domésticos, congeladores de tipo industrial, criogénicos, cuartos, fríos, aire acondicionado y bombas de calor. Un sistema de refrigeración tiene cinco componentes principales: evaporador, compresor, condensador, válvula de expansión y refrigerante que conduce el calor al producto. Cada componente debe estar presente en el sistema de refrigeración para que el ciclo de refrigeración funcione correctamente (Dhankhar, 2014).

En esta línea de investigación Bresolin et al. (2018) en su artículo denominado “panorama de la cadena de frío brasileña” devela que, el almacenamiento, la temperatura, la humedad relativa y la circulación del aire pueden provocar cambios químicos en los alimentos. Entre ellos, el control de la temperatura es un parámetro clave que se encarga de mantener las propiedades comestibles de los alimentos y garantizar la calidad de toda la cadena de suministro. Por ello recomienda la adecuación de sistemas de refrigeración ya que los mismos aportan a la conservación de los productos agrícolas (Riofrio et al., 2023), en el Ecuador las aplicaciones específicas para la conservación de plántulas de fresa y en cantidades tan grandes son limitadas. Este trabajo proporciona una solución trasformadora que es nueva en el campo, combinando simulaciones avanzadas con un diseño práctico para una gran cantidad de plántulas.

En el contexto agrícola de Tungurahua – Ambato; la distribución, producción y cosecha de fresas es importante para la productividad y sostenibilidad de la industria. A nivel nacional la bioproducción de fresa es ampliamente reconocida y se lleva a cabo principalmente en campos abiertos, que están limitados por la invasión de elementos bióticos y los efectos de componentes abióticos, lo que resulta en pérdidas de producción (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2020). Sin embargo, previo a la etapa de siembra de la plántula ya sea en campo abierto o en invernaderos el almacenaje de la misma juega un papel fundamental en el desarrollo del fruto ya que si no se mantiene a una temperatura adecuada se deterioran sus propiedades y por ende la producción no será la esperada.

Por lo expuesto previamente la investigación se desarrolla con la finalidad de diseñar un cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa para evitar su deterioro.

METODOLOGÍA

La presente investigación se llevó a cabo mediante un diseño experimental ya que se manipulan las variables de estudio como: temperatura y humedad en las simulaciones para conocer el comportamiento del diseño propuesto (Ramos, 2021). Es de corte longitudinal, puesto que se miden las variables en varios instantes de tiempo para observar los efectos del diseño del congelador con la finalidad de ajustar el diseño del cuarto frio a las condiciones ambientales reales de la ciudad de Ambato donde se lleva a cabo la bioproducción de las plántulas de fresa.

La investigación es de tipo aplicativo dado que el estudio tiene importancia práctica con el propósito de abordar cuestiones específicas relacionadas con la protección de las plántulas de fresa(Castro et al., 2023). El propósito de este tipo de investigación es crear conocimiento que sea directamente aplicable a problemáticas reales de la sociedad y el sector productivo, en tal virtud es esencialmente un avance técnico basado en una investigación fundamental que se ocupa del proceso de unir la teoría y los aplicativos prácticos. Por ello el artículo en mención analiza y determina los factores ambientales óptimos para el almacenamiento y conservación adecuada de las plántulas de fresa.

La población de estudio estuvo conformada por plantas de fresa con un tamaño de muestra total de 250.000 ejemplares. La muestra de las plántulas se obtiene por muestreo no estadístico a conveniencia del investigador debido a que la bio-productores del sector sostienen que en promedio se almacena esa cantidad de elementos y en base a ello se realiza la adaptación del diseño de almacenamiento en frío. Se utilizo también un enfoque cuantitativo para recopilar datos, incluidas simulaciones por computadora de entornos de almacenamiento en frío (Hernández - Sampieri, 2016). Por lo expuesto, los datos en mención se recopilan mediante sensores: humedad y temperatura, los mismos que se introducen en el modelo de simulación.

Las herramientas consideradas para la recopilación de información incluyen software de simulación dedicado y equipos de medición en un entorno controlado (Ramírez, 2019). En cuanto a los criterios de inclusión se toman en cuenta plántulas sanas en condiciones óptimas para uso en simulaciones de almacenamiento en frío.

Por ende, se excluyeron plántulas con daños evidentes y considerables a fin de garantizar los resultados de la investigación.

Con relación a las consideraciones éticas cabe destacar que la investigación se centró en simulaciones en lugar de experimentos directos con organismos, por ello dichas consideraciones se limitaron a garantizar que los diseños propuestos cumplieran con las regulaciones y estándares de conservación y almacenamiento industrial. Por su parte, una limitación del estudio radica en las condiciones externas del ambiente que no se pueden controlar en el entorno real.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se describen de forma sistemática los hallazgos generados en la investigación, por lo cual se muestra la información correspondiente a: cálculo de cargas térmicas, selección de equipos y accesorios, análisis de costos y simulación del cuarto frio.

Cálculo de la carga térmica: para diseñar el cuarto frio se tomó en cuenta los parámetros ambientales según ASHRAE que requieren las plántulas de fresa para mantenerse saludables (Latorre et al., 2020). La temperatura sed mantuvo entre los 4 y 6° C, por su parte la humedad oscila entre el 80 y 90%. Adicionalmente se consideran los elementos físicos del diseño como: volumen, temperatura (externa, interna, del piso) y humedad tanto interna como externa, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 cargas térmicas ASHRAE

Tipo de carga	**Valores calculados BTU/h ft^2 °F**
Transmisión	1201,1
Del producto	45429,75
Por infiltraciones	2345,8
Internas	2363,13

Adaptado de (Ashrae, 2018)

Interpretación: la carga térmica hace referencia a la cantidad de calor que debe ser extraída de un determinado lugar para refrigerar y mantener a una temperatura adecuada las plántulas de fresa. En la tabla anterior se puede apreciar los valores de carga térmica generados por los parámetros descritos anteriormente.

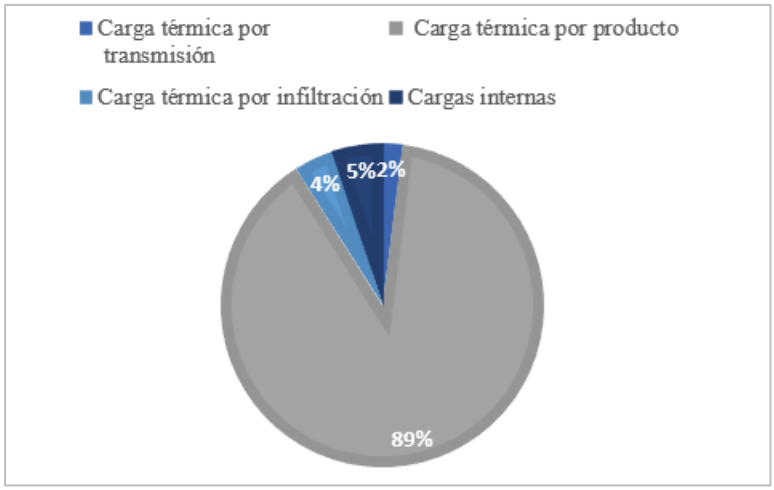
Según Ashrae (2018) la carga de transmisión se obtiene de la cámara de refrigeración, para lo cual se suman las cargas generadas en las paredes, el techo y el piso obtenidas por la formula $Q=U$ x A x

($Te-Ti$); donde Q hace referencia a la perdida de calor en la trasmisión, U es el coeficiente de trasferencia, A área, Te temperatura exterior y Ti temperatura interior. La carga del producto consigue con los siguientes elementos: calor del producto para ser llevado a la temperatura del cuarto frio y el calor emitido por la traspiración del producto conservado.

La carga de infiltraciones atiende a la penetración de aire al abrir las puertas y la infiltración por el cambio de aire en el interior de la cámara (Valle et al., 2017). En cuanto a las cargas internas se producen por la pérdida de calor por persona, equipos e iluminación.

Desde este punto de vista la carga térmica total requerida para el diseño del cuarto frio equivale a 51340 BTU/h (*British Thermal Units* por hora). Para lo cual se toma en cuenta la distribución mostrada en la Figura 1.

Figura 1 Distribución total de cargas



La distribución de las cargas térmicas indica que la mayor parte del calor en el espacio proviene de productos o procesos internos, con un 89% de la carga térmica atribuida a estas fuentes. Las pérdidas por transmisión de calor a través de la envolvente del edificio son mínimas (2%), y las infiltraciones de aire y las cargas internas tienen una influencia menor en la carga térmica total (4% y 5%, respectivamente). Para mejorar la eficiencia energética, es necesario asegurarse de que la ventilación y la infiltración de aire estén bien controladas, aunque su impacto sea menor.

Selección de equipos y accesorios ´

Para el diseño del cuarto frio se requiere de ciertos equipos y accesorios que garanticen el correcto funcionamiento del sistema, para la presente investigación se trabajó con los con los elementos que se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2 Selección de equipos

Equipo	Detalle
Refrigerante	R-404A es un refrigerante que consiste en una mezcla de tres compuestos HFC (Hidrofluorocarbonos): R-125, R-143A y R-134A. Este refrigerante es especialmente adecuado para reemplazar al R-502 en nuevas instalaciones de refrigeración diseñadas para operar a bajas y medias temperaturas.
Evaporador	En base al requerimiento del sistema se seleccionó el evaporador modelo EVC 5 – 306/67 de la marca INTERCAL.
Condensador	Utilizando el software Coolselector2, se seleccionó el condensador Optyma™ Slim OP-HNXM0700UWG000Q de la marca Danfoss.
Válvula de expansión	Utilizando el software Coolselector2, se seleccionó la válvula TGE 10 - 9 de la marca Danfoss.
Válvula de solenoide	Usando el software Coolselector2, se seleccionó la válvula EVR 6 de la marca Danfoss.
Visor líquido	Utilizando el software Coolselector2, se seleccionó el visor de líquido SPG 16s de la marca Danfoss.
Tuberías de cobre	Utilizando el software Coolselector2, se seleccionaron las tuberías: DIN – EN 35, DIN – EN 22, DIN – EN 15
Equipo de control	El equipo de control se conforma de varios elementos electrónicos como: sensor de temperatura (modelo DS18B20), contactor, Arduino nano, sensor de humedad (modelo DHT11), caja térmica, pulsadores y canaleta. Con dichos elementos el ciclo térmico arroja un valor de 4,4, lo cual indica que la eficiencia es aproximadamente del 33%.
Flujo	El flujo masico del refrigerante se calcula en función del calor que se desea extraer, en este caso equivale a 478.3 kg/h.

Adaptado de (Ramírez, 2019)

Análisis de costos

El sector de bioproducción analizado invertirá en un cuarto frío para conservar 250,000 plántulas de fresa, con un diseño y selección minuciosa del equipo. La inversión se recuperará en aproximadamente 15.5 meses (1.29 años) sin considerar la tasa de oportunidad, y en 18.5 meses (1.54 años) al incluirla. Ambos plazos indican una recuperación rápida y eficiente, reflejando una sólida relación costo-beneficio, cabe mencionar que la inversión inicial es de $ 10.349,20.

Simulación

El diseño validado de un modelo computacional para el cuarto frio parte de las condiciones ambientales de enfriamiento para la conservación de plántulas de fresa, y para ello se siguió un procedimiento estructurado:

Modelado: Se utilizó el software SOLIDWORKS para crear un modelo 3D del cuarto frío. El modelado incluyó la construcción de piezas y ensamblajes detallados.

Simulación: ANSYS FLUENT fue el software elegido para la simulación, realizando un mallado tetraédrico con un refinamiento del 85% en áreas clave. Los parámetros de simulación incluyeron estado estacionario, flujo laminar, y un sistema de refrigeración por compresión. Se configuraron los materiales y condiciones de frontera, como acero, poliestireno, y espuma de poliuretano para el aislamiento.

Validación: Se compararon los resultados de la simulación con datos experimentales obtenidos de un refrigerador real, usando una cámara termográfica y el software SatIrReport. Las temperaturas simuladas y medidas mostraron diferencias aceptables de 0.2 a 0.4 °C, en concordancia con la Norma NOM-022-ENER/SCFI 2008.

Resultados: La simulación mostró una distribución de temperatura adecuada para la conservación de plántulas, con un rango de 4.1°C a 4.46°C. El flujo de aire se distribuyó uniformemente, garantizando una conservación óptima. Ante lo expuesto, los hallazgos pueden utilizarse como prospectiva en varios establecimientos de la ciudad de Ambato que se dedican a la bioproducción con el claro objetivo de mejorar el rendimiento de las plántulas de fresa para su posterior siembra en campos abiertos o invernaderos.

CONCLUSIONES

Se logró diseñar un cuarto frío funcional y económico para conservar 250,000 plántulas de fresas, utilizando un sistema de refrigeración que cumple con los requisitos ambientales y de operación establecidos por el cliente. Además, el análisis económico demostró que el proyecto es viable, con una recuperación de inversión en menos de 2 años, y la validación del sistema confirmó que las temperaturas de conservación se mantienen dentro de los límites establecidos por la norma NOM-022, asegurando así la calidad de las plántulas.

Los ejemplares evaluados mostraron un buen comportamiento en el cuarto frío (4.1°C a 4.46°C) tras el almacenamiento, manteniendo un estado óptimo en el follaje sin problemas fitosanitarios, decoloración ni caída de hojas. La vida de los ejemplares fue satisfactoria durante 20 días, conservando sus características iniciales sin deshidratación ni daños.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilera Peña, R. (2022). Estrategias agroecológicas para una agricultura sostenible. *REVISTA CIENTÍFICA ECOCIENCIA*, *9*, 138–150. https://doi.org/10.21855/ecociencia.90.758

Ashrae, Handbook. (2018). Refrigeration. *Atlanta*.

Barrera, F. J., Ramírez, S. A., Sánchez, E., Pérez, J. A., & Cruz, A. (2021). Mecanismos de Transferencia de Calor . *TEPEXI Boletín Científico de La Escuela Superior Tepeji Del Río*, *8*(16). https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/download/6401/8082/

Bresolin, C. S., Schneider, P. S., Rego, R., & Filho, E. P. B. (2018). Brazilian cold chain panorama. *International Journal of Refrigeration*, *90*, 145–155. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.04.002

Carranza, M., Aragundi, L., Macias, K., Paredes, E., & Villegas, A. (2024). Conservación y Manejo Sostenible del Suelo en la Agricultura: Una Revisión Sistemática de Prácticas Tradicionales y Modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, *5*(E3), 1–28. https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303

Castro, J. J., Gómez, L. K., & Camargo, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, *27*(75), 140–174. https://doi.org/10.14483/22487638.19171

Cengel, Y., & Boles, M. (2015). *Termodinamica* (McGraw-Hill Education., Ed.; 8th ed.).

Chávez, J. P., & Burbano, R. T. (2021). Cambio climático y sistemas de producción agroecológico, orgánico y convencional en los cantones Cayambe y Pedro Moncayo. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, *29*, 149–166. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.29.2021.4751

Dhankhar, P. (2014). A Study on Refrigeration . *International Journal of Science and Research (IJSR)*, *3*(5). https://www.ijsr.net/archive/v3i5/MDIwMTMyMDQx.pdf

Latorre, M. G., Flórez, E. G., & Serrano., J. C. (2020). Desarrollo de un software académico para el cálculo de carga térmica para la asignatura de Aires acondicionados en la Universidad de Pamplona. *Revista UIS Ingenierías*, *19*(3), 87–96. https://doi.org/10.18273/revuin.v19n3-2020009

Lechon, L. W., & Chicaiza, J. (2019). De la agricultura familiar campesina a las microempresas de monocultivo. Reestructura socio-territorial en la Sierra norte del Ecuador. *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, *15*, 193–210. https://doi.org/10.17141/eutopia.15.2019.3875

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2020). Productores de fresa, de Tungurahua. *MAG*. https://www.agricultura.gob.ec/productores-de-fresa-de-tungurahua-buscan-obtener-certificacion-bpa/

Montero, J. (2022). Relación de la radiación solar con la producción de plantas: agroproductivas. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *9*(1), 52–66. https://doi.org/10.53287/oqym7033yy88k

Ramirez, J. (2019). Diseño y simulación de un cuarto frío para la conservación de 250000 plántulas de fresa. *ESPOCH*. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11548

Ramos, C. (2021). Editorial: Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356

Riofrio, E. G., Pacheco, K. J., & Rodríguez, I. (2023). Evaluación de la adaptación y producción de cultivares de fresa con efecto microtunel en el Cantón Chilla. . *Revista Científica Agroecosistemas*, *11*(1). https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/download/614/582/1169

Roberto Hernández Sampieri. (2016). Metodología de la Investigación. *MCGRAW-HILL*.

Valle, J., Ortiz, A., Roman, R., & Morales, E. (2017). Diseño de un sistema de refrigeración. *Revista de Ingeniería Innovativa*, *1*(3). https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol1num3/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V1_N3_6.pdf