

INTRODUCCIÓN

La lechuga es una planta anual y autógama, que pertenece a la familia *Compositae* y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L (Axayacatl, 2023).Quintero (2006) menciona que la duración del cultivo suele ser de 50-60 días para las variedades tempranas y de 70-80 días para las tardías, como término medio, desde la plantación hasta la recolección.

El origen de la lechuga no está muy claro. Se afirma que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Eurasia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serriola* (Villarreal, 2015).

La producción mundial de lechuga fue de 27,660,187 toneladas, obtenidas en una superficie cosechada de 1,226,370 hectáreas, por lo que el rendimiento promedio quedó en 22.6 toneladas por hectárea, según la información presentada en FAOSTAT para el año 2020 (Blogagricultura, 2025).

Según INE (2023) la producción de lechuga en los últimos años (2023) a nivel nacional es de 6.552 kg/ha con una superficie cultivada de 2.807 ha.

Según INE (2023) la producción de lechuga a nivel departamental es de 6.203 kg/ha con una superficie cultivada de 68 ha.

El nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo. El suelo dispone naturalmente de él en forma orgánica y mineral, esta última esencial para que pueda ser absorbido por las plantas. Sin embargo, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para suplir las necesidades de las plantas cultivadas, por lo que se debe aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno (VITRA, 2020).

Los fertilizantes son sustancias sintéticas e inorgánicas que se incorporan al suelo para complementar los macros y micro nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Herrera Y. A., 2022).

Los fertilizantes químicos son aliados valiosos en la agricultura intensiva, pero también pueden tener un impacto en los ciclos de producción, los suelos y las superficies si no se manejan y aplican de manera efectiva (Group, 2025).

En el entorno regional, no se tiene datos exactos sobre la cantidad de nitrógeno que requiere el cultivo de lechuga durante su periodo vegetativo, por lo cual no se puede realizar una correcta dosificación de los fertilizantes a utilizar. Así mismo no se considera la cantidad de nitrógeno que se pierde por procesos tales como la lixiviación, proceso que está presente en los suelos del departamento de Tarija.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desconocimiento del porcentaje real de asimilación de nitrógeno por el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo condiciones controladas.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Por lo general los productores del departamento de Tarija, realizan la fertilización nitrogenada sin un respectivo análisis de suelo, considerando que el nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas y su deficiencia o mal manejo afecta en la productividad y calidad de los cultivos.

La lechuga es un cultivo hortícola de ciclo corto y requiere una alta demanda de nitrógeno durante su periodo vegetativo, es común aplicar fertilizantes nitrogenados sin conocer con precisión el nivel de absorción y asimilación real del nutriente. Esta práctica puede llevar a pérdidas económicas y contaminación ambiental, especialmente por lixiviación de nitratos y perdidas de nitrógeno por volatilización.

JUSTIFICACIÓN

Al realizar la fertilización nitrogenada al suelo para distintos cultivos se desconoce cuánto de nitrógeno llega a asimilar el cultivo durante el periodo vegetativo. El presente trabajo de investigación permite conocer un dato exacto del porcentaje de nitrógeno que asimila el cultivo de lechuga durante su periodo vegetativo en condiciones controladas.

El cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa* L) es de gran importancia económica y social, debido su bajo costo y disponibilidad durante todo el año es ampliamente consumida por la población, además, es accesible para todos los sectores sociales.

Este estudio beneficia a los productores de lechuga de nuestro departamento de Tarija, ya que se ha obtenido datos exactos del porcentaje de nitrógeno que asimila el cultivo de lechuga y permitirá optimizar el uso de fertilizantes nitrogenados en el cultivo, reduciendo los costos de producción y mejorar la eficiencia del cultivo.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar el porcentaje de asimilación de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo condiciones controladas, mediante un análisis químico del contenido de nitrógeno en la planta y sustrato, con el propósito de evaluar la eficiencia en la absorción del nutriente y establecer estrategias de manejo nutricional más eficiente.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de diferentes niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento vegetativo del cultivo de lechuga.
- Cuantificar el porcentaje de asimilación de nitrógeno en función de la dosis aplicada y la concentración de nitrógeno acumulado y su concentración en los tejidos de la planta de lechuga.
- Determinar en postcosecha la cantidad de nitrógeno que se encuentra presente en el sustrato como indicador de la eficiencia de aprovechamiento del fertilizante aplicado.

HIPÓTESIS

HA: La aplicación de diferentes dosis de nitrógeno (0, 160, 190 y 220 kg/ha) influye significativamente en la eficiencia de asimilación de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo condiciones controladas.

HO: La aplicación de diferentes dosis de nitrógeno (0, 160, 190 y 220 kg/ha) no influye significativamente en la eficiencia de asimilación de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo condiciones controladas.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ORIGEN DE LA LECHUGA

El origen de la lechuga no está muy claro. Se afirma que procede de la India, mientras que otros la sitúan en las regiones templadas de Eurasia y América del Norte, a partir de la especie *Lactuca serriola*. Conocida por sumerios, egipcios, persas, griegos y Romanos, se trata de una planta cultivada desde hace muchos años, existiendo testimonios escritos de los Romanos ya conocían diferentes variedades, así como diversas técnicas de cultivo. Existen diferentes variedades de lechuga cultivadas actualmente las cuales son el producto de una hibridación entre especies distintas (Villareal, 2015).

El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2.500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI (DFINNOVA, 2022).

1.1.1. Etimología

La palabra *Lactuca* proviene del latín “lac o lactis”, que se traduce como leche o lácteo llamado “lactucarium”. Esta hace alusión al líquido blanco viscoso que emana de sus hojas y tallo de la planta una vez cortadas. La palabra *sativa* es un adjetivo, también en latín, que hace referencia a su carácter de especie cultivada. El género fue descrito por el científico naturalista sueco Carlos Linneo y publicado en “Species Plantarum”, vol. 2, pág. 795-796 en 1753 (agricultura, 2025).

1.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA LECHUGA

La lechuga es una planta herbácea anual, dicotiledónea, autógena, perteneciente a la familia Compositae, cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa* L. Cuando joven contiene

en sus tejidos un jugo lechoso llamado látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta (Chiroque & Castaño, 2019).

1.2.1. Raíz

Chiroque & Castaño (2019) mencionan que la lechuga presenta una raíz principal pivotante, corta, que puede llegar a medir 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones, asimismo, menciona que cuenta con numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm.

Bilbao & Frezza (2022) indican que el desarrollo de la raíz en la lechuga se lleva a cabo rápidamente a partir del desarrollo de la radícula. Si las condiciones ambientales son favorables a los seis días de la germinación pueden aparecer las primeras ramificaciones entre los 2,5 a 4 cm.

1.2.2. Tallo

Chiroque & Castaño (2019) indican que el tallo es pequeño, corto y cilíndrico durante la fase vegetativa, sin embargo, cuando la planta es estimulada a la floración los entrenudos se alargan hasta 1,2 m de longitud, con ramificación del extremo y la presencia en las ramillas terminales de una inflorescencia.

1.2.3. Hojas

Sánchez S. A. (2023) menciona que la hoja de la lechuga por su forma es lanceolada, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o adentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar.

1.2.4. Flores y floración

La floración inicia con la elongación del tallo, los entrenudos comienzan a separarse varios centímetros entre sí hasta que el tallo llega a una longitud de 1-1,5 m. Las flores se disponen en capítulos florales amarillos que contienen de 13 a 20 flores, los capítulos se encuentran en racimos o corimbos. La planta es autógama (con 1-3 % de fecundación

cruzada) y florece durante el primer año del cultivo. La flor posee 5 estambres unidos por las anteras que constituyen un tubo estaminal por el cual asciende el estilo y estigma; posee protandria por lo que maduran las gametas masculinas antes que las femeninas, los estigmas se encuentran receptivos a medida que van emergiendo a través del tubo polínico. Ambos procesos (morfológicos y fisiológicos) aseguran la autofecundación (Bilbao & Frezza, 2022).

1.2.5. Fruto

El fruto es un aquenio típico uniseminado, seco e indehiscente. El aquenio posee un vilano plumoso al extremo que permite la dispersión de los frutos a través del viento, se produce a partir de la autofecundación. Al madurar puede ser blanco, marrón o casi negro. El aquenio mide 4-5 mm de longitud y es conocido en términos prácticos como la “semilla” de la especie (Bilbao & Frezza, 2022).

1.3. TAXONOMÍA

Cuadro N.º 1: Clasificación taxonómica de la lechuga

Reino	Vegetal
Phylum	Teleomophytae
División	Tracheophytae
Sub división	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub clase	Metachlamydeae
Grado evolutivo	Metachlamydeae
Grupo de ordenes	Tetraciclicos
Orden	Campanulales
Familia	Compositae
Nombre científico	Lactuca sativa L.
Nombre común	Lechuga

Fuente: (Herbario Universitario T.B, 2025)

1.4. PRODUCCIÓN DEL CULTIVO

1.4.1. Producción mundial

La producción mundial de lechuga fue de 27,660,187 toneladas, obtenidas en una superficie cosechada de 1,226,370 hectáreas, por lo que el rendimiento promedio quedó en 22.6 toneladas por hectárea, según la información presentada en FAOSTAT para el año 2020 (Blogagricultura, 2025).

En 2020 China Continental fue el principal productor de lechuga en el mundo con 14,318,667 toneladas (51.8%), seguido por Estados Unidos de América con 4,402,375 toneladas (15.9%) y India con 1,121,379 toneladas (4.1%), por lo que estas 3 naciones representaron el 71.7% de la producción mundial (Blogagricultura, 2025)

1.4.2. Producción nacional

Según INE (2023) la producción de lechuga en los últimos años (2023) a nivel nacional es de 6.552 kg/ha con una superficie cultivada de 2.807 ha, siendo el departamento de La Paz donde se cultiva más con una superficie de 909 ha.

1.4.3. Producción departamental

Según INE (2023) a nivel departamental la producción de lechuga es de 6.203 kg/ha con una superficie cultivada de 68 ha.

1.5. REQUERIMIENTO DEL CULTIVO

1.5.1. Requerimientos edafoclimáticos

La lechuga se adapta a una altitud de 1.800 a 2.800 m.s.n.m., con preferencia un clima templado y frío, con una precipitación de 1.200 a 1.500 mm (Sanchez, 2023).

1.5.1.1. Clima

Axayacatl (2023) indica que el cultivo de lechuga requiere condiciones climáticas específicas para un desarrollo óptimo. Idealmente la lechuga prospera en climas templados, con temperaturas diurnas que oscilan entre 15-20 °C. Además, la lechuga

necesita temperaturas nocturnas moderadamente frescas, preferiblemente entre 7-12 °C, para mantener su textura crujiente y sabor dulce.

La lechuga es una planta de gran adaptabilidad a distintos climas. Puede vivir a temperaturas de 0 °C.; pero cuando ésta baja de los - 6 °C., suele sentir sus efectos, que si persisten ocasionan lesiones foliares. Por debajo de los - 5 °C. la lechuga no emite 12 raíces nuevas, pero sí a partir de los 10 °C. No obstante, soporta mejor las temperaturas elevadas que las relativamente bajas. Los climas excesivamente calurosos provocan con mayor facilidad la emisión de tallos y flores, vulgarmente conocida como “subida a flor” de la planta (Sanchez, 2023).

1.5.1.2. Suelo

El cultivo de lechuga requiere un suelo específico para su óptimo desarrollo, siendo fundamental un suelo bien drenado y rico en materia orgánica. En términos de pH, la lechuga prefiere un suelo ligeramente ácido a neutro, con un rango de pH ideal entre 6.0 y 7.0. Un pH dentro de este rango favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales y reduce el riesgo de enfermedades del suelo (Axayacatl, 2023).

1.5.2. Requerimientos nutricionales

Bogotá, empresarial, & agroindustrial (2015) detallan los requerimientos del cultivo (Cuadro N.º 2), en condiciones normales son: nitrógeno 90 kg/ha, fósforo 35 kg/ha y potasio 160 kg/ha.

Cuadro N.º 2: Requerimientos nutricionales del cultivo de lechuga

Fertilizante	Cantidad (g/m²)	Cantidad (Kg/ha)
N	15-20 g/m ²	150-200 Kg/ha
P ₂ O ₅	10-20 g/m ²	100-200 Kg/ha
K ₂ O	20-30 g/m ²	200-300 Kg/ha
CaO	5-10 g/m ²	50-100 Kg/ha
MgO	4-8 g/m ²	40-80 Kg/ha

S	1-3 g/m ²	10-30 Kg/ha
---	----------------------	-------------

Fuente: (bogota, empresarial, & agroindustrial, 2015)

Entre otros autores tenemos a Jimenez (S.A.) el cual menciona que las necesidades por hectárea del cultivo de la lechuga durante su ciclo son de 190 Kg de N; 150 Kg de P₂O₅ y 275 kg de K₂O.

J. de Grazia (2021) comenta que trabajo con una serie de dosis de aplicación de 50 a 200 kg N/ha encontró el rendimiento optimo con 150 kg N/ha.

1.6. FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Cuya (2023) menciona que los fertilizantes nitrogenados son aquellos que en su composición está presente el nitrógeno o sus derivados; los fertilizantes nitrogenados se usan para garantizar el crecimiento de las plantas y así mismo fomentar la estructura celular.

Una de las particularidades más importante de este producto es la capacidad que tienen para aumentar el área foliar, estimular el crecimiento vegetativo y favorecer la activación de las células encargadas de la fotosíntesis. La fertilización nitrogenada tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales del cultivo mediante los aportes orgánicos o minerales necesarios para complementar lo que el mismo suelo es capaz de suministrar gracias a su fertilidad (Cuya, 2023).

1.6.1. El nitrógeno

Herrera Y. A. (2022) Define al nitrógeno como un elemento químico esencial para los seres vivos, considerado un macronutriente y también un componente básico de proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos.

El nitrógeno es un elemento que se utiliza en la síntesis de proteína por ello se constituye un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, siendo un compuesto que ingresa a la planta en forma de nitrato, responde de varias maneras a suministros altos y bajos de nitrógeno (Cuya, 2023).

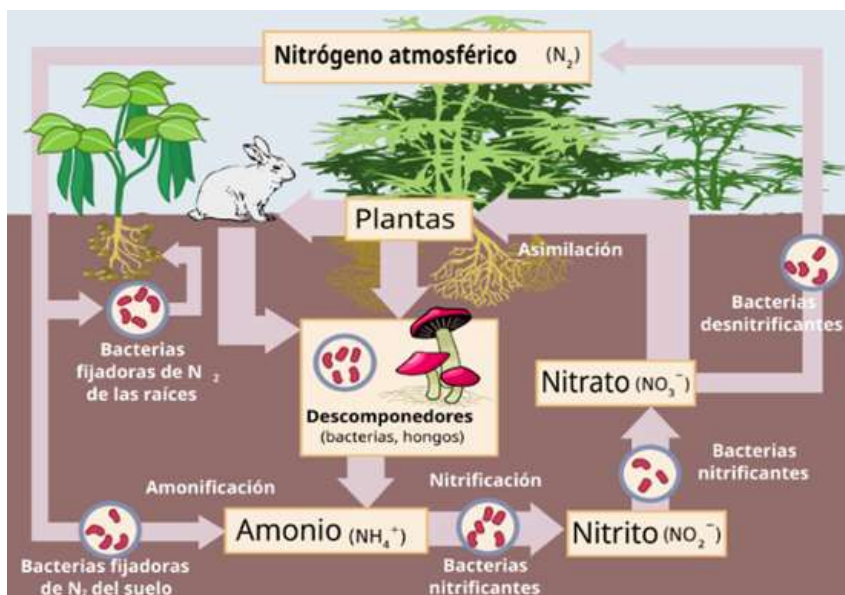
Este elemento aporta en el desarrollo de la planta y su efecto en la producción vegetal; se lo puede encontrar en las rocas, sedimentos y suelos con un 98% dentro de su estructura química; además oscila entre la atmósfera, en la naturaleza se puede encontrar reservas de nitrógeno, siendo aprovechados en el reino vegetal; de hecho, en el aire se lo puede encontrar en forma molecular o también denominado como gas diatómico constituyendo el 78% de la atmósfera; entonces, el nitrógeno molecular adquiere una consecución de actividades o procesos como fijación, oxidación biológica con el propósito de disponer su función a las plantas; cabe mencionar que la transformación del nitrógeno en la oxidación es compleja debido a sus organismos vivos, la fijación biológica (FB), se refiere a una serie de reacciones en las que un organismo de vida libre u otros microorganismos que coexisten con ciertas plantas, especialmente leguminosas, integran la molécula de N en su estructura como componente de varios compuestos (Herrera Y. A., 2022).

El nitrógeno desempeña el papel de regulador en la asimilación del fósforo, potasio y otros elementos, aunque su función principal es la de estimular el crecimiento vegetativo. Su deficiencia se manifiesta con un crecimiento lento, tornándose las hojas amarillas, comenzándose a secar las puntas, este elemento se encuentra en mayores cantidades en las partes jóvenes de la planta (Cuya, 2023).

1.6.2. Ciclo del nitrógeno

Herrera Y. A. (2022) define que el ciclo del nitrógeno (Figura 1) se lo considera como un ciclo complejo en la naturaleza, puesto que se lo considera como un movimiento del nitrógeno dentro de la atmósfera, hidrosfera, biosfera y la geosfera, para ello se lleva a cabo una serie de procesos químicos, físico y biológicos que pueden convertir el nitrógeno gaseoso en orgánico para este ser disuelto en la atmósfera.

Figura N.º 1: Ciclo del nitrógeno en la naturaleza



Fuente: (Herrera Y. A., 2022)

Herrera Y. A. (2022) menciona que las plantas pueden tomar el amonio y el nitrato a través de las raíces para la síntesis de sus proteínas y los ácidos nucleicos. Ahora bien, el ciclo del nitrógeno es de suma importancia, especialmente en los organismos vivos; biológicamente es utilizable, además de ser puntual en la elaboración ADN, proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y esencial para el desarrollo productivo de la agricultura.

Alvares (2025) complementa que el nitrógeno que se encuentra en la atmósfera en forma gaseosa (N_2) no puede ser utilizado por las plantas y los animales para realizar sus funciones vitales. Es por esto que es necesario un conjunto de procesos que transformen el nitrógeno atmosférico en compuestos químicos que contienen nitrógeno, como los iones nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), y que los organismos vivos sí puedan utilizar para realizar sus funciones.

1.6.2.1. Fases del ciclo del nitrógeno

El ciclo de nitrógeno tiene diferentes etapas en las cuales se encuentra interrelacionados los diferentes niveles de seres vivos.

1.6.2.1.1. Fijación

Mediante la fijación, el nitrógeno atmosférico (N_2) se transforma en compuestos químicos que contienen nitrógeno (nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+)) y que pueden utilizar los organismos vivos para realizar sus funciones vitales. Este proceso puede ocurrir por la oxidación del N_2 , que se da por la acción de los rayos, y por la acción de ciertos microorganismos que convierten el N_2 en NH_4^+ (Alvares, 2025).

CICEANA (2007) complementa que los organismos usan la enzima nitrogenasa para su descomposición.

1.6.2.1.2. Nitrificación

Mediante la nitrificación, el amoníaco (NH_3) o el ion amonio (NH_4^+) se transforman en compuestos químicos que pueden ser asimilados por las plantas y los animales. Este proceso ocurre por la acción de ciertos microorganismos que pueden transformar el NH_3 y el NH_4^+ en iones nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-), que luego pueden ser incorporados a las plantas a través de sus raíces y a los animales cuando comen las plantas (Alvares, 2025).

CICEANA (2007) complementa que la modificación de NH_4^+ a NO_3^- depende de la temperatura del suelo. La transformación, es decir, la conversión se da más rápida cuando la temperatura esta arriba de los $10^\circ C$ y el pH está entre los 5.5-6.5; asimismo, este proceso se ve completado entre dos a cuatro semanas.

1.6.2.1.3. Asimilación

La asimilación ocurre cuando las plantas absorben a través de sus raíces, nitrato (NO_3^-) o amoniaco (NH_3), elementos formados por la fijación de nitrógeno o por la nitrificación. Luego, estas moléculas son incorporadas tanto a las proteínas, como a los ácidos nucleicos de las plantas. Cuando los animales consumen los tejidos de las plantas, también asimilan nitrógeno y lo convierten en compuestos animales (CICEANA, 2007).

1.6.2.1.4. Amonificación

CICEANA (2007) menciona que cuando los organismos producen desechos que contienen nitrógeno como la orina (urea), los desechos de las aves (ácido úrico), así como de los organismos muertos, éstos son descompuestos por bacterias presentes en el suelo y en el agua, liberando el nitrógeno al medio, bajo la forma de amonio (NH_3). En este nuevo proceso de integración de nitrógeno al ciclo, las bacterias fijadoras llevan a cabo la digestión enzimática, por lo que el amonio se degrada a compuestos aminados, como proteosas, peptonas y al final, en aminoácidos. Es por esta razón que el proceso se llama aminificación o aminización.

1.6.2.1.5. Inmovilización

Es el proceso contrario a la mineralización, por medio del cual las formas inorgánicas (NH_4^+ y NO_3^-) son convertidas a nitrógeno orgánico y, por tanto, no asimilables (CICEANA, 2007).

1.6.2.1.6. Desnitrificación

La reducción de los nitratos (NO_3^-) a nitrógeno gaseoso (N_2), y amonio (NH_4^+) a amoniaco (NH_3), se llama desnitrificación, y es llevado a cabo por las bacterias desnitrificadoras que revierten la acción de las fijadoras de nitrógeno, regresando el nitrógeno a la atmósfera en forma gaseosa. Este proceso ocasiona una pérdida de nitrógeno para el ecosistema; ocurre donde existe un exceso de materia orgánica y las condiciones son anaerobias, además de que hay poca disponibilidad de agua y un alto pH, aunado a los escurrimientos de los fertilizantes al suelo. El fenómeno de la desnitrificación se debe, a que, en condiciones de mucha humedad en el suelo, la falta de oxígeno obliga a ciertos microorganismos a emplear nitrato en vez de oxígeno en su respiración (CICEANA, 2007).

1.6.3. El nitrógeno en la agricultura

VITRA (2020) menciona que el nitrógeno es uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo. El suelo dispone naturalmente de él en forma orgánica y mineral, esta última esencial para que pueda ser absorbido por

las plantas. Sin embargo, las cantidades disponibles en el suelo no son suficientes para suplir las necesidades de las plantas cultivadas, por lo que se debe aplicar fertilizantes que aporten nitrógeno.

Una planta deficiente de nitrógeno presenta clorosis, coloración amarillenta en tallos y hojas, falta de desarrollo y debilidad (Calva, 2022). Por otro lado, Cuya (2023) indica que una planta adecuadamente provista de nitrógeno, adquiere un gran desarrollo de hojas, tallos y toma un color verde oscuro debido a la abundancia de clorofila.

1.6.4. El nitrógeno en la lechuga

Sembralia (2023) menciona que el cultivo de lechuga requiere una gran cantidad de nitrógeno para su rápido y adecuado desarrollo aumentando el tamaño y la calidad de la lechuga, el nitrógeno promueve un crecimiento vegetativo vigoroso y le da a la lechuga su color verde característico. Sin embargo, es importante no aplicar demasiado nitrógeno, pudiendo ocasionar un crecimiento excesivo de las hojas y mal formación de la cabeza de la lechuga.

1.6.5. Pérdidas de nitrógeno en el suelo

GROWTH E. F (2023) menciona que las formas más comunes de la pérdida de nitrógeno pueden ocurrir por lixiviación, volatilización y la desnitrificación.

1.6.5.1. Pérdida de nitrógeno por lixiviación

La lixiviación es el desplazamiento de nitrógeno fuera de la zona radicular. Cuando los cultivos se riegan en exceso o las precipitaciones son excesivas, algunos nutrientes pueden ser arrastrados por el agua (Nutrien, 2025). Por otro lado, 3tentos (2025) complementa que las pérdidas de nutrientes por lixiviación tienen un impacto negativo en la productividad agrícola, ya que cuando hay una deficiencia de cualquiera de estos nutrientes, el potencial de rendimiento del cultivo se verá afectado.

3tentos (2025) indica que hay algunos factores que intensifican el proceso de erosión y lixiviación, como: la ausencia de cobertura vegetal, bajos niveles de materia orgánica, alta intensidad de lluvia en ciertos períodos del año y poca profundidad del suelo.

El nitrógeno es absorbido por las plantas en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), siendo el nitrato un anión más susceptible a la lixiviación debido a su baja interacción química con los minerales del suelo. Por lo tanto, los fertilizantes que contienen este anión tienen mayor probabilidad de perderse (3tentos, 2025).

La lixiviación de N resultante de la materia orgánica ocurre cuando las plantas no tienen suficientes raíces para absorber el N mineralizado por las bacterias nitrificantes del suelo. La urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), una de las fuentes de N ampliamente utilizadas, tiene alta solubilidad y mala adsorción por los coloides. Como resultado, está sujeta a perderse por lixiviación (3tentos, 2025).

Nutrien (2025) complementa que la lixiviación se produce con mayor frecuencia en suelos de textura gruesa o arenosos, bien drenados. En condiciones severas puede ocasionar pérdidas del 50 a 60% del nitrógeno aplicado en el suelo.

1.6.5.2. Pérdidas de nitrógeno por volatilización

La pérdida de Nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH_3) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Esta ocurre cuando el nitrógeno se convierte en amoníaco gaseoso y se pierde hacia la atmósfera (GROWTH E., 2023).

Las mayores pérdidas se producen por la aplicación superficial de fertilizantes con urea, estiércol y fertilizantes secos mezclados, especialmente en suelos con pH alto o temperatura elevada durante climas cálidos y ventosos, o sobre residuos de cultivos densos (Nutrien, 2025).

Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (Ferraris & Cuoretot, S.A).

1.6.5.3. Pérdidas de nitrógeno por desnitrificación

Esta forma de pérdida de nitrógeno ocurre cuando los ataques microbianos de las bacterias presentes de forma natural en el suelo extraen el oxígeno del nitrato, produciendo gases que escapan al aire y pueden suponer la pérdida de hasta el 60 % del nitrógeno aplicado (Nutrien, 2025).

Castellanos (2016) menciona que las condiciones que contribuyen a la desnitrificación son: Suelos compactados, suelos húmedos o mal drenados, temperaturas cálidas del suelo.

Nutrien (2025) complementa que las condiciones anteriormente indicadas pueden provocar una disminución de los niveles de oxígeno en el suelo, ocasionando que las bacterias a desnitrificar para poder sobrevivir.

Nutrien (2025) argumenta que la pérdida por nitrificación se produce en forma de gases, como nitrógeno gaseoso, óxido nítrico u óxido nitroso, que pueden llegar a salir del suelo y entrar a la atmósfera en 15 minutos después de la saturación, privando a los cultivos de la disponibilidad de nitrógeno.

1.7. FERTILIZANTES QUÍMICOS

Los fertilizantes son sustancias sintéticas e inorgánicas que se incorporan al suelo para complementar los macros y micro nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas (Herrera Y., 2022).

Los fertilizantes químicos son aliados valiosos en la agricultura intensiva, pero también pueden tener un impacto en los ciclos de producción, los suelos y las superficies si no se manejan y aplican de manera efectiva (HaifaGroup, 2025).

Intagri (2017) detalla en el siguiente cuadro los principales fertilizantes nitrogenados utilizados en la agricultura.

Cuadro N.º 3: Principales fertilizantes nitrogenados

Fertilizante	Contenido de N (%)	Características
Amoníaco anhidro	82	Es un líquido a alta presión que puede ser aplicado en bandas profundas antes, o después de la siembra, siempre y cuando no exista contacto directo con la semilla.
Urea	46	Es una fuente cuyo nitrógeno se vuelve disponible para la planta cuando se convierte en amonio (NH_4^+) y luego en nitrato (NO_3^-), puede utilizar sólo o en mezclas con otros fertilizantes secos o líquidos.
Sulfato de amonio	21	Es una fuente soluble de fácil disponibilidad de nitrógeno y azufre (S). El sulfato de amonio es un fertilizante acidificante, por lo que su uso es recomendable en suelos alcalinos.
Nitrato de amonio	34	Su principal característica es ser un fertilizante que proporciona el nitrógeno en las dos formas en la que es absorbido por las plantas: nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+).
Fosfonitrato de amonio	33	Es el nitrato de amonio anteriormente mencionado, pero ahora con un contenido de 33 % de nitrógeno y estabilizado con 3 % de fósforo.
Fosfato monoamónico	11	Es un fertilizante granular que se aplica a menudo sólo o con otras fuentes.
Fosfato diamónico	18	Es un fertilizante sólido altamente soluble.

Nitrato de potasio	13	Es un fertilizante de alta solubilidad que aporta dos nutrientes: nitrógeno y potasio. Es considerado un fertilizante de especialidad.
Ácido nítrico	22	Es un excelente producto que sirve para ajustar el pH de las soluciones nutritivas utilizadas en fertirriego o hidroponía.

Fuente: (Intagri, 2017)

1.8. UREA

Según Melgar (2012) la UREA se define como el fertilizante sólido que tiene la mayor concentración de nitrógeno (46%), además es muy soluble en agua y adecuada para usar en soluciones fertilizantes.

ILGA (2022) menciona que la UREA es conocida por tener niveles altos de nitrógeno, esto favorece en la agricultura sin embargo si se aplica en demasiada cantidad puede causar problemas en el cultivo y como también en el suelo.

La urea se produce comercialmente a partir de dos materias primas, amoníaco y bióxido de carbono. Grandes cantidades de bióxido de carbono se producen durante la fabricación del amoníaco a partir de hidrocarburos tales como gas natural, derivados del petróleo o del carbón (Melgar, 2012).

Melgar (2012) detalla en el siguiente cuadro la composición de la UREA.

Cuadro N.º 4: Composición de la UREA

Nitrógeno total	46%
Nitrógeno en forma amínica	46%
Humedad	1.0-2.0%
Peso Molecular	60.06

Fuente: (Melgar, 2012).

Melgar (2012) en el siguiente cuadro detalla las características físicas y químicas de la Urea.

Cuadro N.º 5: Características físicas y químicas de la UREA

Apariencia	Gránulos Perlas o Cristales de color blanco.
Olor	Inodoro.
pH solución acuosa (10%l)	9-10
Punto de fusión	132.5° C
Inflamabilidad	No inflamable.
Densidad aparente	Granular: 770 kg/m ³ Perlada 740 kg/m ³ .
Densidad real	Granular: 1220 kg/m ³ Perlada 1320 kg/m ³

Fuente: (Melgar, 2012)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la ciudad de Tarija, Provincia Cercado en los predios de la facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (Zona el tejtar).

2.2. UBICACIÓN DEL TRABAJO

Está ubicado geográficamente entre los paralelos 21°32'35,93'' de latitud Sur, y los meridianos 64°43'21,53'' de latitud Oeste con una altitud promedio de 1858 m.s.n.m, específicamente en las instalaciones del laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” del departamento de Tarija-Bolivia.

Figura N° 2: Ubicación geográfica



Fuente: Elaboración propia

2.3. LÍMITES TERRITORIALES

El municipio de Cercado-Tarija está conformada por el área urbana de la Ciudad de Tarija que es capital del municipio. El departamento de Tarija se encuentra en la parte sur de Bolivia. Se encuentra a orillas del río Guadalquivir, o Nuevo Guadalquivir, en el centro de un ameno valle con altitudes que varían desde 1.250 m.s.n.m en las partes más bajas, llegando a pie de monte con alturas de 2.100 m.s.n.m y en elevaciones más altas como la montaña de reserva biológica de sama a 4.300 m.s.n.m.

La provincia Cercado, limita al norte y oeste con la provincia Méndez; al sur con la provincia Aviléz, al este, con la provincia Burdet O 'Connor; y al sureste con la provincia Arce. Geográficamente se encuentra ubicado entre las coordenadas mínimas 21°52'30'' latitud S. 64°59'51'' longitud W; la máxima 21°08'07'' latitud S y 64°17'42'' de longitud oeste (GobiernoMunicipaldelacuidaddeTarija, S.A).

2.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El valle de Tarija se halla localizado en un clima Semiárido que se caracteriza por una precipitación media anual entre 400-750 mm con 3-6 meses húmedos con una precipitación > 80 mm/mes. Se subdivide en dos subtipos: semiárido con temperaturas altas y semiárido con temperaturas bajas Y sud andino con temperaturas medias anuales de 21 a 23 °C, mientras que el segundo corresponde a los valles de la Cordillera Oriental (Valle Central de Tarija, Padcaya, San Lorenzo), con temperaturas medias anuales entre 13 y 18 °C.

En Tarija, los veranos son largos, calurosos, húmedos y mayormente nublados y los inviernos son cortos, frescos y mayormente despejados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5 °C a 25 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 29 °C.

La temporada templada dura 4,2 meses, del 30 de septiembre al 7 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 24 °C. El mes más cálido del año en Tarija es diciembre, con una temperatura máxima promedio de 24 °C y mínima de 16 °C. (WeatherSpark, 2025).

La temporada fresca dura 2,5 meses, del 15 de mayo al 30 de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 21 °C. El mes más frío del año en Tarija es julio, con una temperatura mínima promedio de 5 °C y máxima de 20 °C. (WeatherSpark, 2025).

Cuadro N.º 6: Temperaturas de la zona de estudio.

Prom.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máy.	24°C	24°C	23°C	23°C	21°C	20°C	20°C	22°C	23°C	24°C	24°C	24°C
Temp.	20°C	20°C	19°C	18°C	15°C	13°C	12°C	14°C	16°C	19°C	19°C	20°C
Mín.	16°C	16°C	15°C	13°C	9°C	6°C	5°	7°C	10°C	13°C	15°C	16°C

Fuente: (WeatherSpark, 2025)

2.4.1. Precipitación

Un día húmedo es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días húmedos en Tarija varía considerablemente durante el año. La temporada con más precipitación dura 4,1 meses, de 19 de noviembre a 23 de marzo, con una probabilidad de más del 40 % de que cierto día será un día con lluvia. El mes con más días húmedos en Tarija es enero, con un promedio de 19,1 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 7,9 meses, del 23 de marzo al 19 de noviembre. El mes con menos días con precipitación en Tarija es junio, con un promedio de 5,6 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Cuadro N.º 7: Precipitación de la zona de estudio

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct.	Nov	Dic
Prec.	154,8	128,9	102,0	60,7	48,7	41,8	38,6	45,2	48,6	61,3	81,4	123,1
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm

Fuente: (WeatherSpark, 2025)

En lo que se refiere al tema de las precipitaciones, Tarija tiene una precipitación promedio de 615.4 milímetros (24.25 pulgadas) por año, además se tiene como dato que el mes más cálido en promedio en esta región, es el mes de noviembre, mientras que el mes más frío en promedio, es considerado el mes de julio.

2.4.2. Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Tarija tiene variaciones estacionales leves en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 5,5 meses, del 17 de julio al 1 de enero, con velocidades promedio del viento de más de 10,7 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Tarija es noviembre, con vientos a una velocidad promedio de 11,7 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 6,5 meses, del 1 de enero al 17 de julio. El mes más calmado del año en Tarija es abril, con vientos a una velocidad promedio de 9,7 kilómetros por hora.

2.4.3. Descripción del suelo

El sustrato usado para realizar el presente trabajo presento una textura franco-arenosa, determinada por una composición de 72,12 % arena, 8,22% limo y 19,66 % arcilla. Esta distribución granulométrica indica un predominio de partículas gruesas, lo que favorece una alta permeabilidad y una adecuada aireación, aunque con limitada capacidad de retención de agua y nutrientes.

El pH de 8,16 clasifica al suelo como ligeramente alcalino, lo que puede influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes, particularmente micronutrientes como hierro, zinc y manganeso, cuya solubilidad tiende a disminuir en estas condiciones. La conductividad eléctrica de 0,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$ un suelo no salino, por lo que no se evidencian restricciones para los cultivos.

En cuanto a la materia orgánica (4,61%), el suelo presenta un contenido alto, lo cual contribuye positivamente a la estructura, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad microbiológica. El contenido de nitrógeno total (0,401%) es relativamente adecuado, indicando una reserva importante de este nutriente esencial, posiblemente asociada al nivel de materia orgánica presente.

2.5. MATERIALES

2.5.1. Material vegetal

- Plantines de lechuga.

2.5.2. Material de campo

- Macetas.
- Regadera.
- Nylon transparente grueso.
- Postes de madera.
- Engrampadora de madera.
- Grampas.
- Bisagras.
- Aldaba.
- Pala.
- Brochetas.
- Nylon color amarillo.
- Aceite de cocina
- Brocha.

2.5.3. Material químico

- Urea (46-00-00).

2.5.3. Material de registro

- Tablero.
- Planillas de registro.
- Lápiz.
- Cámara fotográfica (teléfono celular).
- Instrumentos de medición (Regla).

2.5.4. Materiales de laboratorio

2.5.4.1. Equipos

- Digestor Kjeldahl.
- Tubos Kjeldahl.

- Vasos precipitados.
- Balanza analítica.
- Titulador.
- Pipeta.

2.5.4.2. Reactivos

- Ácido sulfúrico.
- Catalizador.
- Hidróxido de sodio.
- Ácido bórico 2%.

2.5.5. Material de gabinete

- Computadora.

2.6. METODOLOGÍA

2.6.1. Metodología estadística

El diseño utilizado en el presente trabajo de investigación por ser el que más se ajusta a la investigación es un diseño completamente aleatorizado, teniendo 4 tratamientos y 5 observaciones por tratamiento haciendo un total de 20 unidades experimentales.

2.6.2. Características del diseño

Cuadro N.º 8: Caracterización del diseño

Factor en estudio	Niveles del factor	Tratamientos	N.º de tratamientos	Repeticiones	N.º de unidades experimentales
Diferentes niveles de fertilización nitrogenada	1	T1	4	5	20
	2	T2			
	3	T3			
	4	T4			

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó diferentes niveles de fertilización nitrogenada, tomando en base la cantidad de nitrógeno que contenía el sustrato que era de 127 kg/ha siendo este el testigo T1, también se consideró el requerimiento nutricional de la lechuga que según Jiménez, (S.A.) el cual menciona que las necesidades por hectárea del cultivo son de 190 Kg de N, entre otro autor tenemos a J. de Grazia (2021) encontró el rendimiento optimo con 150 kg N/ha, por lo tanto, para los distintos tratamientos se aplicó la siguiente dosificación:

- T1=127 kg/ha.
- T2=140 kg/ha.
- T3= 190 kg/ha.
- T4= 220 kg/ha.

El trabajo de investigación se realizó en macetas, para lo cual se realizó los cálculos respectivos teniendo como base las cantidades anteriormente mencionadas, de esa manera se determinó la dosis para las macetas de los distintos tratamientos siendo las dosis las siguientes:

- T1=0 g/maceta
- T2=0,4 g/maceta
- T3=0,8 g/maceta
- T4=1,2 g/maceta

2.6.3. Descripción diseño

- Largo y ancho de la unidad experimental: 17,5 cm
- Largo de la parcela experimental: 1,20 m
- Ancho de la parcela experimental: 0,95 m
- Area toral de la parcela experimental: 1,14 m²
- Total de unidades experimentales: 20
- Distancia entre planta a planta: 12 cm

- Distancia entre las unidades experimentales: 5 cm
- Ancho del invernadero: 2,5 m
- Largo del invernadero: 2,5m

2.6.4. Diseño experimental en campo

OBSERVACIONES POR TRATAMIENTO	TRATAMIENTOS			
	T1	T2	T3	T4
	T3	T4	T1	T2
	T4	T1	T2	T3
	T2	T3	T4	T1
	T1	T2	T3	T4

2.7. MODELO MATEMÁTICO

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es el j ésimo elemento perteneciente al i ésimo tratamiento.

μ = Es la medida general.

T_i = Efecto debido al i ésimo tratamiento.

E_{ij} =Error experimental asociado al j ésimo elemento del i ésimo tratamiento.

2.8. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.8.1. Construcción de invernadero

La construcción del invernadero se realizó en los primeros días de septiembre, donde se ocupó pala, azadón para realizar los hoyos y colocar los postes, posteriormente se realizó el armado de la estructura del invernadero, después se realizó los cortes del nylon a medida y se procedió a colocarlo a la estructura jalando el nylon para que quede lo más tezado posible y asegurando con la ayuda de una engrampadora de madera. Posteriormente se hizo el armado de la puerta y el asegurado de la misma con 2 bisagras y una aldaba.

2.8.2. Preparación del sustrato

El sustrato se ha preparado el 13 y 14 de septiembre del 2025 empleando arena, limo, arcilla extraídos de las terrazas del río Guadalquivir, también se ha empleado tierra vegetal de molle. Material que ha sido mezclado y tamizado obteniendo un sustrato homogéneo libre de gravas y restos vegetales.

2.8.3. Toma de muestras del sustrato

La recolección de las muestras de suelo se realizó el mismo día de la preparación del sustrato, empleando una pequeña palita pequeña se ha extraído varias sub muestras de diferentes partes del sustrato, las mismas han sido nuevamente mezcladas para luego proceder al cuarteo hasta obtener una muestra compuesta de 1 Kg, colocada y etiquetada en una bolsa de plástico negra fue recepcionada y analizada en el laboratorio de suelos de la FCAyF.

2.8.4. Llenado de macetas

El llenado de las macetas se realizó una vez teniendo el sustrato preparado se realizó el 15/09/25 con la ayuda de una palita pequeña, cada maceta con contiene aproximadamente 3,4 Kg de sustrato.

2.8.5. Trasplante

Para realizar el trasplante de lechuga, lo primero fue la obtención de los plantines los cuales se compró de un emprendimiento que se dedica a la producción de plantines.

El trasplante de los plantines de lechuga se realizó el mismo día del llenado de las macetas, se colocó 2 plantines por maceta con una separación de planta a planta de 12 cm.

2.8.6. Riegos

Los riegos se realizaron con la ayuda de una regadera, los primeros 10 días se realizó el riego cada 3-4 días para ayudar al prendimiento de los plantines, posteriormente se realizó riegos cada 5-6 días dependiendo de las temperaturas y la retención de agua en las macetas, teniendo en cuenta que los riegos se realizaron a capacidad de campo para evitar pérdidas de nitrógeno por lixiviación.

2.8.7. Aporcado

Se lo realizó el día 10 de octubre, donde consistió en agregar sustrato alrededor del tallo de la planta.

2.8.8. Fertilización

La fertilización del cultivo se realizó el mismo día que el aporcado, donde se aplicó fertilizante granular, solido como es la Urea (46 % N), de acuerdo a la distinta dosificación por tratamiento.

Se ocupo como fertilizante nitrogenado a la UREA ya que es el fertilizante más conocido y ocupado por los agricultores.

2.8.9. Control de plagas

Durante las primeras semanas después del trasplante se vio la presencia de mosca blanca en el cultivo, para su control se realizó trampas de color para las cuales se ocupó nylon de color amarillo, palitos de brochetas, brocha, pegamento y aceite vegetal, su armado consistió en pegar el nylon en las brochetas y con ayuda de la brocha untar

aceite vegetal en el nylon y se colocó 2 trampas en el cultivo las cuales se cambió de acuerdo a la cantidad de insectos que quedaban atrapados en las trampas hasta que se logró controlar la plaga en su totalidad.

2.8.10. Control de malezas

El control de las malezas se realizó de manera manual, se hizo el monitoreo constante para evitar que haya presencia de malezas en el cultivo.

2.8.11. Toma de datos

Se tomo datos del número de hojas por planta y altura de la planta (cm) a los 10 días después del trasplante y luego cada 7 días y posteriormente cada 10 días, hasta el momento de la cosecha.

2.8.12. Toma de muestras de hoja

Se tomo muestras de hojas de las plantas en dos etapas, para realizar los respectivos análisis del nitrógeno que se encuentran en la hoja, la primera etapa durante el crecimiento la primera muestra a los 10 días después del trasplante, posteriormente se tomó otra muestra de las hojas a los 19 días después de la fertilización y segunda etapa fue al momento de la cosecha donde se sacó toda la planta para posteriormente realizar el análisis respectivo.

Se tomo las muestras de las hojas por tratamiento, posteriormente fueron secadas y guardadas en bolsas herméticas para posteriormente realizar el análisis correspondiente.

2.8.13. Cosecha

Se realizó la cosecha el día 17 y 18 de noviembre donde se sacó las plantas de las macetas y se tomó la mayor parte de la planta (tallo, hojas) como muestra para realizar los análisis correspondientes.

2.8.14. Análisis de las muestras de hoja

Los análisis respectivos se realizaron en el laboratorio de suelos de la FCAYF de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. El análisis de las muestras se realizó una vez que las muestras estuvieran secas y molidas, para posteriormente realizar el análisis mediante el método de Kjeldahl, de acuerdo al siguiente procedimiento:

1. Una vez teniendo las muestras molidas se procedió a pesar una 0.2 gr de la misma usando una balanza analítica.
2. Posteriormente se coloca a los tubos o balones Kjeldahl donde se le añade 1 a 2 gr de catalizador se mezcla con la muestra.
3. Seguidamente se le añade 5 ml de ácido sulfúrico se lo agita de manera circular y posteriormente se lo coloca al digestor Kjeldahl donde a una temperatura de 390° por 20 min.
4. A continuación, se retira el tubo Kjeldahl del digestor y se debe esperar a que disminuya la temperatura.
5. Posteriormente se coloca el tubo con la muestra respectiva al destilador donde el destilador agrega al tubo Kjeldahl 30 ml agua destilada y 20 ml de solución de hidróxido de sodio 10 M posteriormente el destilador realiza el proceso durante 4.30 min.
6. En un vaso de precipitado se agrega 20 ml de ácido bórico al 2% en el cual se recibe todo lo que procesa el destilador, aproximadamente 100 ml del destilado.
7. Después de procesar una muestra se debe realizar el lavado del destilador, donde se cambia el tubo que tenía la muestra por otro tubo específicamente de lavado dicho proceso dura 3 min.
8. Posteriormente se procede titular el destilado con ácido clorhídrico 0.1 en el titulador donde se debe colocar el peso de la muestra como un dato que requiere el titulador, posteriormente los resultados están en %.

2.9. VARIABLES RESPUESTA

2.9.1. Variables de crecimiento vegetativo

- **Altura de la planta (cm)**

Para evaluar la altura de las plantas se tomó varios datos el primer dato que se tomó fue a los diez días después del trasplante, posteriormente se tomó los siguientes datos cada 7 días y por último cada 10 días, se realizó el levantamiento de los datos de todos los tratamientos como también de las réplicas, para realizar los cálculos correspondientes solo se tomó en cuenta los últimos datos que se tomaron en el momento de la cosecha.

Se realizó la medición desde la base del tallo a nivel del suelo hasta el ápice de la hoja más alta de la planta, esta variable se ha medido en centímetros utilizando una regla.

- **Número de hojas por planta.**

La toma de datos del número de hojas por planta se realizó en los mismos días que se tomó los datos de la altura de la planta, se tomó datos de todos los tratamientos como también de las réplicas, para realizar los cálculos correspondientes solo se tomó en cuenta los últimos datos que se tomaron en el momento de la cosecha.

Se realizó el conteo total de hojas verdaderas completamente desarrolladas.

- **Peso seco de la planta (g/planta).**

Para obtener los datos del peso seco de planta se realizó el secado de las plantas posteriormente se ha molido las plantas y procesadas e etiquetadas en bolsas herméticas, posteriormente se realizó el pesado de las muestras.

2.9.2. Variables nutricionales

- **Contenido de nitrógeno total en el tejido vegetal (%)**

Para determinar el contenido de nitrógeno presente en la planta, una vez obtenidas las muestras de la planta se realizó el análisis correspondiente por el método de Kjeldahl, donde se obtuvo los resultados en porcentaje.

- **Nitrógeno extraído por la planta (g/planta)**

Una vez obtenidos los resultados del análisis correspondiente, se procedió al cálculo del nitrógeno extraído por la planta, utilizando la siguiente expresión:

$$N \text{ extraído } \left(\frac{g}{\text{planta}} \right) = \text{Biomasa seca total } \left(\frac{g}{\text{planta}} \right) \times \left(\frac{\% \text{Nitrógeno}}{100} \right)$$

- **Porcentaje de asimilación de nitrógeno.**

Una vez determinado el contenido de nitrógeno extraído por la planta a partir de los resultados obtenidos, se procedió al cálculo del porcentaje de asimilación del nitrógeno, utilizando la siguiente expresión:

$$\% \text{ Asimilación} = \frac{N \text{ absorbido por la planta}}{N \text{ aplicado}} \times 100$$

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos registrados de la presente investigación, fueron analizados de acuerdo a la metodología estadística establecida por la investigación, posteriormente de haber obtenido los datos se presenta los siguientes resultados.

3.1. ALTURA DE LA PLANTA (cm)

La medición de la altura de la planta constituye un indicador directo del crecimiento vegetativo y vigor del cultivo, estrechamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes especialmente el nitrógeno. Esta variable permite evaluar la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada. Asimismo, contribuye a comprender el efecto de la aplicación de urea sobre el desarrollo de la planta.

Cuadro N.º 9: Altura media de la planta (cm)

Altura de la planta (cm)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	38,9	41,0	52,0	45,3	36,7	213,8	42,76
T2	42,7	49,4	42,5	46,2	45,3	226,1	45,22
T3	44,6	33,8	42,0	42,1	42,5	204,95	40,99
T4	34,1	28,1	31,8	34,3	37,5	165,75	33,15
SUMA	160,25	152,2	168,25	167,9	162	810,6	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 9 refleja los valores promedio de la altura de la planta, donde se observa que el tratamiento T2 obtuvo el mayor valor con 45,22 cm, seguido por el tratamiento T1 con 42,76 cm, posteriormente, en tercer lugar, se encuentra el

tratamiento T3 con 40,99 cm y finalmente el tratamiento T4 con 33,15 cm siendo este el que presento la menor altura de la planta.

Este resultado indica que la dosis del tratamiento T2 (0,4 gr/maceta) obtuvo mejor comportamiento en el cultivo, promoviendo un mayor crecimiento vegetativo en comparación de los demás tratamientos. Esto sugiere que dicha dosis permitió una adecuada disponibilidad de nitrógeno y de esta manera optimizo los procesos fisiológicos como lo es la elongación celular.

De acuerdo con Chiroque & Castaño (2019) indican que la planta puede oscilar entre 15 a 35 cm dependiendo de la variedad, pudiendo incrementarse considerablemente cuando la planta es inducida a la floración, donde los entrenudos se alargan notablemente. El presente estudio, la altura media alcanzada fue de 40,53 cm, valor que, al considerar las condiciones de invernadero y la variedad utilizada, se encuentra dentro de un rango aceptable, aunque ligeramente superior al reportado en condiciones normales de cultivo.

Por otra parte, Cuya (2023) en un estudio donde evaluó diferentes dosis de urea (0 kg/ha, 140 kg/ha, 160 kg/ha, 180 kg/ha y 200 kg/ha) reportó que no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. Por otra parte, también menciona que el tratamiento con más alta dosificación (200 kg/ha) presento menor altura de planta, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el tratamiento T4 del presente trabajo de investigación. Este resultado indica que un exceso de nitrógeno puede interferir en el crecimiento normal de la planta.

Durante el ciclo del cultivo, se observó visualmente un alargamiento del tallo, lo que podría estar asociado a condiciones de alta humedad relativa y limitada aireación dentro del invernadero, factores que favorecieron la elongación celular. Asimismo, en el tratamiento T4 se evidencio una detención temporal del crecimiento, lo cual podría atribuirse a posibles efectos adversos asociados a la sobredosificación de nitrógeno causado por la elevada dosis de urea aplicada al tratamiento, afectando el desarrollo normal de las plantas.

Cuadro N.º 10: Análisis de varianza ANOVA para la altura media de las plantas

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	706,12				
Tratamientos	3	408,23	136,08	7,31 *	2,85	4,44
Error	16	297,90	18,62			

Fuente: Elaboración propia

NS= No es significativo

* = Significativo

*** = Altamente significativo

En el cuadro N.º 10 presenta el análisis de varianza para variable altura media de la planta, donde se observa la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, debido a que el valor de la f-calculada es mayor que el valor de la f-tabulada al 5% como del 1%. Este resultado indica que al menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente de los demás. En consecuencia, es necesario realizar una prueba de comparación de medias para identificar específicamente entre que tratamientos se presentan dichas diferencias.

Cuadro N.º 11: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T2	45,42 a	45,42 a
T1	42,76 ab	42,76 ab
T3	40,99 ab	40,99 ab
T4	33,15 c	33,15 b

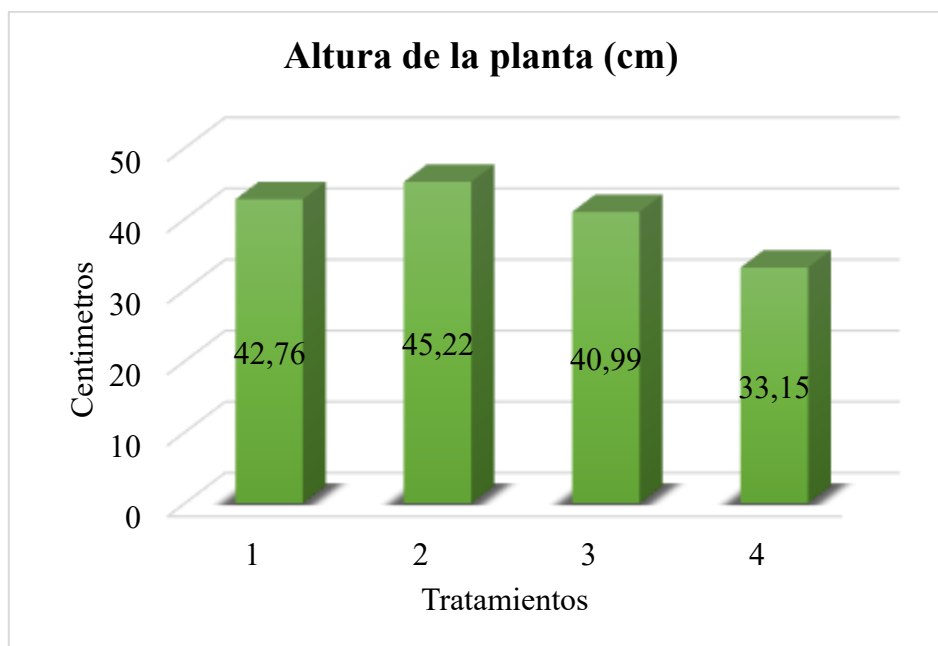
Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 11 se observa la prueba de Tukey al 5% y 1% para la variable altura de la planta en lechuga. Al nivel de significancia del 5%, se observa que el tratamiento

T2 registro la mayor altura promedio (45,42 cm) ubicándose en el grupo “a”, mientras que el tratamiento T4 registro la menor altura (33,15 cm) y pertenece al grupo “c”, lo que evidencia que entre ambos existen diferencias estadísticamente significativas. Por su parte, los tratamientos T1 (42,76 cm) y T3 (40,99 cm) se ubicaron en el grupo “ab”, indicando que no representan diferencias estadísticas con el tratamiento T2 ni entre sí, debido a que comparten letras en común, lo que refleja un comportamiento similar en el crecimiento vegetal.

Al nivel de significancia del 1%, se mantiene la misma tendencia, donde el tratamiento T2 continúa presentando la mayor altura promedio ubicándose al grupo “a”, diferenciándose estadísticamente del tratamiento T4 perteneciendo al grupo “c” evidenciando diferencias altamente significativas entre ambos. Asimismo, los tratamientos T1 y T3 se agrupan en la categoría “ab”, lo que indica que no presentan diferencias significativas entre ellos ni con el tratamiento T2, sin embargo, el T3 también muestra similitud estadística con T4, al compartir letras en común.

Figura N.º 3: Gráfica de la altura media de la planta



Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 3, que presenta la altura media de la planta, se observa una variabilidad en el crecimiento del cultivo en función de los tratamientos y las dosis aplicada. El tratamiento T2 registro la mayor altura promedio, seguido por el testigo T1 lo que indica una respuesta favorable del cultivo bajo dichas condiciones, el tratamiento T3 presento un crecimiento intermedio, mientras que el T4 registro la menor altura, indicando una posible limitación en el desarrollo vegetal asociada a la dosis aplicada.

3.2. NÚMERO DE HOJAS POR PLANTA

La cuantificación del número de hojas por planta constituye un indicador del crecimiento vegetativo y vigor del cultivo, especialmente en cultivos de hoja como lo es la lechuga. Este parámetro resulta relevante, ya que en las hojas representan el principal órgano donde se concentra el nitrógeno asimilado por la planta. Además, esta variable facilita la respuesta del cultivo a los diferentes tratamientos, evidenciando posibles deficiencias que restringen el desarrollo foliar o excesos de que inducen desequilibrios fisiológicos en la planta.

Cuadro N.º 12: Número de hojas por planta

Número de hojas por planta							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	7,5	10	8,5	8	8	42	8,4
T2	8,5	11	10	12	9	50,	10,1
T3	8	5	8	6	6	33	6,6
T4	7	9	9	9	8	42	8,4
SUMA	31	35	35,5	35	31	167,5	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 12, se presenta los valores promedio del número de hojas por planta en cada tratamiento. Se observa el tratamiento T2 obtuvo la media más alta con 10,1 hojas por planta evidenciando un mejor desarrollo foliar, los tratamientos T1 y T4

presentaron valores intermedios e iguales 8,4 hojas por planta, mientras que el tratamiento T3 obtuvo el valor más bajo con 6,6 hojas por planta, siendo el que presentó el menor desarrollo en esta variable.

Estos resultados sugieren que la dosis aplicada en el tratamiento T2 (0,4 g/maceta) favoreció el desarrollo foliar del cultivo.

En contraste, el menor número de hojas observado en el tratamiento T3 podría atribuirse a efectos adversos asociados a la fertilización nitrogenada. Durante el desarrollo del cultivo, se evidenció la aparición de necrosis en los bordes de algunas hojas, seguida de clorosis en el resto del tejido foliar afectado, síntomas que se manifestaron aproximadamente a los cuatro días después de la aplicación de urea. Estas alteraciones fisiológicas, posiblemente vinculadas a una sobredosificación de nitrógeno, afectaron el desarrollo normal de las hojas, las cuales fueron retiradas de las plantas y, por tanto, no fueron consideradas en la cuantificación final. Este comportamiento explica la reducción en el número promedio de hojas en este tratamiento.

Cuadro N.º 13: Análisis de varianza ANOVA para el número de hojas por planta

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	52,94				
Tratamientos	3	30,64	9,650	6,542 *	2,85	4,44
Error	16	22,30	1,475			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

En el cuadro N.º 13 se presenta el análisis de varianza para la variable número de hojas por planta, donde se evidencia la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos, dado que el valor de *f*-calculada es mayor que el valor de la *f*-tabulada tanto al nivel de significancia del 5% como del 1%. Este resultado indica que al menos uno de los tratamientos difiere estadísticamente de los demás. En consecuencia, es necesario realizar una prueba de comparación de medias para identificar específicamente entre qué tratamientos se presentan dichas diferencias.

Cuadro N.º 14: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T2	50,5 a	50,5 a
T1	42 ab	42 ab
T3	42 ab	42 ab
T4	33 b	33 b

Fuente: Elaboración propia

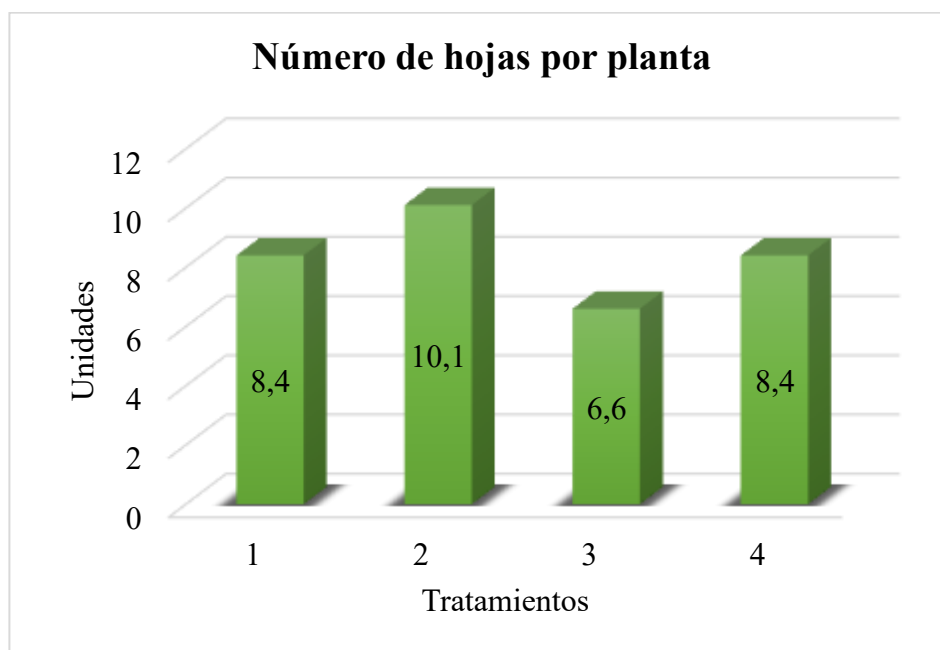
El cuadro N.º 14 presenta la prueba de Tukey para la variable respuesta número de hojas por planta, evaluada a los niveles de significancia del 5 % y 1 %.

Al nivel de significancia del 5%, se observa el tratamiento T2 presentando el mayor número de hojas (10 hojas/planta) perteneciendo al grupo “a”, mientras que el tratamiento T3 registró el menor número de hojas por planta (6,6 hojas/planta) correspondiendo al grupo “b” lo que indica que entre ambos tratamientos existe diferencias estadísticamente significativas. Por su parte, los tratamientos T1 y T4 presentaron valores intermedios (8,4 hojas/planta) ubicándose en el grupo “ab”, lo que significa que no presentan diferencias estadísticas ni con los tratamientos T2 y T3 ni entre ellos mismos, ya que comparten letras en común.

Al nivel de significancia del 1%, se mantiene la misma tendencia, donde el tratamiento T2 continúa presentando el mayor número de hojas ubicándose al grupo “a”, diferenciándose estadísticamente del tratamiento T4 perteneciendo al grupo “b” evidenciando diferencias significativas entre ambos. Asimismo, los tratamientos T1 y

T3 se agrupan en la categoría “ab”, lo que indica que no presentan diferencias significativas entre ellos ni con los demás tratamientos, mostrando un comportamiento intermedio.

Figura N.º 4: Gráfica del número de hojas por planta



Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 4 correspondiente al número de hojas por planta se observa, una variación en la respuesta del cultivo según los tratamientos. El tratamiento T2 registro el mayor promedio de (10,1 hojas por planta) demostrando un mejor desarrollo foliar, por el contrario, el tratamiento T3 registro el menor número de hojas (6,6 hojas por planta), incluso por debajo del tratamiento testigo (T1), lo que evidencia un efecto negativo en el desarrollo foliar. Por su parte, los tratamientos T1 y T4 presentaron valores medio (8,4 hojas por planta), reflejando un comportamiento moderado.

3.3. PORCENTAJE DE NITRÓGENO EN LA PLANTA

El porcentaje de nitrógeno en la planta constituye un indicador directo de la concentración de este nutriente en los tejidos vegetales, reflejando el estado nutricional

del cultivo. Valores elevados pueden asociarse con una adecuada disponibilidad y absorción de nitrógeno, lo que favorece al crecimiento y desarrollo de la planta.

Sin embargo, este parámetro no siempre guarda una relación directa con la producción de biomasa. En algunos casos, concentraciones altas de nitrógeno pueden estar asociadas a un menor crecimiento, generando un efecto de concentración del nutriente en tejidos reducidos. Por el contrario, en plantas con mayor desarrollo, puede presentarse un efecto de dilución, donde el nitrógeno se distribuye en una mayor cantidad de biomasa, reduciendo su porcentaje sin implicar necesariamente una deficiencia.

Cuadro N.º 15: Porcentaje de nitrógeno en la planta

% de nitrógeno en la planta							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	3,52	3,25	3,65	3,79	4,14	18,35	3,67
T2	3,83	3,59	4,17	4,03	3,91	19,53	3,91
T3	3,92	3,66	4,17	3,85	3,76	19,35	3,87
T4	3,98	3,89	3,99	3,89	3,62	19,36	3,87
SUMA	15,24	14,39	15,97	15,56	15,42	76,59	

Fuente: Elaboración propia

El cuadro N.º 15 presenta los valores promedio del porcentaje de nitrógeno en la planta en cada tratamiento. Se observa que el tratamiento T2 registro la mayor media, con 3,91% de nitrógeno en los tejidos vegetales, indicando una mayor eficiencia en la absorción y aprovechamiento del nutriente, favoreciendo al crecimiento y desarrollo del cultivo. Mientras que el tratamiento testigo T1 que presento el valor más bajo, con 3,67 %, lo cual puede atribuirse a una menor disponibilidad del nutriente en el sustrato, limitando su absorción y en consecuencia el desarrollo de la planta. Por su parte los tratamientos T3 y T4 presentaron valores intermedios e iguales, alcanzando ambos un

3,87 % de nitrógeno en la planta, lo que indica que, si bien existió disponibilidad de nitrógeno, esta no fue aprovechada de manera óptima por el cultivo.

En conjunto, estos resultados indican que el contenido de nitrógeno en la planta no depende únicamente de la dosis aplicada, sino también de la eficiencia fisiológica del cultivo y de las condiciones del sistema suelo-planta. En este sentido, el tratamiento T2 representaría un nivel cercano al óptimo de fertilización, donde se logra un equilibrio entre disponibilidad y aprovechamiento del nitrógeno.

Cuadro N.º 16: Análisis de varianza ANOVA para el porcentaje de nitrógeno en la planta

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	1,03				
Tratamientos	3	0,18	0,06	1,09	2,85	4,44
Error	16	0,85	0,05			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

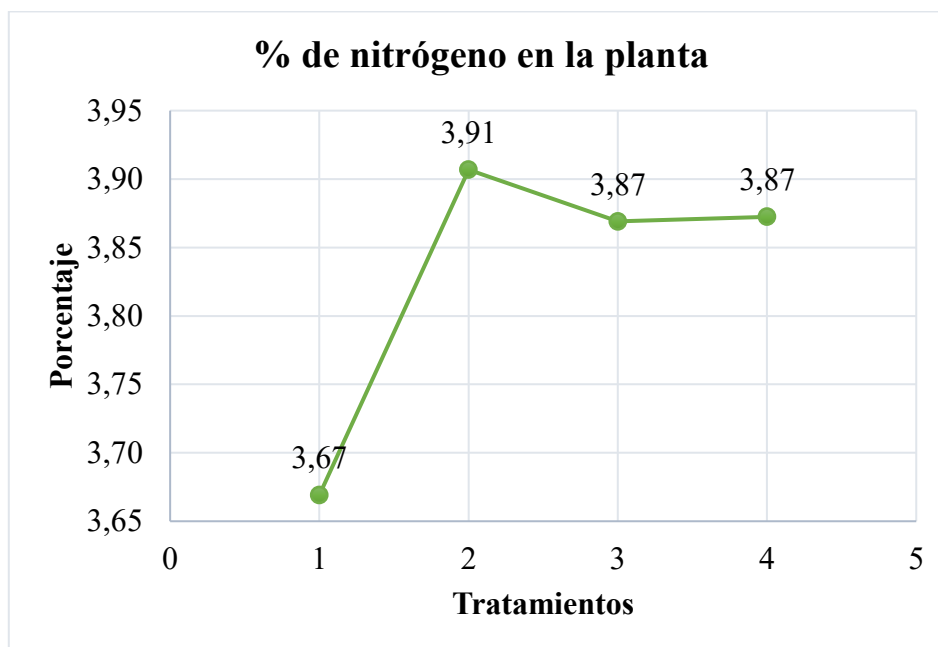
***** = Altamente significativo**

El cuadro N.º 16 se presenta el análisis de varianza para la variable porcentaje de nitrógeno en la planta, donde se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Esto se debe a que el valor de F calculada es menor que el valor de F tabulada a los niveles de significancia del 5 % y 1 %.

En consecuencia, se acepta la HO, la cual establece que la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno (127, 160, 190 y 220 kg/ha) no influye significativamente en la eficiencia de asimilación de nitrógeno en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L) bajo condiciones controladas, concluyendo que las distintas dosis de nitrógeno aplicadas no

generaron un efecto significativo sobre la acumulación de este nutriente en los tejidos vegetales.

Figura N.º 5: Gráfica del porcentaje de nitrógeno en la planta



Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 5 correspondiente al porcentaje de nitrógeno en la planta, el tratamiento T2 (3,91%) destacó por presentar el mayor contenido nitrógeno, destacándose frente a los demás tratamientos evaluados. Por otro lado, el tratamiento T1 (3,67%) registro el menor valor, evidenciando una menor acumulación del nutriente en la planta. Asimismo, los tratamientos T3 y T4 presentaron valores intermedios e iguales (3,87%), o que indica un comportamiento similar entre ambos tratamientos en cuanto a la absorción y asimilación del nitrógeno en el tejido vegetal.

En conjunto, estos resultados reflejan variaciones en el contenido de nitrógeno en la planta en función de los tratamientos aplicados.

3.4. PESO SECO DE LA PLANTA (g/planta).

La variable respuesta del peso seco de la planta o biomasa seca de la planta (g/planta) indica de manera directa la cantidad de biomasa real que ha producido la planta, representando por el crecimiento de la planta y la eficiencia fisiológica del cultivo.

Entre mayor es el peso seco de la planta nos indica un mejor desarrollo vegetativo, pudiéndose evidenciar una mayor acumulación de biomasa esto resulta de una adecuada disponibilidad y un aprovechamiento de los nutrientes, por el contrario, un menor peso seco de la planta refleja un crecimiento limitado y una menor acumulación de biomasa, lo cual puede estar asociado a deficiencias o desequilibrios nutricionales entre otros factores, estas limitaciones llegan a afectar directamente los procesos metabólicos de la planta restringiendo a la formación y crecimiento de las estructuras vegetativas.

Cuadro N.º 17: Peso seco de la planta (g/planta)

Peso seco de planta (g/planta)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	4,40	5,13	3,42	2,69	3,79	19,42	3,88
T2	5,17	3,63	4,03	4,71	3,03	20,57	4,11
T3	4,57	3,40	2,83	2,34	2,27	15,40	3,08
T4	3,69	4,25	4,21	4,06	3,83	20,03	4,01
SUMA	17,82	16,41	14,48	13,80	12,92	75,42	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 17 presenta los valores promedio de la variable respuesta peso seco de la planta (g/planta). Se observa que el tratamiento T2 registro el peso mayor con 4,11 gr/planta, lo que nos indica una mayor acumulación de biomasa y por ende un mejor desarrollo vegetativo del cultivo, en contraste, del tratamiento T3 presento el valor más bajo con 3,08 gr/planta lo cual refleja un crecimiento limitado y una menor producción de materia seca. Por su parte, los tratamientos T4 y T1 mostraron valores

intermedios de 4,01 g/planta y 3,88 g/planta, respectivamente, indicando de esta manera un comportamiento moderado en la acumulación de biomasa en comparación con los demás tratamientos.

La superioridad del tratamiento T2 puede atribuirse a una adecuada disponibilidad de nutrientes, favoreciendo a los procesos fisiológicos fundamentales, permitiendo de esa manera una mayor acumulación de biomasa, esto sugiere que la dosis aplicada en este tratamiento se aproxima al requerimiento óptimo del cultivo.

Sin embargo, el tratamiento T3 que obtuvo el menor rendimiento, a pesar de presentar una dosis mayor que el T2, mostro una disminución en la acumulación de biomasa indicando una menor eficiencia en la asimilación de el nitrógeno, dicho comportamiento puede estar asociado a un desbalance nutricional o a una menor capacidad de la planta para asimilar eficientemente el exceso de nitrógeno, afectando los procesos fisiológicos fundamentales.

Por otro lado, el T4 (190 kg de N/ha) presento mejores resultados que el tratamiento T3, sin embargo, no supero al tratamiento T2 lo que confirma que el aumento en la fertilización nitrogenada no necesariamente optimiza el rendimiento.

Adicionalmente, el exceso de nitrógeno puede generar desequilibrios nutricionales debido a interacciones antagonistas con otros elementos esenciales como el potasio, calcio magnesio, lo que afecta negativamente el desarrollo fisiológico del cultivo.

Cuadro N° 18: Análisis de varianza ANOVA para el peso seco de la planta

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	13,49				
Tratamientos	3	3,31	1,10	1,735	2,85	4,44
Error	16	10,18	0,64			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

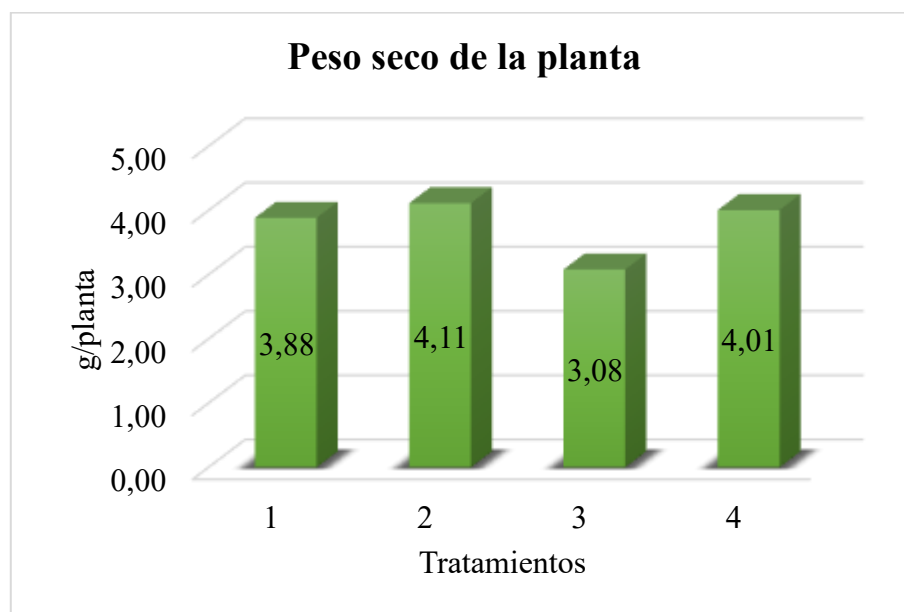
***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

El cuadro N.º 18 se presenta el análisis de varianza para la variable peso seco de la planta, donde se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de F calculada es menor que el valor de F tabulada a los niveles de significancia del 5 % y 1 %. Este resultado indica que las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas no generaron un efecto significativo sobre la acumulación de biomasa seca en el cultivo.

Asimismo, la acumulación de peso seco no depende únicamente de la disponibilidad de nitrógeno, sino también de la eficiencia fisiológica de la planta para transformar los nutrientes absorbidos en biomasa. Factores como el equilibrio con otros nutrientes esenciales y las condiciones ambientales del invernadero pueden haber influido en la respuesta del cultivo, limitando la expresión de diferencias significativas entre tratamientos.

Figura N.º 6: Gráfica del peso seco de la planta (g/planta)



Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 6 corresponde al peso seco de la planta g/planta, se observa que el tratamiento T2 (4,11 g/planta) destaca por presentar el mayor valor, evidenciando un mejor desarrollo de biomasa seca en comparación con los demás tratamientos evaluados. Sin embargo, el T3 (3,08 g/planta) registro el menor valor, mientras que los tratamientos T1 y T4 presentaron valores intermedios y similares (3,88 y 4,01 g/planta) respectivamente.

3.5. NITRÓGENO EXTRAÍDO POR LA PLANTA (g/planta)

El nitrógeno extraído por la planta (g/planta) constituye un indicador fundamental para evaluar la absorción y acumulación de este nutriente en el cultivo de lechuga, ya que permite cuantificar la cantidad total de nitrógeno incorporado en la biomasa. A diferencia del contenido porcentual, esta variable integra tanto la concentración del nutriente como la producción de materia seca, proporcionando una medida más completa de la eficiencia de absorción y utilización del nitrógeno disponible en el sustrato. En este sentido, su estudio permite evaluar la respuesta del cultivo a las dosis de nitrógeno aplicado.

Cuadro N.º 19: Nitrógeno extraído por la planta (g/planta)

Nitrógeno extraído por la planta (g/planta)							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	0,154	0,167	0,125	0,102	0,157	0,705	0,141
T2	0,198	0,130	0,168	0,190	0,118	0,805	0,161
T3	0,179	0,125	0,118	0,090	0,085	0,596	0,119
T4	0,147	0,165	0,168	0,158	0,139	0,776	0,155
SUMA	0,678	0,587	0,578	0,540	0,499	2,882	

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N.º 19 se presentan los valores promedio de la variable nitrógeno extraído por la planta (g/planta). Se observa que el tratamiento T2 registró el mayor valor (0,161 gr/planta), lo que indica una mayor absorción y acumulación de nitrógeno en la

biomasa vegetal. En contraste, el tratamiento T3 presentó el valor más bajo (0,119 g/planta), reflejando una menor capacidad de la planta para asimilar y acumulación de este nutriente. Por su parte, los tratamientos T1 y T4 mostraron valores intermedios (0,141 y 0.155 g/planta) respectivamente, evidenciando un comportamiento moderado en la extracción de nitrógeno en comparación con los demás tratamientos.

Este comportamiento se relaciona directamente con el número de hojas por planta, ya que el tratamiento T2, al presentar una mayor cantidad de hojas, dispone de una mayor superficie fotosintética y, por tanto, de una mayor demanda y capacidad de asimilación de nitrógeno. Las hojas constituyen el principal órgano donde se acumula este nutriente, por lo que un mayor desarrollo foliar favorece su absorción y utilización eficiente en los procesos metabólicos de la planta.

En contraste, el tratamiento T3, que registró el menor número de hojas, también presentó la menor extracción de nitrógeno, lo que sugiere una limitación en la capacidad de absorción y asimilación del nutriente.

Por su parte, los tratamientos T1 y T4, al presentar valores intermedios tanto en número de hojas como en nitrógeno extraído, evidencian una relación directa entre el desarrollo foliar y la capacidad de la planta para incorporar el nutriente. En este sentido, los resultados confirman que la extracción de nitrógeno no depende únicamente de la dosis aplicada, sino también del desarrollo foliar del cultivo, el cual condiciona la eficiencia en la absorción y aprovechamiento del nutriente.

Cuadro N.º 20: Análisis de varianza para el nitrógeno extraído por la planta (g/planta)

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	0,02				
Tratamientos	3	0,01	0,00	1,959	2,85	4,44
Error	16	0,01	0,00			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

En el Cuadro N.º 20 se presenta el análisis de varianza para la variable nitrógeno extraído por la planta (g/planta), donde se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de F calculada es menor que el valor de F tabulada a los niveles de significancia del 5% y 1%.

3.6. PORCENTAJE DE ASIMILACIÓN DEL NITRÓGENO

El porcentaje de asimilación del nitrógeno constituye un índice que indica la eficiencia con la que el cultivo aprovecha el nitrógeno aplicado, ya que expresa la proporción del nutriente que es absorbida e incorporada en la biomasa vegetal. Valores elevados reflejan un mayor aprovechamiento del fertilizante, lo que implica una adecuada sincronización entre la disponibilidad del nitrógeno en el sustrato y la demanda del cultivo.

Por el contrario, valores bajos sugieren pérdidas del nutriente o una limitada capacidad de la planta para absorberlo y asimilarlo, lo cual puede estar asociado a factores como dosis inadecuadas, condiciones del suelo o desequilibrios nutricionales.

Cuadro N.º 21: Porcentaje de asimilación del nitrógeno

Porcentaje de asimilación del nitrógeno							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	15,448	16,657	12,497	10,187	15,675	70,465	14,093
T2	99,083	65,231	83,841	95,001	59,191	402,347	80,469
T3	44,680	31,136	29,467	22,505	21,263	149,050	29,810
T4	26,177	29,515	29,931	28,166	24,786	138,574	27,715
SUMA	185,388	142,538	155,735	155,859	120,915	760,435	

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N.º 21 se presentan los valores promedio del porcentaje de asimilación del nitrógeno en la planta. Se observa que el tratamiento T2 registró el valor más alto (80,469 %), lo que indica una mayor eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno aplicado. En contraste, el tratamiento T1 presentó el valor más bajo (14,093%), evidenciando una menor capacidad del cultivo para absorber y asimilar el nutriente suministrado. Por su parte, los tratamientos T3 y T4 mostraron valores intermedios (29,810% y 27, 715%), reflejando un comportamiento moderado en la eficiencia de uso del nitrógeno.

En el caso del tratamiento T2, la alta eficiencia observada indica una adecuada sincronización entre la disponibilidad del nitrógeno en el sustrato y la demanda del cultivo, lo que favorece su absorción. En contraste, el bajo porcentaje registrado en el tratamiento T1 puede estar asociado a una limitada disponibilidad del nutriente, lo que restringe su aprovechamiento. Por otro lado, los valores intermedios observados en los tratamientos T3 y T4, a pesar de corresponder a dosis más elevadas, sugieren que un exceso de nitrógeno no necesariamente mejora su asimilación, pudiendo generar desequilibrios nutricionales o una menor eficiencia fisiológica en su uso.

Estos resultados coinciden con lo reportado por Sánchez, Crespo, Botía, Sironi y Sánchez (2002), quienes señalan que la absorción de nitrógeno en lechuga está sujeta

a variaciones en función de diversos factores, destacando que en condiciones favorables, como en ciclos de cultivo de verano, la absorción puede acercarse a su potencial máximo (>90 %), mientras que en condiciones menos favorables, como en ciclos de otoño-invierno, esta puede disminuir considerablemente, incluso por debajo del 50 %. En este contexto, la alta eficiencia observada en el tratamiento T2 sugiere condiciones cercanas a un aprovechamiento óptimo del nitrógeno, mientras que los demás tratamientos reflejan limitaciones en su asimilación.

Cuadro N.º 22: Análisis de varianza ANOVA para el porcentaje de asimilación del nitrógeno

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	14391,657				
Tratamientos	3	12740,259	4246,753	41,146	2,85	4,44
Error	16	1651,398	103,212			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

En el Cuadro N.º 22 se presenta el análisis de varianza para la variable porcentaje de asimilación del nitrógeno, donde se observa que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. Esto se evidencia debido a que el valor de F calculada (41,146) es superior al valor de F tabulada tanto al nivel de significancia del 5 % (2,85) como al 1 % (4,44).

En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), aceptándose la hipótesis alternativa (H_1), lo que indica que las diferentes dosis de nitrógeno aplicadas sí influyen significativamente en la eficiencia de asimilación del nutriente por parte del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Asimismo, la magnitud de la F calculada sugiere una marcada diferencia en la respuesta del cultivo frente a los niveles de nitrógeno evaluados, lo que justifica la necesidad de realizar pruebas de comparación de medias.

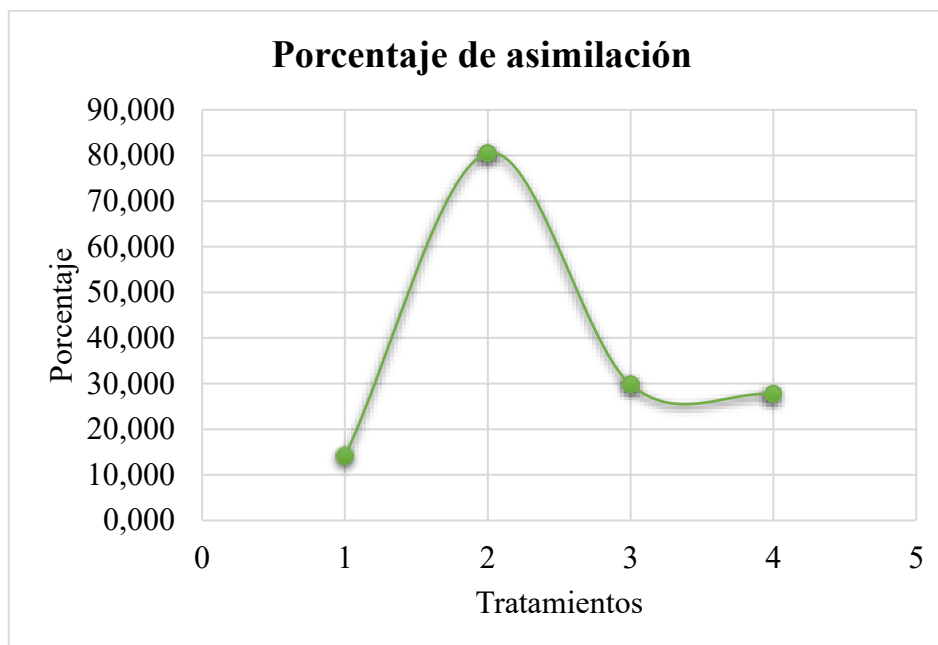
Cuadro N.º 23: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T2	80,46 a	80,46 a
T1	29,81b	29,81b
T4	27,71b	27,71b
T3	14,09b	14,09b

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N.º 23 se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey para la variable porcentaje de asimilación del nitrógeno, evaluada al 5 % y 1 % de significancia. Los resultados muestran que el tratamiento T2 obtuvo el mayor valor promedio (80,46 %), ubicándose en el grupo “a”, lo que indica que presenta diferencias estadísticamente significativas respecto a los demás tratamientos.

Por otro lado, los tratamientos T1 (29,81 %), T4 (27,71 %) y T3 (14,09 %) se agrupan en el grupo “b”, lo que significa que no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí, pero sí difieren significativamente del tratamiento T2, tanto al nivel del 5 % como del 1 %.

Figura N.º 7: Gráfica del porcentaje de asimilación

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N.º 7 correspondiente al porcentaje de asimilación del nitrógeno, se observa que el tratamiento T2 (80,47 %) destacó por presentar el mayor nivel de asimilación, evidenciando una mayor eficiencia en el aprovechamiento del nitrógeno aplicado. En contraste, el tratamiento T1 (14,09 %) registró el valor más bajo, reflejando una limitada capacidad del cultivo para absorber y asimilar el nutriente. Por su parte, los tratamientos T3 y T4 presentaron valores intermedios y relativamente similares (29,81 % y 27,72 %, respectivamente), indicando un comportamiento moderado en la eficiencia de uso del nitrógeno en comparación con los demás tratamientos.

3.7. NITRÓGENO EN EL SUSTRATO POSTCOSECHA (kg/ha)

La cuantificación del contenido de nitrógeno presente en el sustrato postcosecha es de gran importancia ya que permite evaluar de manera indirectamente la relación entre el nitrógeno aplicado y el nitrógeno absorbido por el cultivo. Esta variable constituye un indicador clave de la eficiencia en el uso del nutriente, ya que refleja la fracción de nitrógeno que permanece en el sustrato luego del ciclo de cultivo.

En este sentido, Mengel y Kirkby (2001) señalan que la evaluación del nitrógeno en el sustrato postcosecha contribuye al desarrollo de prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles, al facilitar un manejo racional del fertilizante y reducir el impacto ambiental asociado a su uso.

Cuadro N.º 24: Nitrógeno en el suelo postcosecha

Nitrógeno en el sustrato postcosecha kg/ha							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	87,32	87,55	86,90	87,74	87,81	437,32	87,464
T2	102,34	101,95	102,75	102,52	102,36	511,92	102,384
T3	112,48	112,85	113,30	112,30	112,25	563,18	112,6360
T4	102,54	102,36	102,97	103,05	102,43	513,35	102,67
SUMA	404,68	404,71	405,92	405,61	404,85	2025,77	

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 24 se presenta los valores promedio de la cantidad de nitrógeno en el suelo postcosecha, expresados en kg/ha. Se observa que el tratamiento T3 registro la media más alta (112,63 kg de N/ha). En contraste, el tratamiento T1 que el valor más baja (87,464 kg de N/ha), mientras que los tratamientos T2 y T4 mostraron valores intermedios y relativamente similares (102,384% y 102,67%) respectivamente.

Este comportamiento sugiere que en el tratamiento T3 el cultivo no logró absorber completamente el nitrógeno aplicado, lo que dio lugar a una mayor cantidad de nitrógeno residual en el suelo al finalizar el ciclo del cultivo.

En este contexto, Sánchez, Crespo, Botía, Sironi y Sánchez (2002) señalan que la concentración de nitrógeno en el suelo está determinada por un equilibrio dinámico entre tres componentes principales: el nitrógeno aportado mediante la fertilización, el nitrógeno absorbido por el cultivo y las pérdidas que ocurren en el sistema, principalmente por lixiviación. Cuando este equilibrio se rompe, ya sea por una baja

absorción del cultivo o por una alta disponibilidad del nutriente, se produce una acumulación de nitrógeno residual en el suelo.

En el caso del tratamiento T4, a pesar de haber recibido una mayor dosis de nitrógeno, no presentó el valor más alto en el contenido residual, lo que podría indicar que parte del nitrógeno aplicado no permaneció en el suelo. Este comportamiento puede estar asociado a pérdidas por lixiviación o volatilización, especialmente cuando se aplican dosis elevadas que superan la capacidad de absorción del cultivo.

Cuadro N.º 25: Análisis de varianza ANOVA para el nitrógeno en el suelo postcosecha

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	1617,02				
Tratamientos	3	1614,96	538,32	4174,308**	2,85	4,44
Error	16	2,06	0,13			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

En el Cuadro N.º 25 se presenta el análisis de varianza para la variable nitrógeno presente en el suelo postcosecha (kg/ha). Los resultados muestran que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, debido a que el valor de F calculada es superior al valor de F tabulada tanto al nivel de significancia del 5 % como del 1 %.

Por lo tanto, para identificar específicamente entre qué tratamientos se presentan estas diferencias, es necesario realizar una prueba de comparación de medias.

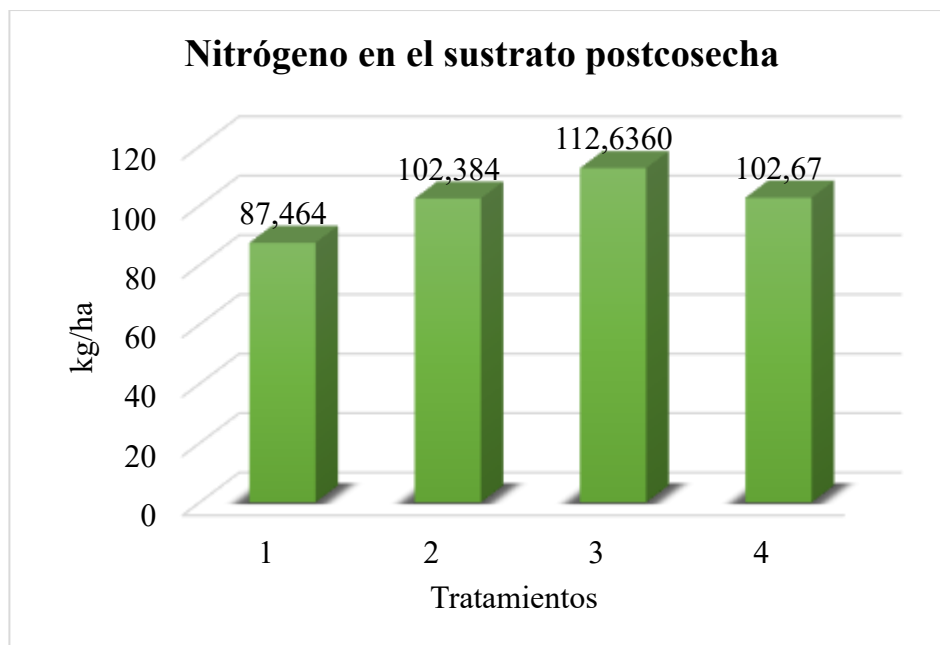
Cuadro N° 26: Prueba de Tukey para los tratamientos

Tratamientos	5%	1%
T3	112,63 a	112,63 a
T4	102,67b	102,67b
T2	102,38 b	102,38 b
T1	87,46 c	87,46 c

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N.º 26 se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey para la variable nitrógeno presente en el suelo postcosecha (kg/ha), evaluada al 5 % y 1 % de significancia. Los resultados muestran que el tratamiento T3 obtuvo el mayor valor promedio (112,63 kg/ha), ubicándose en el grupo “a”, el tratamiento T1 con el menor valor promedio (87,46 kg/ha) se ubica en el grupo “c”, lo que indica que presenta diferencias altamente significativas con el tratamiento T3 con los demás tratamientos.

Por otro lado, el tratamiento T4 (102,67 kg/ha) y T2 (102,38 kg/ha) se ubica en el grupo “b”, evidenciando diferencias significativas con el tratamiento T3 y T1 pero manteniendo un comportamiento intermedio.

Figura N.º 8: Nitrógeno en el sustrato postcosecha

Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 8 correspondiente al nitrógeno presente en el sustrato postcosecha se puede observar que el tratamiento T3 presentó el mayor contenido de nitrógeno presente en el suelo, con un valor de 112,63 kg de N/ha. Por otro lado, el tratamiento T1 (testigo) registró el menor valor, con 87,46 kg de N/ha, asimismo los tratamientos T3 (102,38 kg de N/ha) y T4 (102,67 kg de N/ha) presentan valores intermedios de nitrógeno en el suelo, situándose entre el tratamiento de mayor y menor contenido, lo que refleja un comportamiento moderado en la dinámica del nitrógeno residual en el sustrato.

3.8. PÉRDIDA DE NITRÓGENO POR LIXIVIACIÓN (mg/planta)

La variable de nitrógeno lixiviado, expresado en mg/planta, es de gran importancia porque permite evaluar las pérdidas de este nutriente fuera de la zona radicular del cultivo. Este parámetro constituye un indicador en el análisis de la eficiencia del uso del nitrógeno, ya que proporciona información sobre la fracción de la cantidad del nutriente que no es aprovechada por la planta.

Cuadro N.º 27: Pérdida de nitrógeno por lixiviación (mg/planta)

Pérdida de nitrógeno por lixiviación mg/planta							
Tratamientos	Replicas					SUMA	MEDIA
	I	II	III	IV	V		
T1	3,0	3,5	2,3	2,5	3,8	15,0	3,0
T2	1,6	1,3	1,4	1,6	1,7	7,5	1,5
T3	2,7	2,3	2,4	3,0	2,3	12,5	2,5
T4	2,5	2,5	2,8	2,7	2,6	13,0	2,6
SUMA	9,7	9,6	8,8	9,8	10,2	48,0	

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro N.º 27 presenta los valores promedio de la pérdida de nitrógeno por lixiviación, expresado en mg/planta. Se observa que el tratamiento T1 presentó el mayor promedio de lixiviación (3,0 g/planta), indicando una mayor pérdida del nutriente, mientras que el tratamiento T2 registró el menor valor (1,5 mg/planta), lo que refleja una mayor eficiencia en la retención y aprovechamiento del nitrógeno por parte del cultivo, mientras que los tratamientos T3 y T4 presentaron valores intermedios y similares (2,5 mg/planta) y (2,6 mg/planta) respectivamente, evidenciando un nivel moderado de pérdidas del nutriente.

El mayor valor observado en el tratamiento T1 puede atribuirse a una menor capacidad de absorción del cultivo, relacionado con un menor desarrollo vegetativo, lo que limita la captación del nitrógeno disponible y favorece su pérdida. En contraste, el tratamiento T2, al presentar mejores resultados en variables como número de hojas, altura y contenido de nitrógeno en la planta, logró una mayor sincronización entre la oferta y la demanda del nutriente, reduciendo las pérdidas por lixiviación.

En el caso de los tratamientos T3 y T4, indican que el exceso de nutriente supera la capacidad de absorción de la planta, favoreciendo su movilización fuera de la zona radicular. Cuando la cantidad de nitrógeno disponible supera la capacidad de absorción

del cultivo, se genera un excedente que no es aprovechado por la planta. Este nitrógeno residual queda expuesto a procesos de pérdida, siendo la lixiviación uno de los más importantes, especialmente bajo condiciones de riego frecuente o alta humedad del sustrato.

Cuadro N.º 28: Análisis de varianza ANOVA para la pérdida de nitrógeno por lixiviación mg/planta

Fuente de variación	grados de libertad	suma de cuadrados	cuadrado medio	f-calculada	f-tabulada	
					5%	1%
Total	19	8,29				
Tratamientos	3	6,10	2,033	14,889	2,85	4,44
Error	16	2,19	0,137			

Fuente: Elaboración propia

NS = No significativo

***= Significativo**

***** = Altamente significativo**

En el cuadro N.º 28 se presenta el análisis de varianza para la variable pérdida de nitrógeno por lixiviación (mg/planta). Los resultados muestran que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados. Esto se debe a que el valor de F calculada es superior a los valores de F tabulada tanto al nivel de significancia del 5 % como del 1 %.

Por lo tanto, para determinar específicamente entre qué tratamientos se presentan estas diferencias, es necesario realizar una prueba de comparación de medias, como la prueba de Tukey.

Cuadro N.º 29: Prueba de Tukey para los tratamientos

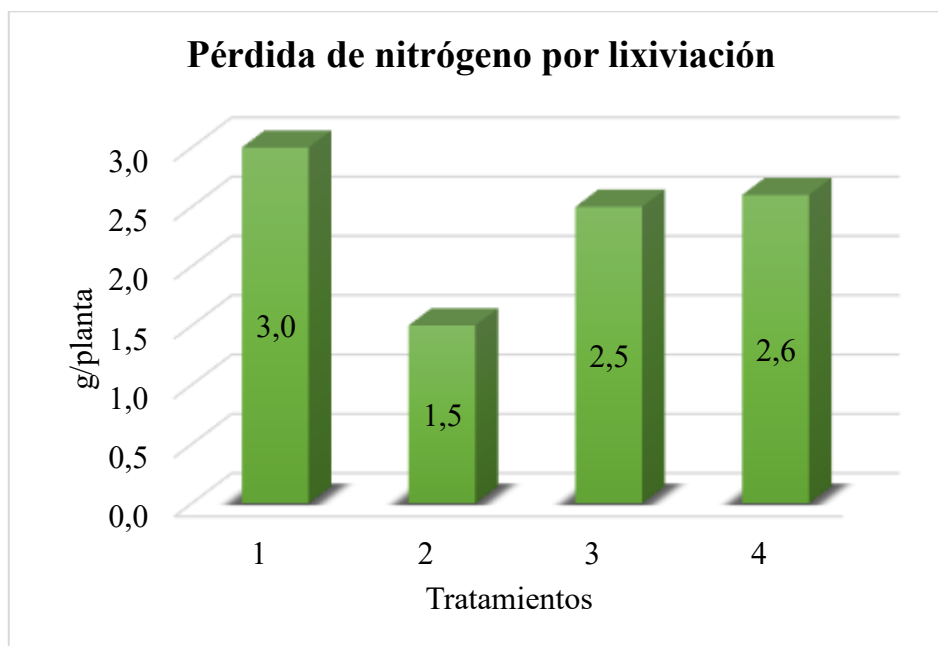
Tratamientos	5%	1%
T1	3,0 a	3,0 a
T4	2,6 b	2,6 b
T3	2,5 b	2,5 b
T2	1,5 b	1,5 b

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N.º 29 se presenta la prueba de comparación de medias de Tukey para la pérdida de nitrógeno por lixiviación, evaluada a los niveles de significancia del 5 % y 1 %. Los resultados evidencian que el tratamiento T1 registro el mayor valor promedio (3,0 mg/planta), ubicándose en el grupo “a”, lo que indica que presenta diferencias estadísticamente significativas en comparación con los demás tratamientos.

Por otro lado, los tratamientos T4 (2,6 mg/planta), T3 (2,5 mg/planta) y T2 (1,5 %) se agrupan en el grupo “b”, lo que refleja que no existen diferencias estadísticas significativas entre sí, pero sí difieren significativamente respecto al tratamiento T1, tanto al nivel del 5 % como del 1 %.

Figura N.º 9: Pérdida de nitrógeno por lixiviación (mg/planta)



Fuente: Elaboración propia

En la figura N.º 9 correspondiente a la pérdida de nitrógeno por lixiviación (mg/planta), se se observa una variabilidad en los valores promedio entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1 presento el mayor promedio de lixiviación, con un promedio de 3,0 mg/planta lo que indica una mayor pérdida de nitrógeno. Por otro lado, el tratamiento T2 presento el valor más bajo, con 1,5 mg/planta, evidenciando una menor pérdida del nutriente, en contraste, los tratamientos T4 y T3 presentaron valores intermedio e similares, con promedios de 2,6 mg/planta y 2,5 mg/planta respectivamente, lo que refleja un comportamiento moderado en la pérdida de nitrógeno por lixiviación en comparación al tratamiento T1.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El porcentaje de asimilación del nitrógeno varía significativamente en función a la dosis aplicada, siendo el tratamiento T2 (160 kg de N/ha) el que aprovecho de mejor manera el nutriente. Por el contrario, el tratamiento T1 (127 kg de N/ha) presentó una menor asimilación debido a la baja disponibilidad de nitrógeno, si bien el sustrato tenía 127 kg de N/ha este no estaba disponible para que la planta lo asimile, mientras que los tratamientos T3 (190 kg de N/ha) y T4 (220 kg de N/ha), a pesar de recibir mayores dosis, mostraron una menor eficiencia en la asimilación, evidenciando que el exceso de nitrógeno no garantiza un mejor aprovechamiento y puede generar desequilibrios fisiológicos.
- El contenido de nitrógeno presente en el sustrato postcosecha fue influenciada significativamente por las dosis aplicadas, siendo el tratamiento T3 (190 kg de N/ha) el que presentó el mayor contenido residual. Este resultado indica una menor eficiencia en la asimilación del nitrógeno, debido a que parte del nutriente no fue absorbido por el cultivo. En contraste, el tratamiento T2 (160 kg de N/ha) presentó menores niveles de nitrógeno residual, lo que evidencia un mejor aprovechamiento del fertilizante aplicado.
- Los diferentes niveles de fertilización nitrogenada influyeron en el crecimiento vegetativo del cultivo de lechuga, evidenciándose que el tratamiento T2 (160 kg de N/ha) presentó el mejor desempeño, reflejado los valores de peso seco y número de hojas por planta. Esto indica que una dosis intermedia de nitrógeno favorece el desarrollo del cultivo, mientras que dosis inferiores como del T1 (127 kg de N/ha) limitan el crecimiento y dosis superiores de los tratamientos T3 (190 kg de N/ha) y T4 (220 kg de N/ha) no genero mejoras adicionales en cuanto número de hojas y biomasa.

- En conjunto, los resultados permiten concluir que existe un rango óptimo de fertilización nitrogenada, representado por el tratamiento T2 (160 kg de N/ha), en el cual se maximiza la eficiencia de asimilación del nitrógeno, favoreciendo al crecimiento del cultivo y se minimiza la acumulación de nitrógeno residual en el sustrato. Esto demuestra que la eficiencia en el uso del nitrógeno no depende únicamente de la cantidad aplicada, sino de su adecuada sincronización con la demanda del cultivo.
- Se concluye que la pérdida de nitrógeno fue menor en el tratamiento T2 (160 kg de N/ha) evidenciando una mayor eficiencia en el aprovechamiento del nutriente, reflejada en la cantidad de nitrógeno presente en biomasa. En contraste, el tratamiento T1 (127 kg de N/ha) registró las mayores pérdidas, asociado a una menor capacidad de absorción del cultivo. Por su parte, los tratamientos T3 (190 kg de N/ha) y T4 (220 kg de N/ha), a pesar de recibir mayores dosis de nitrógeno, mostraron valores intermedios de lixiviación, lo que sugiere que parte del nutriente fue retenido en el sustrato limitando su desplazamiento.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para la producción del cultivo de lechuga, se recomienda una dosis de 160 kg de N/ha correspondiente al tratamiento 2 de la presente investigación ya que maximizo la eficiencia de asimilación del nitrógeno, favoreciendo al crecimiento del cultivo.
- Se recomienda realizar una fertilización nitrogenada de forma fraccionada, con la finalidad de mejorar la disponibilidad del nutriente a lo largo del ciclo del cultivo y reducir pérdidas por lixiviación y volatilización.
- Se sugiere evitar el uso de dosis elevadas de fertilizantes nitrogenados, debido a que no generan incrementos significativos en el rendimiento del cultivo y generan acumulación del nutriente en el suelo. Este exceso provoca desequilibrios nutricionales, afectando en la absorción de otros elementos esenciales como potasio, magnesio y calcio, lo que repercute negativamente en el desarrollo radicular y foliar.
- Se aconseja optimizar el manejo del riego, evitando aplicaciones excesivas de agua que favorezcan el desplazamiento del nitrógeno fuera de la zona radicular.
- Se recomienda realizar réplicas del estudio en condiciones de campo abierto con la finalidad de validar los resultados obtenidos en condiciones controladas.