



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY DEPARTAMENTO DE  
POSGRADOS**

Identificación de la concentración óptima  
de solución nutritiva para plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.)  
cultivadas en un  
sistema hidropónico urbano

**Trabajo previo a la obtención del título de:**  
MAGISTER EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
MENCIÓN ECOLOGÍA Y BIODIVERSIDAD

Nombre del autor:  
**Daysi Fernanda Criollo Guamán**

Nombre del director:  
**Rolando Céleri**

**Cuenca – Ecuador**

**2026**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mis hijas Belén, Sofía, Alejandra y Renata, a mis padres Pedro y Rosa.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director Rolando por el apoyo en este trabajo y a los docentes de la Maestría en Recursos Naturales Renovables de la Universidad del Azuay por su gran aporte de sus diferentes conocimientos.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.1. Diseño del estudio .....	9
2.2. Sistema hidropónico NFT (Nutrient Film Technique) .....	10
2.3. Material vegetal y su manejo .....	11
2.4. Solución nutritiva y su manejo .....	13
2.5. Evaluación de la Composición Química del agua de riego y de las Soluciones Nutritivas Residuales en el Cultivo Hidropónico Urbano .....	14
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	15
RESULTADOS .....	16
3.1. Parámetros morfológicos y producción de lechuga bajo distintas concentraciones de solución nutritiva .....	16
3.2. Dinámica de absorción y bloqueo de nutrientes en <i>Lactuca sativa</i> bajo diferentes niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva .....	17
3.3. Evaluación de la calidad química del agua de riego y de la solución hidropónica residual en tres condiciones diferentes de conductividad eléctrica.....	22
DISCUSIÓN .....	27
CONCLUSIONES.....	27
REFERENCIAS .....	30
ANEXOS .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

<b>Figura 1.</b> Esquema del sistema hidropónico tipo NFT. Representación del diseño y funcionamiento del sistema hidropónico de flujo laminar (NFT), donde la solución nutritiva circula continuamente a través de los canales y retorna por gravedad al tanque principal, garantizando su recirculación y oxigenación constante.....	11
<b>Figura 2.</b> Comportamiento de las variables morfológicas de <i>Lactuca sativa</i> bajo tres niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Los valores representan el promedio $\pm$ desviación estándar. Letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas en los niveles ( $p < 0.05$ ). .....	16
<b>Figura 3.</b> Evolución de las variables de biomasa de <i>Lactuca sativa</i> bajo tres niveles de C.E. Los valores representan el promedio $\pm$ desviación estándar. Las letras distintas sobre las barras indican diferencias significativas entre tratamiento .....	17
<b>Figura 4.</b> Dinámica temporal del carbono, nitrógeno y la relación C/N en hojas y raíces de <i>Lactuca sativa</i> L. cultivada bajo tres niveles de conductividad eléctrica, se muestran las variaciones semanales y los valores de área bajo la curva (AUC) para cada escenario. ....	19
<b>Figura 5.</b> Dinámica temporal de nitritos (a), nitratos (b), amoníaco (c) y ortofosfatos (d) en hojas y raíces de <i>Lactuca sativa</i> bajo tres niveles de C.E. y el área bajo la curva (AUC) de la acumulación total del compuesto durante el ciclo del cultivo. ....	20
<b>Figura 6.</b> Dinámica temporal de macronutrientes en hojas y raíces de <i>Lactuca sativa</i> bajo tres niveles de C.E. y el cálculo del área bajo la curva (AUC) de la acumulación total del compuesto durante el ciclo de cultivo.....	21
<b>Figura 7.</b> Dinámica temporal por semana de en hojas y raíces de <i>Lactuca sativa</i> L. bajo tres niveles de macronutrientes en diferentes niveles C.E. y el cálculo del área bajo la curva (AUC) de la acumulación total del compuesto durante el ciclo de cultivo. ....	22
<b>Figura 8.</b> Dinámica de las concentraciones de carbono orgánico (C.O) y nitrógeno total (N) en el agua residual durante 5 semanas. Se presentan los cambios en concentración ( $\Delta$ ppm) registrados en tres condiciones de C.E. ....	23
<b>Figura 9.</b> Dinámica de las concentraciones de compuestos inorgánicos en el agua residual durante 5 semanas. Se presentan los cambios en concentración ( $\Delta$ ppm) registrados en tres condiciones de C.E. ....	24
<b>Figura 10.</b> Dinámica de las concentraciones de macronutrientes en el agua residual durante 5 semanas. Se presentan los cambios en concentración ( $\Delta$ ppm) registrados en tres condiciones de conductividad eléctrica. ....	25
<b>Figura 11.</b> Dinámica de las concentraciones de macronutrientes en el agua residual durante 5 semanas. Se presentan los cambios en concentración ( $\Delta$ ppm) registrados en tres condiciones de conductividad eléctrica. ....	27
 <b>Tabla 1.</b> Análisis químico de la muestra del agua utilizada para el sistema hidropónico .....	 22
<b>Tabla 2.</b> Elementos químicos determinados para la evaluación de la calidad nutricional del cultivo y de la composición del agua residual en sistema hidropónico .....	35

## RESUMEN

Este estudio identificó la concentración óptima de solución nutritiva para plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en un sistema hidropónico urbano, a través de identificar el desempeño agronómico, la absorción de minerales y la calidad del efluente cultivada en un sistema hidropónico NFT urbano a 2 550 m s.n.m. Se establecieron tres niveles de solución nutritiva con conductividades eléctricas de 1, 2 y 3 dS m<sup>-1</sup> y se analizaron variables morfológicas y de biomasa, la concentración de nutrientes en tejido vegetal y la composición química del agua de riego y del efluente. Los niveles con 2 y 3 dS m<sup>-1</sup> presentaron mayor biomasa fresca y seca, así como mayor eficiencia en la absorción de fósforo, potasio, calcio y magnesio. De igual manera, estos niveles redujeron la acumulación foliar de nitratos en comparación con el nivel de 1 dS m<sup>-1</sup>, lo que sugiere una mayor eficiencia en la asimilación del nitrógeno bajo concentraciones iónicas intermedias. Por el contrario, la menor conductividad eléctrica favoreció la acumulación de nitratos en el tejido foliar, lo que podría estar asociado con una menor asimilación del nitrato dentro de la planta. El análisis del agua residual evidenció una remoción significativa de nitratos en los niveles con mayor conductividad eléctrica, aunque se registraron concentraciones residuales más altas de potasio y amonio. Las concentraciones de metales traza en el efluente se mantuvieron dentro de los límites recomendados. En general, los resultados indican que valores de conductividad eléctrica entre 2 y 3 dS m<sup>-1</sup> optimizan la productividad, la eficiencia en el uso de nutrientes y la sostenibilidad del sistema hidropónico evaluado.

**Palabras clave:** hidroponía, conductividad eléctrica, lechuga, NFT, sostenibilidad.

**Director de tesis:** Rolando Célleri

**ABSTRACT:** This study evaluated the influence of the electrical conductivity (EC) of the nutrient solution on the agronomic performance, mineral uptake, and effluent quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown in an urban NFT hydroponic system at 2,550 m above sea level. Three EC levels (1, 2, and 3 dS m<sup>-1</sup>) were established, and morphological and biomass variables, nutrient concentrations in plant tissue, and the chemical composition of irrigation water and effluent were analyzed. Treatments with 2 and 3 dS m<sup>-1</sup> showed higher fresh and dry biomass, as well as greater efficiency in the uptake of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. Likewise, these treatments reduced foliar nitrate accumulation compared with the 1 dS m<sup>-1</sup> treatment, suggesting greater efficiency in nitrogen assimilation under intermediate ionic concentrations. In contrast, the lowest electrical conductivity (1 dS m<sup>-1</sup>) favored nitrate accumulation in leaf tissue, which may be associated with lower nitrate reduction within the plant. Analysis of the effluent showed significant nitrate removal in treatments with higher electrical conductivity; however, higher residual concentrations of potassium and ammonium were also observed. Trace metal concentrations in the effluent remained within recommended limits. Overall, the results indicate that electrical conductivity values between 2 and 3 dS m<sup>-1</sup> optimize productivity, nutrient use efficiency, and the sustainability of the evaluated hydroponic system

**Keywords:** hydroponics; electrical conductivity; lettuce; nutrient solution management; NFT system; sustainability.

**Thesis Advisor:** Rolando Célleri