



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA



Efecto del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento en forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* L.).

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

Condori Tello Karina Lizeth
Flores Guevara Jefry Paolo

TUMBES – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA



TESIS

Efecto del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento en forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* L.).

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

Bach. Karina Lizeth Condori Tello
Tesisista

Bach. Jefry Paolo Flores Guevara
Tesisista

Dr. Ramón García Seminario
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA



Efecto del nitrógeno en el crecimiento y rendimiento en forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y sorgo (*Sorghum vulgare* L.).

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

APROBADO POR:

Dr. Carlos Deza Navarrete
Presidente

MSc. Jalmer Campaña Olaya
Secretario

Dr. Carlos Zamora Gutierrez
Vocal

DEDICATORIA

A Dios, por ser el principio y el fin de todo.

A mi hija AKARY, por estar a mi lado y alegrarme la vida.

A Noe por ser mi compañero y apoyo incondicional.

A mis padres, Vilma y Anacleto quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mí apoyo en todo momento.

A mi hermano, Deyvis por su cariño brindado

A mis tíos, Margarita, Willian y a mis primas, Marilyn, Stephanie, Kiara por la confianza y el apoyo incondicional en mi carrera profesional.

Karina Condori Tello

A DIOS por iluminar mi vida y darme la fortaleza por lograr mis metas.

A mis padres, Cristina y Manuel por brindarme el amor la confianza y el apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mi novia Evelyn Moretti por ser parte de este trabajo y ser parte incondicional de mi vida.

A mis hermanos, Dewey, Kade y Samir por el cariño la paciencia y la motivación brindada.

A mis sobrinos Axel, zhaid y khalessy por alegrar mi vida.

Jefry Flores Guevara

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Ramón García Seminario, por su asesoría, confianza y por sus grandes contribuciones en la realización de este trabajo de investigación.

Al Lic. Gaspar Chávez Dioses, por el apoyo brindado durante la ejecución de nuestro proyecto.

Al MSc. Jalmer Campaña Olaya, por ayudarnos en el desarrollo de este trabajo.

A la Ing. Evelyn Moretti Aguilar, por los aportes y facilidades para lograr este trabajo, pero sobre todo por su apoyo de inicio a fin en este trabajo.

Al Sr. Miguel Pulache, por su ayuda en las labores de campo.

A nuestro amigo Kenlli Vilela Purizaga, por involucrarse en este proyecto desinteresadamente y acompañarme en los gratos y malos momentos.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en el taller de enseñanza e investigación de cultivos hidropónicos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, durante los meses de abril a julio del 2019. Se evaluó el crecimiento, rendimiento y contenido de nitrógeno total de las gramíneas forrajeras maíz (*Zea mays* L.), cebada (*Hordeum vulgare*), arroz (*Oryza sativa*) y sorgo (*Sorghum vulgare*) cultivadas en solución nutritiva comercial de la Universidad Agraria La Molina, conteniendo tres niveles de nitrógeno (237.50, 285.00 y 332.50 ppm) más un testigo (190.00 ppm, dosis referencial). Las concentraciones de 237.50 y 285.00 ppm N, que corresponden al 25 y 50% más de Nitrógeno favorecieron el crecimiento (altura de tallo, Biomasa fresca y seca de parte aérea y raíz) y rendimiento, mientras que 332.50 (75% más de N) los deprimen. El máximo contenido de nitrógeno total, se obtuvo con la dosis de 332.50 ppm.

Palabras clave: gramínea forrajera, solución nutritiva, crecimiento, nitrógeno

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II	
2.1. MARCO TEÓRICO	
2.1.1. Aspectos relacionados con plantas forrajeras.....	2
2.1.2. Solución nutritiva.....	8
2.1.3. Aspectos relacionados con el elemento nitrógeno.....	8
2.1.4. Desordenes fisiológicos.....	9
2.2. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES.....	10
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. Lugar de ejecución.....	12
3.2. Materiales, insumos, Herramientas y equipos.....	12
3.3. Metodología.....	14
3.4. Componentes en estudio.....	14
3.5. Diseño experimental.....	15
3.6. Características de las unidades experimentales.....	16
3.7. Plan de ejecución.....	16
3.8. Observaciones experimentales.....	21
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS	
4.1. Altura de tallo.....	23
4.2. Biomasa fresca de la parte aérea.....	24
4.3. Biomasa fresca de la raíz.....	25
4.4. Biomasa seca de la parte aérea.....	26
4.5. Biomasa seca de la raíz.....	27
4.6. Rendimiento.....	28
4.7. Concentración de nitrógeno total en hoja.....	29
CAPÍTULO V	
DISCUSIÓN.....	30
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES.....	33
CAPÍTULO VII	
RECOMENDACIONES.....	34
CAPÍTULO VIII	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
ANEXOS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efecto del nitrógeno sobre la altura del tallo en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	23
Figura 2. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía	24
Figura 3. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa fresca de raíz en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	25
Figura 4. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa seca de la parte aérea en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	26
Figura 5. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa seca de la raíz en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	27
Figura 6. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	28
Figura 7. Contenido de nitrógeno total en hojas de cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.....	29

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial está demandando cada vez más un mayor consumo de carne. Debido a que el ganado tiene una dieta mayoritariamente basada en cereales, esto significa que la producción mundial de cereales debe duplicarse para el año 2050 para cumplir con las demandas de la población en aumento y los cambios en las dietas alimenticias (Verhulst et al., 2015).

En la región de Tumbes predomina una ganadería extensiva debido a la falta de pastos y forraje cultivados, la cual afecta la producción y calidad de las carnes con consecuencia negativas para la alimentación de la población.

El forraje verde hidropónico (FVH) se ha convertido en una alternativa como solución de déficit de pastos, por cuanto ofrecen productos de calidad y en cortos períodos de tiempo. Con el uso del forraje verde hidropónico se han obtenido excelentes resultados en la alimentación de vacunos, porcinos, caprinos, cuyes y conejos. Los animales no sufren de enfermedades digestivas, la calidad es obvia, por cuanto para la obtención del FVH se utiliza agua potable y no se aplican pesticidas tóxicos, para la obtención de plantas vigorosas e incrementos de los rendimientos y calidad de los productos agrícolas.

En una producción intensiva de pastos se utiliza grandes cantidades de fertilizantes nitrogenados con el fin de incrementar el rendimiento y las características morfológicas de las plantas (tamaño de la hoja, color verde intenso, mayor área foliar), sin tener en cuenta los efectos tóxicos que ocasionan en esas plantas y los perjuicios indirectos que puede causar el elemento nitrógeno, mediante la acumulación de sus principales metabolitos (nitrito, nitrato, óxido nitroso y compuestos nitrosos) cuando superan fácilmente los límites permisibles establecidos, con consecuencias perjudiciales en los animales y por ende en la salud humana (Food And Agriculture Organization [FAO], 2003).

Esta investigación tuvo como objetivo, evaluar la toxicidad del nitrógeno en las gramíneas forrajeras, cebada, maíz, sorgo y arroz cultivadas en solución nutritiva.

CAPÍTULO II

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Aspectos relacionados con plantas forrajeras.

2.1.1.1. Plantas forrajeras.

Las plantas forrajeras que se utilizan en la nutrición del ganado, generalmente son gramíneas (maíz, sorgo, arroz, cebada, avena, trigo y pasto elefante) y leguminosas (alfalfa y soya). Estas plantas se utilizan por su rápido desarrollo y alto valor nutritivo que alcanzan en el estado de plántula (Rivera, 2010).

2.1.1.2. Cebada

Es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, porque puede cultivarse bajo sistemas agrícolas de alta productividad, así como en ambientes marginales y de subsistencia. Este cultivo ocupa el cuarto lugar en superficie cultivada, después del maíz, trigo y arroz, con 53 millones de hectáreas cultivadas (González et al., 2013).

a) Origen y distribución

Rimache (2008) y Santoyo *et al* (2004), indican que la cebada, fue una de las primeras especies en ser cultivadas por el ser humano en el inicio de la agricultura, mencionan además que este proceso se dio en el sudeste de Asia y África septentrional.

La adaptabilidad de la cebada a diferentes terrenos ha facultado su entrada a diferentes regiones, en algunas partes tropicales como la India, montañas altas de Etiopía y Oasis del Sahara, el bajo Delta del Nilo y suelos australianos de gran alcalinidad (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas [Fenalce], 2010).

b) Taxonomía

Pérez (2010), clasifica a la cebada dentro de las siguientes categorías taxonómicas:

Reino : Plantae
División : Magnoliophyta
Clase : Liliopsida
Orden : Poales
Familia : Poaceae
Género : *Hordeum*
Especie : *Hordeum vulgare* L.

c) Características botánicas

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2009) menciona que la planta de cebada tiene una raíz fasciculada (raíces primarias y secundarias), con tipo de tallo de caña hueca con entrenudos, hojas con vaina basal y lámina, espiga que contiene granos con y sin cáscara protectora.

2.1.1.3. Maíz

Paliwal (2001), considera al maíz como una especie de gran importancia económica, cultivada a lo extenso de todo el

mundo, siendo uno de los alimentos de consumo básico en muchas poblaciones. El maíz, es uno de los tres cereales que dominan la economía mundial de los granos, los otros dos son el trigo y el arroz (FAO, 2004).

a) Origen y distribución

Olivo (2001), señala que el maíz es una especie originaria de América del sur. Los géneros de origen americano son: *Zea*, *Tipsacum* y *Euchlaena*, siendo de gran importancia para la población mundial por gran variabilidad y una adaptación extremadamente amplia.

b) Taxonomía

Paliwal (2001), clasifica al maíz en las siguientes categorías taxonómicas:

Reino	:	Plantae
División	:	Magnoliophyta
Clase	:	Liliopsida
Orden	:	Poales
Familia	:	Poaceae (Gramíneae)
Sub familia	:	Panicoideae
Tribu	:	Andropogoneae
Género	:	<i>Zea</i>
Especie	:	<i>Zea mays</i>

c) Características botánicas

Olivo *et al.*, (2001) indica que el maíz es una planta herbácea anual, que llega a crecer de 2 a 3 m de

altura por unos 6 cm de grosor, aunque con diferencias según la variedad, clima y tipo de suelo, los tallos o cañas lo forman una sucesión de nudos y entre nudos. Las hojas se disponen alternadamente en dos filas a lo largo del tallo (Rabí, 2001).

2.1.1.4. Arroz

El cultivo de arroz es muy importante tanto por su área de siembra como por la gran demanda de mano de obra que requiere; a nivel nacional dentro de los cereales, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo, la misma que al incrementarse ha propiciado un mayor consumo, por su alto contenido calórico y proteico (Alva, 2000).

a) Origen y distribución

El cultivo del arroz, comenzó hace casi 10.000 años, en regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Este cultivo es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial. A nivel mundial, ocupa el segundo lugar después del trigo con relación a superficie cosechada (Acevedo *et al.*, 2006).

b) Taxonomía

Zúñiga (2002), agrupa al arroz (*Oryza sativa* L.) en las siguientes categorías taxonómicas:

Reino : Plantae
División : Angiospermas
Clase : Monocotiledoneas
Orden : Poales
Familia : Poaceae

Tribu : Oryzeae
Género : *Oryza*
Especie : *Oryza sativa* L.

c) Características botánicas

Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA, 2003), describe al arroz, como una planta herbácea que presenta raíces delgadas, fibrosas y fasciculadas, con tallo cilíndrico de 60-120 cm de altura; hojas alternas que envainan el tallo, con limbo lineal, agudo, largo y plano.

2.1.1.5. Sorgo

Morales (2002), indica que una característica importante en el cultivo de sorgo es la altura que alcanza de 160 a 170 cm, la cual es la óptima para la cosecha mecanizada en cambio alturas mayores o menores traen inconvenientes en la cosecha mecanizada.

a) Origen y distribución

Según el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA, 2007) el sorgo tuvo su origen en África, y llegó a Centroamérica a través de la India, China y Estados Unidos.

b) Taxonomía

Pérez, et.al. (2010), propone la siguiente clasificación taxonómica:

Reino : Plantae
División : Magnoliophyta

Clase : Liliopsida
Orden : Poales
Familia : Poaceae
Subfamilia : Panicoideae
Tribu : *Andropogonae*
Género : *Sorghum*.
Especie : *Sorghum vulgare*

c) Características botánicas

La especie de sorgo, presenta un sistema radicular adventicio fibroso que se desarrolla de los nódulos bajos del tallo, con tallos entre 7 y 24 nudos, erectos y sólidas, las hojas nacen alternas en dos hileras a lo largo del tallo y consisten principalmente de una vaina foliar y un hoja laminada o limbo (Molina *et.al.*, 2010).

2.1.1.6. Forraje verde hidropónico

El FVH consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo situaciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (Fox, 2000).

La producción del FVH es una de las derivaciones de la técnica de los cultivos sin suelo o hidroponía y se remonta al siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle, realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos, así como la composición del forraje resultante (Rivera, 2010).

2.1.1.7. Importancia del FVH

Actualmente, uno de los problemas en el mundo es la escasez de alimentos, tanto de origen animal como vegetal, un modo de reducir esta incertidumbre es manteniendo condiciones climáticas uniformes en áreas donde se desarrolle el forraje de manera continua, logrando así alimentar animales en forma constante conforme a sus requerimientos nutricionales (Rodríguez, 2013). La alta eficacia en el ahorro de agua explica por qué los primeros ensayos se desarrollaron en países con ecozonas desérticas. En la actualidad el alto grado de ahorro del consumo de agua hace atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive de agua potable para el consumo (FAO, 2002).

2.1.2. Solución nutritiva

Los elementos esenciales, se proporcionan a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua, formando así una solución acuosa, en la cual se utilizan fertilizantes denominados calidad o grano de invernadero. Los fertilizantes de calidad pobre contendrán siempre una gran cantidad de impurezas (arcilla, arena y partículas de limo), sino que también obstruirá o taponeará las líneas de alimentación (Malca *et al.*, 2001).

2.1.3. Aspectos relacionados con el elemento nitrógeno

El nitrógeno es un elemento fundamental para el crecimiento y desarrollo en las plantas, es un no metal clasificado en el grupo 15 de los alcalinotérreos de la tabla periódica. En las plantas es asimilado

de la forma de NO_3 y NH_4 , el nitrógeno es responsable, en gran medida, del crecimiento, formación y desarrollo de las hojas, yemas florales y fructíferas, favorece el macollamiento (Vieira *et al.*, 2000).

Villalobos (2001) alega, que el nitrógeno es un elemento que facilita el crecimiento vegetativo y reproductivo en las plantas, debido a que está relacionado en la captación de la energía solar, asimismo en la distribución y síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular.

a) Mecanismo de acción en las plantas

El N otorga el tono verde intenso a las plantas, estimula el rápido crecimiento, incrementa la producción de hojas, mejora la calidad de las hortalizas, aumenta el contenido de proteínas en los cultivos de alimentos y forrajes (FAO, 2003).

b) Absorción y distribución del nitrógeno

La asimilación del nitrógeno requiere compleja serie de reacciones bioquímicas que demandan un alto costo energético. En la asimilación el nitrógeno del NO_3^- es convertido en una forma de energía superior nitrito (NO_2^-), luego en una forma mayor de energía amonio (NH_4^+) y finalmente en nitrógeno amídico en la glutamina. Este proceso consume 12 equivalentes de ATPs por molécula de nitrógeno (Pereyra, 2001).

2.1.4. Desordenes fisiológicos

a) Deficiencia de N en las plantas

Planta raquítica, color verde amarillento debido a la pérdida de clorofila, desarrollo tardío e insuficiente, amarillento inicial y secado posterior de la base de la hoja de la planta que continua hacia

arriba, si la carencia es muy severa y no se corrige; las hojas más jóvenes permanecen verdes (FAO, 2003).

b) Toxicidad de N en plantas

El desbalance del elemento nitrógeno en relación a los demás elementos, produce en las plantas el abundamiento de follaje de color verde oscuro, así también la producción y desarrollo de las raíces, es reducido, la floración y la producción de los frutos y semillas es retardada (FAO, 2003).

2.2. ANTECEDENTES EXPERIMENTALES

Escalona *et al.*, (2009) demostraron, que el uso eficiente de los fertilizantes nitrogenados incrementa la productividad; mientras que Rincón (2005), encontró que, diferentes concentraciones del elemento nitrógeno originan respuestas distintas en la plantación, incidiendo en el número de frutos, peso e índice de cosecha. Se concluye que menos concentración de nitrógeno produce un pausado crecimiento vegetativo y producción de frutos con escaso peso; en tanto que con grandes cantidades de nitrógeno se manifiesta un rápido crecimiento de las plantas; igualmente como frutos más grandes, pero con insuficiente peso.

García (2011) estableció que los nitratos como forma del nitrógeno pueden estar presentes en hortalizas de hojas, por lo que una abundancia de nitrógeno superior al que pueden absorber las plantas se acumula en cantidades excesivas en el tejido vegetal.

Vargas (2008) en un ensayo realizado en tres cereales (arroz, maíz y sorgo) cultivados en hidroponía, obtuvo un incremento superior de la biomasa en sorgo forrajero; mientras que el maíz alcanzó el segundo nivel de productividad, seguido por el arroz.

Ensayos realizados por Yhony, L. *et al.*, (2018) determinaron que el maíz blanco a una dosis de 1g (460.00 ppm de N), obtuvo el mayor peso y una longitud de 36.40 cm, así también en maíz amarillo se obtuvo un mayor peso en la dosis de 1 g (460.00 ppm de N) con 6.60 kg por bandeja.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en el taller de enseñanza e investigación de cultivos hidropónicos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, ubicado a 4 km del distrito de San Pedro de los Incas (Corrales), Provincia y Región de Tumbes, en las coordenadas UTM 9603026.53 mS, 555 137. 77 mE y una altitud de 5 m.s.n.m (Fig. A).

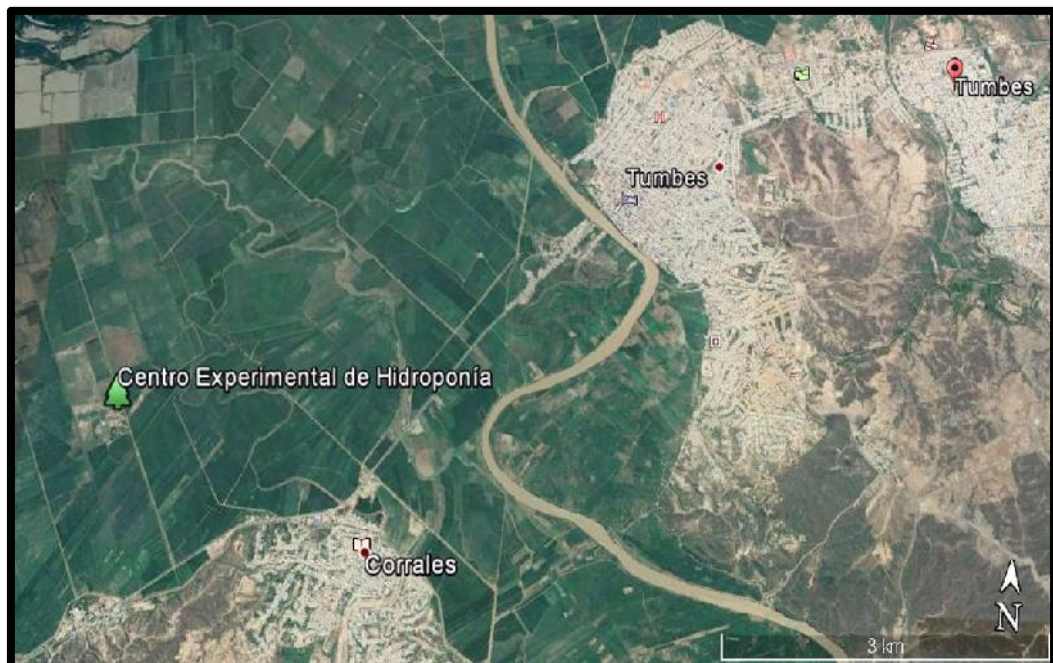


Figura A. Posición global satelital del taller de enseñanza e investigación de cultivos hidropónicos.

3.2. Materiales, insumos, herramientas y equipos

3.2.1 Material vegetal

a) Semillas:

- Arroz (*Oryza sativa* L.) var. Tinajones.

- Maíz (*Zea mays* L.) var. Tropical.
- Sorgo (*Sorghum vulgare* L.) var. Criolla.
- Cebada (*Hordeum vulgare* L.) var. Milagrosa.

3.1.1. Materiales de campo

- a. 4 baldes de 20 L. de capacidad.
- b. 48 unidades de bandejas de polietileno.
- c. Libreta de campo.
- d. Lápiz.
- e. Aspersor de plástico.
- f. Plástico de color negro.

3.1.2. Materiales de laboratorio

- a. Vasos de precipitación.
- b. Probetas.
- c. Guantes quirúrgicos.
- d. Mascarilla.
- e. Guardapolvo.
- f. Bolsas de papel Kraft.

3.1.3. Insumos

- a. Agua Potable.
- b. Fertilizantes para preparar la solución nutritiva.
- c. Alcohol 96%.
- d. Detergente.
- e. Hipoclorito de sodio al 1%.

3.1.4. Equipos

- a. Módulo de producción de forraje hidropónico.
- b. Balanza analítica modelo OHAUS.

- c. Estufa de aire caliente forzado marca MEMMERT.
- d. Cámara fotográfica Modelo SANSUNG.

3.3. Metodología

El trabajo de investigación estuvo comprendido por tres fases:

-) Fase de investigación: se realizaron las siguientes actividades: Diseño y construcción del Módulo de Producción del FVH, desinfección de bandejas, siembra, aplicación de solución de agua y cal, preparación y aplicación de tratamientos (dosis de nitrato), control fitosanitario, cosecha y registro de datos.
-) Fase de laboratorio: consistió en la realización del análisis químico de hoja de las especies de maíz, sorgo, cebada y arroz para determinar los niveles de nitrógeno. El análisis fue realizado en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
-) Fase de gabinete: consistió en el análisis estadístico e interpretación de los datos obtenidos en campo y laboratorio para culminar con la redacción del informe final.

3.4. Componentes en estudio

Como factores se estudiaron, cuatro dosis de nitrógeno y cuatro especies de gramíneas forrajeras de maíz, sorgo, cebada y arroz cultivados en hidroponía. Los tratamientos de cada especie forrajera se trabajaron individualmente (Tabla 1).

Tabla 1. Factores, niveles y tratamientos para el efecto de nitrógeno en maíz, sorgo, cebada y arroz, cultivadas en hidroponía.

Factor	Nivel	Tratamiento	Clave
Dosis de N	190.00 ppm*	Maíz 190.00 ppm	T ₀ m
		Maíz 237.50 ppm	T ₁ m
		Maíz 285.00 ppm	T ₂ m
		Maíz 332.50 ppm	T ₃ m
	237.50 ppm (25%+N)	Cebada 190.00 ppm	T ₀ c
		Cebada 237.50 ppm	T ₁ c
		Cebada 285.00 ppm	T ₂ c
		Cebada 332.50 ppm	T ₃ c
	285.00 ppm (50%+N)	Arroz 190.00 ppm	T ₀ a
		Arroz 237.50 ppm	T ₁ a
		Arroz 285.00 ppm	T ₂ a
		Arroz 332.50 ppm	T ₃ a
332.50 ppm (75%+N)	Sorgo 190.00 ppm	T ₀ s	
	Sorgo 237.50 ppm	T ₁ s	
	Sorgo 285.00 ppm	T ₂ s	
	Sorgo 332.50 ppm	T ₃ s	

* Testigo referencial: dosis estándar de solución nutritiva comercial de la Universidad Agraria La Molina, para crecimiento vegetativo de hortalizas y forraje hidropónico.

3.5. Diseño experimental

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó el diseño experimental de Arreglo Combinatorio Bifactorial con Diseño Completamente al Azar con 16 tratamientos y 3 repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por una bandeja de polietileno. La población total abarcó el total de plántulas comprendiendo los 16 tratamientos y distribuidas en 48 unidades experimentales. La unidad muestral fue de 10 pantas por repetición para las características morfológicas; en tanto, que para la determinación del rendimiento se tomó 1 m² por tratamiento.

Para validar los datos obtenidos de las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza y para el comparativo de medias se utilizó la prueba estadística de significación de Duncan al 5% de probabilidad, utilizando el

software de EXCEL 2016. Los datos se representan en figuras de barras y tablas.

3.6. Características de las unidades experimentales (Bandejas de polietileno)

- Número de bandejas / bloque/especie : 12
- Largo : 0.32 m
- Ancho : 0.21 m
- Profundidad : 0.05 m
- Área total : 0.0672 m²

3.7. Plan de ejecución

3.7.1. Diseño y construcción del Módulo de producción del FVH

El Módulo de producción de FVH se construyó en la parte anterior derecha del Módulo hidropónico, caracterizado por presentar una buena ventilación, iluminación y superficie plana, utilizando varillas de fierro corrugado de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

3.7.2. Acondicionamiento del Módulo de producción

a) Instalación

El Módulo de producción fue revestido con plástico de polietileno de color negro, formando así un ambiente favorable para la germinación de las semillas.

b) Lavado y desinfección de bandejas

Las bandejas de polietileno se lavaron con agua y detergente; la desinfección realizó con hipoclorito de sodio (lejía) al 1 % (10 ml/litro de agua), seguido de cuatro enjuagues con agua potable para eliminar los residuos de lejía.

c) Selección y preparación de las semillas

Las semillas de maíz, arroz, cebada y sorgo, adquiridas de un centro comercial fueron seleccionadas, eliminando las impurezas y aquellas que estuvieran partidas, manchadas y con poco peso. Las semillas se lavaron sumergiéndolas en agua potable. Posteriormente, se desinfectaron con hipoclorito de sodio (10 ml/litro de agua) por ½ hora, y lavadas para eliminar restos del desinfectante. Las semillas se remojaron con agua por un laxo de 24 horas; para el caso de la semilla de cebada se procedió a realizar un oreo bajo sombra por 72 horas.

d) Siembra de semillas y condiciones de crecimiento

Las semillas de maíz var. Tropical (500 g), cebada var. Milagrosa (300 g), sorgo var. Criolla (400 g) y arroz var. Tinajones (300 g) se esparcieron sobre las bandejas germinadoras perforadas de plástico de color negro, distribuyéndose uniformemente hasta cubrir 2/3 de su capacidad. Posteriormente, las bandejas germinadoras fueron colocadas en el Módulo de producción, según diseño establecido (anexo). Las plántulas crecieron en un rango de temperatura (23-26°C) y Humedad relativa (70-80°C) registradas con un termohigrómetro marca Coolbox.

e) Riegos

Al momento de la siembra y durante tres días consecutivos en las mañanas se hicieron riegos con agua potable a manera de lluvia fina con un pulverizador manual para facilitar el proceso de la germinación; mientras que en horas de la tarde se aplicaron riegos con solución de agua y cal (óxido de calcio) en una concentración de 40 g/ litro de agua para regular el pH a niveles de neutro a ligeramente alcalino.

f) Formulación de la solución nutritiva

La formulación se realizó, tomando como base la solución nutritiva mineral comercial estandarizada para crecimiento vegetativo de hortalizas y forraje hidropónico de la Universidad Agraria La Molina (Tabla 2).

Tabla 2. Concentraciones de elementos esenciales en la preparación de una solución nutritiva.

Elemento	Peso Atómico (mol/g)	Concentración (ppm)	Concentración estándar en solución nutritiva comercial UNA - La Molina (ppm)
Macronutrientes			
Potasio (K)	39	200 – 300	210
Nitrógeno (N)	14	150 – 220	190
Calcio (Ca)	40	120 – 200	130
Magnesio (Mg)	24	30 – 50	45
Fosforo (P)	31	20 – 50	35
Azufre (S)	32	50 – 100	70
Micronutrientes			
Cloro (Cl)	35.5	10 – 50	-
Fierro (Fe)	56	0.80 – 2	1.0
Manganeso (Mn)	55	0.5 – 0.8	0.5
Boro (B)	11	0.4 – 0.6	0.5
Zinc (Zn)	65.5	0.1 – 0.2	0.15
Cobre (Cu)	63.5	0.5 – 0.15	0.10
Molibdeno (Mo)	96	0.01 – 0.05	0.05

g) Preparación de la solución nutritiva y tratamientos

La solución nutritiva se preparó utilizando fertilizantes, adquiridos en la Universidad Agraria La Molina, (Tabla 3).

Tabla 3. Fuente y cantidad de fertilizante utilizados en la preparación de 1000 litros de solución nutritiva.

Fertilizante	Cantidad (g)
Superfosfato triple de calcio	178.57
Nitrato de calcio	561.29
Nitrato de potasio	467.49
Nitrato de amonio*	-----
Sulfato de magnesio	427.50
Sulfato de potasio	80.11
Fetrilon combi	12.50
Quelato de hierro	8.30
Ácido bórico	2.44

*Cantidad utilizada en función de La dosis de N ensayadas:

190.00 ppm N = 120.90

237.50 ppm = 264.85

285.00 ppm = 408.79

332.50 ppm = 552.72

Solución concentrada A

- Se disolvió el KNO_3 en tres litros de agua, se agitó hasta disolver totalmente.
- Se añadió el NH_4NO_3 sobre el KNO_3 disuelto, agitando bien la solución hasta su completa disolución.
- En otro recipiente se colocó el superfosfato triple de calcio en 500 ml de agua por un tiempo de 60 minutos, se homogenizó y se filtró en papel Whatman 1.0.

- Se mezclaron los fertilizantes preparados, NH_4NO_3 y KNO_3 con el superfosfato triple de calcio, enrazando la solución nutritiva a cinco litros.

Solución concentrada B

- Se disolvió el K_2SO_4 en un litro de agua, se agitó hasta su disolución, luego se añadió el MgSO_4 a la solución de K_2SO_4 , agitando hasta que se disolvió.
- Se añadieron los fertilizantes que contienen los micronutrientes: fertilon combi, H_3BO_3 , MnSO_4 , quelato de hierro.
- Se enrazó la solución nutritiva a dos litros.

Solución concentrada C

- Se disolvió el $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en un litro de agua, agitando hasta disolver totalmente, posteriormente se completó a un volumen de dos litros.

Solución concentrada para los tratamientos

- Se disolvió el NH_4NO_3 en un litro de agua en las concentraciones establecidas para cada uno de los tratamientos, se homogenizó hasta su completa disolución y completándose a un volumen de cinco litros (tabla 3).

h) Aplicación de los tratamientos

A partir del cuarto día y hasta los trece días después de la siembra, se procedió a regar las plántulas con la solución nutritiva conteniendo las concentraciones de nitrógeno ensayadas para las cuatro especies de gramíneas forrajeras.

i) Control fitosanitario

Se realizaron monitorios frecuentes para detectar la presencia de insectos plaga y de patógenos e implementar las medidas de control respectivas en las cuatro especies de gramíneas forrajeras.

j) Cosecha

La cosecha de plantas se realizó manualmente a los 15 días después de la siembra, tomando en cuenta las referencias bibliográficas que establecen el momento en que las plantas presentan el mayor contenido nutricional.

3.8. Observaciones experimentales

3.8.1. Variables de crecimiento y rendimiento de las plántulas

a) Altura del tallo las plántulas

Se tomaron 10 plántulas al azar de cada repetición y tratamiento, se midieron desde el cuello de la planta hasta el ápice del tallo.

b) Biomasa fresca de la parte aérea

Las plántulas se seccionaron dividiéndolas en parte aérea y raíz. Se seleccionó la parte aérea y se procedió a pesarlas en una balanza analítica.

c) Biomasa fresca de la raíz

Se utilizó la parte radicular de las plantas obtenidas en el punto anterior y de manera similar se pesaron en una balanza analítica.

d) Biomasa seca de la parte aérea

La parte aérea de las plántulas, se depositaron en bolsas de papel Kraft y se colocaron en una estufa de aire caliente forzado a 80°C por 72 horas hasta alcanzar el peso constante.

e) Biomasa seca de raíz

Se procedió de manera similar al ítem anterior.

f) Rendimiento (kg de biomasa fresca por m²)

El rendimiento se determinó en base al peso de las plántulas contenidas en una bandeja, relacionándolo luego con la superficie de ésta por metro cuadrado.

3.8.2. Determinación del contenido de nitrógeno total

Se seleccionaron plántulas homogéneas de cada uno de los tratamientos ensayados, hasta completar un peso de 200 g en materia fresca. Las muestras fueron embaladas en papel kraft debidamente codificadas y enviadas al laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes - LASPAF de la Universidad Agraria La Molina, para su procesamiento y determinación.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

4.1. Altura del tallo

El coeficiente de variación de 8.59 % demuestra la confiabilidad del experimento y al realizar el análisis estadístico se detecta diferencia altamente significativa entre las dosis de N y las gramíneas forrajeras, no mostrando significancia entre las interacciones, esto se confirma al realizar la prueba de Duncan el cual indica que no existe diferencia significativa para las plantas forrajeras (Tablas 5, 17, 29 y 41), a pesar de no haber diferencia significativa se puede observar en los resultados presentados en la figura 1 que existe un incremento de la altura del tallo de las plántulas de las cuatro gramíneas forrajeras con las distintas dosis de nitrógeno, siendo los mejores tratamientos 237.50 y 285.00 ppm.

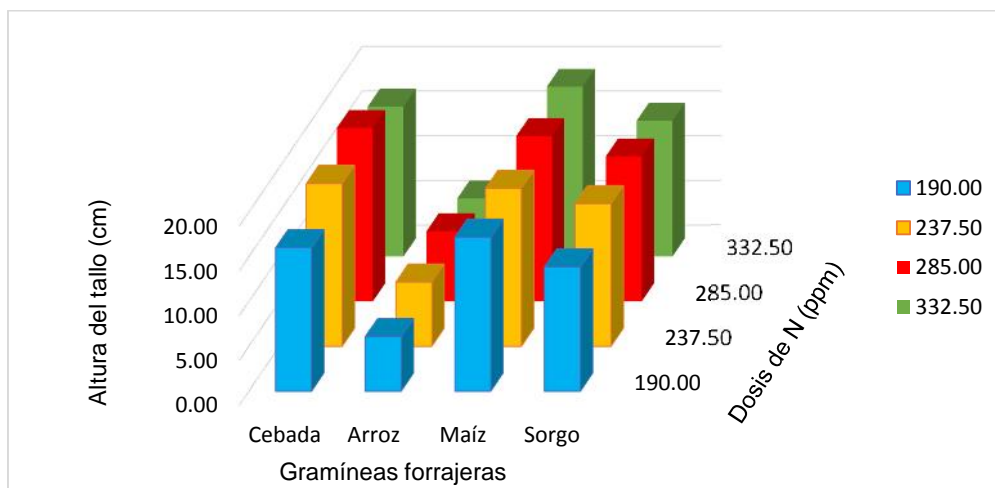


Figura 1. Efecto del nitrógeno sobre la altura del tallo en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.2. Biomasa fresca de la parte aérea

La figura 2 muestra los resultados de la biomasa fresca, donde se puede observar que el valor más alto se obtiene en el sorgo con la dosis 285.00 ppm y el valor más bajo lo obtuvo el arroz con la dosis 190.00 ppm. El análisis de varianza indica que existe diferencia altamente significativa entre las interacciones y al realizar las comparaciones con la prueba de Duncan (5%) se observa que no existe diferencia significativa en las especies de sorgo y arroz (Tabla 43 y 31), el tratamiento T₂ (285.00 ppm N) presentan diferencia significativa para las especies cebada y maíz con los demás tratamientos (Tablas 7 y 19), el coeficiente de variación de 12 % lo que indica que los datos utilizados son confiables.

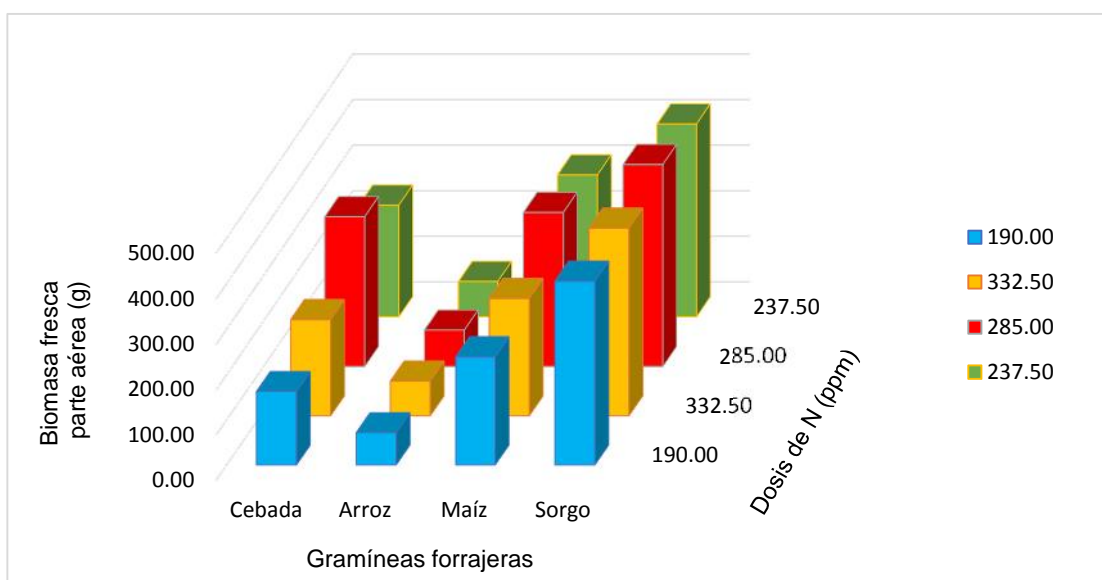


Figura 2. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.3. Biomasa fresca de la raíz

Las cuatro gramíneas forrajeras incrementaron significativamente la biomasa fresca de la raíz cuando se aplicó N en las dosis de 285.00 ppm y 237.50 ppm y un menor valor con la dosis más alta (332.50 ppm) (Fig. 3), en el análisis de varianza establece que existe diferencia significativa, sin embargo al realizar el análisis estadístico de Duncan (5%) se observa diferencia no significativa en maíz y arroz (Tablas 21 y 33), en la especie de sorgo se observa diferencia no significativa entre los tratamientos 285.00 ppm y 237.50 ppm, pero sí de estos con los demás tratamientos, en cebada el tratamiento 237.50 presenta diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos, el coeficiente de variación de 6.01 % demuestra la confiabilidad de los datos.

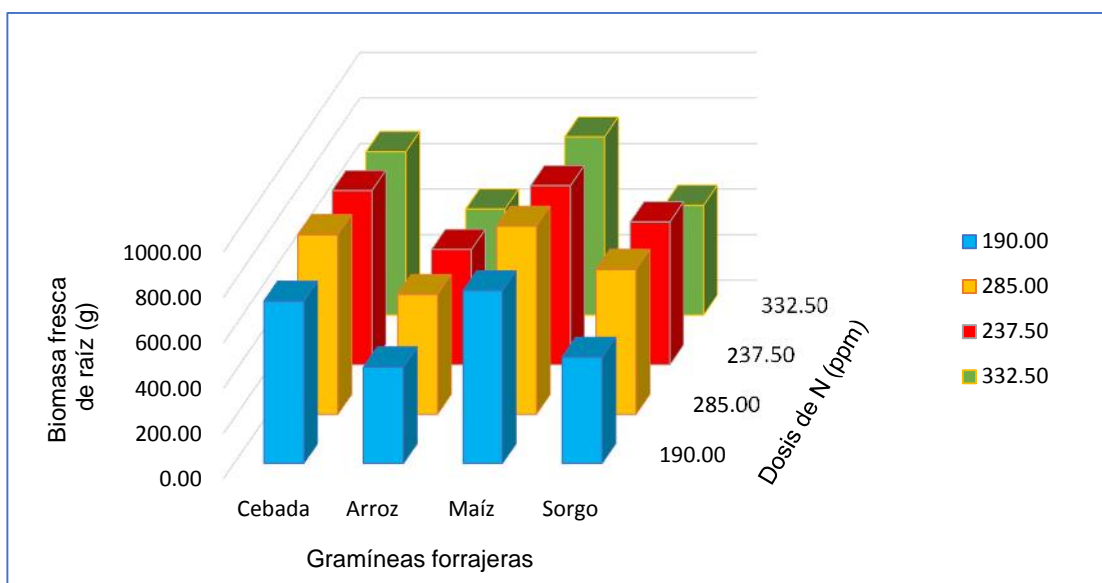


Figura 3. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa fresca de raíz en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.4. Biomasa seca de la parte aérea

El coeficiente de variación de 12.70 % indica que los datos utilizados son confiables. Los resultados ilustrados en la figura 4, indican que las dosis 285.00 ppm y 337.50 ppm de N fueron los mejores tratamientos, pues favorecen el aumento de biomasa seca de la parte aérea en las gramíneas, cebada, maíz y sorgo, no así con el arroz, donde no hubo diferencia entre los tratamientos, lo que coincide con el análisis estadístico de Duncan (5%) realizado (Tablas 11, 23, 47 y 35), sin embargo, en el análisis de varianza se aprecia que no existe diferencia significativa entre las interacciones.

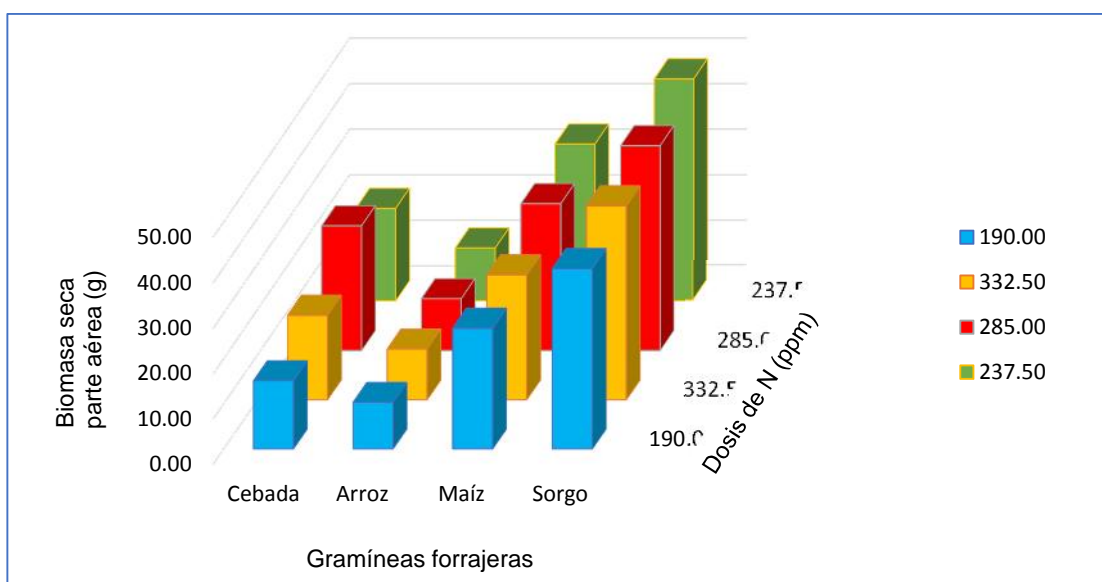


Figura 4. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa seca de la parte aérea en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.5. Biomasa seca de la raíz

La confiabilidad de los datos utilizados (C.V.) es de 5.13 % y al realizar el análisis de varianza se obtuvo que existe diferencia significativa entre los tratamientos y las gramíneas ensayadas, en la figura 5 sobre la biomasa seca de la raíz en las cuatro gramíneas forrajeras se observa que aumenta con la dosis 285.00 ppm, seguido por la dosis 237.50 ppm; mientras que con la dosis más alta (332.50) se aprecia una disminución (Fig. 5). El análisis estadístico indica, que existe diferencia significativa entre el tratamiento 285.00 ppm N con los demás tratamientos; en tanto, que la dosis más alta con el testigo muestra diferencia no significativa (Tabla 13, 25, 37 y 49).

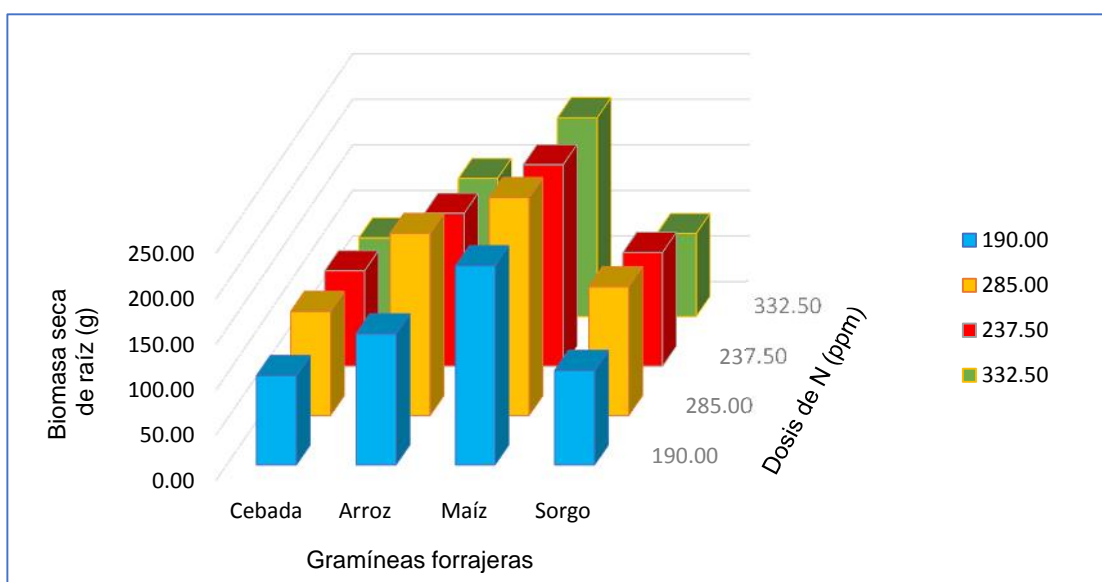


Figura 5. Efecto del nitrógeno sobre la biomasa seca de la raíz en cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.6. Rendimiento

El rendimiento, expresado en kg de biomasa fresca por m² alcanza el más alto valor con la dosis 285.00 ppm en todas las gramíneas, principalmente en cebada y sorgo con un 20% más. El análisis de varianza para este ensayo determina que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos y las cuatro gramíneas, esto se demuestra al realizar el análisis estadístico de Duncan (5%) en el que se muestra que existe diferencia significativa entre la dosis 285.00 ppm N con las otras dosis; mas no con la dosis 237.50 ppm N (Tabla 15, 27, 39 y 51), con un C.V. de 5.51 % lo que determina la confiabilidad de los datos.

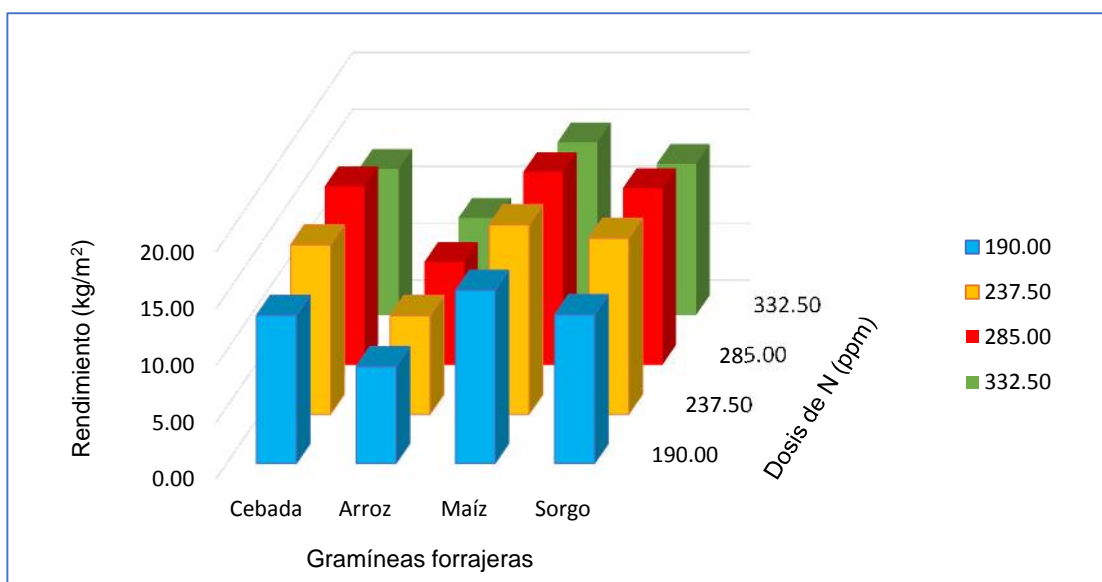


Figura 6. Efecto del nitrógeno sobre el rendimiento de cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

4.7. Concentración de nitrógeno total en hoja

En la figura 7, apreciamos que la concentración más alta de N se obtiene aplicando la dosis 332.50 ppm (que representa el 75% más de N) para las gramíneas forrajeras, cebada, arroz y sorgo; mientras que en el maíz no hubo diferencia significativa entre las dosis ensayadas.

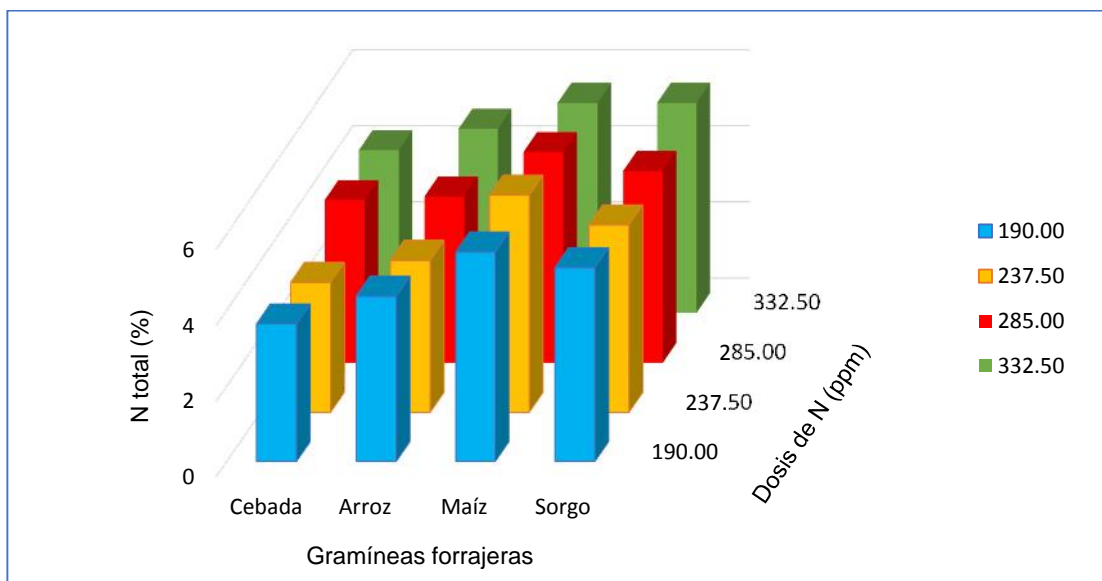


Figura 7. Contenido de nitrógeno total en hojas de cuatro gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

La relación entre el contenido mineral en diferentes tejidos de plantas y su crecimiento ha sido ampliamente estudiada por diversos investigadores (Quintana-Blanco et al., 2016 y Balta et al., 2015). Los resultados en este ensayo experimental muestran esa relación entre el contenido de nitrógeno y el crecimiento de las gramíneas forrajeras cultivadas en soluciones nutritivas.

Tomando como referencia la concentración de 190 ppm N para crecimiento vegetativo de hortalizas y forrajes de la solución nutritiva comercial de la Universidad Agraria La Molina, el incremento a 237.50 y 285.00 ppm N, que corresponden a 25 y 50%, favorecieron las características morfológicas (altura del tallo, biomasa fresca y seca de parte aérea y raíz) y el rendimiento de las gramíneas forrajeras, posiblemente esta superioridad se haya dado porque al aplicar más nitrógeno, éste pudo haber tenido mejor asimilación e influir en el desarrollo de los tallos, porque ayuda en el proceso vegetativo y productivo además, es uno de los elementos que en mayor cantidad demanda la planta (Padilla, 2008).

Debemos tener en cuenta, que el N es un elemento esencial e indispensable en las plantas, que juega un rol importante en la formación de la estructura de muchos metabolitos, tales como clorofila, pigmento sustancial para la absorción de la luz solar en el proceso de la fotosíntesis, que da como resultado la síntesis de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos que necesitan N para su construcción, con lo cual asumiríamos que un incremento de N implicaría un mayor crecimiento de las plantas y por ende un mayor rendimiento.

Sin embargo, cuando se aplicó 332.50 ppm N, que atañe al 75% más de N, se produce una depresión de los parámetros Morfológicos evaluados, que nos permite afirmar que esta dosis es excesiva, y por lo tanto, produciría toxicidad en las gramíneas ensayadas; tal como lo establecieron Sierra (2018) y Muñoz

(2015) al señalar que la eficiencia del nitrógeno disminuye con un incremento de este elemento.

Las plántulas con un exceso de nitrógeno manifestaron una coloración verde oscuro, en relación con el testigo referencial. Ello, corresponde al existir una relación entre el contenido de N y el color verde de las clorofilas, con lo cual un incremento de nitrógeno aumenta la síntesis de estos metabolitos y por ende la intensidad de color verde de las hojas como lo afirma Rincón (2010).

La acumulación de nitrógeno total se considera como respuesta al contenido de nitrógeno disponible en las plántulas con mayor contenido de nitrógeno (Gallardo *et al.*, 2016) como se demuestra en este estudio; al incrementar la concentración de nitrógeno corresponde un mayor contenido de N total en las plántulas de las diversas gramíneas (Fig. 7).

Por otro lado, Flores *et al.*, (2010) señalaron que la acumulación de altos contenidos de nitrógeno en los tejidos vegetales son resultado del crecimiento de cultivos bajo condiciones de baja iluminación y altos niveles de fertilización nitrogenada, lo que concuerda con las condiciones ambientales del Módulo hidropónico establecidas en este estudio.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con la investigación de González y Blandón (2014) quienes obtuvieron una altura de 14,78 cm con sorgo, el mismo que tiene un ritmo de crecimiento de 1,47 cm/día y es semejantes al maíz que tiene 1,54 cm/día; lo que nos demuestra que la fertilización nitrogenada influye en el crecimiento y desarrollo de la planta; considerando que usaron soluciones nutritivas nitrogenadas.

Resultados realizados por Yhony, L. *et al.*, (2018) determinaron que el maíz blanco a una dosis de 1 g (460.00 ppm de N), obtuvo el mayor peso y una longitud de 36.40 cm, así también en maíz amarillo se obtuvo un mayor peso en la dosis de 1.00 g (460.00 ppm de N), lo que difiere con resultados obtenidos en este ensayo que en la dosis más alta 332.50 ppm N produce una depresión en la altura, esto quizá se debe que el experimento realizado por Yhony se realizó

a una temperatura de 32 - 35 °C, mientras que en este ensayo las plántulas crecieron en un rango de temperatura (23-26°C) y Humedad relativa (70-80°C).

En nuestro estudio el maíz y sorgo obtuvieron el mayor rendimiento, mayor producción de biomasa, similar a lo reportado por Vargas (2008) en su ensayo Producción de tres variedades de Forraje verde hidropónico, que, al comparar la producción de biomasa entre maíz, sorgo y arroz, reportó que el mayor rendimiento de biomasa se obtuvo en sorgo negro forrajero.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de 25 y 50% más de N en solución nutritiva favorecen el crecimiento (altura de tallo, Biomasa fresca y seca de parte aérea y raíz) de plántulas de las gramíneas forrajeras, maíz, arroz, cebada y sorgo; mientras que el 75% las deprimen.
2. El incremento de N en las gramíneas forrajeras cultivadas en sistema hidropónico aumenta el rendimiento a excepción de la dosis más alta (332.50) que lo redujo.
3. El máximo contenido de nitrógeno total, se obtuvo con la dosis de 332.50 ppm N (75% más de N).

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones en otras gramíneas forrajeras con las dosis de N ensayadas en este trabajo.
2. Evaluar el comportamiento morfo-productivo de las gramíneas forrajeras cultivadas en hidroponía aplicando nitrógeno al follaje.
3. Investigar los efectos del consumo de forraje verde hidropónico con exceso de N en la alimentación animal.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, M., Castrillo, W. y Belmonte, U. (2006). Origen, evolución diversidad del arroz. *Agronomía Trop.* 56(2): 151-170.
- Alva A. C. (2000). Manejo Integrado del Cultivo de Arroz. CODESE. Lambayeque, Perú. 357 p.
- Balta, C., Rodríguez, A., Guerrero, A., Cachique, D., Alva. E., Arévalo, L. y Loli, O. (2015) Absorción y Concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) En Suelos Ácidos. San Martín, PERÚ. *FOLIA Amazónica.* VOL. 24 (2): 123 – 130.
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). (2007). Guía Técnica del Cultivo de Sorgo. El Salvador. Recuperado de: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20TECNICA%20SORGO.pdf>
- Corrales – Gonzales, M., Rada F. y Jaímez R. (2015). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H.) Bolus ex Hook.f. Universidad de los Andes. Venezuela.
- Dirección de ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). (2003). Manual Técnico para el Cultivo De Arroz. (*Oryza sativa*) (Para Extensionistas y Productores) Programa De Arroz. Comayagua, Honduras. Recuperado de: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>

- Escalona, A., Santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V. y Merú, L. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas “spad” en el cultivo de lechuga. Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Recuperado de:
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0002192X2009000100010&script=sci_arttext.
- FAO (2001) Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico. Santiago, Chile. 55 pp.
- FAO (2002). Forraje verde hidropónico Santiago. Chile recuperado de:<http://www.fao.org/Regional/LAmerica.pr.or.segal.m.forraje.html69p>.
- FAO (2003). La huerta hidropónica popular. Manual técnico, 3era. Edición. Santiago de Chile. 6 – 104 pp.
- FAO (2004). El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2004. Roma, Italia. 40 p.
- Fenalce (2010). El cultivo de cebada. Historia e importancia. Recuperado de http://fenalce.org/arch_public/cebada94.pdf
- Flores, A., Miranda, R., Galvis, A., Hernández y M. Ramos, G. (2010). Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*. Vol 10, 19.
- Fox, R. (2000). Fábrica de Forraje. Boletín Informativo de la Red Hidroponía N° Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, 23-28 pp.
- Gallardo, M., Thompson, R.B., Peña-Fleitas, M.T., Padilla, F.M y Soto, F. (2016). Efecto del nitrógeno sobre la producción de un cultivo de tomate en invernadero. Costa Rica.: Interempresas horticultura. Recuperado de: <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/164493-Efecto->

del-nitrogeno-sobre-la-produccion-de-un-cultivo-de-tomate-en-
invernadero.html

García, I. (2011). Los nitratos en hortalizas y el riesgo para los niños. Recuperado de: http://alimentoseguros.com/2011/01/articulo_los_nitratos_en_hortaliza_y_el_riesgo_para_los_nia_os-620.html.

González, J y Blandón, C. (2014). Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (*Sorghum vulgare*) variedad Inta tortillero precoz, en un invernadero no tradicional. Universidad Nacional Agraria. <http://repositorio.una.edu.ni/2777/1/tnf04g643t.pdf>

González, M., Zamora, M., Huerta, R. y Hernández, S. (2013). Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/2631/263128356010.pdf>.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC (2009). Sistema Agroalimentario de la Cebada. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.com/sistagroalim/pdf/Cebada.pdf>.

López, R., Murillo, B. y Rodríguez, G. (2009). E forraje verde hidropónico (fvh): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. México.

Malca, O., Alvarado, D., Chávez, F. y Wilhelmina, A. (2001). *Seminario de Agro Negocios*, Universidad del Pacífico.

Morales, V, M. J. (2002). Comportamiento de generaciones f5 de sorgo Granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), en Nic. Tesis Ing. Agr. FDR/UNA Managua (Nic). 47p.

- Muñoz, C. (2015). Agricultores, Red de Especialistas en Agricultura. Chile.: La importancia del nitrógeno en la planta. Recuperado de <http://agricultores.com/incrementando-la-eficiencia-del-uso-de-nitrogeno-desde-los-suelos-agricolas-mediante-el-uso-de-extractos-naturales/>
- Müller, L., Manfron, P., Santos, O., Medeiros, S., Haut, V., Neto, D. y Bandeira, A. (2005) Producción y composición bromatológica en forraje verde hidropónico de *Zea mays* L., Trop. 23: 105-19.
- Nele Verhulst, N.; François, I.; Grahmann, Cox, K.R. y Govaerts, B. 2015. Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Olivo, M., Alarcón, P., y Solis, L. (2001). Los pueblos del maíz, Nomenclatura indígena de una planta sagrada. Etnoecológica 6(8): 103-106.
- Padilla, W. (2008). Manual de recomendaciones de fertilización. Quito: Mundi.
- Paliwal, R., Granados, G., Lafitte, H.; Violic, A., y Marathée, J. (2001) Introducción al Maíz y su importancia. El maíz en los trópicos. Roma. Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. pp.1-3.
- Pereyra, M. (2001). Guía técnica asimilación de nitrógeno en plantas. Universidad de la Pampa. Argentina.
- Pérez, M. (2010). La cebada. Recuperado de: <http://lacebada10.blogspot.com/2010/06/morfologia-y-taxonomia-de-la-cebada.html>.
- Quintana-Blanco, W.A.; Pinzón-Sandoval, E.H.; Torres, D.F. (2016). Frijol bajo estrés salino *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 19(1): 87-95

- Rabí, O., Pérez, P., Permuy, N., Hung, J. y Piedra, F. (2001). Guía técnica para la producción del cultivo del maíz. La Habana.
- Rimache, M. (2008). Cultivo de trigo, cebada y avena. Perú. 111 pag.
- Rincón, A., Adolfo, G. (2010). Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 11(2), 122-128.
- Rincón, L. (2005). Fertilización nitrogenada y contenido de nitratos en hojas de lechuga Iceberg. Vida Rural, Número 210, 50-54 pp.
- Rivera, E. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L) en condiciones de iluminación deficiente. Tesis para optar el Título de ingeniero. Universidad de los Andes. Estado Trujillo-Venezuela.
- Rodríguez, A. C. S. (2003). Cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico. Ed. DIANA México. ISBN: 968-13-3613-5. 113p.
- Rodríguez, L. (2002). Hidroponía agricultura y bienestar, Doble Hélice Universidad Autónoma de Chihuahua – México. 96: 23 – 60.
- Santoyo, E., Sevallos, A., Mesa, E. (2004). Guía para el cultivo de cereales en el estado de México. Estado de México. 37 p.
- Sierra, C. (2018). Factores que afectan la eficiencia en el uso de los fertilizantes. Santiago, Chile. El mercurio campo. Recuperado de <https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/06/14/Factores-que-afectan-la-eficiencia-en-el-uso-de-los-fertilizantes.aspx?disp=1>
- Taiz, L y Zeiger, E. (2006). Fisiología de las plantas. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachussets. Usa. 764P.

- Tilman, D., Cassman, KG., Matson, P., Naylor, R. y Polasky, S. (2002) Sostenibilidad agrícola y prácticas de producción intensiva. 418: 671-677.
- Vargas, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana* 19(2): 233 – 240.
- Vieira, J., Fischier, M., Marin, X. y Sauer, E. (2000). Manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera (sistema de producción de granos básicos-pequeña ganadería). El Salvador. 22p.
- Villalobos, E. (2001). *Fisiología de los cultivos tropicales*, Editorial de la Universidad. San José, Costa Rica. 203p.
- Yhony, L., Ayón-Villao, F., Orlando-Indacochea, F., Alcívar-Cobeña, J. y Gabriel-Ortega, J. (2018). Producción de tres variedades de Forraje verde hidropónico con diferentes dosis de fertilizante nitrogenado. *J. Selva Andina Res. Soc.* 9(2):120-126.
- Zúñiga, V. F. (2002). *Curso de Botánica Sistemática*. Facultad de Agronomía. U.N.P. 123 p.

ANEXOS

ANEXO 1. ANALISIS DE AGUA

ANÁLISIS DE AGUA

SOLICITANTE : Jefry Flores Guevara
PROCEDENCIA : TUMBES
REFERENCIA : H.R. 69070
BOLETA : 3225

No. Laboratorio		420
No. Campo		
Ph		7.55
C.E.	dS/m	0.24
Calcio	meq/L	1.28
Magnesio	meq/L	0.33
Potasio	meq/L	0.04
Sodio	meq/L	0.89
SUMA DE CATIONES		2.54
Nitratos	meq/L	0.02
Carbonatos	meq/L	0
Bicarbonatos	meq/L	1.37
Sulfatos	meq/L	0.75
Cloruros	meq/L	0.5
SUMA DE ANIONES		2.64
Sodio	%	35.09
RAS		0.99
Boro	ppm	0.03
Clasificación		C2-S1

La Molina, 10 de Julio del 2019

Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe del Laboratorio

ANEXO 2. FORMULACIÓN DE SOLUCIÓN NUTRITIVA Y TRATAMIENTOS

1. Cálculos de macronutrientes

1.1. Fosforo (P)

Requerimiento: 35 ppm

Fuente: Superfosfato triple de calcio

$$\begin{array}{ll} 100 \text{ g S.F.T} \dots\dots\dots 19.6 \text{ g P} & 1000 \text{ g S.F.T} \dots\dots\dots 14.3 \text{ g Ca} \\ X \dots\dots\dots 35 \text{ g P} & 178.57 \text{ g S.F.T} \dots\dots\dots X \\ X = 178.57 \text{ g S,F} & X = 25.54 \text{ g Ca} \end{array}$$

1.2. Calcio (Ca)

Requerimiento: 130 ppm

Fuente: Nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_4$)

Aporte de agua: 25,6 ppm

$$\begin{array}{ll} 1000 \text{ g Ca}(\text{NO}_3)_4 \dots\dots\dots 18.6 \text{ g Ca} & 1000 \text{ g g Ca}(\text{NO}_3)_4 \dots\dots\dots 15.5 \text{ g N} \\ X \dots\dots\dots 104.4 \text{ g Ca} & 561.29 \text{ g Ca}(\text{NO}_3)_4 \dots\dots\dots X \\ X = 561.29 \text{ g Ca}(\text{NO}_3)_4 & X = 86.99 \text{ g N} \end{array}$$

1.3. Magnesio (Mg)

Requerimiento: 45 ppm

Fuente: Sulfato de magnesio (MgSO_4)

Aporta el agua: 3.96 ppm

$$\begin{array}{ll} 100 \text{ g MgSO}_4 \dots\dots\dots 9.6 \text{ g Mg} & 100 \text{ g MgSO}_4 \dots\dots\dots 13 \text{ g S} \\ X \dots\dots\dots 41.04 \text{ g Mg} & 427.5 \text{ g MgSO}_4 \dots\dots\dots X \\ X = 427.5 \text{ g MgSO}_4 & X = 55.58 \text{ g S} \end{array}$$

1.4. Azufre (S)

Requerimiento: 70 ppm

Fuente : sulfato de potasio (K_2SO_4)

$$\begin{array}{ll} 1000 \text{ g } K_2SO_4 \dots\dots\dots 18 \text{ g S} & 1000 \text{ g } K_2SO_4 \dots\dots\dots 43.3 \text{ g K} \\ X \dots\dots\dots 14.42 \text{ g S} & 80.11 \text{ g } K_2SO_4 \dots\dots\dots X \\ X = 80.11 \text{ g } K_2SO_4 & X = 34-69 \text{ g K} \end{array}$$

1.5. Potasio (k)

Requerimiento: 210 ppm

Fuente: nitrato de potasio (KNO_3)

$$\begin{array}{ll} 100 \text{ g } KNO_3 \dots\dots\dots 37.5 \text{ g K} & 100 \text{ g } KNO_3 \dots\dots\dots 13.5 \text{ g N} \\ X \dots\dots\dots 175.31 \text{ g K} & 467.49 \text{ g } KNO_3 \dots\dots\dots X \\ X = 467.49 \text{ g } KNO_3 & X = 63.11 \text{ g N} \end{array}$$

1.6. Nitrógeno (N)

Requerimiento: 190 ppm N

Fuente: Nitrato de amonio (NH_4NO_3)

$$\begin{array}{l} 1000 \text{ g } NH_4NO_3 \dots\dots\dots 33 \text{ g N} \\ X \dots\dots\dots 39.9 \text{ g N} \\ X = 120.90 \text{ g } NH_4NO_3 \end{array}$$

2. Cálculos de micronutrientes

2.1. Manganeso (Mn)

Requerimiento: 0.5 ppm

Fuente: Fetrilon combi

$$\begin{array}{l} 100 \text{ g F.C} \dots\dots\dots 4 \text{ g Mg} \\ X \dots\dots\dots 0,5 \text{ g Mg} \\ X = 12.5 \text{ g F.C} \end{array}$$

2.2. Fierro (Fe)

Requerimiento: 1.0 ppm

Fuente: Quelato de Fierro

100 g F.C 4 g Mg

12.5 g F.C X

X = 0.5 g Fe

100 g Q 6 g Fe

X0.5 g Fe

X = 8.3 g Q.

2.3. Boro (B)

Requerimiento: 0.5 ppm

Fuente: Acido borico (H₃BO₃)

100 g F.C 0.5 g B

12.5 g F.C..... X

X = 0.063 g B

100 g H₃BO₃ 18 g B

X 0.44 g B

X = 2.44 g H₃BO₃

2.4. Zinc (Zn)

Requerimiento: 0.15 ppm

Fuente: Fetrilon combi

100 g F.C 1.5 g Zn

12.5 g F. C X

X = 0.18 g Zn

2.5. Cobre (Cu)

Requerimiento: 0.10 ppm

Fuente: Fetrilon combi

100 g F.C 1.5 g Cu

12.5 g F. C X

X = 0.18 g Cu

2.6. Molibdeno (Mo)

Requerimiento: 0.05 ppm

100 g F.C 0.1 g Mo

12.5 g F.C X

$$X = 0.013 \text{ Mo}$$

3. Cálculos de tratamientos

$T_1 = 237.5 \text{ ppm}$

1000 g NH_4NO_3 33 g N

X 87.4 g N

$$X = 264.85 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$$

$T_2 = 285.0 \text{ ppm}$

1000 g NH_4NO_3 33 g N

X 134.9 g N

$$X = 408.79 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$$

$T_3 = 332.5 \text{ ppm}$

1000 g NH_4NO_3 33 g N

X 182.4 g N

$$X = 552.72 \text{ g NH}_4\text{NO}_3$$

ANEXO 3. ANOVA

Tabla 4. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio de tallo de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Tratamientos	238.01	3	79.34	11.59	0.01	4.76	9.78	**
Bloques	2.76	2	1.38	0.20	0.82	5.14	10.92	NS
Error	41.06	6	6.84					
Total	281.82	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 5. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio del tallo de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Altura (cm)	Duncan (5%) *
T2	285.00	19.40	a
T1	237.50	18.18	ab
T3	332.50	16.75	ab
T0	190.00	16.01	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 6. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Tratamientos	43599.0967	3	14533.03	14.94	0.003	4.76	9.78	**
Bloques	355.0517	2	177.53	0.18	0.838	5.14	10.92	NS
Error	5838.4683	6	973.08					
Total	49792.6167	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 7. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T2	285.00	328.67	a
T1	237.50	244.67	b
T3	332.50	211.90	b
T0	190.00	163.23	c

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 8. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la raíz de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Tratamientos	45310.30	3	15103.43	4.68	0.05	4.76	9.78	NS
Bloques	2865.99	2	1433.00	0.44	0.66	5.14	10.92	NS
Error	19343.30	6	3223.88					
Total	67519.59	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 9. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la raíz de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T2	285.00	789.34	a
T1	237.50	764.12	a
T0	190.00	715.67	b
T3	332.50	717.33	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 10. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa seca promedio de la parte aérea de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	<i>Significancia</i>
Tratamientos	238.01	3	79.34	11.59	0.01	4.76	9.78	**
Bloques	2.76	2	1.38	0.20	0.82	5.14	10.92	NS
Error	41.06	6	6.84					
Total	281.82	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 11. Prueba de Duncan para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa seca promedio de la parte aérea de plántulas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T2	285.00	27.36	a
T1	237.50	20.24	b
T3	332.50	18.63	b
T0	190.00	15.14	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 12. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca promedio de la raíz de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	<i>Significancia</i>
Filas	1266.46	3	422.15	6.52	0.03	4.76	9.78	*
Columnas	44.94	2	22.47	0.35	0.72	5.14	10.92	NS
Error	388.42	6	64.74					
Total	1699.82	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 13. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca promedio de la raíz de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	114.48	a
T ₁	237.50	104.52	a
T ₀	190.00	98.69	ab
T ₃	332.50	86.08	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 14. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	<i>Significancia</i>
Filas	17.26	3	5.75	5.50	0.04	4.76	9.78	*
Columnas	0.27	2	0.14	0.13	0.88	5.14	10.92	NS
Error	6.28	6	1.05					
Total	23.81	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 15. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de la cebada (*Hordeum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Rendimiento (kg/m ²)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	15.67	a
T ₁	237.50	14.90	a
T ₀	190.00	13.08	b
T ₃	332.50	12.83	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 16. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio del tallo de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	<i>Significancia</i>
Filas	5.88	3	1.96	0.71	0.58	4.76	9.78	NS
Columnas	3.82	2	1.91	0.69	0.54	5.14	10.92	NS
Error	16.51	6	2.75					
Total	26.22	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 17. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio del tallo de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Altura (cm)	Duncan (5%)*
T ₂	332.50	18.99	a
T ₁	285.00	18.47	a
T ₃	237.50	17.64	a
T ₀	190.00	17.19	a

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 18. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso fresco promedio de la biomasa de la parte aérea de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	<i>Significancia</i>
Filas	18888.70	3	6296.23	14.27	0.0039	4.76	9.78	**
Columnas	4362.78	2	2181.39	4.94	0.0538	5.14	10.92	NS
Error	2646.99	6	441.16					
Total	25898.47	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 19. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso fresco promedio de la biomasa de la parte aérea de plántulas de maíz (*Zea mays* L) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	338.07	a
T ₁	237.50	311.31	a
T ₃	332.50	258.27	b
T ₀	190.00	239.33	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 20. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la raíz de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	6846.6041	3	2282.20	3.44	0.09	4.76	9.78	NS
Columnas	299.6993	2	149.85	0.23	0.80	5.14	10.92	NS
Error	3984.5603	6	664.09					
Total	11130.8637	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 21. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la raíz de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	826.03	a
T ₁	237.50	786.36	b
T ₃	332.50	781.57	b
T ₀	190.00	761.75	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 22. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la parte aérea de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	123.06	3	41.02	8.60	0.01	4.76	9.78	*
Columnas	40.92	2	20.46	4.29	0.07	5.14	10.92	NS
Error	28.62	6	4.77					
Total	192.60	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 23. Prueba de Duncan para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la parte aérea de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₁	237.50	34.36	a
T ₂	285.00	32.22	a
T ₃	332.50	27.48	b
T ₀	190.00	26.69	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 24. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la raíz de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	927.62	3	309.21	5.92	0.03	4.76	9.78	*
Columnas	25.06	2	12.53	0.24	0.79	5.14	10.92	NS
Error	313.51	6	52.25					
Total	1266.19	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 25. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la raíz de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	239.52	a
T ₁	237.50	220.96	b
T ₀	190.00	219.25	b
T ₃	332.50	217.90	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 26. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	7.64	3	2.55	11.42	0.01	4.76	9.78	NS
Columnas	1.36	2	0.68	3.05	0.12	5.14	10.92	NS
Error	1.34	6	0.22					
Total	10.33	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 27. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Rendimiento (kg/m ²)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	16.92	a
T ₁	332.50	16.66	a
T ₀	190.00	15.26	b
T ₃	237.50	15.15	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa

Tabla 28. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio del tallo de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	5.46	3	1.82	2.01	0.21	4.76	9.78	NS
Columnas	1.23	2	0.62	0.68	0.54	5.14	10.92	NS
Error	5.43	6	0.91					
Total	12.12	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 29. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio del tallo de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Altura (cm)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	7.85	a
T ₁	237.50	7.17	a
T ₃	332.50	6.49	a
T ₀	190.00	6.08	a

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 30. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	350.473267	3	116.82	9.63	0.01	4.76	9.78	*
Columnas	46.29215	2	23.15	1.91	0.23	5.14	10.92	NS
Error	72.7807833	6	12.13					
Total	469.5462	11						

** Altamente significativo

Ns No significativo

Tabla 31. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	79.80	a
T ₁	237.50	77.53	a
T ₃	332.50	76.78	b
T ₀	190.00	71.53	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 32. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la raíz de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	2687.4188	3	895.81	1.56	0.29	4.76	9.78	NS
Columnas	1031.2614	2	515.63	0.90	0.46	5.14	10.92	NS
Error	3456.1778	6	576.03					
Total	7174.858	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 33. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa fresca de la raíz de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	526.27	a
T ₁	237.50	506.94	a
T ₃	332.50	465.21	b
T ₀	190.00	426.27	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 34. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la parte aérea de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	2.38	3	0.79	14.60	0.00	4.76	9.78	NS
Columnas	0.17	2	0.09	1.58	0.28	5.14	10.92	NS
Error	0.33	6	0.05					
Total	2.88	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 35. Prueba de Duncan para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la parte aérea de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₁	237.50	11.57	a
T ₂	285.00	11.36	a
T ₃	332.50	11.22	a
T ₀	190.00	10.34	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 36. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la raíz de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	5530.25	3	1843.42	29.48	0.00	4.76	9.78	**
Columnas	125.82	2	62.91	1.01	0.42	5.14	10.92	NS
Error	375.18	6	62.53					
Total	6031.24	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 37. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el peso de la biomasa seca de la raíz de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	200.19	a
T ₁	237.50	167.68	b
T ₃	332.50	151.37	c
T ₀	190.00	144.61	c

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 38. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	0.44	3	0.15	1.12	0.41	4.76	9.78	NS
Columnas	0.33	2	0.16	1.24	0.35	5.14	10.92	NS
Error	0.79	6	0.13					
Total	1.56	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 39. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Rendimiento (kg/m ²)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	9.02	a
T ₁	237.50	8.69	a
T ₀	190.00	8.58	a
T ₃	332.50	8.52	a

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 40. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio de la parte aérea de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	9.98	3	3.33	10.64	0.01	4.76	9.78	**
Columnas	0.01	2	0.00	0.01	0.99	5.14	10.92	NS
Error	1.88	6	0.31					
Total	11.87	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 41. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la altura promedio de la parte aérea de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) cultivadas en hidroponía.

Código	Dosis N (ppm)	Altura (cm)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	16.22	a
T ₁	237.50	15.94	a
T ₃	332.50	15.18	a
T ₀	190.00	13.86	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 42. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	864.57	3	288.19	0.23	0.87	4.76	9.78	NS
Columnas	12143.72	2	6071.86	4.87	0.06	5.14	10.92	NS
Error	7480.79	6	1246.80					
Total	20489.08	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 43. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la parte aérea de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	443.10	a
T ₁	237.50	422.68	b
T ₃	332.50	412.51	c
T ₀	190.00	405.12	c

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 44. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre sobre la biomasa fresca de la raíz de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	73983.89	3	24661.30	22.51	0.00	4.76	9.78	**
Columnas	6209.52	2	3104.76	2.83	0.14	5.14	10.92	NS
Error	6572.42	6	1095.40					
Total	86765.83	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 45. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa fresca de la raíz de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa fresca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	636.81	a
T ₁	237.50	627.03	a
T ₃	332.00	481.36	b
T ₀	190.00	469.17	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 46. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa seca de la parte aérea de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	127.37	3	42.46	2.04	0.21	4.76	9.78	NS
Columnas	141.33	2	70.67	3.40	0.10	5.14	10.92	NS
Error	124.67	6	20.78					
Total	393.37	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 47. Prueba de Duncan para el efecto de nitrógeno sobre biomasa seca de la parte aérea de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₁	237.50	48.68	a
T ₂	285.00	44.93	a
T ₃	332.50	42.64	a
T ₀	190.00	39.78	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 48. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa seca de la raíz de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L) en forraje verde hidropónico.

<i>FV</i>	<i>SC</i>	<i>GL</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F 5%</i>	<i>F 1%</i>	Significancia
Filas	4499.44	3	1499.81	28.08	0.00	4.76	9.78	**
Columnas	304.54	2	152.27	2.85	0.13	5.14	10.92	NS
Error	320.47	6	53.41					
Total	5124.45	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 49. Prueba de Duncan (5%) para el efecto de nitrógeno sobre la biomasa seca de la raíz de plántulas de sorgo (*Sorghum vulgare* L.) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Biomasa seca (g)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	141.71	a
T ₁	237.50	124.56	b
T ₀	190.00	104.32	c
T ₃	332.50	90.89	c

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

Tabla 50. Análisis de varianza para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de sorgo (*Sorghum vulgare*) en forraje verde hidropónico.

FV	SC	GL	CM	F	Probabilidad	F 5%	F 1%	Significancia
Filas	15.71	3	5.24	7.05	0.02	4.76	9.78	*
Columnas	3.36	2	1.68	2.26	0.19	5.14	10.92	NS
Error	4.46	6	0.74					
Total	23.53	11						

** Altamente significativo

Ns, no significativo

Tabla 51. Prueba de Duncan para el efecto de nitrógeno sobre el rendimiento de sorgo (*Sorghum vulgare*) en forraje verde hidropónico.

Código	Dosis N (ppm)	Rendimiento (kg/m ²)	Duncan (5%)*
T ₂	285.00	15.50	a
T ₁	237.50	15.47	a
T ₃	332.50	13.28	b
T ₀	190.00	13.13	b

*Letras iguales indica diferencia no significativa.

ANEXO 4. FIGURAS



Figura 8. Diseño y construcción del módulo de producción del FVH



Figura 9. Lavado y desinfección de bandejas



Figura 10. Lavado, desinfección, remojo y oro de semillas



Figura 11. Siembra de semilla



Figura 12. Cámara oscura



Figura 13. Riego con agua y cal



14. Preparación de la solución nutritiva



15. Riego con solución nutritiva y tratamientos



16. Control fitosanitario



17. Cosecha



18. Toma de datos