

1. Lista de Exigencias

Tabla 1: Lista de Exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Páginas: 5
			Edición: Rev. 2
PROYECTO:		Invernadero Transportable de Lechuga en un Sistema Cerrado con Iluminación LED	Fecha: 25/09/2025
			Revisado:
CLIENTE:		UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA	Elaborado: J.B. , J.E. , C.M. , P.C. , M.H.
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
25/09/25	E	Función Principal: Cultivar lechuga en sistema hidropónico DWC dentro de un invernadero cerrado, utilizando sensores inteligentes para monitorear parámetros como solución nutritiva, nivel de agua, temperatura, humedad e iluminación. Funciones secundarias: Controlar temperatura, humedad, nivel de agua y condiciones de la solución nutritiva. Regular la iluminación LED (intensidad y fotoperiodo). Optimizar el consumo de agua y energía. Facilitar la portabilidad y el mantenimiento del sistema.	J.B , J.E. , C.M. , P.C.
8/11/25	E	Geometría: El tamaño del prototipo de invernadero, considerando bandejas DWC, LEDs, paneles solares y la interfaz de operación, es de 50 × 50 × 30 cm, con capacidad de 4 a 6 plantas por ciclo y movilidad asegurada mediante ruedas y tirador	J.E.
8/09/25	E	Cinemática: Se observa en la recirculación de la solución nutritiva y en la aireación constante. El agua fluye a un caudal controlado, asegurando el contacto continuo con las raíces, mientras las burbujas de aire mantienen la oxigenación. Esto garantiza que no se generen zonas de estancamiento y que el movimiento del fluido favorezca la absorción de nutrientes.	J.E.
9/09/25	E	Fuerzas: A diferencia de los sistemas de procesamiento de frutas, el invernadero no aplica fuerzas de manipulación mecánica significativas. La integridad de las plantas se asegura mediante el control de parámetros. Las fuerzas estructurales se distribuyen en soportes ajustables y brazos de sujeción que sostienen las plantas y el sistema de iluminación, asegurando estabilidad en el cultivo (Sistemas de Hidrofila Inc. & Ewing, 2023)	J.E.
10/09/25	E	Energía: El consumo energético se centra en la iluminación LED, que se regula en intensidad y tiempo de exposición para optimizar el fotoperiodo (Universidad Nacional de Gyeongsang IACF, 2014; Shanghai Green Cube Agriculture Dev Co. Ltd., 2022), complementado con sensores que	J.E.

		<p>permiten un uso más eficiente de los recursos (Ono Exponential Farming S.R.L., 2024)</p>	
10/09/25	E	<p>Materia:</p> <p>Materia de ingreso: Plantas de lechuga destinadas al cultivo en sistema hidropónico DWC cerrado. El sistema parte de diseños modulares y desmontables, que facilitan el montaje y el transporte (sistema modular hidropónico con marcos, bases y redes de soporte).</p> <p>Materia de salida: lechugas frescas de alta calidad, cultivadas en condiciones controladas de luz artificial (LEDs), con fotoperiodo y espectros ajustados al ciclo de crecimiento, lo que permite mayor eficiencia y calidad nutricional..</p> <p>De esta manera, el material de salida no solo es el producto vegetal (lechuga lista para consumo y comercialización), sino también información valiosa de trazabilidad y control ambiental, que ofrece un valor agregado para optimizar el proceso, mejorar la sostenibilidad y replicar el modelo en sistemas cerrados de producción a mayor escala</p>	C.M.
26/09/25	E	<p>Señales Información</p> <p>Señales de entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señal de encendido: activa la alimentación eléctrica de LEDs y sensores. • Señal de inicio: pone en marcha el cultivo (recirculación de agua y control automático). • Señal de parada: interrumpe el funcionamiento en cualquier etapa del crecimiento de la lechuga. <p>Señales de salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Señal de Stand-by: indica que LEDs, y sensores están listos para iniciar tras la energización del panel. • Señales de estado: informan parámetros en tiempo real (temperatura). • Señal de emergencia: alerta al operario en caso de anomalías (falta de agua/CE, fallo de los leds, sobretemperatura). • Señal de fin de ciclo: indica el término del proceso de cultivo (25–30 días) y la disponibilidad de las plantas para cosecha. 	C.M.
11/09/25	E	<p>Control: El sistema de control de la máquina debe permanecer estable en todas las etapas de funcionamiento del crecimiento de la lechuga. También, se debe controlar el flujo de agua con sustratos en la base de dicha planta, y por otro lado, el crecimiento de la planta será monitoreada.</p>	C.M.
11/09/25	E	<p>Electrónico (hardware): Se usará el hardware necesario</p>	C.M.

		para poner en funcionamiento el invernadero a fin de cumplir con los requerimientos. Se utilizará un microcontrolador() que permita hacer uso conjunto de estos dispositivos.	
10/09/25	E	Software: Se utilizará un programa de código abierto para el control del sistema, interpretar las señales entrantes de los sensores y configurar el trabajo de los actuadores; ello acompañado con una interfaz web para su operación.	C.M.
11/09/25	E	Comunicaciones: El controlador debe poder comunicarse con los sensores (humedad, temperatura, nivel de agua) y actuadores mediante un sistema de cableado directo. Debe procesar correctamente las señales ingresadas por el usuario (encendido, inicio de ciclo, parada) y mostrar salidas de estado (operativo, alerta, fin de ciclo). Entre subsistemas, la comunicación debe evitar interferencias y asegurar la interoperabilidad.	P.C.
10/09/25	E	Seguridad: Para la manipulación de agua, nutrientes y componentes en contacto con la lechuga se deberán emplear materiales plásticos y metálicos de grado alimenticio (PVC-U, acero inoxidable AISI 304/316), garantizando higiene y resistencia a la corrosión, en cumplimiento con la ISO 22000 (inocuidad alimentaria). El sistema eléctrico (bombas, LEDs, controlador) deberá cumplir con normas de seguridad eléctrica (IEC 60335) , evitando fugas de corriente en un ambiente húmedo. Además, contará con un botón de apagado de emergencia y fusibles de protección. El diseño portátil (ruedas y manija) debe asegurar la estabilidad estructural y evitar vuelcos accidentales. Asimismo, se seguirán las disposiciones de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N° 29783) e implementación de prácticas de ergonomía en la operación.	P.C.
11/09/25	E	Ergonomía: El invernadero, al ser portátil, debe mantener un peso liviano (3–5 kg) y contar con asas y ruedas que permitan su transporte sin generar sobreesfuerzo físico en el usuario. La disposición de los elementos de control (encendido, indicadores LED, conexiones de agua y nutrientes) debe ser accesible y clara, permitiendo una manipulación sencilla y segura en diferentes contextos (rural, urbano o domiciliario). El diseño modular y compacto garantiza que pueda moverse e instalarse fácilmente en espacios reducidos, en conformidad con la ISO 7250: Basic human body measurements for technological design .	P.C.
11/09/25	E	Fabricación: El invernadero deberá ser fabricado con materiales disponibles en el mercado nacional, priorizando componentes modulares y fáciles de reemplazar. La estructura se construirá con plásticos de grado alimenticio	P.C.

		<p>(PVC-U, polycarbonato) y partes metálicas en acero inoxidable AISI 304/316, garantizando resistencia a la humedad, a la corrosión y al contacto con alimentos.</p> <p>Los componentes electrónicos (bombas, LEDs, sensores y controladores) podrán ser de origen nacional o importados con tiempos de adquisición de 5–15 días. El sistema será ensamblado en talleres locales para facilitar el transporte y la distribución.</p> <p>Los materiales deben cumplir con el Decreto Supremo N° 007-98-SA de DIGESA, asegurando que no liberen sustancias tóxicas al agua ni a las plantas, además de cumplir con acabados de alta calidad según la ISO 468.</p>	
11/09/25	E	<p>Control de calidad: El diseño y la fabricación del invernadero deberán cumplir con todas las exigencias planteadas (dimensiones, materiales de grado alimenticio, peso y portabilidad). Se verificará el correcto funcionamiento del sistema DWC, la eficiencia de los LEDs y la confiabilidad de los sensores, asegurando un producto seguro, higiénico y apto para el mercado.</p>	P.C.
10/09/25	E	<p>Montaje: El invernadero tendrá un diseño modular y portátil, de fácil ensamble sin necesidad de herramientas especializadas. La estructura deberá permitir el armado y desarmado rápido de sus componentes (paneles, depósito de agua, LEDs y sensores), asegurando estabilidad durante el funcionamiento del sistema hidropónico DWC.</p> <p>El montaje debe garantizar un correcto sellado para evitar fugas de agua y un sistema de energizado compatible con paneles solares DSSC o corriente eléctrica local.</p>	P.C.
11/09/25	E	<p>Transporte: El invernadero deberá contar con un peso liviano (entre 3–5 kg) y dimensiones reducidas (50×50×30 cm), lo que permitirá su fácil transporte de manera terrestre o incluso manual, sin requerir equipos pesados.</p>	J.B.
11/09/25	D	<p>Uso: El invernadero está diseñado para operar en diversas condiciones de clima y humedad, incluyendo altitudes de hasta 3500 m.s.n.m., adecuadas para el cultivo hidropónico de lechuga (KR101386930B1, 2014). Su estructura incorpora sensores y materiales resistentes, mantiene un bajo nivel de ruido y, gracias a su portabilidad, puede implementarse en proyectos rurales, urbanos y académicos.</p>	J.B.
11/09/25	E	<p>Mantenimiento: El invernadero deberá facilitar el acceso para limpieza del sistema hidropónico, reposición de la solución nutritiva y revisión de la bomba de agua. Los sensores y componentes electrónicos (iluminación LED, temporizadores y paneles solares) deberán ser reemplazables en caso de falla o según ciclos de uso, asegurando la operación continua y la calidad del cultivo</p>	J.B.
	E	<p>Costos: El proyecto considera un presupuesto estimado de S/. 4000-4500, distribuido en materiales. Esta distribución permite mantener el invernadero en un rango accesible y competitivo, asegurando al mismo tiempo la calidad y</p>	J.B.

		sostenibilidad del sistema	
10/09/25	E	Plazos: El proyecto empezará el sábado 27 de septiembre y espera su finalización el lunes 1 de diciembre de 2025 a las 8 a.m., con un total aproximado de 138 horas de trabajo.	J.B.

Bibliografía

Lista de Requerimientos

Artículos científicos

Ali, A., Santoro, P., Ferrante, A., & Cocetta, G. (2024). Aplicaciones de LED continuos y pulsados en lechuga roja y verde (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) para evaluaciones de calidad y costo energético pre y poscosecha. *Scientia Horticulturae*, 338, 113785. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113785>

Boros, I. F., Székely, G., Balázs, L., Csambalik, L., & Sipos, L. (2023). Efectos de la iluminación LED en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sistemas PFAL: Una revisión. *Scientia Horticulturae*, 321, 112351. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112351>

Lu, L., et al. (2020). Thermal analysis of a portable DSSC mini greenhouse for botanical drugs cultivation. *Energy Reports*, 6, 238–253. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.12.025>

Yang, T., Samarakoon, U., & Altland, J. (2024). Growth, phytochemical concentration, nutrient uptake, and water consumption of butterhead lettuce in response to hydroponic system design and growing season. *Scientia Horticulturae*, 332, 113201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113201>

Nugroho, A. P., et al. (2025). Development of a low-cost thermal imaging system for water stress monitoring in indoor farming. *Smart Agricultural Technology*, 11, 101048. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101048>

Patentes

Shanghai Green Cube Agriculture Dev Co. Ltd. (2022). *Sistema de cultivo hidropónico de plantas con luz artificial* (CN217523511U). Espacenet. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/083435299/publication/CN217523511U>

Sistemas de Hidrofila Inc., & Ewing, J. (2023). *Sistema de cultivo hidropónico modular* (WO2023205442A1). Espacenet. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/088420592/publication/WO2023205442A1>

ONO Exponential Farming S.R.L. (2024). *Aparato hidropónico modular* (US2024196821A1). Espacenet. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/073038338/publication/US2024196821A1>

Universidad Nacional de Gyeongsang. (2014). *Método para el cultivo de lechuga utilizando fuente de luz artificial y su fotoperiodo en un sistema cerrado* (KR101386930B1). Espacenet. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049981937/publication/KR101386930B1>

Productos comerciales

Amazon. (2023). *DPROOTS NFT Hydroponic Growing System Kit — Full-Spectrum Grow Lights + Timer — capacidad para 36 plantas.*
<https://www.amazon.com/DPROOTS-Hydroponic-Growing-System-Full-Spectrum/dp/B0FD6Y6RKD>

Amazon. (2023). *Invernadero interior con pulgadas regulables y temporizador.*
<https://www.amazon.com/-/es/invernadero-interiores-pulgadas-regulables-temporizador/dp/B0CT3PVW3W>

Amazon. (2023). *Invernadero interior gabinete portátil para semillas y plántulas.*
<https://www.amazon.com/-/es/Invernadero-interior-gabinete-port%C3%A1til-semillas/dp/B0F674D5PK>