

**Creación de un tablero de control en Power Bi para comparar un cultivo hidropónico vs
uno tradicional en la producción de lechugas**

Jesús Steban Montaña Sanz

Asesor

Sixyel Jeyson Castaeda Coronado

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingeniería ECBTI

Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2025

Nota de Aceptación

Sixyel Jeyson Castaeda Coronado

Director de Trabajo de Grado

Julio Eduardo Mejia Manzano

Jurado

Dedicatoria y Agradecimiento

A mi pareja, por su paciencia infinita, por acompañarme en cada jornada de esfuerzo y por recordarme siempre que los sueños se alcanzan con constancia y amor. A mis padres, quienes me enseñaron que la educación es el legado más valioso y que el sacrificio y la disciplina abren caminos hacia un futuro mejor. A mi familia en general, por ser el soporte que me impulsa, por celebrar cada logro como propio y por brindarme la fuerza necesaria para continuar en los momentos más difíciles. Este estudio es también suyo, porque sin su apoyo incondicional no habría sido posible.

Resumen

Desarrollar un tablero de control donde se compare la producción de lechugas en dos ambientes distintos, cultivo hidropónico y cultivo tradicional (suelo), con la recopilación de información bibliográfica en general, se logra obtener variables favorables y producción de esta hortaliza en estos dos ámbitos; como el pH, TDS, temperatura, producción en gr y kg.

Durante la recolección de información se identificó que, a diferencia del sistema hidropónico, el cultivo tradicional no contaba con un registro de datos completo ni continuo. Para garantizar una comparación equilibrada y disponer de un conjunto de datos adecuado para el análisis, fue necesario aplicar técnicas de aumento de datos, incluyendo interpolación entre registros, adición de ruido gaussiano controlado y métodos inspirados en SMOTE para variables numéricas. Estas técnicas permitieron reconstruir series temporales y ampliar el número de observaciones manteniendo la coherencia estadística de los valores originales.

Palabras clave: Lechuga, Hidroponía, Cultivo tradicional, Power BI

Abstract

Developing a control panel that compares lettuce production in two different environments, hydroponic cultivation and traditional cultivation (soil), with the compilation of general bibliographic information, makes it possible to obtain favorable variables and production of this vegetable in these two environments; such as pH, TDS, temperature, production in gr and kg.

During data collection, it was identified that, unlike the hydroponic system, the traditional cultivation system lacked a complete and continuous data record. To ensure a balanced comparison and obtain a suitable dataset for analysis, it was necessary to apply data augmentation techniques, including interpolation between records, controlled Gaussian noise, and SMOTE-inspired methods for numerical variables. These techniques allowed for the reconstruction of time series and an increase in the number of observations while maintaining the statistical consistency of the original values.

Keywords: Lettuce, Hydroponics, Traditional Farming. BI Energy

Contenido

Introducción	11
Planteamiento del Problema	12
Justificación	13
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos.....	14
Marco de Referencia	15
Estado del Arte.....	15
Parámetros Óptimos para Lechuga Hidropónica	15
Parámetros Óptimos para Lechuga en Cultivo Tradicional (Suelo)	16
Variables a Considerar	17
Marco Conceptual.....	17
Metodología	18
Cronograma.....	19
Recursos	19
Resultados Esperados.....	20
Recolección de Datos.....	20
Métodos Aplicados	21
Interpolación entre Registros	21
Ruido Gaussiano Controlado	21
Método Inspirado en SMOTE.....	21
Tablero de Control	23

KPI de Resultado: Producción	26
Promedio Métricas Resumen	27
Implicaciones Estratégicas	27
KPI de Resultado: Eficiencia	28
Normalización del TDS	28
Eficiencia en el Uso de Nutrientes.....	30
Peso de la Planta por Sistema	30
Comparación de las Plantas	31
Sistema Forecasting	32
Análisis Costo-Beneficio: Hidropónico vs Tradicional.....	35
Supuestos Base para el Modelo	35
Cálculo de Beneficio por 10 m ²	35
Comparación Estratégica	36
Recomendaciones	38
Ampliar el Análisis a Otras Variedades de Cultivos	38
Realizar Pruebas Piloto	39
Conclusiones	40
Eficiencia de los Cultivos	40
Variables Clave.....	40
Costos y Rentabilidad	40
Impacto en la Toma de Decisiones	40
Sostenibilidad y Futuro	41
Recomendaciones para Futuras Investigaciones.....	41

Capacitación y Asesoría.....	41
Desafíos en la Implementación.....	41
Referencias Bibliográficas	42

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Cronograma del Proyecto</i>	19
Tabla 2 <i>Recursos del Proyecto</i>	19
Tabla 3 <i>Variables para el Cultivo de Lechugas</i>	24
Tabla 4 <i>Promedio Producción</i>	27
Tabla 5 <i>Pesaje Promedio de la Planta por Sistema</i>	31
Tabla 6 <i>Presupuesto Modelo</i>	35
Tabla 7 <i>Comparacion Estrategica</i>	36

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Información Recopilada</i>	20
Figura 2 <i>Método Gaussian Noise</i>	21
Figura 3 <i>Método SMOTE</i>	22
Figura 4 <i>Base de Datos</i>	22
Figura 5 <i>Tablero de Control</i>	23
Figura 6 <i>Producción en Kg por m²</i>	26
Figura 7 <i>Gráfico de Torna: Rendimiento</i>	28
Figura 8 <i>Cultivos</i>	29
Figura 9 <i>Peso de la Planta por Sistema</i>	30
Figura 10 <i>Lechuga Crespa</i>	31
Figura 11 <i>Lechuga Crespa</i>	32
Figura 12 <i>Tendencia Predictiva</i>	32
Figura 13 <i>Valores de Predicción</i>	33
Figura 14 <i>Legumbres</i>	38
Figura 15 <i>Cultivo Automatizado</i>	39

Introducción

El presente informe técnico desarrolla un análisis comparativo entre los sistemas de cultivo hidropónico y tradicional; con la ayuda de POWER BI para realizar un panel de control, aplicados a la producción de lechuga. El estudio se basa en información bibliográfica, datos experimentales y un análisis estructurado de variables agronómicas críticas. Con el auge de métodos sostenibles y la necesidad de optimizar la producción agrícola, la comparación entre ambos sistemas permite identificar ventajas competitivas, eficiencia en el uso de recursos y predicciones futuras. Se evaluaron métricas clave de ambos sistemas, como pH, TDS, temperatura, peso por planta y rendimiento por metro cuadrado. A partir de los resultados obtenidos se presentan conclusiones sobre la eficiencia productiva, las diferencias en crecimiento y el comportamiento temporal de cada sistema, así como recomendaciones orientadas a la mejora y toma de decisiones agrícolas basadas en datos.

Planteamiento del Problema

El uso de sistemas hidropónicos en la producción de hortalizas y verduras se ha convertido en una alternativa sostenible en comparación con los sistemas tradicionales sobre el suelo que abarcan grandes extensiones de tierra y un gran consumo de agua. Sin embargo, la implementación de estos sistemas en áreas con climas poco favorables, Colombia, presenta un reto a superar.

¿Cuál de los dos sistemas de cultivo, hidropónico o tradicional, ofrece mayor eficiencia productiva, mejor uso de recursos y mayor rendimiento en la producción de lechuga?

Justificación

La creciente demanda de alimentos saludables y sostenibles ha impulsado el interés en métodos de cultivo alternativos. El cultivo hidropónico, que utiliza nutrientes disueltos en agua, se presenta como una opción viable en comparación con el cultivo tradicional en suelo. Este proyecto busca crear un tablero de control en Power BI que permita visualizar y comparar de manera efectiva los resultados de producción de lechugas en ambos sistemas. La visualización de datos facilitará la toma de decisiones informadas para mejorar prácticas agrícolas y optimizar recursos.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un tablero de control interactivo en Power BI que permita comparar la producción de lechugas en cultivos hidropónicos y tradicionales, utilizando variables clave para la toma de decisiones.

Objetivos Específicos

Recopilar y analizar datos sobre las variables de producción en ambos sistemas, incluyendo pH, TDS, temperatura y rendimiento en gramos y kilogramos.

Diseñar un tablero de control en Power BI que represente visualmente las diferencias en producción entre los cultivos hidropónicos y tradicionales.

Analizar el desempeño del tablero como herramienta de apoyo para la toma de decisiones, considerando su capacidad para integrar datos, generar indicadores confiables y facilitar la interpretación de resultados.

Marco de Referencia

Estado del Arte

El cultivo hidropónico se basa en el uso de soluciones nutritivas que reemplazan completamente al suelo, permitiendo un control preciso de las condiciones de crecimiento.

Diversos estudios han demostrado las ventajas del sistema hidropónico en comparación con los métodos tradicionales. Según Barbosa et al. (2015), los sistemas hidropónicos pueden incrementar la producción hasta en un 100%, reduciendo al mismo tiempo el uso de agua.

Parámetros Óptimos para Lechuga Hidropónica

1. pH del agua/nutrientes (Hidroforo, 2025):

- Rango ideal: 5.5 – 6.5
- Mantener el pH ligeramente ácido favorece la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio.
- Valores fuera de este rango pueden bloquear nutrientes y causar deficiencias visibles en las hojas.

2. Temperatura ambiental (Sandoya et al., 2022):

- Óptimo: 18 °C – 24 °C
- Por debajo de 15 °C el crecimiento se ralentiza, y por encima de 27 °C aumenta el riesgo de estrés térmico y aparición de plagas.
- La lechuga es un cultivo de clima fresco, por lo que mantener temperaturas moderadas asegura hojas tiernas y buena calidad.

3. TDS / EC (nutrientes en solución) (Ascanio, 2025a; Hidroforo, 2025):

- EC recomendada: 1.2 – 2.0 mS/cm

- Esto equivale aproximadamente a 600–1000 ppm de TDS (dependiendo del factor de conversión del medidor).

- Una EC baja (<1.0) puede causar deficiencia nutricional, mientras que una EC alta (>2.0) puede provocar acumulación de sales y quemaduras en las raíces.

Parámetros Óptimos para Lechuga en Cultivo Tradicional (Suelo)

1. pH del suelo (Digera, 2025):

- Rango_ideal en suelos orgánicos: 5.2 – 5.8
- Rango ideal en suelos minerales: 5.5 – 6.7
- Un pH ligeramente ácido favorece la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo y micronutrientes.

- Valores fuera de rango pueden provocar deficiencias o toxicidades (ej. exceso de aluminio en suelos muy ácidos).

2. Temperatura ambiental:

- Óptimo: 15 °C – 18 °C
- Mínimo tolerado: 7 °C
- Máximo tolerado: 21 °C
- La lechuga es un cultivo de clima fresco. Temperaturas superiores a 24 °C pueden inducir espigado prematuro (floración) y pérdida de calidad comercial.

3. TDS (sólidos disueltos totales):

- En cultivo tradicional en suelo no se utiliza TDS como parámetro directo.
- Lo que se mide es la fertilidad del suelo mediante análisis de laboratorio (contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, etc.).

- El manejo se hace con fertilización balanceada y corrección de pH con cal agrícola o enmiendas según resultados del análisis.

Variables a Considerar

- pH: Indicador de acidez que afecta el crecimiento de las plantas.
- TDS (Total Dissolved Solids): Medida de nutrientes disueltos en el agua, crucial para el cultivo hidropónico.
- Temperatura: Factor ambiental que influye en la tasa de crecimiento.
- Producción: Cantidad de lechugas obtenidas, medida en gramos y kilogramos.

Marco Conceptual

Cultivo Hidropónico: Los cultivos hidropónicos se basan en una práctica que prescinde de la tierra para sustituirla por una solución de agua enriquecida con nutrientes, entre otras alternativas. Gracias a su escaso uso de recursos, se revela como una opción más sostenible frente a la agricultura tradicional (Iberdrola, 2025).

Cultivo tradicional (suelo): Puede definirse como una agricultura básica, con un nivel bajo de tecnificación y con un uso inexistente o mínimo de tecnología. Las técnicas utilizadas son, en cualquier caso, bastante rudimentarias y se asocia a un tipo de cultivo familiar y de subsistencia (Certisbelchim, 2022).

POWER BI: Es la plataforma de análisis empresarial de Microsoft que le ayuda a convertir los datos en información procesable. Tanto si es usuario empresarial, creador de informes o desarrollador, Power BI ofrece herramientas y servicios integrados para conectarse, visualizar y compartir datos en toda la organización (Learn.microsoft, 2025).

Metodología

El uso de técnicas de ciencia de datos y analítica se fundamenta en la capacidad de transformar datos en información útil. En este proyecto, se aplicarán métodos estadísticos y visualizaciones interactivas para analizar los datos de producción. La ciencia de datos permite identificar patrones y correlaciones que pueden no ser evidentes a simple vista, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencias.

Para ello, se emplean gráficas comparativas y tableros de control que integran indicadores clave como peso promedio por planta, rendimiento por metro cuadrado, parámetros ambientales (pH, TDS, temperatura) y eficiencia relativa entre sistemas. Estas visualizaciones permiten contrastar la productividad y estabilidad de cada método de cultivo, destacando que el sistema hidropónico ofrece mayor rendimiento por área cultivada, mientras que el tradicional produce plantas de mayor peso individual.

Asimismo, se incorporan modelos predictivos de series temporales, que proyectan el comportamiento del rendimiento en el sistema hidropónico. Dichos modelos generan intervalos de confianza que reflejan la incertidumbre inherente a la predicción, mostrando tendencias de estabilidad o crecimiento moderado. Aunque las proyecciones presentan bandas de variabilidad amplias, su integración en el análisis resulta valiosa para la planificación agrícola y la gestión de riesgos. La metodología combina:

- Estadística descriptiva para resumir métricas clave.
- Visualización interactiva para facilitar la interpretación de datos complejos.
- Modelado predictivo para anticipar escenarios futuros y evaluar la robustez de los sistemas de cultivo.

- Comparación de sistemas para identificar ventajas y limitaciones de cada enfoque productivo.

En conjunto, este enfoque analítico permite no solo evaluar el desempeño actual de los sistemas de cultivo, sino también anticipar tendencias y apoyar la toma de decisiones estratégicas en la producción agrícola, maximizando eficiencia y reduciendo riesgos.

Cronograma

Tabla 1

Cronograma del Proyecto

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Investigación bibliográfica				
Recopilación de datos				
Análisis de datos				
Desarrollo del tablero en Power Bi				

Recursos

Tabla 2

Recursos del Proyecto

Equipo Humano	Investigadores de la Propuesta	\$ 1.000.00
Equipos y Software	Internet	\$ 50.000
	Computador	Propio
Material Bibliográfico	artículos sobre cultivos	\$ 100.000
Total: \$ 1.150.000		

Resultados Esperados

Recolección de Datos

Durante la recolección de datos se detectó que el cultivo tradicional no contaba con una base de datos suficientemente detallada (registros incompletos, series temporales discontinuas y bajo número de mediciones por día/parcelas). Esto impide entrenar modelos fiables o calcular estimadores con varianzas bajas comparables al sistema hidropónico; ya que en ese caso se encuentran bases de datos para el análisis pertinente.

Figura 1

Información Recopilada

	A	B	C	D	E	F	G
1	fuentes, fecha, PH, TDS, Temperatura, Dias_de_produccion, Peso_planta_g, Peso_m2_kg						
2	Estudio Tradicional XYZ, 2023-04-10, 6.5, 550, 22.5, 60, 410, 5.8						
3	Informe Agri-cola ABC, 2022-11-05, 6.8, 620, 23.1, 88, 595, 4.1						
4	Reporte Suelo Andino, 2024-02-18, 6.4, 500, 21.8, 62, 505, 6.6						
5	kaggle, 2023-09-13, 6.1, 475, 19.4, 72,,						
6	kaggle, 2023-09-15, 6.6, 476, 22.5, 75,,						
7	kaggle, 2023-09-17, 6.5, 521, 22.6, 65,,						
8	SENA(tesis7evaluacion), 2022-11-10, 6.8, 850, 24,, 620, 4.5						
9	Barbosa et al. (2015), 2015-10-5, 6.8,,,,, 5.9						

Se realizó un aumento de datos para el cultivo tradicional, por comparaciones justas entre sistemas (hidropónico vs tradicional) se requiere un volumen razonable y una densidad temporal similar. La falta de registros del sistema tradicional causaría sesgos en estimaciones de medias, varianzas y en modelos predictivos (los estimadores tenderían a reflejar principalmente la variabilidad del sistema hidropónico). Aumentar datos con técnicas controladas permite: (a) preservar patrones observados, (b) mejorar la estabilidad de métricas agregadas y (c) entrenar modelos de pronóstico con validación cruzada más robusta.

Métodos Aplicados

Interpolación entre Registros

Para series temporales discontinuas se aplicó interpolación (lineal y *spline* suave según la curvatura observada) para reconstruir valores intermedios de TDS, pH, temperatura y peso por planta cuando faltaban puntos.

Ruido Gaussiano Controlado

Para aumentar el número de observaciones numéricas se generaron réplicas con *Gaussian Noise* de baja varianza alrededor de cada registro original:

Ruido centrado en 0 con desviación estándar proporcional a la incertidumbre de la medición. Esto preserva la distribución local y evita crear valores físicamente imposibles

Figura 2

Método Gaussian Noise

Método A: Agregar ruido controlado (Gaussian Noise)

Ideal para pH, TDS, temperatura, peso, días de crecimiento.

Regla: Ruido = 2-5% del rango para mantener realismo.

```
import numpy as np

def add_noise(df, noise_level=0.03):
    df_aug = df.copy()
    numeric_cols = df.select_dtypes(include=['float64', 'int64']).columns

    for col in numeric_cols:
        noise = np.random.normal(0, df[col].std() * noise_level, size=len(df))
        df_aug[col] = df[col] + noise
    return df_aug

df_noise = add_noise(df)
```

Método Inspirado en SMOTE

Para variables multivariantes (pH, TDS, temperatura, peso) se generaron puntos sintéticos mediante interpolación convexa entre vecinos cercanos en espacio de características

(similar a SMOTE pero aplicado a variables continuas): Se elige un punto A y uno de sus K vecinos; el nuevo punto = $A + \lambda \times (\text{vecino} - A)$ con $\lambda \in (0,1)$ aleatorio.

Figura 3

Método SMOTE

Método B: Interpolación entre registros (similar a SMOTE para datos numéricos)

Genera un valor nuevo mezclando dos existentes.

```
new_rows = []

for _ in range(110): # cantidad de filas nuevas
    sample = df.sample(2)
    r1 = sample.iloc[0]
    r2 = sample.iloc[1]

    alpha = random.uniform(0.1, 0.9)

    # Interpolación solo numérica
    new_numeric = interpolate_numeric_rows(r1[numeric_cols], r2[numeric_cols], alpha)

    # REDONDEO A 3 DECIMALES
    new_numeric = new_numeric.round(3)

    # Copiar categorías directamente
    new_categorical = r1[categorical_cols]

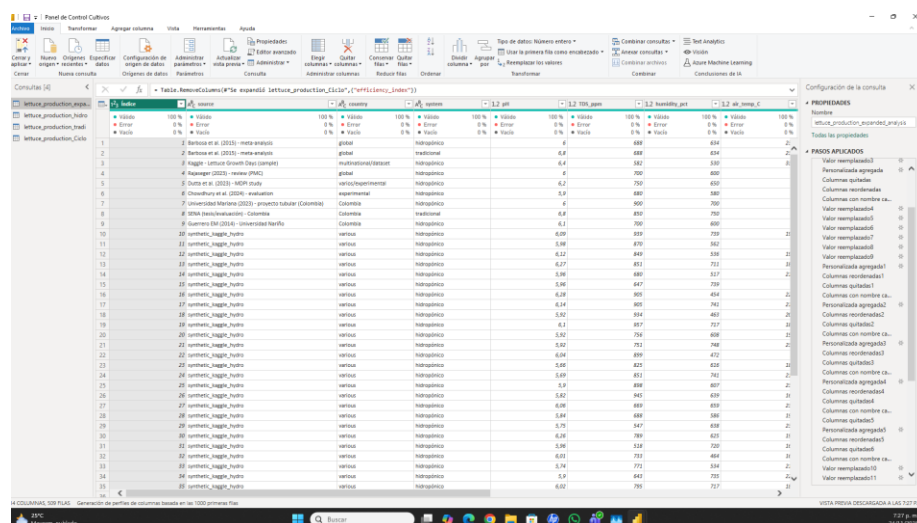
    # Combinar ambas partes
    new_row = pd.concat([new_numeric, new_categorical])
    new_rows.append(new_row)

df_interp = pd.DataFrame(new_rows, columns=df.columns)

df_interp[numeric_cols] = df_interp[numeric_cols].round(0)
```

Figura 4

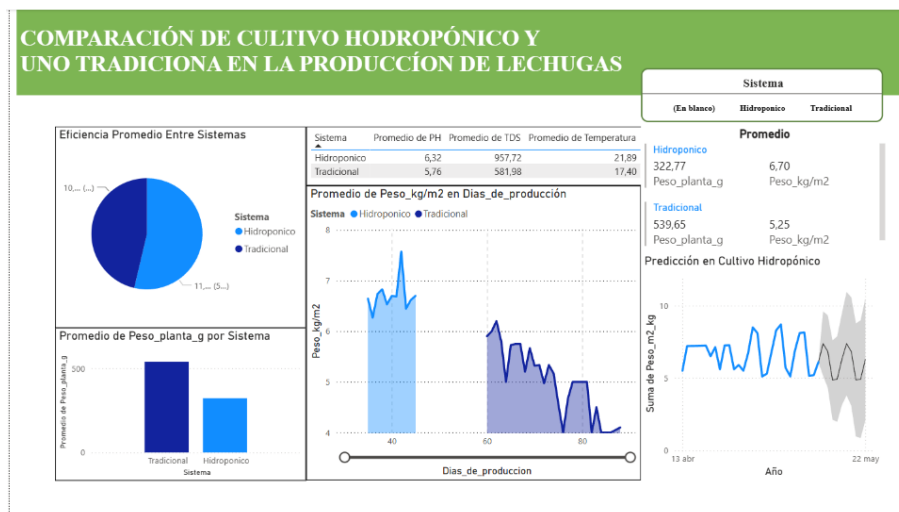
Base de Datos



Tablero de Control

Figura 5

Tablero de Control



Para las variables analizadas, se evidencian que los datos recopilados demuestran estar desde de los parámetros posibles para el cultivo exitoso de la lechuga, la cual debe cumplir lo siguiente:

Datos importantes (Hidroforo, 2025; Sandoya et al., 2022; Ascanio, 2025a):

1. Cultivo Hidropónico

- Tiempo de producción: 35 a 45 días.
- PH: 5.5 a 6.5
- TDS: 600 a 1000 ppm
- Tem: Agua: 20 y 25 °C Aire: 18 y 24 °C.
- Uso de agua: Mucho más eficiente, consumiendo hasta un 90% menos de agua gracias

a la recirculación en sistemas cerrados.

2. Cultivo Tradicional

- Tiempo de producción: 45 a 70 días.
- PH: 5.2 a 6.7
- TDS: 400 a 750 ppm
- Tem: Depende de la temporada y clima fresco. Temperaturas superiores a 24 °C.
- Uso de agua. Menos eficiente, con pérdidas por evaporación, percolación y

escurrimiento superficial.

Tabla 3

Variables para el Cultivo de Lechugas

Variable	Cultivo hidropónico (rangos óptimos)	Cultivo en suelo (rangos de referencia)
pH	Mantener en un rango de 5.5 a 6.5. Un control preciso mejora la absorción de nutrientes y la salud de la planta.	Puede variar significativamente dependiendo del tipo de suelo y la fertilización. El rango ideal es de 5.5 a 6.8
Conductividad eléctrica (CE)	Se mantiene en un rango ideal de 1.2 a 1.8 mS/cm, ajustándose según la etapa de crecimiento. Un control preciso asegura la cantidad óptima de nutrientes.	Depende de la fertilidad del suelo y el programa de fertilización. Un rango común es de 0.5 a 2.0 mS/cm, pero es menos controlable que en hidroponía.
Temperatura	Agua: Idealmente entre 20 y 25 °C para optimizar la absorción de oxígeno y nutrientes por las raíces. Aire: Depende de la variedad, pero usualmente se busca mantener entre 15 y 25 °C.	Depende del clima y la temporada. El crecimiento de la planta se ve afectado por las variaciones diurnas y estacionales.
Humedad relativa	Se controla dentro de un invernadero para mantener un nivel óptimo (entre 60% y 80%), reduciendo el estrés en la planta y la proliferación de hongos.	Depende de la humedad ambiental y las condiciones climáticas del lugar de cultivo. Es menos controlable y más propenso a fluctuaciones.

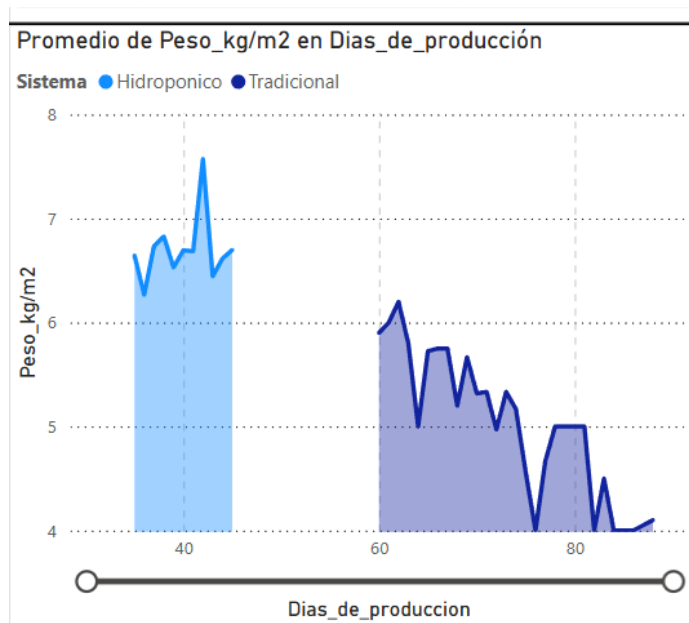
Variable	Cultivo hidropónico (rangos óptimos)	Cultivo en suelo (rangos de referencia)
Crecimiento de la planta	Velocidad: Mucho más rápido, a menudo entre 25 y 45 días desde el trasplante hasta la cosecha, debido al suministro constante de nutrientes. Peso y tamaño: Las plantas suelen tener un peso y tamaño más homogéneos y predecibles.	Velocidad: Más lento, generalmente entre 45 y 70 días hasta la cosecha, dependiendo de la variedad y las condiciones. Peso y tamaño: Pueden variar más, dependiendo de las condiciones del suelo y el riego.
Densidad de cultivo	Mayor densidad por metro cuadrado, pudiendo producir entre 3 y 4 veces más lechugas en el mismo espacio.	Menor densidad, limitada por el espacio que las plantas necesitan para competir por nutrientes y agua en el suelo.
Uso de agua	Mucho más eficiente, consumiendo hasta un 90% menos de agua gracias a la recirculación en sistemas cerrados.	Menos eficiente, con pérdidas por evaporación, percolación y escurrimiento superficial.

Nota. Tomado de Barbosa et al., 2015; Cuatusmal, 2023; Dutta et al., 2023; Villa et al., 2018; Guerrero et al., 2014; Rajaseger et al., 2023; y Chowdhury, 2024.

KPI de Resultado: Producción

Figura 6

Producción en Kg por m²



Observaciones:

- Hidropónico: rendimiento estable y alto (~6–7 kg/m²), con picos tempranos.
- Tradicional: rendimiento decreciente (~6 a ~4 kg/m²), especialmente hacia el día

80.

- Conclusión: El sistema hidropónico ofrece mayor estabilidad y rendimiento sostenido en el tiempo.

Promedio Métricas Resumen

Tabla 4

Promedio Producción

Sistema	Peso_planta_g	Peso_kg/m ²
Hidropónico	322.77 g	6.70
Tradicional	539.65 g	5.25

Interpretación: Aunque el peso por planta es mayor en el sistema tradicional, el rendimiento por área es superior en el hidropónico.

Implicación: El hidropónico es más rentable por superficie cultivada.

El gráfico de líneas relaciona los días del ciclo de cultivo con el rendimiento promedio. El sistema hidropónico muestra mayor producción en menos tiempo, lo que evidencia eficiencia en la conversión de recursos y una aceleración en el crecimiento de las plantas. Por su parte, el cultivo tradicional presenta ciclos más largos y menor producción. El uso del promedio en este gráfico permite observar una tendencia global sin que valores aislados distorsionen la interpretación.

Implicaciones Estratégicas

Eficiencia temporal: El sistema hidropónico permite más ciclos al año, lo que puede traducirse en mayor producción acumulada.

Rentabilidad por m²: Aunque más variable, el hidropónico supera al tradicional en rendimiento por superficie.

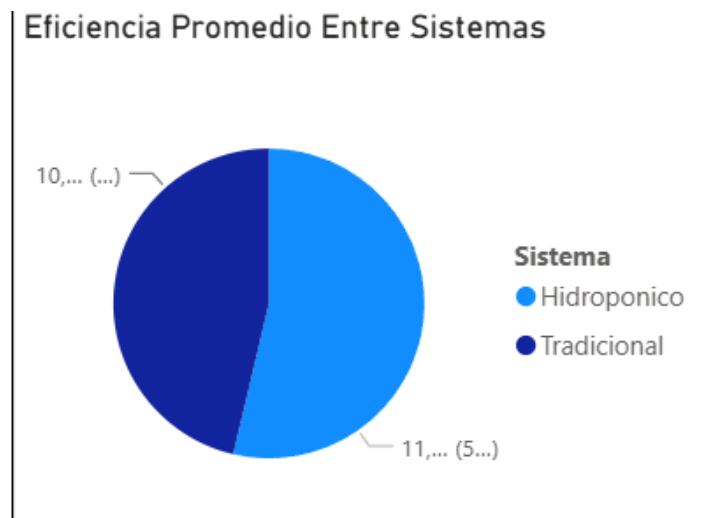
Decisión de inversión: Si se cuenta con capacidad técnica para controlar la variabilidad (nutrientes, clima, automatización), el hidropónico ofrece ventajas competitivas claras.

Riesgo vs. retorno: El tradicional es menos riesgoso pero también menos rentable. El hidropónico requiere más control, pero puede escalar mejor.

KPI de Resultado: Eficiencia

Figura 7

Gráfico de Torna: Rendimiento



Es un índice comparativo simple para evaluar qué tan eficiente es un sistema en convertir nutrientes (representados por TDS) en producción de biomasa, se obtiene por unidad relativa de nutrientes disponibles (TDS).

Normalización del TDS

Primero, el TDS normalizado se calcula dividiendo el TDS de cada sistema entre el valor de referencia (generalmente el mayor TDS observado en el conjunto)

$$\text{TDS normalizado} = \frac{\text{TDS del sistema}}{\text{TDS máximo observado}}$$

Fórmula de eficiencia del cultivo

Una vez que tienes el TDS normalizado:

$$\text{Índice de eficiencia} = \frac{\text{Rendimiento (kg/m}^2\text{)}}{\text{TDS normalizado}}$$

Valores altos → sistemas más eficientes (más producción con menor concentración relativa de nutrientes).

Este índice mide qué tan eficientemente cada sistema convierte los nutrientes disueltos (TDS) en biomasa o producción.

- Un valor más alto ⇒ más producción por cada unidad de nutrientes disponibles.
- Un valor más bajo ⇒ menor aprovechamiento de los nutrientes.

Tradicional: 46% Hidropónico: 54%

Figura 8

Cultivos



Nota. Tomado de Barbosa et al., 2015.

El gráfico de torta muestra la proporción del rendimiento promedio (kg/m²) / TDS generado por cada sistema. Los valores se presentan como partes complementarias del total, permitiendo observar la contribución relativa de cada método de cultivo. Se utiliza el promedio

debido a que los datos provienen de múltiples mediciones en diferentes condiciones, y el promedio ofrece una representación estable y general del comportamiento productivo.

Eficiencia en el Uso de Nutrientes

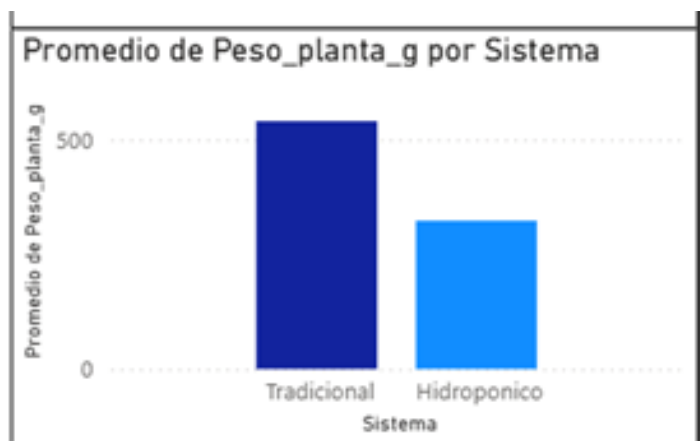
En agronomía existe el concepto de Eficiencia en el Uso de Nutrientes (EUN, o NUE por sus siglas en inglés: Nutrient Use Efficiency). Esta mide cuán eficientemente una planta o cultivo convierte los nutrientes disponibles (fertilizantes, solución nutritiva, suelo) en biomasa o rendimiento. Por ejemplo, una métrica común es la Eficiencia Agronómica: kg de rendimiento extra por kg de nutriente aplicado. Otra es la Eficiencia Fisiológica: cuanto rendimiento extra se obtiene por unidad de nutriente absorbido.

Estas métricas permiten comparar distintas prácticas, fertilizaciones, o sistemas (hidropónico vs tradicional) con base en cuántos recursos nutren la producción final.

Peso de la Planta por Sistema

Figura 9

Peso de la Planta por Sistema



Compara el peso promedio de cada planta cosechada en cada sistema.

Tabla 5*Pesaje Promedio de la Planta por Sistema*

Sistema	Peso promedio
Tradicional	Más alto (~540 g por planta)
Hidropónico	Más bajo (~320 g por planta)

¿Por qué esta diferencia?

- En el hidropónico, las plantas se cosechan más rápido.
- En el tradicional, las plantas crecen más tiempo, desarrollando más biomasa, pero a costa de mayor tiempo y mantenimiento.

El gráfico de barras compara el peso promedio de las plantas en cada sistema. Aunque el sistema tradicional presenta plantas con mayor peso promedio debido a ciclos más largos, esto no necesariamente se traduce en mayor eficiencia. El promedio se utiliza para resumir la variación natural entre plantas, facilitando una comparación directa.

Comparación de las Plantas

Hidropónica

Figura 10

Lechuga Crespa



Nota. Tomado de Buen Provecho, 2025.

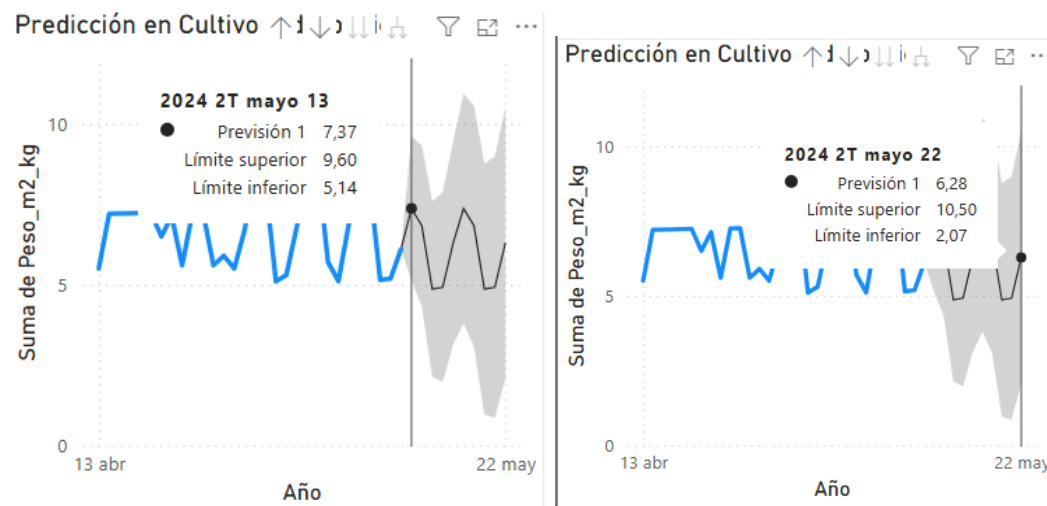
Periodo observado: Del 13 de abril al 22 de mayo.

- Tendencia histórica: La línea azul muestra fluctuaciones entre 5 y 8 kg/m², con cierta estabilidad.
- Predicción: A partir de mayo, la línea negra proyecta un leve aumento, pero con una banda de incertidumbre amplia.

Interpretación: El modelo sugiere una mejora moderada en el rendimiento. La amplitud de la banda gris indica que el modelo tiene baja certeza, posiblemente por falta de variables explicativas o pocos datos recientes.

Figura 13

Valores de Predicción



Fecha clave: 13 de mayo de 2024

Valores proyectados:

- Previsión central: 7.37 kg/m²
- Límite superior: 9.60 kg/m²
- Límite inferior: 5.14 kg/m²

Interpretación

- El rendimiento esperado es alto, pero hay una variabilidad significativa.
- El rango de $\pm 2.23 \text{ kg/m}^2$ alrededor del valor central refleja incertidumbre operativa.
- Implicación práctica: Si se planifica cosecha o comercialización, se debe considerar este rango para evitar sobreestimaciones.

Fecha clave: 22 de mayo de 2024.

Valores proyectados:

- Previsión central: 6.28 kg/m^2
- Límite superior: 10.50 kg/m^2
- Límite inferior: 2.07 kg/m^2

Interpretación: El modelo muestra mayor incertidumbre que en la predicción anterior.

La amplitud del intervalo ($\pm 4.21 \text{ kg/m}^2$) sugiere que el modelo pierde precisión conforme se aleja del presente.

Tendencia general: Se proyecta un rendimiento estable o ligeramente creciente en el cultivo hidropónico.

Precisión del modelo: Las bandas de predicción son amplias, lo que indica que el modelo necesita refinamiento.

Análisis Costo-Beneficio: Hidropónico vs Tradicional

Información de Ascanio (2025b) y Pertierra (2018).

Supuestos Base para el Modelo

Tabla 6

Presupuesto Modelo

Variable	Hidropónico	Tradicional
Producción por 10 m ²	60 kg (promedio)	30 kg (promedio)
Días por ciclo	45 días	70 días
Costo por m ² por ciclo (estimado)	\$40.000 COP	\$25.000 COP
Precio de venta por kg	\$3.000 COP	\$3.000 COP

Cálculo de Beneficio por 10 m²

Hidropónico

- Ingresos: $60 \text{ kg} \times \$3.000 = \180.000 COP
- Costos: \$40.000 COP
- Beneficio neto: \$140.000 COP
- Ciclos por año (365/45): ~8
- Beneficio anual: $\$140.000 \times 8 = \$1.120.000 \text{ COP}$

Tradicional

- Ingresos: $30 \text{ kg} \times \$3.000 = \90.000 COP
- Costos: \$25.000 COP
- Beneficio neto: \$65.000 COP
- Ciclos por año (365/70): ~5

- Beneficio anual: $\$65.000 \times 5 = \325.000 COP

Comparación Estratégica

Tabla 7

Comparacion Estrategica

Indicador	Hidropónico	Tradicional	Diferencia (%)
Beneficio neto por 10 m ²	\$140.000 COP	\$65.000 COP	+115%
Ciclos por año	8	5	+60%
Beneficio anual por 10 m ²	\$1.120.000 COP	\$325.000 COP	+244%
Costo por ciclo	Más alto	Más bajo	—
Retorno sobre inversión (ROI)	Muy alto	Moderado	—

Consideraciones Adicionales

Hidropónico requiere mayor inversión inicial (infraestructura, monitoreo, solución nutritiva), pero ofrece:

- Mayor rendimiento por planta y por m²
- Más ciclos al año
- Menor uso de pesticidas y espacio
- Mayor control sobre variables ambientales

Tradicional es más accesible para pequeños productores, pero:

- Tiene menor eficiencia productiva
- Está más expuesto a variabilidad climática y plagas
- Requiere más superficie para igualar producción

Conclusión

El sistema hidropónico presenta una relación costo-beneficio significativamente superior, especialmente cuando se optimiza el manejo técnico y se escala la producción. Aunque el costo por ciclo es mayor, el retorno anual por m² lo compensa ampliamente.

Recomendaciones

Ampliar el Análisis a Otras Variedades de Cultivos

Se recomienda replicar la metodología utilizada —incluyendo la comparación entre sistemas, el tratamiento de datos, los modelos predictivos y la validación estadística— en otras especies agrícolas como tomate, albahaca, espinaca u otros cultivos de hoja. Esto permitirá evaluar si las ventajas observadas en el sistema hidropónico para lechuga se mantienen de manera consistente en diferentes contextos productivos, especialmente en cultivos con requerimientos nutricionales, ciclos de crecimiento y respuestas ambientales distintas. Al ampliar el alcance, se podrá identificar patrones generales de eficiencia del sistema hidropónico, determinar qué cultivos se benefician más de la automatización y establecer lineamientos técnicos aplicables a una mayor diversidad de sistemas agrícolas.

Figura 14

Legumbres



Nota. Tomado de Buen Provecho, s.f.

Realizar Pruebas Piloto

Se sugiere implementar el tablero de control y el sistema de monitoreo en entornos reales de producción hidropónica —preferiblemente en cultivos automatizados con sensores IoT, control de nutrientes y monitoreo ambiental— con el fin de validar su efectividad operativa. Las pruebas piloto permitirán verificar la precisión de los datos obtenidos, evaluar la respuesta del usuario ante la interfaz, identificar mejoras necesarias en las visualizaciones e integrar nuevas variables críticas del proceso (nutrientes, luminosidad, riego, densidad de plantación). Además, la retroalimentación directa de productores y técnicos facilitará la optimización del sistema, asegurando que el tablero evolucione conforme a las necesidades reales del campo y se convierta en una herramienta confiable para la toma de decisiones basadas en datos.

Figura 15

Cultivo Automatizado



Nota. Tomado de Khan, 2025.

Anexo enlace de sustentación del informe: https://youtu.be/_SqYc2RhiJY

Conclusiones

Eficiencia de los Cultivos

El sistema hidropónico demuestra ser más eficiente en términos de tiempo y uso de recursos. Este método puede producir lechugas en un ciclo más corto (35 a 45 días frente a 45 a 60 días en el cultivo tradicional) y utiliza hasta un 90% menos de agua gracias a su sistema de recirculación.

Variables Clave

La comparación de variables como pH, TDS y temperatura es esencial para entender el rendimiento de cada sistema. El cultivo hidropónico, al tener un control más preciso sobre estas variables, muestra un mejor manejo de los nutrientes, lo que se traduce en un crecimiento más homogéneo y rápido de las lechugas.

Costos y Rentabilidad

Aunque la inversión inicial para establecer un sistema hidropónico es mayor (debido a infraestructura y tecnología), el análisis costo-beneficio revela que el retorno anual por metro cuadrado es significativamente más alto en comparación con el cultivo tradicional. Esto sugiere que el hidropónico es más rentable a largo plazo.

Impacto en la Toma de Decisiones

El desarrollo del tablero de control en Power BI permite a los agricultores visualizar datos de manera interactiva, mejorando la toma de decisiones. El acceso a información clara y resumida sobre la comparación de ambos sistemas puede ayudar a optimizar prácticas agrícolas y a elegir el sistema más adecuado según las condiciones locales.

Sostenibilidad y Futuro

La creciente demanda de métodos agrícolas sostenibles respalda la relevancia de la hidroponía. Este estudio no solo aporta a la producción eficiente de alimentos, sino también a la sostenibilidad ambiental, ya que reduce el consumo de recursos hídricos y minimiza el uso de pesticidas.

Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Se sugiere ampliar el análisis a otras variedades de cultivos y realizar pruebas piloto en entornos reales. Esto permitirá validar aún más la efectividad del hidropónico en diferentes contextos y condiciones climáticas.

Capacitación y Asesoría

Es crucial ofrecer capacitación a los agricultores en el uso de tecnología y técnicas de cultivos hidropónicos. Este aspecto puede hacer la diferencia entre el éxito y el fracaso en la adopción de este sistema innovador.

Desafíos en la Implementación

A pesar de las ventajas que ofrece la hidroponía, la implementación en áreas con climas poco favorables presenta retos. Esto implica la necesidad de investigar y desarrollar enfoques adaptativos que consideren las condiciones locales y los recursos disponibles.

Referencias Bibliográficas

Acimagro. (2025). Lechuga crespa. *Acimagro*. <https://acimagrosas.com/producto/lechuga-crespa/>

Ascanio, A. (20 de mayo de 2025b). 17 Indicadores y Rangos de EC Ideales para Cultivos

Hidropónicos Populares en Perú. *Cubos Hidropónicos Perú*.

<https://hidrocubos.com/guias/17-indicadores-de-ed-tds-cultivos-hidroponicos-peru/>

Barbosa, G. L., Gadelha, F. D., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb,

G. M., & Halden, R. U. (2015). Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of

Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *International journal of environmental research and public health*, 12(6), 6879–6891.

<https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>

Buen Provecho.(s.f). 5 razones por las cuales es importante consumir legumbres. *Buen Provecho*.

<https://www.buenprovecho.hn/tips/5-razones-por-las-cuales-es-importante-consumir-legumbres/>

Certisbelchim.(2022). Agricultura tradicional: Características y diferencias con la intensiva.

Certisbelchim. [https://certisbelchim.es/agricultura-tradicional-caracteristicas-y-diferencias-con-la-](https://certisbelchim.es/agricultura-tradicional-caracteristicas-y-diferencias-con-la-intensiva/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20agricultura%20tradicional,cultivo%20familiar%20y%20de%20subsistencia.)

[intensiva/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20agricultura%20tradicional,cultivo%20familiar%20y%20de%20subsistencia.](https://certisbelchim.es/agricultura-tradicional-caracteristicas-y-diferencias-con-la-intensiva/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20la%20agricultura%20tradicional,cultivo%20familiar%20y%20de%20subsistencia.)

Cuatusmal, D. (2023). *Desarrollo de un sistema hidropónico tubular para la producción de*

hortalizas como apoyo al fortalecimiento de autosuficiencia de la mujer rural en el

Contadero [Tesis de pregrado, Universidad Mariana].

<https://repositorio.umariana.edu.co/server/api/core/bitstreams/666ca6b2-75d4-44e7-a489-627ad7b87c00/content>

- Dutta, M., Gupta, D., Sahu, S., Limkar, S., Singh, P., Mishra, A., Kumar, M., & Mutlu, R. (2023). Evaluación de las respuestas de crecimiento de la lechuga y eficiencia energética del sustrato y sistema de cultivo hidropónico inteligente. *Sensores*, 23(4), 1875. <https://doi.org/10.3390/s23041875>
- Guerrero, E., Revelo, J., Benavides, O., y Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1), 3-16. <https://doi.org/10.22267/rcia.143101.38>
- Hidroforo. (2025). Los Valores Ideales de pH y EC en Hidroponía. *Hidroforo*. <https://hidroforo.com/t/los-valores-ideales-de-ph-y-ec-en-hidroponia/51>
- Iberdrola.(2025). Qué es la hidroponía y sus ventajas. *Iberdrola* <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas#:~:text=Los%20cultivos%20hidrop%C3%B3nicos%20se%20basan,frente%20a%20la%20agricultura%20tradicional>.
- Khan, S. (2025). Automatización de la cosecha y del procesamiento de los cultivos hidropónicos. *Wikifarmer*. <https://wikifarmer.com/library/es/article/automatizacion-de-la-cosecha-y-del-procesamiento-de-los-cultivos-hidroponicos>
- Learn Microsoft.(2025). ¿Qué es Power BI? *Learn Microsoft*. <https://learn.microsoft.com/es-es/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>
- Pertierra, R. (2018). *Análisis comparativo de costos de inversión de sistemas hidropónicos* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/items/a865c5d5-181d-43fb-a87e-8d477b873d11>

- Rajaseger, G., Chan, K. L., Yee Tan, K., Ramasamy, S., Khin, M. C., Amaladoss, A., & Kadamb
Haribhai, P. (2023). Hydroponics: current trends in sustainable crop production.
Bioinformation, 19(9), 925–938. <https://doi.org/10.6026/97320630019925>
- Sandoya, G., Bosques, J., y Vassilaros, V. (2024). La Producción de Lechuga en Sistemas
Hidropónicos a Pequeña Escala. *EDIS*. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/HS1433>
- Villa, G., Giraldo, B., Orrego, M., Díaz, L., Jaramillo, B., y García, H. (2018). Evaluación
comparativa de lechuga (*Lactuca sativa* L.) “Verónica” bajo condiciones controladas en
dos métodos de producción. *Encuentro SENNOVA Del Oriente Antioqueño*, 4(1), 36–46.
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/Encuentro/article/view/2055>
- Chowdhury, M., Samarakoon, U. C., y Altland, J. E. (2024). Evaluation of hydroponic systems
for organic lettuce production in controlled environment. *Frontiers In Plant Science*, 15,
1401089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1401089>