



UNAP



FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA
DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO DE MAÍZ CON AGUA Y
PROBIÓTICO EN ZÚNGARO**

COCHA EN EL 2023”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGRÓNOMO**

PRESENTADO POR:

YASIRA DAYANA ELESCANO ARANA

ASESOR:

Ing. HERLESS EDSON GARAY VÁSQUEZ, M.Sc.

IQUITOS, PERÚ

2024



FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS No. 063-CGYT-FA-UNAP-2024.

En Iquitos, a los 22 días del mes de agosto del 2024, a horas 07:00pm, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ CON AGUA Y PROBIÓTICO EN ZÚNGARO COCHA EN EL 2023", aprobado con Resolución Decanal N°073-CGYT-FA-UNAP-2023, presentado por la Bachiller: **YASIRA DAYANA ELESCANO ARANA**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO (A) AGRÓNOMO**, que otorga la Universidad de acuerdo a la Ley y Estatuto.

El Jurado Calificador y dictaminador designado mediante Resolución Decanal No.062-CGYT-FA-UNAP-2024, está integrado por:

Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.	Presidente
Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.	Miembro
Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas:

..... *Saludablemente*

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la Tesis han sido: *APROBADA* con la calificación *BUENA*


Estando la Bachiller *APTA* para obtener el Título Profesional de *INGENIERA AGRONOMA*

Siendo las *08:30 pm*, se dio por terminado el acto **ACADÉMICO**.


Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.
Presidente


Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.
Miembro

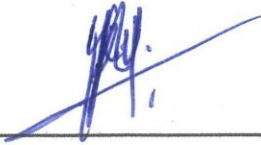

Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.
Miembro


Ing. HERLESS EDSON GARAY VASQUEZ, M.Sc.
Asesor

**JURADO Y ASESOR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA**

Tesis aprobada en sustentación pública el 22 de agosto del 2024 por el jurado Ad-Hoc nombrado por el Comité de Grados y Títulos de la Facultad de Agronomía para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO



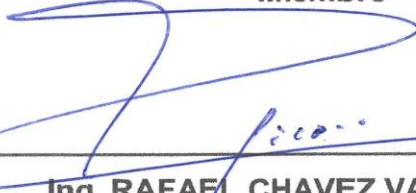
Ing. RONALD YALTA VEGA, M.Sc.

Presidente



Ing. JULIO ABEL MANRIQUE DEL AGUILA, Dr.

Miembro



Ing. RAFAEL CHAVEZ VASQUEZ, Dr.

Miembro



Ing. HERLESS EDSON GARAY VÁSQUEZ, M.Sc.

Asesor



Ing. FIDEL ASPAJO VARELA, Dr.

Decano



RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FA_TESIS_ELESCANO ARANA.pdf

AUTOR

YASIRA DAYANA ELESCANO ARANA

RECuento DE PALABRAS

15299 Words

RECuento DE CARACTERES

76967 Characters

RECuento DE PÁGINAS

87 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

821.0KB

FECHA DE ENTREGA

Jul 22, 2024 1:17 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 22, 2024 1:19 PM GMT-5

● 17% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 16% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

Resumen

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de estos años, en especial a mi madre, **Marjorie Arana Pinedo** por creer en mí, incluso cuando yo lo dudaba. Su ejemplo y aliento han sido fundamental para la culminación de mis estudios, este logro también es suyo.

A mi abuelita, **Zoila Rosa Pinedo Márquez** cuya luz sigue brillando en mi alma, aunque ya no este físicamente, su espíritu me guía y me inspira, su sabiduría, amor incondicional y sus enseñanzas me acompañaron siempre, este logro es un pequeño consuelo en su ausencia

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Dios por su infinito amor, gracia y presencia contante en mi vida, por darme salud y sabiduría para lograr este objetivo y sobre todo por ser mi fortaleza en los momentos de dificultad.

Agradezco al ing. Herless Edson garay Vásquez, Docente de Nuestra Prestigiosa facultad de agronomía de la universidad nacional de la amazonía peruana, mi más sincera gratitud, por su invaluable guía, apoyo y dedicación a la ejecución del presente trabajo, su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para la culminación de este trabajo y para mi crecimiento académico.

A mi pequeño pero increíble grupo de amigos y compañeros de la universidad, Franco, Nena, Rosario, gracias por su amistad, apoyo y colaboración durante estos años, fue crucial para superar ese momento y llegar hasta aquí

ÍNDICE DE CONTENIDO

pág.

PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADOS Y ASESOR	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
INDICE DE CONTENIDO	vii
INDICE DE TABLAS.	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE FOTOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Bases Teóricas.....	8
1.3. Definición de términos básicos.....	14
Capítulo II: HIPOTESIS Y VARIABLES	19
2.1. Formulación de Hipótesis	19
2.1.1. Hipótesis General.....	19
2.1.2. Hipótesis específicas	19
2.2. Variable y su Operacionalización	19
2.2.1. Identificación de variables.....	19
2.3. Operacionalización.....	22
Capítulo III: METODOLOGÍA.....	23
3.1. Tipo y diseño	23
3.1.1. Tipo de investigación	23
3.1.2. Diseño de la investigación	23
3.2. Diseño muestral.....	23
3.2.1. Población	23
3.2.2. Muestra	23
3.2.3. Muestreo	24

3.2.4. Criterios de Selección	24
3.3. Procedimiento de recolección de datos	25
3.3.1. Instrumentos de recolección de datos.	25
3.3.2. Ubicación del Campo Experimental	26
3.3.3. Características de la unidad experimental.....	26
3.3.4. Metodología experimental.....	27
3.3.5. Evaluación de las variables dependientes.....	42
3.4. Procedimiento y análisis de datos.....	42
3.5. Aspectos Éticos	42
Capítulo IV: RESULTADOS.....	44
4.1. Altura de planta: datos cuantitativos en cm.....	44
4.1.1. Diámetro del tallo de la planta: datos cuantitativos en mm .	48
4.1.2. Número de hojas por planta: datos cuantitativos en cantidad.....	53
4.1.3. Cosecha de materia fresca: rendimiento por metro cuadrado (kg m ²)	58
4.1.4. Cosecha de materia seca: rendimiento por metro cuadrado (kg m ²)	64
4.1.5. Análisis de rentabilidad del cultivo hidropónico de maíz con y sin probióticos: un estudio comparativo.....	69
Capítulo V: DISCUSIONES	80
Capítulo VI: CONCLUSIONES	81
Capítulo VII: RECOMENDACIONES	83
Capítulo VIII: .REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
ANEXOS	88
1. Matriz de Consistencia.....	89
2. Diseño del módulo de producción para forraje hidropónico de maíz	90
3. Distribución de las bandejas en el módulo hidropónico.....	92
4. Valores Promedios de las Variables en Estudio del Forraje Verde Hidropónico de Maíz Bajo el Tratamiento Sin Probiótico	92
5. Valores Promedios de las Variables en Estudio del Forraje Verde Hidropónico de Maíz Bajo el Tratamiento Con Probiótico	94

6. Cuatro resúmenes para la prueba de T Student para las variables en estudio	96
---	----

INDICE DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para la Altura de Planta en cm, sin uso de Probióticos	44
Tabla 2.. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para la Altura de Planta en cm, con incorporación de Probióticos.....	44
Tabla 3..Modelos de Regresión para la Altura de Planta en cm con y sin la incorporación de probióticos.....	45
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el diámetro del tallo de la Planta en mm, sin uso de Probióticos ..	48
Tabla 5.. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el diámetro del tallo de la Planta en mm, con uso de Probióticos.....	49
Tabla 6..Modelos de Regresión para el Diámetro de tallo de la Planta en mm con y sin la incorporación de probióticos.....	50
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el número de hojas por planta, sin uso de Probióticos.....	53
Tabla 8.. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el número de hojas por planta, con uso de Probióticos	54
Tabla 9..Modelos de Regresión para el Número de hojas por planta con y sin la incorporación de probióticos.....	55
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Fresca en kg m ² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz Sin Probióticos.....	58
Tabla 11.. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Fresca en kg m ² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz con Probióticos.	59
Tabla 12..Modelos de Regresión para el rendimiento de materia fresca kg m ² con y sin la incorporación de probióticos.....	60
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Seca en kg m ² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz Sin Probióticos.....	64
Tabla 14.. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Seca en kg m ² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz con Probióticos.	65

Tabla 15..Regresión para el rendimiento de materia seca kg ^{m2} con y sin la incorporación de probióticos.....	66
Tabla 16..Costo de inversión del módulo de producción forraje verde hidropónico	70
Tabla 17. Equipos varios para la producción de forraje verde hidropónico.....	70
Tabla 18. Consumo de agua en litros antes de la siembra de 98 kg de maíz para el forraje verde hidropónico por campaña.....	71
Tabla 19. Consumo de agua durante la campaña de forraje verde hidropónico por campaña de maíz.....	72
Tabla 20. Costo del probiótico durante la campaña de forraje verde hidropónico de maíz.....	73
Tabla 21. Consumo eléctrico kw durante la campaña de producción del forraje verde hidropónico de maíz.	74
Tabla 22. Resumen costo de producción del forraje verde hidropónico de maíz por campaña con sin probiótico.....	75
Tabla 23. Resumen costo de producción del forraje verde hidropónico de maíz por campaña con probiótico.....	75
Tabla 24. Comparación del Rendimiento y Producción Total en Forraje Hidropónico de Maíz con y Sin Probióticos.....	76
Tabla 25. Análisis Económico del Uso de Probióticos en la Producción de Forraje Hidropónico de Maíz: Comparación de Costos y Rentabilidad en un Ciclo de 14 Días.	77
Tabla 26. Análisis Anual de Costos y Rentabilidad de Forraje Hidropónico de Maíz: Comparación Entre Tratamientos Con y Sin Probióticos	78

ÍNDICE DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable Altura de Planta en cm en 14 Días.	46
Figura 2. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de prueba de Test de T-Student en la Altura de Planta en cm con y Sin Probióticos	47
Figura 3. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable Diámetro de tallo de la Planta en mm en 14 Días.	51
Figura 4. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de Test de T-Student del Diámetro de tallo de la Planta en mm con y Sin Probióticos.....	52
Figura 5. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable número de hojas por planta en 14 Días.....	56
Figura 6. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de Test de T-Student del Número de Hojas por Planta con y sin Probióticos.....	57
Figura 7. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable rendimiento de materia fresca kg m ² en 14 Días.....	61
Figura 8. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de T-Student del rendimiento de materia fresca kg m ² con y sin Probióticos.....	62
Figura 9. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable rendimiento de materia seca kg m ² - ¹ en 14 Días.....	67
Figura 10. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas para la prueba de Test de T-Student del rendimiento de materia seca kg m ² con y sin Probióticos	68

ÍNDICE DE FOTOS

pág.

1. Estantes para la producción del FVH	27
2. Estantes de FVH en producción	28
3. Lavado y desinfectado de bandejas germinadoras	28
4. Semillas de maíz (Zea mays) marginal 28 t	29
5. Desinfectante para las semillas.....	30
6. Probiótico EM 1	31
7. Preparación de probiótico.....	31
8. Remoción de la mezcla.....	33
9. Semillas pregerminadas de maíz	33
10. Limpieza de granos.....	34
11. Distribución de las semillas en bandejas.....	35
12. Colocación de las bandejas en los estantes	35
13. Proceso de germinación en los estantes.....	36
14. Temporizadores (Timer)	37
15. Riego automatizado del FVH por nebulización	37
16. Registro de datos agronómicos del FVH.....	38
17. Estantes en la fase final de producción FVH.....	39
18. Cosecha de la producción FVH.....	40
19. Tapete sano del FVHM.....	40
20. Suministro de la producción FVH para aves criollas	41
21. Suministro de la producción FVH para cerdos en crecimiento	41

RESUMEN

El presente estudio evaluó la rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023. Utilizando un diseño experimental, se compararon dos grupos: uno tratado con probiótico y otro sin él, distribuidos en 98 bandejas dentro de un sistema hidropónico controlado. Las variables medidas incluyeron la altura de la planta, el diámetro del tallo, el número de hojas, y el rendimiento tanto en materia fresca como seca.

Los resultados mostraron que, aunque el uso de probióticos incrementa el rendimiento agronómico del maíz, no se traduce necesariamente en una rentabilidad económica superior. Esto se debe a los costos asociados con los probióticos. El análisis estadístico ANOVA confirmó mejoras significativas en el crecimiento de las plantas tratadas con probióticos en comparación con el grupo control. En conclusión, aunque el uso de probióticos en el cultivo hidropónico de maíz mejora ciertos parámetros de crecimiento, su rentabilidad económica es limitada por los altos costos iniciales. Se sugiere realizar más investigaciones para explorar diferentes concentraciones de probióticos y sus efectos a largo plazo, así como considerar la reducción de costos para mejorar la viabilidad económica de esta técnica agrícola.

Palabras clave: Probiótico, Forraje hidropónico, Rentabilidad económica.

ABSTRACT

The present study evaluated the economic profitability of hydroponic green forage production of maize with water and probiotic in Zúngarococha in 2023. Using an experimental design, two groups were compared: one treated with a probiotic and one without, distributed in 98 trays within a controlled hydroponic system. The variables measured included plant height, stem diameter, number of leaves, and yield in both fresh and dry matter.

The results showed that, although the use of probiotics increases the agronomic yield of corn, it does not necessarily translate into a higher economic profitability. This is due to the costs associated with probiotics. The ANOVA statistical analysis confirmed significant improvements in the growth of plants treated with probiotics compared to the control group. In conclusion, although the use of probiotics in hydroponic corn cultivation improves certain growth parameters, its economic profitability is limited by the high initial costs. It is suggested that more research be carried out to explore different concentrations of probiotics and their long-term effects, as well as consider cost reduction to improve the economic viability of this agricultural technique

Keywords: Probiotic, Hydroponic Forage, Economic Profitability

INTRODUCCIÓN

La producción agrícola sostenible se ha convertido en una prioridad global en respuesta a los desafíos asociados con el cambio climático, la escasez de recursos hídricos y la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria. En este contexto, el forraje verde hidropónico (FVH) ha emergido como una alternativa prometedora debido a su capacidad para producir biomasa vegetal de alta calidad utilizando sistemas que optimizan el uso del agua y el espacio. El FVH de maíz, en particular, ha ganado atención por su elevado valor nutricional y su eficiencia en la producción, convirtiéndose en una opción viable para la alimentación animal en diversas regiones del mundo.

Zúngarococha, una localidad con condiciones agroecológicas particulares presenta un escenario idóneo para la implementación de tecnologías innovadoras en la agricultura. La incorporación de probióticos en los sistemas hidropónicos de producción de maíz puede potencialmente mejorar la salud y el rendimiento de las plantas, ofreciendo una vía para incrementar la rentabilidad económica de los productores locales. No obstante, la viabilidad económica de esta práctica específica en Zúngarococha durante el 2023 aún no ha sido suficientemente evaluada, lo cual subraya la necesidad de investigaciones detalladas en este ámbito.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar la rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz utilizando agua y probióticos en Zúngarococha en el año 2023. A través de un análisis exhaustivo que considera los costos de producción, los rendimientos obtenidos y el impacto económico de la implementación de probióticos, esta investigación busca proporcionar datos concretos y recomendaciones

prácticas que puedan orientar a los agricultores y tomadores de decisiones en la región. La evaluación se enfocará en determinar la viabilidad financiera y los beneficios económicos potenciales, contribuyendo así al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y rentables en Zúngarococha.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En el año 2019, se realizó un estudio titulado “Abonos foliares (Japaj húmico, 4N-20 y biol en el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Abancay-Apurímac. El objetivo general fue evaluar el efecto de la aplicación de los abonos orgánicos (Japaj Húmico, 4N-20 y Biol) en el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en el distrito de Abancay – Apurímac. El diseño que se utilizó en la presente investigación fue un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con (4) tratamientos y (4) repeticiones, haciendo un total de 16 unidades experimentales. Se determinó que el mejor resultado en la altura de la biomasa aérea del forraje verde hidropónico de la cebada durante las evaluaciones realizadas a lo largo de la investigación se consiguió con la aplicación del tratamiento Agua + 4N -20. Con este tratamiento se logró que durante los 6, 8, 12, 16 y 18 días la biomasa vegetal reporte alturas de 3.44, 5.70, 10.52, 15.31 y 17.29 centímetros respectivamente. (1)

En el 2018, se llevó a cabo un estudio titulado “Evaluación Nutricional y Económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) empleando grano comercial”. El objetivo general fue Evaluar la calidad nutricional y la factibilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) producido a base de grano comercial, como una alternativa complementaria en la alimentación animal en Costa Rica.

Se evaluaron cuatro tratamientos: T1; testigo (SDC) con semilla certificada de maíz variedad Diamantes, T2; maíz Criollo Amarillo (MCA), T3; maíz Pico de Gallo (MCP) y T4; maíz Criollo Blanco (MCB). El diseño experimental que se empleó fue el de bloques al azar generalizado, donde cada uno de los cinco bloques contó con cuatro unidades experimentales por tratamiento.

El costo por Kg de MS alcanzó un valor entre los \$11,17 y \$2,13 entre los diferentes tratamientos, donde el menor costo productivo fue con grano comercial. Se concluyó que la tecnología FVH se puede realizar con maíces criollos, con resultados productivos y calidad bromatológica aceptables a un menor costo por Kg de MS que usar semilla certificada de maíz. (2).

En el año 2019, llevaron a cabo la investigación que lleva por título: “Viabilidad económica para el despliegue del sistema hidropónico en países emergentes: una propuesta de ajuste de riesgo diferenciado”, la cual cuenta con las siguientes características:

- Objetivo general: “Examinar la viabilidad económica de un sistema hidropónico utilizando un enfoque distinguido para tratar riesgo de inversión.”.
- Tipo y diseño: El diseño Experimental, con un análisis de sensibilidad que identifica que el VAN se ve afectado principalmente por las variaciones en los precios recibidos por el agricultor. El análisis de riesgo basado en el método Monte Carlo confirmó la viabilidad económica del proyecto de inversión propuesto en este estudio

- Enfoque: Cuantitativo.
- Población y muestra: Conformada por un área totalizada en 6 ha, pero de las cuales este estudio considera solo 0.5 ha, dentro de los cuales se ubican 2475 m² de invernaderos hidropónicos., se consideró una producción de 238,920 unidades de hortalizas / año disponible para el mercado.
- Conclusión principal: “La hidroponía se practica cada vez más en la agricultura ya que presenta mayores beneficios ambientales que el cultivo convencional. Además, la hidroponía juega un papel social al fortalecer la agricultura familiar, generar ingresos para los centros comunitarios y proporcionar más alimentos y seguridad nutricional.” (3)

En el año 2023, se llevó a cabo una investigación titulada “Forraje Verde Hidropónico en la producción de carne de cuy para incrementar la rentabilidad de los pequeños productores de Huaraz”, en la provincia de Huaraz – región Ancash en Perú. El objetivo general de la investigación fue analizar la producción de forraje verde hidropónico como alternativa para el mejoramiento de la producción de carne de cuy en la provincia de Huaraz – región Ancash para incrementar la rentabilidad de los productores durante el año 2020. La muestra estuvo conformada por 94 productores de cuyes. El diseño de investigación fue de tipo aplicado en el nivel descriptivo con un diseño no experimental. Las técnicas e instrumentos fueron las encuestas y cuestionarios con preguntas cerradas. Los resultados obtenidos concluyeron que la problemática se encuentra relacionada con el

manejo de alimentación cuyo factor representa el 70% de los costos de producción. En consecuencia la implementación de una unidad de producción de forraje verde hidropónico para la producción de carne de cuyes es rentable por un periodo de 5 años. (4)

En el año 2022, llevaron a cabo una investigación en la ciudad de Caldas, Colombia, que se tituló " Efecto de la suplementación alimenticia con forraje verde hidropónico de maíz (*Zea Mays L*) en la sostenibilidad de la producción de pollos de engorde en predios rurales del municipio de Manzanares – Caldas"

El objetivo general fue evaluar la eficiencia productiva de las familias rurales en la producción de pollos de engorde con la inclusión de forraje verde hidropónico en la alimentación. La muestra estuvo conformada por 180 pollos. El diseño que se utilizó fue un experimento completamente al azar, con tres tratamientos y tres repeticiones. Los resultados obtenidos del peso final de los pollos presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre los tratamientos, pero, la suplementación del alimento balanceado, con un 10 FVH fue similar a la producción de pollo 100% de alimento balanceado. La sustitución de forraje verde hidropónico de maíz es de gran viabilidad en un 10% de sustitución, sin afectar características del pollo, eficiencia y productividad, contribuyendo a la sostenibilidad de la producción de pollo de engorde en las familias rurales. (5)

En el año 2023, se llevó a cabo un estudio titulado "Producción de Biomasa y Calidad Nutricional del Forraje Verde Hidropónico de *Zea*

mays (maíz) en Diferentes Momentos de Cosecha en Tingo María". El objetivo general de esta investigación fue evaluar cómo varía la producción de biomasa y la calidad nutritiva del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en función de los momentos en que se lleva a cabo la cosecha. Los resultados obtenidos señalan que los indicadores más favorables en términos de producción se encuentran en el intervalo de cosecha de 16 a 20 días para el Forraje Verde Hidropónico (FVH). Por otro lado, en lo que respecta a los aspectos agronómicos y la calidad nutricional, los mejores resultados se observan en el intervalo de 24 a 28 días de cosecha del FVH de maíz.

(6)

En el 2023, se realizó un estudio titulado Fertilización Inorgánica en Características Vegetativas y Rendimiento de Forraje en rebrote *Peniseum sp. Cuba 22* en Zúngarococha – Loreto. 2023” en la ciudad de Iquitos en Perú. Se utilizó un Diseño de Bloque Completamente al Azar con 4 tratamientos y 4 repeticiones. los tratamientos en estudio fueron: T1 (0 kilos de Bayfolan/ha), T2 (50 kilos de Bayfolan /ha), T3 (100 kilos de Bayfolan nitrógeno/ha) y T4 (150 kilos de Bayfolan/ha). Los resultados muestran que el tratamiento T4 (150 kilos de Bayfolan suelo azul/ha) dio los mejores resultados como materia verde de 10.08 kg/m², materia seca de 2.42 kg/m² y rendimiento de 100,850 kilos por hectárea. (7)

1.2. Bases Teóricas

Maíz.

El maíz (*Zea mays*), una planta de la familia de las gramíneas se originó en Mesoamérica. La mazorca, elote o choclo, es la inflorescencia femenina donde crecen sus granos comestibles. Su domesticación comenzó hace aproximadamente doce mil años en el eje Neovolcánico de México, y se propagó por el continente mucho antes de la llegada de los europeos, quienes lo llevaron a Europa en el siglo XVI. Hoy en día, el maíz es el cereal con mayor volumen de producción en el mundo, seguido por el trigo y el arroz. (8)

Origen

El maíz, originado a partir del teosinte en Mesoamérica, fue domesticado hace unos nueve mil años en los valles de Tehuacán, Puebla y Oaxaca. En Sudamérica, los restos más antiguos de maíz cultivado tienen 6700 años. Los olmecas y mayas cultivaron diversas variedades, integrándolo en su dieta y cultura, mientras que, en los Andes Centrales, el maíz también tuvo gran importancia. Tras el contacto europeo, el maíz se introdujo en Europa y se difundió globalmente. (8)

Tipos de maíz

El maíz se ha extendido globalmente debido a su capacidad de crecer en diversos climas. Las variedades de maíz dulce, ricas en azúcar, se cultivan para el consumo humano, mientras que las variedades de maíz de campo se usan para la alimentación animal, la producción de alimentos para humanos (como harina, masa y aceite), la fermentación

para bebidas alcohólicas como el whisky bourbon y la obtención de productos químicos como el almidón. A nivel mundial, existen alrededor de 200 tipos de maíz, siendo los más cultivados el maíz amarillo, blanco y morado.(8)

Taxonomía

Reino: Plantae
Subdivisión: Magnoliophyta
Clase: Angiosperma
Subclase: Commelinidae
Orden: Poales
Familia: Poaceae
Subfamilia: Panicoideae
Tribu: Andropogoneae
Subtribu: Tripsacinae
Género: Zea
Especie: Zea mays (8)

Forraje verde hidropónico

Para **Sánchez (2013)** el forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje. Las zonas áridas han sido consideradas como terrenos marginales para el desarrollo del sector agropecuario, siendo las razones principales para

esta consideración la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, y suelos y aguas de riego de baja calidad.

El cultivo hidropónico tiende a ser una alternativa de mucho provecho en el sector agrícola-ganadero, no obstante, como todas las técnicas de cultivo también tienen aspectos negativos.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Permite cultivar durante todo el año. • El consumo de agua es mínimo, así como de los nutrientes. • Los cultivos crecen en menos tiempo. • Las plantas crecen vigorosas, pues aprovechan todos los nutrientes, al ser las únicas plantadas. • Permite la utilización de diversidad de espacios y materiales; lo cual acarrea un bajo costo. • Permite la repetición de los mismos cultivos en forma subsecuente e indefinida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe tener basto conocimiento en el manejo agronómico del cultivo. • Se debe conocer y dominar la técnica hidropónica, además de usar la ideal para cada cultivo. • Demanda un manejo con experiencia de las sustancias y soluciones que entran en contacto para el cultivo de las plantas. • Requiere de entrega, supervisión y acción constante.

Fuente: Sánchez citado por Menéndez (2017)

(9)

Funciones de los probióticos

El texto explica que la función más importante de los probióticos es la de resistir la proliferación e invasión de patógenos en el intestino. Algunos estudios, han demostrado que, para hacer frente a los microorganismos patógenos, el probiótico debe ser capaz de resistir el ácido y la bilis, así como la digestión normal del animal, y de esta manera, ser capaz de inhibir la proliferación y el crecimiento de los agentes patógenos.

Por lo general, los probióticos se administran a través de la comida o el agua. Actualmente, su uso y aplicación son más ampliamente conocidos y bien recibidos debido a sus efectos positivos en la producción animal. (15)

- **Selección de la semilla,** Cuando se opta por una semilla, lo primordial es asegurarse de que posea una calidad óptima, conocer su procedencia y su capacidad para adaptarse a la variabilidad de climas en la zona. Es de suma importancia que la semilla se encuentre libre de impurezas y, de ser posible, que no contenga aditivos, tratamientos o pesticidas. (10)
- **Lavado de la Semilla,** se requiere realizar un proceso de lavado de la semilla utilizando una solución química comúnmente conocida como solución de lejía. El propósito de este proceso es garantizar que la semilla esté libre de bacterias, hongos y cualquier tipo de contaminante que pudiera comprometer su viabilidad y afectar el proceso de siembra. El lavado de la semilla también incluye su desinfección, la cual se lleva a cabo mediante la adición de hipoclorito de sodio al agua, en una proporción de 10 ml por cada litro de agua, durante un período que oscila entre 3 segundos como mínimo y 3 minutos como máximo. Es fundamental respetar el tiempo adecuado durante el proceso de desinfección para evitar posibles impactos negativos en la semilla y, por ende, en el Forraje Verde Hidropónico (FVH). (11)

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología para producir biomasa vegetal a partir de la germinación de semillas de cereales en condiciones controladas sin suelo. Este forraje es altamente nutritivo y adecuado para la alimentación animal. Se emplean semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo, y se controlan variables como luz, temperatura y humedad. Esta técnica es una aplicación práctica de la hidroponía, permitiendo una producción eficiente y de calidad de forraje. (12)

Ventajas y desventajas a. Ventajas:

- **Ahorro de agua:** El consumo de agua es mínimo porque es producido en un invernadero, evita el contacto directo con los rayos solares y el agua es captada y reutilizada. Para producir un kilo de forraje se requiere aproximadamente 2 litros de agua, a la vez evita la contaminación de la producción con el uso de agua potable. (12)

- **Tiempo de producción:** el tiempo de cosecha de forraje verde hidropónico varía de 16 a 18 días. También, se puede obtener forraje desde el día 12, esto depende de la temperatura de la zona e infraestructura. (12)

- **Calidad del forraje verde hidropónico para los animales:** Al ser producido en pocos días, es un germinado de aproximadamente 20 a 30 cm de altura, es succulento, palatable, comestible. Su digestibilidad es alta (menor contenido de lignina). Es un forraje fresco de alto valor nutricional adecuado para suministrarla como alimento para animales (9). - **Inocuidad:** La producción en ambientes controlados previene la

presencia de hongos e insectos. Es decir, nos asegura obtener alimento de buena calidad sanitaria. Del mismo modo controla la presencia de hierbas y pastos dañinos para los animales o que puedan cambiar el sabor de la carne. (12)

Costos de producción: Los costos dependerán de la disponibilidad de materiales para la implementación de un invernadero, la elección de semillas de granos que se producen en la zona que sean de bajo costo

Eficiencia en el uso de espacio: El uso de un módulo hidropónico para forrajes maximiza la producción de forraje verde hidropónico en menor tiempo y optimiza mejor los espacios.

Desventajas:

– **Asistencia técnica y desinformación de la tecnología:** La falta de conocimiento de la tecnología y su aplicación, es una de las dificultades para el productor. Esta tecnología no es de ahora, pero requiere tener continuidad para ver resultados. Asimismo, debido al desconocimiento de las ventajas, hay poco interés por implementar este tipo de tecnologías o provoca el abandono de esta actividad.

– **Costo de instalación elevado:** Al inicio el costo de instalación es alto. (12)

Rentabilidad del Forraje Verde Hidropónico

La rentabilidad del cultivo de FVH depende de varios factores, como el costo de instalación y operación, el precio de venta y la demanda del mercado local, así como los costos de mantenimiento del sistema. Sin embargo, en general, producir forraje hidropónico es rentable debido a

su rapidez en la producción, alta calidad nutricional y ahorro en costos de producción y espacio de almacenamiento (13)

La rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz depende de varios factores, como el costo de la infraestructura y el mantenimiento, el precio del maíz y el rendimiento del cultivo. Según estudios, el costo del grano de maíz es alto, lo que puede afectar la rentabilidad del cultivo. Sin embargo, el uso de cultivos hidropónicos es una alternativa técnica de relativa facilidad de aplicación en las empresas ganaderas, produciendo grandes cantidades a bajos costos y en diferentes climas. (14)

1.3. Definición de términos básicos

MICROORGANISMOS EFICACES (EM)

EM significa Microorganismos Eficaces. Este concepto y tecnología fueron desarrollados por el Doctor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, y la investigación se completó en 1982. El principio fundamental de esta tecnología consiste en la introducción de un grupo de microorganismos beneficiosos con el fin de mejorar las condiciones del suelo, suprimir la putrefacción (incluyendo enfermedades) de microbios y mejorar la eficacia del uso de la materia orgánica por parte de las plantas.

En la actividad pecuaria, el EM® se ha convertido en una herramienta invaluable para las unidades de producción animal debido a sus efectos como probiótico, antígeno y sanitizado. La tecnología EM® utilizada en la ganadería se basa en tres pasos: en el agua de bebida, en la

alimentación y en la aplicación en las instalaciones. Los resultados óptimos se logran cuando se aplican los tres pasos de manera combinada. (15)

Costo de producción. Se trata de los desembolsos efectuados durante la fase de producción con el fin de obtener un producto. Esto abarca los costos de los materiales, la mano de obra y los gastos indirectos relacionados con la elaboración del bien o la prestación de un servicio. (4)

La rentabilidad económica. Es una métrica que evalúa la proporción de ganancia generada en relación con el capital total invertido, abarcando tanto el capital prestado como el patrimonio neto. (16)

La rentabilidad económica de un proyecto es crucial porque está vinculada a los objetivos de la inversión y su desarrollo, lo que permite obtener ventajas productivas y asegurar los recursos necesarios para la implementación del negocio o empresa. (17)

Evaluación económica. Es aquella que examina la rentabilidad general del proyecto sin considerar cómo se adquieren o pagan los recursos financieros necesarios. En otras palabras, no toma en cuenta el origen o el costo de los fondos utilizados, prescindiendo así de los aspectos financieros del proyecto. (16)

Beneficio – Costos. Refleja la relación general entre los costos y los beneficios durante un período específico. Básicamente, se trata de dividir el beneficio total propuesto en efectivo por los costos totales propuestos en efectivo. Para un cálculo más preciso, se debe determinar el valor actual neto de los costos y beneficios a lo largo del

ciclo de vida del proyecto. Si esta relación es mayor a uno, indica que los beneficios superan los costos. (18)

Análisis de Precios

En la comuna Rio Verde, el precio de los tapetes de forraje verde hidropónico se determina según la oferta y la demanda, variando según la presentación y calidad del producto, lo que permite ofrecer un precio accesible en el mercado.

Una comparación económica entre el alimento tradicional y el alimento tradicional más FVH de maíz muestra un aumento significativo en la rentabilidad del productor o ganadero, que pasa de \$1.50 a \$2.50. En el proceso productivo, se considera un margen de utilidad del 20%. (19)

Experimento

Hay varias formas de definir un experimento, pero en el campo de las ciencias biológicas y especialmente en agronomía, se puede describir como un estudio en el cual se manipulan una o varias variables independientes (consideradas como causas) con el fin de examinar las consecuencias que dicha manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (consideradas como efectos) en condiciones controladas por el investigador. En el ámbito de la agronomía, los resultados obtenidos a partir de estos estudios se utilizan para tomar decisiones como la recomendación de una variedad de cultivo, la dosis adecuada de pesticida, la cantidad adecuada de fertilizante, entre otras. (20)

Unidad experimental

Una unidad experimental es la cantidad mínima de material a la que se le aplica un tratamiento. Este material puede tomar diferentes formas, tales como una parcela en el campo, una maceta, una planta, un medio de cultivo, una solución o incluso un período de tiempo determinado (como media hora). A esta cantidad mínima de material también se le conoce como parcela elemental. El tratamiento, por otro lado, es el proceso que se aplica a la unidad experimental y cuyo efecto se mide y compara con otros tratamientos. Los tratamientos pueden incluir una variedad de elementos, como una dieta alimenticia, una variedad de semillas, un programa de pulverización, la concentración de un medicamento o una combinación de temperatura y humedad, entre otros. (20)

Error experimental

El error experimental se refiere a la medida de la variación que existe entre las observaciones realizadas en unidades experimentales que han sido tratadas de manera similar. Por ejemplo, si se siembran cinco plantas juntas en una misma maceta y se les aplica un mismo tratamiento, la unidad experimental será el conjunto de las cinco plantas. Es necesario utilizar otras macetas con cinco plantas en cada una para poder medir la variación que existe entre unidades experimentales que han sido tratadas de forma similar. Esto es cierto incluso si se realiza una medición individual de una característica, como la altura de la planta. El problema radica en que, al comparar dos tratamientos, cualquier diferencia observada puede ser atribuible en

parte a la variación que existe entre las macetas de cinco plantas, lo cual es probable que sea mayor que las diferencias que existen entre las plantas que se encuentran en una misma maceta. (20).

CAPÍTULO II: HIPOTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de Hipótesis

2.1.1. Hipótesis General

La producción de forraje verde hidropónico de maíz con probiótico es rentable económicamente en Zúngarococha en el 2023.

2.1.2. Hipótesis específicas

1. El uso de probiótico tendrá un impacto significativo en los costos y beneficios de la producción de forraje verde hidropónico de maíz en Zúngarococha.
2. La rentabilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023 es positiva.
3. La producción de forraje hidropónico de maíz será más rentable en comparación con alternativas de producción convencionales en la región.

2.2. Variable y su Operacionalización

2.2.1. Identificación de variables

Variable Independiente:

X₁. Volumen de Agua

X₂. Probiótico "EM.1"

X_{2.1} Dosis activa 10 litros/200 litros de agua

Variable Dependiente:

Y1. Rentabilidad Económica.

Y1.1 Costo de producción.

Costos totales de producción del forraje verde hidropónico de maíz, incluidos los costos de los probióticos "EM.1"

Y1.2 Ingresos por Producción.

Ingresos generados por la venta de forraje verde hidropónico de maíz.

Y1.3 Evaluación Económica

Y3.1 Alto: Mayor al 20% de los costos

Y3.2 Medio: Del 15 al 20 % de los costos

Y3.3 Bajo: Menos del 15% de los costos

Y2. Rendimiento.

Y2.1 Altura de planta en cm.

Y2.2 Número de hojas por planta.

Y2.3 Diámetro del tallo en mm.

Y2.4 Peso fresco en Kg.

Y2.5 Contenido de materia seca en gr

Y2.6 Rendimiento por unidad de superficie kg

La dosis empleada son recomendaciones del fabricante del probiótico. Guía
Tecnológica EM - EM Producción y Tecnología S.A (EMPROTEC)

2.3. Operacionalización

variables	Definición	Tipo por naturaleza	Indicador	Escala de medición	Categoría	Valores de las categorías	Medios de Verificación
Variable Independiente Agua. (X1) Probiótico. (X2)	Se refiere a la cantidad y calidad del agua utilizada en el sistema hidropónico Los probióticos son un grupo de microorganismos que ayudan a regular y mantener la salud del intestino.	Cuantitativa Continua Cualitativa nominal	Cantidad de agua aplicada (litros) Tipo de probiótico utilizado	Continua Nominal	Cantidad de agua utilizada Probiótico Tipo: EM.1	Cantidad de agua en litros utilizada en cada experimento Tipo de probiótico EM.1 (10 litros de EM activado/ 200 litros de agua)	Registro de toma de datos de evaluación Registro de toma de datos de evaluación
Variable Dependiente Rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz (Y1)	Posibilidad de obtener ganancias o beneficios económicos de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico	Cuantitativa Continua	Rentabilidad (relación beneficio/costo)	Ratio	Rentable No rentable	Análisis de los datos recolectados (positivo/negativo) Y1. Costo de producción. Y2. Ingresos por Producción. Y3. Rentabilidad Económica Alto: Mayor al 20% de los costos Medio: Del 15 al 20 % de los costos Bajo: Menos del 15% de los costos	Análisis financiero de los costos y los ingresos asociados a la producción. Registros contables.
Variable Dependiente Rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz (Y1)	Altura, número de hojas, diámetro y masa del forraje verde producido	Cuantitativa Continua	Altura y Peso del forraje (centímetros y Kilogramos)	Continua	Cantidad de forraje verde hidropónico de maíz por unidad de superficie	1. Altura de planta en cm. 2. # de hojas por planta 3. Diámetro de tallo en mm 4. Peso fresco en kg 5. Contenido materia seca 6. Rendimiento por Unidad de superficie	Registro de toma de datos de evaluación. Análisis de laboratorio.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación se centró en un enfoque cuantitativo y se llevó a cabo mediante un tipo de diseño analítico, prospectivo y transversal, con un nivel explicativo.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación utilizado fue de tipo experimental puro y transversal, en el que se estableció una relación causa-efecto entre una variable independiente y variables dependientes.

3.2. Diseño muestral

3.2.1. Población

La población de estudio estaba constituida por 98 bandejas de producción de forraje verde hidropónico de maíz que se cultivaron en el Proyecto de Enseñanza e Investigación de Porcinos en Zúngarococha.

3.2.2. Muestra

La muestra de estudio estuvo conformada por 98 bandejas de forraje verde hidropónico (25x50 cm) distribuidas en 2 estantes (49 bandejas cada uno).

3.2.3. Muestreo

El método de muestreo utilizado fue un muestreo aleatorio simple de todas las bandejas de producción de forraje verde hidropónico.

3.2.4. Criterios de Selección

Se seleccionaron semillas de tamaño homogéneo, sanas y con un porcentaje mayor al 85% de germinación. Posteriormente, se procedió a cultivar las bandejas de forraje verde hidropónico en el invernadero del Proyecto de Enseñanza e Investigación de Porcinos en Zúngarococha. Las bandejas fueron monitoreadas regularmente durante el proceso de cultivo para garantizar su adecuado desarrollo y crecimiento.

Inclusión

Se consideraron únicamente las bandejas de forraje verde hidropónico que se cultivaron utilizando agua y probiótico EM.1. Se tomaron en cuenta exclusivamente las bandejas de forraje verde hidropónico cultivadas en el mismo periodo, garantizando así una comparación imparcial.

Exclusión

Se excluyeron cualquier muestra que no correspondiera a forraje verde hidropónico de maíz.

Además, se eliminaron las bandejas de forraje verde hidropónico que se hubieran cultivado empleando probióticos distintos o agua mezclada con otros nutrientes, garantizando

así la homogeneidad de las condiciones de cultivo y la consistencia de los resultados.

3.3. Procedimiento de recolección de datos

3.3.1. Instrumentos de recolección de datos.

Materiales:

De campo:

- Módulo hidropónico con estantería de 2 x 2.5 mt
- Bandejas de 25 x 50 cm
- Semilla de maíz marginal 28
- Timer /temporizador
- Electrobomba de ½ hp
- Probiótico EM.1
- Pie de rey.
- Balanza tipo reloj
- Balanza gramera
- Plástico
- Colador
- Bidones
- Malla raschel
- Mangueras
- Baldes
- Pulverizadores capacidad 30 litros/hora
- Cuaderno de registros

De gabinete:

- Paquete Estadístico.
- Laptop.
- Cámara Fotográfica.
- Cuaderno de apuntes y/o de campo.
- USB, etc.

3.3.2. Ubicación del Campo Experimental

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del "Proyecto de Enseñanza e Investigación de Porcinos" de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicado en la localidad de Zúngarococha, en el distrito de San Juan, en la provincia de Maynas, dentro del departamento de Loreto. Este entorno proporcionó las condiciones adecuadas para realizar el estudio en un ambiente controlado y propicio para la investigación científica.

3.3.3. Características de la unidad experimental**Unidad experimental**

Cantidad:	2 módulos
Largo:	2.5 m
Ancho:	2 m
Área:	5 m ²
Unidades de observación:	98
Unidad de observación:	49/unidad experimental

3.3.4. Metodología experimental

a) Dimensiones de los estantes de producción FVH

Se dispuso de dos estantes contruidos con fierro tubular, cada uno con las siguientes dimensiones:

- Altura: 2.5 mt
- Ancho: 2 mt
- Fondo: 52 cm
- Niveles: 7
- Nebulizadores: 3 por nivel. (cap. 30 lt/hr)
- Número de bandejas: 7 por filas.
- Dimensión de bandejas: 25 x 50 cm



Foto 1 Estantes para la producción de FVH



Foto 2 Estantes de FVH en producción

b) Lavado y desinfección de bandejas germinadoras

En esta investigación, se emplearon bandejas germinadoras de 25 x 50 cm (0.125 m²) de color negro. Estas bandejas fueron previamente lavadas con un detergente comercial y posteriormente desinfectadas mediante la inmersión en una solución de agua y lejía (hipoclorito de sodio al 4%) durante un minuto, asegurando así una desinfección adecuada y la eliminación de cualquier patógeno que pudiera interferir durante el experimento.



Foto 3 Lavado y desinfectado de bandejas germinadoras

c) Selección de la Semilla

Se seleccionó la variedad Marginal 28t como la semilla ideal para el cultivo de forraje verde hidropónico de maíz. Esta elección se basó en varios criterios, entre los cuales destacan la disponibilidad y el precio de la semilla en el mercado. Además, se consideró crucial asegurar un poder de germinación mínimo del 85%, ya que esto garantiza un establecimiento vigoroso de las plántulas.



Foto 4 Semillas de maíz (*Zea mays*) marginal 28t

d) Lavado y Desinfección de Semillas

Las semillas fueron meticulosamente lavadas con agua limpia para eliminar cualquier residuo y posibles patógenos superficiales. Posteriormente, se procedió a desinfectarlas sumergiéndolas en una solución desinfectante compuesta por 1 ml de lejía (hipoclorito de sodio al 4%) por litro de agua, durante un período de 30 minutos. Este

procedimiento se llevó a cabo con el propósito de minimizar el riesgo de enfermedades. Finalmente, se enjuagaron cuidadosamente las semillas para eliminar cualquier residuo de la solución desinfectante antes de su siembra.



Foto 5 Desinfectante para las semillas de maíz

e) Preparación del Probiótico “EM”,

Para la elaboración del probiótico, se inicia combinando un litro del producto Probiótico EM en su estado no activado con un litro de melaza de caña. Estos componentes se integran en un recipiente que contiene 18 litros de agua sin cloro, resultando en una solución de 20 litros de probiótico activado. Después de mezclar cuidadosamente, se deja reposar la mezcla durante un período de 7 días para permitir la activación de las bacterias. Durante este tiempo, el recipiente se coloca en un lugar oscuro y se cubre con un costal negro para garantizar un proceso óptimo. Este método de preparación garantiza la eficacia del probiótico

al tiempo que se maximiza su potencial beneficioso para las plantas.



Foto 6 Probiótico EM. 1



Foto 7 Preparación de probiótico



Foto 8 Remoción de la mezcla

f) Pre-germinación (Remojo de las Semillas)

Las semillas fueron sumergidas en agua a temperatura ambiente y dejadas en remojo durante 24 horas para estimular su germinación. Se verificó cuidadosamente que estuvieran completamente sumergidas para garantizar un proceso uniforme de germinación. Este paso resultó fundamental para haber preparado adecuadamente las semillas antes de proceder con el cultivo, asegurando así un inicio saludable y vigoroso para las plántulas.



Foto 9 Semillas pregerminadas de maíz

g) Limpieza de semillas posterior al remojo

Después de transcurridas las 24 horas de remojo, se llevó a cabo la limpieza de los granos que presentaran roturas, daños, pudrición o tamaño reducido, con el objetivo de garantizar la uniformidad y calidad de las semillas utilizadas en el experimento. Este proceso meticuloso se realizó para asegurar que solo las semillas óptimas y saludables se emplearan en el estudio, lo que contribuyó a mantener la coherencia y fiabilidad de los resultados obtenidos.





Foto 10 Limpieza de granos

h) Siembra y Densidad

Siguiendo las pautas sugeridas en estudios previos, los cuales sugieren que en bandejas germinadoras de este tipo se pueden usar entre 750 y 1500 gramos por bandeja, se optó por una densidad de siembra de 1 kg de semilla pregerminada por bandeja. Estas semillas fueron distribuidas de forma uniforme por toda la bandeja, procurando no exceder una altura máxima de 2 cm, con el fin de prevenir el apilamiento y posibles problemas de pudrición en etapas posteriores del proceso. Este enfoque garantizó condiciones óptimas para el desarrollo inicial de las plántulas y contribuyó a mantener un entorno propicio para el éxito del experimento. Se emplearon 49 bandejas germinadoras distribuidas en 7 filas, cada una compuesta por 7 bandejas, en cada estante tanto con agua pura como con la mezcla de probiótico.



Foto 11 Distribución de las semillas en las bandejas



Foto 12 Colocación de las bandejas en los estantes

i) Germinación

Las bandejas fueron cubiertas con plástico durante un período de 24 horas con el propósito de fomentar la germinación y el crecimiento de las plántulas. Durante este

tiempo, se aseguró de mantener una temperatura constante, manteniéndola en un promedio de 28°C. Este ambiente controlado proporcionó las condiciones ideales para el desarrollo inicial de las semillas y promovió un crecimiento saludable y uniforme de las plántulas.



Foto 13 Proceso de germinación en los estantes

j) Riego

Se aplicaron riegos controlados mediante un sistema de nebulización automatizada para garantizar el suministro adecuado de agua a las plántulas. Los riegos se llevaron a cabo a intervalos regulares: a las 6, 9, 12, 15, 18 y 22 horas, con una duración de un minuto cada uno. Para este fin, se emplearon dos cilindros de 200 litros cada uno: uno contenido solo agua pura, mientras que el segundo contenía agua pura mezclada con 10 litros de probiótico activado. Esta estrategia permitió mantener un ambiente

óptimo para el desarrollo de las plantas, promoviendo su salud y vitalidad durante todo el ciclo de crecimiento.

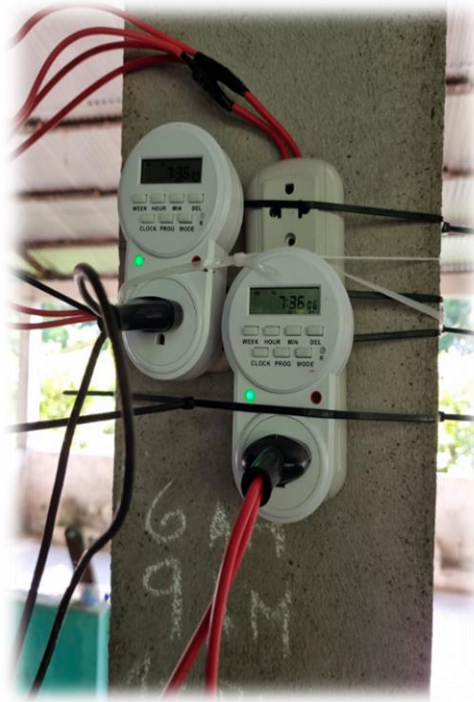


Foto 14 Temporizadores (Timer)



Foto 15 Riego automatizado del FVH por nebulización

k) Toma de datos

A lo largo del proceso de cultivo, se realizaron mediciones periódicas para evaluar el progreso y el estado de salud de las plantas. Se realizaron mediciones en la parte central de cada fila, tomando los datos de las 3 bandejas centrales y excluyendo las dos bandejas laterales de cada lado. Estas mediciones incluyeron la altura y el diámetro de las plantas, así como el recuento de hojas por planta. Los datos obtenidos fueron registrados sistemáticamente para llevar un seguimiento detallado del desarrollo de las plantas a lo largo de su ciclo de crecimiento. Este enfoque permitió una evaluación precisa de la evolución de las plantas y contribuyó a identificar cualquier necesidad de ajuste en las condiciones de cultivo para optimizar su crecimiento y rendimiento.



Foto 16 Registro de datos agronómicos del FVH

I) Cosecha y Rendimiento

La recolección del forraje verde de maíz se realizó exactamente a los 14 días posteriores a la siembra, momento en el cual las plántulas alcanzaron su altura óptima. Durante esta fase, se llevaron a cabo mediciones como el peso fresco de cada bandeja y el rendimiento por unidad de superficie. Además, en el laboratorio, se procedió con el análisis del contenido de materia seca de las muestras recolectadas. Estas mediciones y análisis son esenciales para evaluar el éxito del cultivo y proporcionar información valiosa para mejorar las prácticas de manejo en futuros ciclos de cultivo. Este enfoque integral garantiza una comprensión completa del rendimiento del cultivo y permite tomar decisiones informadas para optimizar los resultados en el futuro.



Foto 17 Estantes en la fase final de producción FVH



Foto 18 Cosecha de la producción FVH



Foto 19 Tapete sano del FVHM

m) Disposición de la producción FVHM

Después de la recolección del forraje verde hidropónico de maíz, se utilizó como alimento para los animales del Proyecto de enseñanza e investigación de porcinos y el Taller de enseñanza e investigación de aves. Esta etapa no solo contribuye a aprovechar eficientemente los recursos generados en el proyecto, sino que también proporciona una oportunidad práctica para el estudio y la observación del impacto del forraje en la alimentación y el rendimiento

de los animales en ambos programas de enseñanza e investigación.



Foto 20 Suministro de la producción FVH para aves criollas



Foto 21 Suministro de la producción FVH para cerdos en crecimiento

3.3.5. Evaluación de las variables dependientes

A. Rendimiento

- Altura de planta en cm.
- Número de hojas por planta
- Diámetro de tallo en mm
- Peso fresco en kg
- Contenido materia seca
- Rendimiento por Unidad de superficie

3.4. Procedimiento y análisis de datos

Los datos de campo fueron recopilados con la máxima precisión disponible para asegurar su integridad y fiabilidad. Inicialmente, se registraron en una hoja de cálculo en Excel y luego se importaron al software estadístico "R" para su procesamiento y análisis detallado. Este método garantizó una gestión eficiente y rigurosa de la información, lo que permitió obtener resultados confiables y significativos.

3.5. Aspectos Éticos

Durante el cultivo, fue esencial garantizar la utilización adecuada y segura tanto del agua como del probiótico. Se priorizó mantener la integridad científica, recopilando y analizando los datos de manera imparcial y objetiva. Además, se enfatizó en presentar los resultados de forma transparente y honesta, evitando ocultar información

relevante o manipular los resultados para que coincidan con una hipótesis preconcebida.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Altura de planta: datos cuantitativos en cm

Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para la Altura de Planta en cm, sin uso de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)
Lineal	1	21121.573	21121.573	14911.301	0.0000 **
Desviación	10	553.998	55.400	39.111	0.0000 **
Residual	480	679.911	1.416		
Total	491				

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo.

La tabla 1 presenta el ANOVA para la variable altura de planta en cm, donde se analizó la influencia sin el uso de probióticos en la altura de las plantas, mostrando una suma de cuadrados significativa para el factor 'Lineal' con un grado de libertad, lo que indica una diferencia estadísticamente ($p < 0.01$) relevante en la altura de las plantas. También se observó variabilidad significativa en el término “Desviación”, reflejando posibles diferencias internas o influencias de factores no controlados.

Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para la Altura de Planta en cm, con incorporación de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)
Lineal	1	23255.224	23255.224	16417.605	0.0000 **
Desviación	10	803.491	80.349	56.724	0.0000 **
Residual	480	679.911	1.416		
Total	491				

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 2 ilustra el análisis de varianza (ANOVA) realizado para determinar el efecto de los probióticos sobre la altura de las plantas, medida en centímetros, este análisis reveló que el tratamiento con probióticos tiene un efecto significativo en la altura de las plantas. El factor 'Lineal' demostró un alto grado de influencia con un valor F significativo ($p < 0.01$), subrayando diferencias notables entre los grupos tratados. Así mismo la desviación también mostró variabilidad estadísticamente significativa, lo que podría reflejar variaciones dentro de los grupos o la influencia de otros factores no controlados.

Tabla 3. Modelos de Regresión para la Altura de Planta en cm con y sin la incorporación de probióticos.

SIN PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	-3.649	0.176	-20.763	0.0000
x	2.641	0.019	137.877	0.0000

CON PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	-3.631	0.181	-20.007	0.0000
x	2.771	0.020	140.113	0.0000

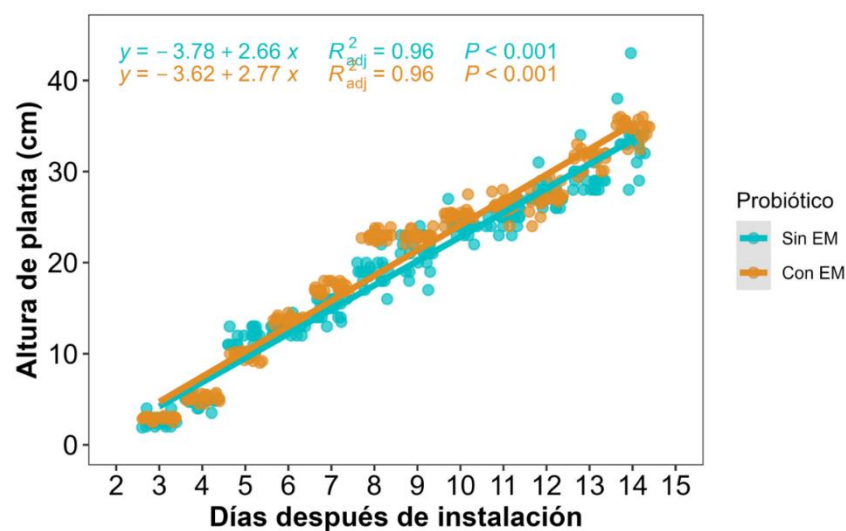
, **

Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 3 muestra los modelos de regresión lineal evaluando la altura de las plantas. En el escenario sin probióticos, el modelo revela una relación positiva y estadísticamente significativa entre el tratamiento y la altura de la planta, evidenciado por un intercepto negativo y un alto valor t. Con probióticos, los resultados son similares pero con una

pendiente ligeramente mayor, sugiriendo un efecto más pronunciado de los probióticos en el aumento de la altura. Ambos modelos indican que la inclusión de probióticos podría ser beneficiosa para el crecimiento de las plantas, con resultados estadísticamente significativos.

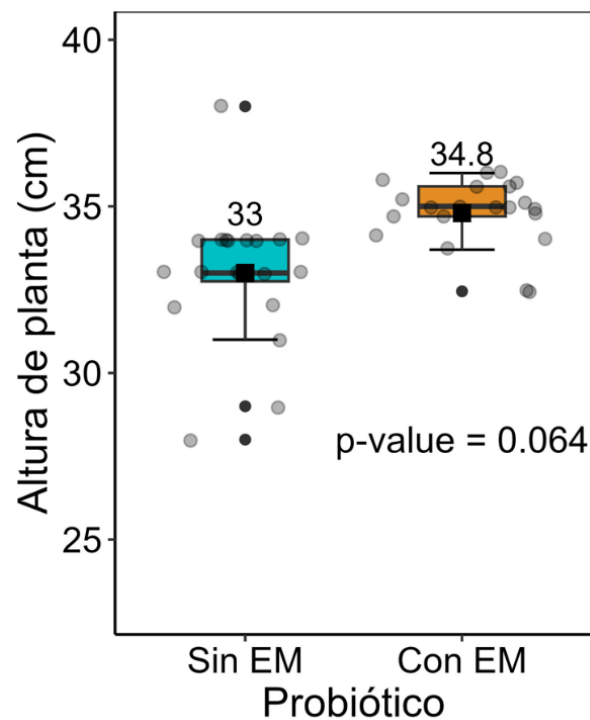
Figura 1. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable Altura de Planta en cm en 14 Días.



La Figura 1 muestra el análisis de regresión que compara el crecimiento en altura de las plantas a lo largo de 14 días, diferenciando entre tratamientos con y sin el uso de probióticos (EM). Se observan dos líneas de regresión distintas: una para las plantas tratadas con probióticos y otra para las que no recibieron este tratamiento. Las ecuaciones de regresión, $y = -3.78 + 2.66x$ para plantas sin EM y $y = -3.62 + 2.77x$ para plantas con EM, indican que ambos tratamientos muestran un incremento positivo en la altura a medida que avanzan los días.

El coeficiente para las plantas tratadas con EM es ligeramente superior, lo que sugiere que el uso de probióticos puede estar asociado con un crecimiento algo más acelerado comparado con las plantas no tratadas. El ajuste del modelo es fuerte para ambos grupos, como lo indica el coeficiente de determinación ajustado (R^2 adj) de 0.96, lo que implica que aproximadamente el 96% de la variabilidad en la altura de la planta es explicada por el tiempo transcurrido desde la instalación. Además, la significancia estadística de los modelos es extremadamente alta ($P < 0.001$), corroborando la fiabilidad de los resultados observados. Estos resultados destacan la efectividad de los probióticos en potenciar el crecimiento de las plantas.

Figura 2. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de prueba de Test de T-Student en la Altura de Planta en cm con y Sin Probióticos



La Figura 2 muestra un diagrama de cajas que compara la altura de las plantas en centímetros entre dos grupos: uno tratado con probióticos (EM) y otro sin ellos. El promedio de altura para las plantas sin EM es de 33 cm, mientras que para las plantas con EM es de 34.8 cm. Este aumento del promedio sugiere que el uso de probióticos podría tener un efecto positivo en la altura de las plantas.

El diagrama también muestra que, aunque la dispersión de los datos es similar en ambos grupos, indicada por la longitud de las cajas y los bigotes, hay una ligera tendencia hacia una mayor altura en el grupo tratado con probióticos. Sin embargo, el valor **p de 0.064** indica que esta diferencia no alcanza significancia estadística al nivel del 0.05 de probabilidad. Esto implica que, mientras hay indicios de que los probióticos pueden influir positivamente en la altura de las plantas, estos resultados deben interpretarse con cautela.

4.1.1. Diámetro del tallo de la planta: datos cuantitativos en mm

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el diámetro del tallo de la Planta en mm, sin uso de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)	
Lineal	1	21.097	21.097	855.317	0.0000	**
Desviación	10	1.546	0.155	6.270	0.0000	**
Residual	480	11.840	0.025			
Total	491					

Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 4 presenta un análisis de varianza (ANOVA) que evalúa el diámetro del tallo de la planta sin el uso de probióticos, mostrando

diferencias significativas tanto en el factor lineal como en la desviación, ambos con p-valores de >0.001 . Esto indica que la ausencia de probióticos influye considerablemente en el crecimiento del diámetro del tallo, con un alto grado de significancia estadística. El modelo explica una parte significativa de la variabilidad observada en el diámetro del tallo, lo que sugiere que los factores estudiados son determinantes clave en el desarrollo estructural de las plantas.

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el diámetro del tallo de la Planta en mm, con uso de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)
Lineal	1	22.886	22.886	927.847	0.0000 **
Desviación	10	1.800	0.180	7.299	0.0000 **
Residual	480	11.840	0.025		
Total	491				

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 5 ofrece un análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro del tallo de plantas tratadas con probióticos, mostrando diferencias estadísticamente significativas tanto en el componente lineal como en la desviación, con p-valores de 0.0000. Esto indica que los probióticos tienen un efecto positivo en el crecimiento del diámetro del tallo, con un modelo que explica de manera eficaz la variabilidad observada. Esto sugiere que los probióticos podrían ser un complemento efectivo para fomentar el desarrollo estructural de las plantas.

Tabla 6. Modelos de Regresión para el Diámetro de tallo de la Planta en mm con y sin la incorporación de probióticos.

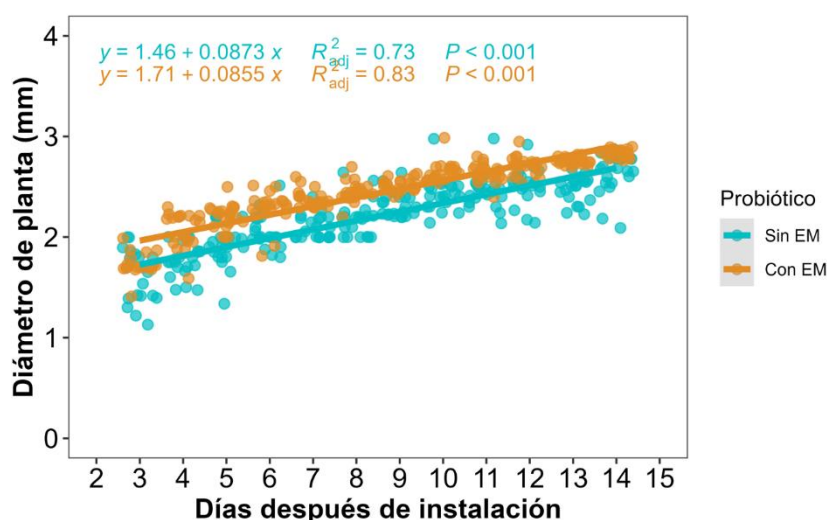
SIN PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	1.484	0.035	42.294	0.0000
x	0.084	0.004	21.917	0.0000

CON PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	1.692	0.022	77.892	0.0000
x	0.087	0.002	36.880	0.0000

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 6 muestra los resultados de los modelos de regresión evaluados para el diámetro del tallo de la planta, diferenciando entre tratamientos con y sin el uso de probióticos. El modelo sin probióticos muestra un intercepto de 1.484 y una pendiente de 0.084, ambos con valores t y p-valores (42.294 y 21.917; y $p < 0.0000$ respectivamente) que indican una alta significancia estadística, confirmando la fuerte influencia de los factores estudiados en el diámetro del tallo de la planta. El modelo con probióticos muestra un intercepto de 1.692 y una pendiente de 0.087, con valores t muy altos (77.892 y 36.880 respectivamente) y p-valores de < 0.01 , demostrando una significativa influencia positiva de los probióticos en el aumento del diámetro del tallo de la planta. Estos análisis refuerzan la efectividad de los probióticos para mejorar el crecimiento de las plantas.

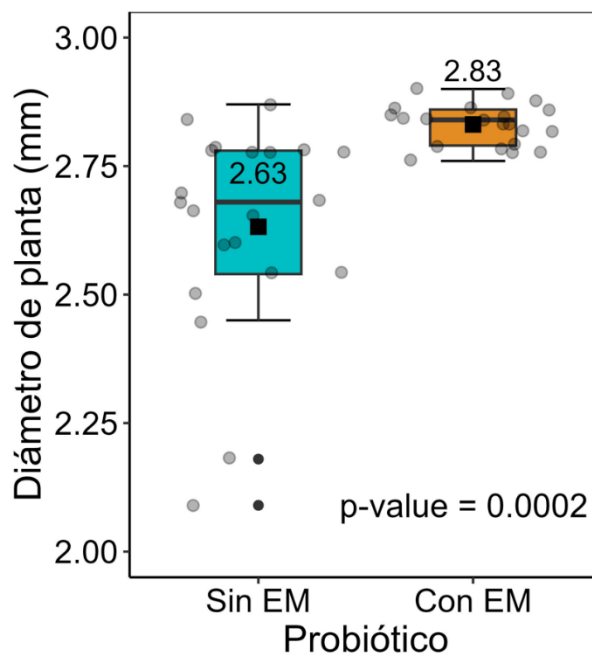
Figura 3. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable Diámetro de tallo de la Planta en mm en 14 Días.



La figura 3 muestra el análisis de regresión para el diámetro del tallo de plantas con y sin la aplicación de probióticos (EM) a lo largo de 14 días. En el tratamiento sin EM, la ecuación de la línea de regresión es $y = 1.46 + 0.0873x$, con un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) de 0.73, indicando que aproximadamente el 73% de la variación en el diámetro del tallo es explicada por el tiempo transcurrido desde la instalación. Este modelo posee un p-valor significativo ($P < 0.001$). Por otro lado, las plantas tratadas con EM exhiben una ecuación de regresión de $y = 1.71 + 0.0855x$, con un R^2_{adj} de 0.83. Esto sugiere que el 83% de la variabilidad en el diámetro del tallo puede atribuirse al tiempo, complementado por el uso de probióticos. Este modelo también muestra un p-valor menor a 0.001, confirmando la significativa influencia de los probióticos en el crecimiento del tallo. Comparativamente, el modelo con probióticos muestra un intercepto inicial más alto y una pendiente ligeramente menor que el modelo sin

probióticos, lo cual podría interpretarse como un inicio más fuerte en el crecimiento del tallo con un incremento más gradual a lo largo del tiempo.

Figura 4. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de Test de T-Student del Diámetro de tallo de la Planta en mm con y Sin Probióticos



La Figura 4 presenta un análisis comparativo del diámetro del tallo de la planta utilizando diagramas de cajas para muestras tratadas con y sin probióticos (EM). Los resultados muestran que el diámetro medio del tallo en las plantas sin EM es de 2.63 mm, mientras que, en las plantas tratadas con EM, el diámetro medio asciende a 2.83 mm. Esta diferencia se refleja también en el valor de $p >= 0.01$, indicando alta diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos.

Los diagramas de cajas ilustran una variabilidad más contenida en las plantas tratadas con probióticos, como se observa por la menor dispersión de los datos alrededor de la mediana, comparado con el

grupo sin EM. Este patrón sugiere que el uso de probióticos no solo aumenta el diámetro del tallo, sino que también puede contribuir a una mayor uniformidad en el crecimiento de las plantas.

4.1.2. Número de hojas por planta: datos cuantitativos en cantidad

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el número de hojas por planta, sin uso de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)	
Lineal	1	67.314	67.314	573.470	0.0000	**
Cuadrática	1	4.053	4.053	34.532	0.0000	**
Desviación	7	2.770	0.396	3.372	0.0017	**
*, Residual	400	46.952	0.117			**
Total	409					

Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 7 ilustra el análisis de varianza (ANOVA) del número de hojas por planta sin el uso de probióticos, mostrando resultados estadísticamente significativos tanto para el modelo lineal como para el cuadrático, con p-valores menores a 0.01. Además, se observa significancia estadística en la variabilidad dentro de los grupos, lo que sugiere que factores adicionales pueden estar afectando el número de hojas. Esto indica que la ausencia de probióticos tiene un impacto considerable en el crecimiento y desarrollo del número de hojas de las plantas.

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general para el número de hojas por planta, con uso de Probióticos

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)	
Lineal	1	74.183	74.183	631.986	0.0000	**
Cuadrática	1	4.688	4.688	39.941	0.0000	**
Desviación	7	7.743	1.106	9.423	0.0000	**
Residual	400	46.952	0.117			
Total	409					

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 8 revela un análisis de varianza (ANOVA) que evalúa el efecto de los probióticos en el número de hojas por planta, mostrando significancia estadística en los modelos lineal y cuadrático, con valores F muy altos y p-valores menores a 0.0001. También se observa una significancia estadística en la variabilidad dentro de los grupos, indicando que factores adicionales influyen el número de hojas. Esto subraya que los probióticos tienen un impacto considerable y positivo en el crecimiento y desarrollo del número de hojas en las plantas.

Tabla 9. Modelos de Regresión para el Número de hojas por planta con y sin la incorporación de probióticos.

SIN PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	-0.864	0.310	-2.791	0.0057
X	0.560	0.069	8.098	0.0000
I(x ²)	-0.019	0.004	-5.296	0.0000

CON PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	-1.171	0.297	-3.941	0.0001
X	0.598	0.066	8.999	0.0000
I(x ²)	-0.021	0.003	-5.935	0.0000

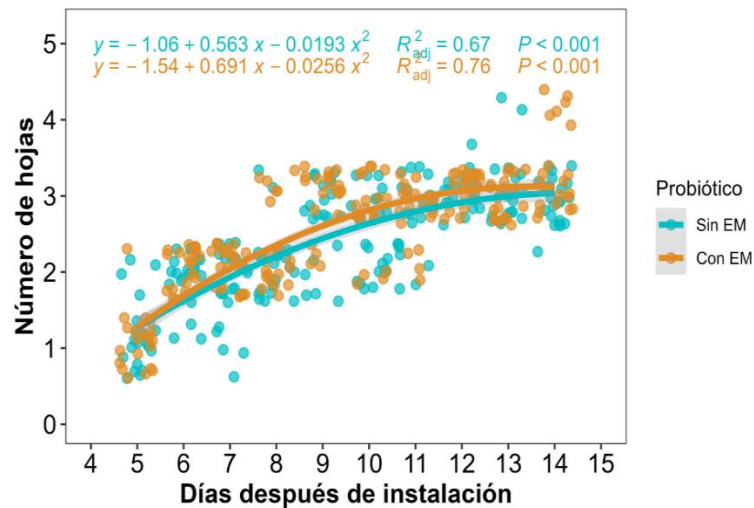
*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 9 presenta los resultados de los modelos de regresión para evaluar la influencia de los probióticos en el número de hojas por planta. El modelo sin probióticos revela que el intercepto y los términos lineal y cuadrático son estadísticamente significativos, indicando una relación inicialmente positiva en el número de hojas que disminuye de forma no lineal con el tiempo, reflejado en los p-valores significativos de los coeficientes.

En contraste, el modelo con probióticos indica que tanto el intercepto como los términos lineal y cuadrático son estadísticamente significativos. Esto sugiere que, aunque sigue un patrón similar al modelo sin probióticos, el efecto de los probióticos en el número de hojas es más acentuado, como lo demuestran los valores t altos y los p-valores extremadamente bajos de cada coeficiente. Estos modelos

destacan que tanto en presencia como en ausencia de probióticos, el número de hojas aumenta inicialmente con el tiempo, pero el incremento se modula negativamente a medida que el tiempo avanza.

Figura 5. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable número de hojas por planta en 14 Días.

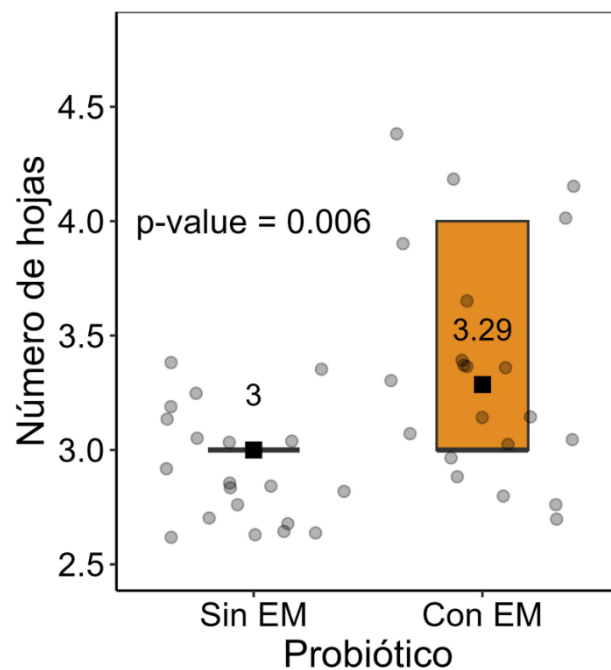


La Figura 5 presenta una evaluación mediante regresión de cómo el tratamiento con y sin probióticos (EM) afecta la cantidad de hojas por planta durante un periodo de 14 días. Se observan dos modelos de regresión distintos que describen el comportamiento del crecimiento foliar bajo cada condición. Para las plantas sin EM, la ecuación de regresión es $y = -1.06 + 0.563x - 0.0193x^2$, con un coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) de 0.67, indicando que este modelo explica aproximadamente el 67% de la variabilidad observada. Para las plantas con EM, la ecuación es $y = -1.54 + 0.691x - 0.0256x^2$, con un R^2_{adj} de 0.76, lo que sugiere una mayor capacidad explicativa del 76% de la variabilidad.

Ambos modelos muestran una significancia estadística fuerte ($p < 0.001$), destacando que el número de hojas inicialmente aumenta con

el tiempo pero su crecimiento se modula negativamente a medida que avanza el tiempo. El modelo con probióticos inicia con un intercepto más bajo pero muestra un incremento más fuerte en la pendiente inicial y un decrecimiento más pronunciado, implicando que los probióticos podrían intensificar el crecimiento inicial de las hojas pero también podrían llevar a una saturación más rápida.

Figura 6. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de Test de T-Student del Número de Hojas por Planta con y sin Probióticos



La Figura 6 ilustra el análisis comparativo del número de hojas por planta utilizando un test de T-Student para evaluar las diferencias entre plantas tratadas con y sin probióticos (EM). Los diagramas de cajas muestran que el promedio de hojas en plantas sin EM es notablemente menor, con un valor central de 3, comparado con las plantas tratadas con EM, donde el promedio es aproximadamente de

3.29 hojas. La diferencia entre ambos tratamientos es estadísticamente significativa, como lo indica un p-valor de 0.006.

Esta comparación destaca que el uso de probióticos está asociado con un incremento en el número de hojas por planta, sugiriendo que los probióticos pueden jugar un rol crucial en el desarrollo foliar. Además, la dispersión de los datos, más concentrada en el grupo con EM, indica una posible consistencia mayor en la respuesta de las plantas al tratamiento con probióticos.

4.1.3. Cosecha de materia fresca: rendimiento por metro cuadrado (kg m²)

Tabla 10 Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Fresca en kg m² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz Sin Probióticos.

FV	GI	SC	QM	F value	Pr-(F)	
Lineal	1	2277.88	2277.88	1603.250	0.0000	**
Cuadrática	1	81.33	81.33	57.240	0.0000	**
Desviación	7	19.73	2.82	1.983	0.0561	ns
Residual	400	568.31	1.42			
Total	409					

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo.

La Tabla 10 presenta un análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz sin probióticos, mostrando efectos significativos en los términos lineal y cuadrático con valores F muy altos y p-valores inferiores a 0.0001, indicando una clara influencia de factores lineales y cuadráticos en el rendimiento.

La desviación no mostró significancia estadística, sugiriendo que el modelo captura bien la variabilidad en el rendimiento. Esto indica que el rendimiento se afecta de manera significativa por factores que exhiben un patrón tanto lineal como no lineal.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Fresca en kg m² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz con Probióticos.

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)	
Lineal	1	3736.31	3736.31	2629.75	0.0000	**
Cuadrática	1	70.78	70.78	49.82	0.0000	**
Desviación	7	22.73	3.25	2.29	0.0272	**
Residual	400	568.31	1.42			
Total	409					

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo.

La Tabla 11 muestra un análisis ANOVA del rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz con probióticos, revelando significancia estadística en los términos lineal y cuadrático, con valores F muy altos y p-valores extremadamente bajos, indicando un fuerte efecto de los probióticos. También se observa significancia en la desviación, sugiriendo variaciones dentro de los tratamientos. Esto confirma que los probióticos no solo mejoran el rendimiento del forraje sino también influyen en el patrón de crecimiento de las plantas.

Tabla 12. Modelos de Regresión para el rendimiento de materia fresca kg m² con y sin la incorporación de probióticos.

SIN PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	8.512	0.960	8.868	0.0000
X	2.774	0.215	12.930	0.0000
I(x ²)	-0.086	0.011	-7.652	0.0000

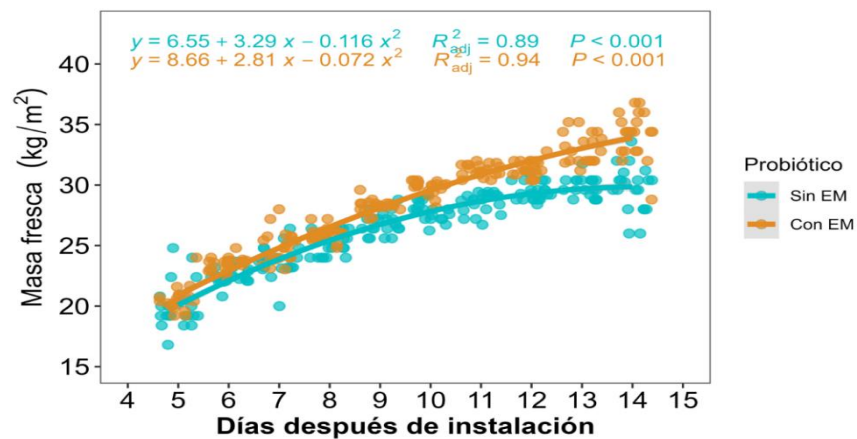
CON PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	7.995	1.018	7.856	0.0000
X	2.987	0.227	13.129	0.0000
I(x ²)	-0.080	0.012	-6.732	0.0000

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 12 proporciona un análisis de regresión detallado para evaluar el rendimiento de materia fresca en kg m²⁻¹ tanto en plantas tratadas con probióticos como en aquellas sin esta intervención. El modelo para las plantas sin probióticos indica un intercepto significativamente alto y un coeficiente positivo para x, ambos con p-valores menores a 0.01, mostrando un aumento significativo en el rendimiento. Sin embargo, el término cuadrático es negativo y también significativo, lo que sugiere una disminución en el rendimiento a medida que x aumenta. El modelo para plantas tratadas con probióticos muestra un intercepto significativo y un coeficiente para x aún más elevado, ambos con p-valores extremadamente bajos, indicando un aumento notable en el rendimiento gracias a los probióticos. Sin embargo, el coeficiente cuadrático negativo y

significativo señala que, a pesar de este aumento inicial, el rendimiento decrece conforme x se incrementa, siguiendo un patrón similar al observado en el modelo sin probióticos. Estos resultados demuestran que tanto con como sin probióticos, el incremento en el rendimiento de materia fresca es inicialmente positivo, pero tiende a disminuir a medida que aumentan los valores de x. Sin embargo, la presencia de probióticos parece mejorar ligeramente el rendimiento inicial, aunque ambos modelos exhiben una tendencia decreciente similar.

Figura 7. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable rendimiento de materia fresca kg m² en 14 Días.



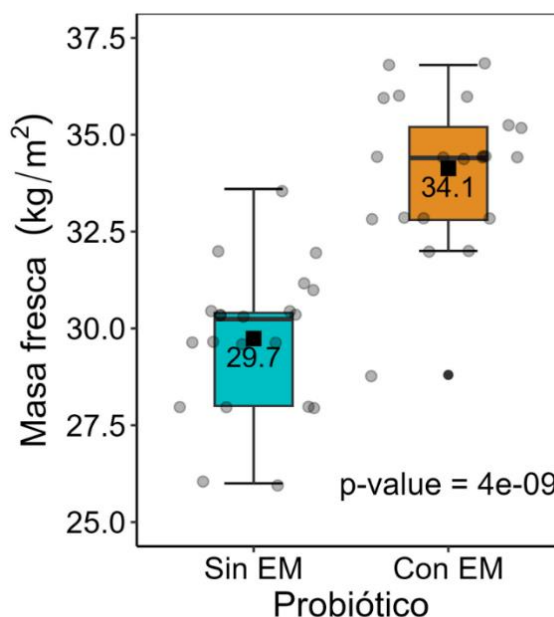
La Figura 7 muestra el análisis de regresión de los efectos del tratamiento con y sin probióticos (EM) en el rendimiento de materia fresca de forraje verde hidropónico de maíz medido en kilogramos por metro cuadrado a lo largo de 14 días. En el modelo sin EM, la relación entre los días y el rendimiento se describe con la ecuación $y = 6.55 + 3.29x - 0.116x^2$, donde el coeficiente de determinación ajustado R^2_{adj}

es de 0.89, lo que indica que aproximadamente el 89% de la variabilidad en el rendimiento se explica por el modelo.

Por otro lado, para las plantas tratadas con EM, la ecuación es $y = 8.66 + 2.81x - 0.072x^2$, con un R^2_{adj} de 0.94, mostrando que el 94% de la variabilidad es capturada por este modelo. Ambos modelos registran p-valores inferiores a 0.001, demostrando una alta significancia estadística en los efectos observados.

La comparación de los dos modelos indica que las plantas con probióticos inician con un mayor intercepto y una pendiente inicial más baja que las sin probióticos, aunque ambas presentan un decrecimiento en el rendimiento a medida que aumenta x , siendo menos pronunciado en las tratadas con EM. Esto sugiere que los probióticos no solo mejoran el rendimiento inicial sin que también pueden mitigar la disminución del rendimiento a largo plazo.

Figura 8. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas de la prueba de T-Student del rendimiento de materia fresca kg m^2 con y sin Probióticos



La Figura 8 muestra un diagrama de cajas que compara el rendimiento en masa fresca por metro cuadrado entre plantas tratadas con y sin probióticos (EM). El análisis muestra que las plantas sin EM tienen un promedio de masa fresca de 29.7 kg m^{-2} , mientras que las plantas con EM presentan un promedio significativamente superior de 34.1 kg m^{-2} . La diferencia estadística entre ambos grupos es extremadamente significativa, con un p-valor de $4e-09$, recalcando la eficacia de los probióticos en aumentar el rendimiento del forraje verde hidropónico.

Además, la variabilidad en el rendimiento parece ser menor en las plantas tratadas con probióticos, como lo indican las longitudes de los bigotes y las cajas en el diagrama. Esto sugiere no solo una mejora en el rendimiento promedio con la utilización de probióticos sino también una mayor consistencia en los resultados obtenidos.

4.1.4. Cosecha de materia seca: rendimiento por metro cuadrado (kg m²)

Tabla 13 Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Seca en kg m² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz Sin Probióticos.

FV	Gl	SC	QM	F value	Pr-(F)	
Lineal	1	100.65	100.65	1140.370	0.0000	**
Cuadrática	1	3.59	3.59	40.715	0.0000	**
Desviación	7	0.87	0.12	1.409	0.1998	ns
Residual	400	35.31	0.09			
Total	409					

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo.

La Tabla 13 muestra un análisis ANOVA para el rendimiento de materia seca en forraje verde hidropónico de maíz sin probióticos, revelando significativas relaciones lineales y cuadráticas en el modelo, con valores F muy altos y p-valores inferiores a 0.01, indicando fuertes efectos de las variables estudiadas. Sin embargo, la desviación entre grupos no resultó ser significativa, sugiriendo que las diferencias internas no afectan considerablemente la variabilidad del rendimiento.

Tabla 14. Análisis de varianza (ANOVA) lineal general del Rendimiento de Materia Seca en kg m² de Forraje Verde Hidropónico de Maíz con Probióticos.

FV	GI	SC	QM	F value	Pr(F)	
Lineal	1	291.88	291.88	3306.93	0.0000	**
Cuadrática	1	5.53	5.53	62.63	0.0000	**
Desviación	7	1.77	0.25	2.87	0.0062	**
Residual	400	35.31	0.09			
Total	409					

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo.

La Tabla 14 presenta un análisis ANOVA del rendimiento de materia seca en forraje verde hidropónico de maíz con probióticos, revelando significancia estadística tanto en los componentes lineal como cuadrático, con valores F extremadamente altos y p-valores inferiores a 0.0001, lo que indica una fuerte influencia de estos términos. También se observa una variación significativa dentro de los grupos, con un valor F de 2.87 y un p-valor de 0.0062, sugiriendo que hay factores adicionales que afectan el rendimiento. Estos resultados confirman que los probióticos tienen un impacto positivo en el aumento del rendimiento de la materia seca del maíz.

Tabla 15. Regresión para el rendimiento de materia seca kg m² con y sin la incorporación de probióticos.

SIN PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	1.789	0.202	8.870	0.0000
X	0.583	0.045	12.934	0.0000
I(x ²)	-0.018	0.002	-7.655	0.0000

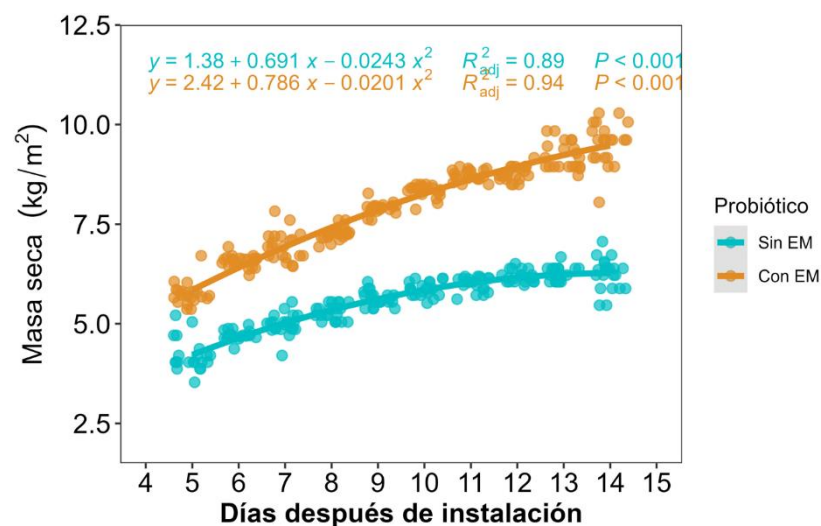
CON PROBIÓTICO				
	Estimación	Error estándar	t value	Pr(> t)
Intercepto	2.235	0.284	7.857	0.0000
X	0.835	0.064	13.128	0.0000
I(x ²)	-0.022	0.003	-6.731	0.0000

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de F. ns: No significativo

La Tabla 15 ofrece un análisis detallado de los modelos de regresión para evaluar el rendimiento de materia seca en kg m²⁻¹ en cultivos de maíz hidropónico, comparando las condiciones con y sin la aplicación de probióticos. El modelo sin probióticos muestra un intercepto significativo y un aumento claro en el rendimiento con cada unidad incrementada en x, ambos con p-valores muy bajos, indicando efectos estadísticamente significativos. Sin embargo, el término cuadrático negativo sugiere que el incremento en el rendimiento disminuye a medida que x se incrementa, también con significancia estadística. En el modelo con probióticos, el intercepto es significativamente alto y el coeficiente de x indica un aumento más pronunciado del rendimiento, ambos con p-valores extremadamente bajos, mostrando efectos estadísticamente significativos. Asimismo, el coeficiente cuadrático

negativo revela que el aumento del rendimiento disminuye a medida que x aumenta, también con alta significancia estadística. Estos resultados subrayan que los probióticos no solo mejoran el punto de partida y la tasa de crecimiento en términos de rendimiento de materia seca, sino que también modulan cómo este crecimiento evoluciona en función de cambios en la variable independiente, contribuyendo a una mayor eficiencia en el uso de recursos dentro del sistema de producción hidropónico.

Figura 9. Regresión de los Efectos del Tratamiento con y sin Probióticos sobre la variable rendimiento de materia seca kg m^{-2} en 14 Días.



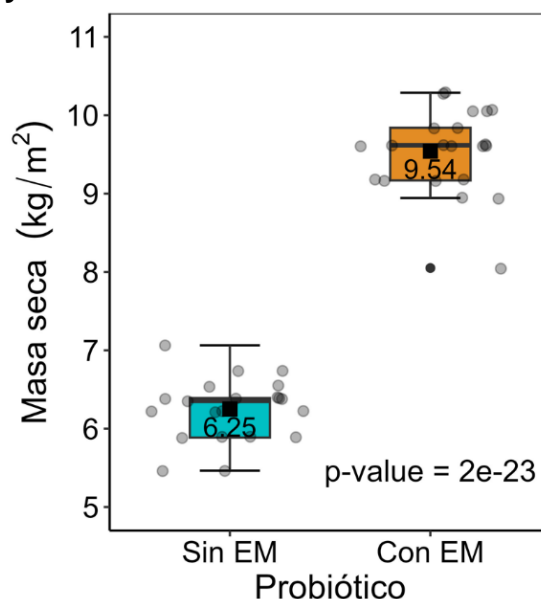
La Figura 9 ilustra los resultados del análisis de regresión para el rendimiento de materia seca en kg m^{-2} en forraje de maíz hidropónico, comparando las plantas tratadas con y sin probióticos (EM) a lo largo de 14 días. Para las plantas sin EM, la relación se modela con la ecuación $y = 1.38 + 0.691x - 0.0243x^2$, y un coeficiente de determinación ajustado R^2_{adj} de 0.89, lo que indica que cerca del

89% de la variabilidad en el rendimiento es explicada por el tiempo de crecimiento ajustado a la ecuación.

En contraste, las plantas tratadas con EM muestran una ecuación de $y = 2.42 + 0.786x - 0.0201x^2$, con un R^2_{adj} de 0.94, lo que sugiere que el 94% de la variabilidad del rendimiento es explicada por este modelo, demostrando una eficacia significativamente. alcalde. En ambos casos, los modelos muestran un p-valor menor a 0.001, indicando que las relaciones son altamente significativas desde el punto de vista estadístico.

La comparación de ambos modelos revela que las plantas con probióticos no solo comienzan con un mayor intercepto, sino que también presentan una pendiente inicial más elevada, aunque el término cuadrático indica que el incremento de rendimiento disminuye a un ritmo similar en ambos tratamientos a medida que avanza el tiempo.

Figura 10. Comparación por Medio de Diagramas de Cajas para la prueba de Test de T-Student del rendimiento de materia seca kg m^2 con y sin Probióticos



La Figura 10 ilustra un análisis comparativo del rendimiento de materia seca en kg m^{-2} para el cultivo de maíz hidropónico, utilizando un test de T-Student para evaluar las diferencias entre tratamientos con y sin probióticos (EM). El diagrama de cajas muestra que las plantas sin EM alcanzan un promedio de rendimiento de 6.25 kg m^{-2} , mientras que las plantas tratadas con EM presentan un rendimiento significativamente mayor, con un promedio de 9.54 kg m^{-2} . La diferencia en los rendimientos es estadísticamente significativa, con un p-valor extremadamente bajo de 0.01, lo que indica que la aplicación de probióticos tiene un efecto notablemente positivo en la producción de materia seca. Además, la dispersión de los datos en las plantas tratadas con probióticos parece ser menor, lo que sugiere una mayor consistencia en el rendimiento entre las plantas de este grupo en comparación con aquellas sin EM. Este resultado no solo recalca la eficacia de los probióticos para aumentar el rendimiento del cultivo, sino también para estabilizar la variabilidad del rendimiento bajo condiciones controladas.

4.1.5. Análisis de rentabilidad del cultivo hidropónico de maíz con y sin probióticos: un estudio comparativo

Para determinar la rentabilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz, lo primero que se llevó a cabo fue el análisis de los costos de inversión. Esto incluyó la identificación detallada de los costos asociados con los equipos necesarios, así como los costos operativos relacionados con la producción. Además, se realizó un estudio exhaustivo de todos los insumos y recursos necesarios para

establecer un sistema de producción hidropónica, evaluando cada uno de ellos en términos de su contribución al costo total. Se recopiló y analizó información financiera de manera sistemática para asegurar una comprensión completa de las implicaciones económicas de este método de producción.

Tabla 16. Costo de inversión del módulo de producción forraje verde hidropónico

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Estante de fierro	Unidad	2	300	600.00
2	Bandejas germinadoras	Unidad	98	7	686.00
3	Nebulizadores	Unidad	42	10	420.00
4	Mangueras ciegas 16 mm	mt	30	0.4	12.00
5	Llaves de paso 16 mm	Unidad	16	2	32.00
6	Codo dentado 16 mm	Unidad	24	0.7	16.80
7	Cables electricos mellizo	mt	20	3	60.00
8	Enchufe	Unidad	1	5	5.00
9	Electro bomba	Unidad	2	150	300.00
10	Accesorios varios	Global	1	200	200.00
11	Temporizadores	Unidad	2	100	200.00
12	Cilindros	Unidad	2	150	300.00
13	Malla rasche	mt	20	9	180.00
				Total	S/ 3,011.80

En la Tabla 16 presenta el desglose detallado de los costos de inversión requeridos para la implementación de un módulo de producción de forraje verde hidropónico, con sus respectivas unidades de medida, cantidades, precios unitarios y el costo total por cada ítem.

Tabla 17. Equipos varios para la producción de forraje verde hidropónico

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Balanza de plato de 20 kg	Unidad	1	80	80.00
2	Termómetro ambiental	Unidad	1	40	40.00
3	Pie de rey	Unidad	1	50	50.00
3	Escalera de metal	Unidad	1	190	190.00
4	Balde de 20 litros	Unidad	14	10	140.00
5	Colador	Unidad	1	2	2.00
6	Pala de metal 1 kg	Unidad	1	18	18.00
7	Plástico	mt	5	2.5	12.50
				Total	S/ 532.50

Además de los costos principales, se identificaron algunos equipos y materiales complementarios esenciales para la operación eficiente del módulo de producción de forraje verde hidropónico. En la Tabla 17 se detallaron estos elementos adicionales, especificando las unidades de medida, cantidades requeridas, precios unitarios y el costo total correspondiente.

Tabla 18. Consumo de agua en litros antes de la siembra de 98 kg de maíz para el forraje verde hidropónico por campaña.

Actividad	Cantidad lt	Veces	Módulos	Total lt	Costo S/x m3
Lavado	105	3	2	630	1.73
Desinfección	105	1	2	210	
Reposo-hidratación	105	1	2	210	
Total consumo lt				1050	S/ 1.82

La Tabla 18 presenta el consumo de agua en las actividades previas a la siembra del forraje, las cuales se dividen en tres fases: lavado, desinfección y reposo-hidratación.

Durante la fase de lavado, se emplearon baldes con una capacidad de 20 litros. En cada balde, se colocaron 7 kg de semilla de maíz y se agregaron 15 litros de agua. Para lavar un total de 49 kg de maíz por módulo, se utilizaron 7 baldes, y este proceso se repitió tres veces.

En la fase de desinfección y reposo-hidratación, se siguió un procedimiento similar, pero estas actividades se realizaron solo una vez.

El costo del agua utilizada se calculó según la estructura tarifaria actualizada de SEDA LORETO, con un valor de S/ 1.73 por metro cúbico (m3).

Tabla 19. Consumo de agua durante la campaña de forraje verde hidropónico por campaña de maíz

Descripción	Horario de riego/día	Tiempo de riego en minutos	Volumen de agua lt	N° de nebulizadores	Días de campaña	Total lt	Costo S/ x m ³
Frecuencia de riego	6:00 a. m.	1	0.5	42	14	294	1.73
	9:00 a. m.	1	0.5	42	14	294	
	12:00 p. m.	1	0.5	42	14	294	
	3:00 p. m.	1	0.5	42	14	294	
	6:00 p. m.	1	0.5	42	14	294	
	10:00 p. m.	1	0.5	42	14	294	
						1764	S/ 3.05

La Tabla 19 se observa la frecuencia de riego y sus correspondientes parámetros para un periodo de campaña de 14 días. El riego se llevó a cabo en seis horarios diferentes a lo largo del día: 6:00 a.m., 9:00 a.m., 12:00 p.m., 3:00 p.m., 6:00 p.m. y 10:00 p.m. Cada sesión de riego tuvo una duración de 1 minuto, en la cual se utilizaron 0.5 litros (capacidad de 30 litros/hora/nebulizador) de agua por cada uno de los 42 nebulizadores. Durante la campaña, el volumen total de agua utilizado alcanzó los 1764 litros (1.764 m³). Este valor se obtuvo sumando los 294 litros diarios, resultado de multiplicar los 0.5 litros por las 6 sesiones diarias y los 42 nebulizadores.

El costo del agua se calculó en función del precio por metro cúbico, que fue de S/ 1.73 (Estructura tarifaria actualizada de SEDA LORETO). Así, el costo total del agua utilizada durante los 14 días de campaña ascendió a S/ 3.05.

Tabla 20. Costo del probiótico durante la campaña de forraje verde hidropónico de maíz

Costo S/ x lt probiotico EM.1	Rendimiento probiótico EM.1/litro Probiótico Activo	Rendimiento Probiótico activo/litros agua	Volumen de agua utilizada lt/campaña	Total litros de Probiótico EM.1	Costo Total
70	20	400	882	2.205	154.35
					S/ 154.35

En la Tabla 20 se muestra el costo y rendimiento del uso del probiótico EM.1 durante la campaña del FVH. El costo por litro del probiótico EM.1 fue de S/ 70. Cada litro de EM.1 produjo 20 litros de probiótico activo, que a su vez tuvo un rendimiento de 400 litros de solución (Agua + probiótico activo).

Durante la campaña, se utilizó un volumen total de 882 litros de agua por lo que se requirió la cantidad de 2.205 litros de EM.1. El costo total del probiótico utilizado en la campaña se calculó multiplicando los 2.205 litros de EM.1 por el costo unitario de S/ 70 por litro, resultando en un costo total de S/ 154.35.

Este análisis proporcionó una evaluación detallada de los costos asociados con la utilización del probiótico EM.1 en el sistema de riego, permitiendo una comparación económica y una valoración de su impacto en el presupuesto de la campaña.

Tabla 21. Consumo eléctrico kw durante la campaña de producción del forraje verde hidropónico de maíz.

Descripción	Horario de riego/día	Tiempo de riego en minutos	Consumo kw/minuto Electro bomba 1/2 Hp	Días de campaña	Total Kw	Costo S/ x Kw
Frecuencia de riego	6:00 a. m.	1	0.0062	14	0.0863	0.7613
	9:00 a. m.	1	0.0062	14	0.0863	
	12:00 p. m.	1	0.0062	14	0.0863	
	3:00 p. m.	1	0.0062	14	0.0863	
	6:00 p. m.	1	0.0062	14	0.0863	
	10:00 p. m.	1	0.0062	14	0.0863	
					0.5180	S/ 0.39

En la Tabla 21 se analizó el consumo energético del sistema de riego utilizando una electrobomba de 1/2 caballo de fuerza (Hp) durante la campaña. El riego se efectuó seis veces al día, a las 6:00 a.m., 9:00 a.m., 12:00 p.m., 3:00 p.m., 6:00 p.m. y 10:00 p.m., con una duración de 1 minuto por cada sesión de riego.

El consumo energético de la electrobomba fue de 0.0062 kilovatios por minuto. Para cada sesión diaria de riego, el consumo energético total fue de 0.0863 kilovatios, resultante de multiplicar el consumo por minuto por los días de la campaña. Al sumar el consumo de todas las sesiones diarias, se obtuvo un consumo total de 0.5180 kilovatios para toda la campaña.

El costo del consumo energético se calculó en base a un precio de S/ 0.7613 por kilovatio (Tarifa actual de Electro Oriente), resultando en un costo total de S/ 0.39 para el periodo de riego. Este análisis permitió evaluar el impacto económico del consumo energético del sistema de riego en la campaña, proporcionando una comprensión detallada de los costos operativos asociados.

Tabla 22. Resumen costo de producción del forraje verde hidropónico de maíz por campaña con sin probiótico

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Semilla de maíz	kg	49	S/ 1.80	S/ 88.20
2	Inversión módulo	unidad	1	S/ 12.38	S/ 12.38
3	Equipos varios	unidad	1	S/ 4.38	S/ 4.38
4	Agua antes de la siembra	unidad	1	S/ 1.82	S/ 1.82
5	Agua durante la campaña	unidad	1	S/ 3.05	S/ 3.05
6	Energía eléctrica	kw	0.518	S/ 0.39	S/ 0.20
7	Hipoclorito de calcio	litro	1	S/ 3.00	S/ 3.00
8	Mano de obra	Hrs	8	S/ 4.38	S/ 35.00
				Total	S/ 148.03

La Tabla 22 se muestra el resumen del costo total de la campaña del FVHM el cual ascendió a S/ 148.03 (producción de 49 bandejas, aproximadamente un área de 7 m²), sumando los costos de todos los insumos y actividades mencionados. Este análisis proporcionó una visión detallada de los costos involucrados en la campaña, permitiendo una evaluación completa de la inversión necesaria para su ejecución.

Tabla 23. Resumen costo de producción del forraje verde hidropónico de maíz por campaña con probiótico

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario S/	Precio Total S/
1	Semilla de maíz	kg	49	S/ 1.80	S/ 88.20
2	Inversión módulo	unidad	1	S/ 12.38	S/ 12.38
3	Equipos varios	unidad	1	S/ 4.38	S/ 4.38
4	Agua antes de la siembra	unidad	1	S/ 1.82	S/ 1.82
5	Agua durante la campaña	unidad	1	S/ 3.05	S/ 3.05
6	Energía eléctrica	kw	0.518	S/ 0.76	S/ 0.39
7	Hipoclorito de calcio	litro	1	S/ 3.00	S/ 3.00
8	Mano de obra	Hrs	8	S/ 4.38	S/ 35.00
9	Probiotico EM.1	litro	2.205	S/ 70.00	S/ 154.35
				Total	S/ 302.57

En la Tabla 23 se presenta un resumen del costo total de la campaña del FVHM, el cual alcanzó los S/ 302.57 (correspondiente a la producción de 49 bandejas, aproximadamente 7 m² de área). Este valor es el resultado

de la suma de los costos de todos los insumos y actividades previamente mencionados. Además, se utilizó una mezcla de agua más probiótico para el riego, lo que añadió un componente adicional al costo total. El análisis proporciona una visión detallada de los costos implicados en la campaña, permitiendo evaluar de manera completa la inversión requerida para su implementación.

Tabla 24. Comparación del Rendimiento y Producción Total en Forraje Hidropónico de Maíz con y Sin Probióticos

N°	Forraje Hidropónico	Rendimiento kg / bandeja	Rendimiento kg m ² -1	N° de bandejas en producción	Producción kg / 49 bandejas
1	Sin probiótico	3.72	29.74	49	182.16
2	Con probiótico	4.27	34.13	49	209.05

* Cada bandeja utilizada en el estudio ocupa una superficie de 0,125 metros cuadrados

La Tabla 24 ilustra una evaluación comparativa del rendimiento y la producción total de forraje hidropónico de maíz, diferenciando los tratamientos con y sin la aplicación de probióticos. En el grupo sin probióticos, se observa un rendimiento de 3,72 kg bandeja⁻¹ y un rendimiento por m² de 29,74 kg. Este grupo produjo un total de 182,16 kg de forraje en 49 bandejas. Por otro lado, el tratamiento con probióticos muestra un aumento en la eficiencia, con un rendimiento de 4.27 kg bandeja⁻¹ y un rendimiento por m² de 34.13 kg, resultando en una producción total de 209.05 kg en el mismo número de bandejas. Este análisis resalta la mejora significativa en el rendimiento y la producción total cuando se incorporan probióticos en el cultivo hidropónico de maíz. Los resultados sugieren que el uso de probióticos no solo optimiza la cantidad de forraje producido por kilogramo de siembra, sino que también

aumenta la productividad general por área cultivada, lo que marca la potencialidad de los probióticos como un agente beneficioso en la agricultura hidropónica.

Tabla 25. Análisis Económico del Uso de Probióticos en la Producción de Forraje Hidropónico de Maíz: Comparación de Costos y Rentabilidad en un Ciclo de 14 Días.

Forraje Hidropónico	Costos de producción / 49 bandejas	Producción kg / 49 bandejas	Costo/kg de FVHM	Ingreso S/ / kg FVHM	Ingresos brutos S/ / 49 bandejas	Ingresos netos S/ / 49 bandejas	B/C
Sin probiótico	S/ 148.03	182.16	S/ 0.81	1.3	S/ 236.80	S/ 88.78	60%
Con probiótico	S/ 302.57	209.05	S/ 1.45	1.3	S/ 271.76	-S/ 30.81	-10%

La Tabla 25 presenta un análisis de los costos de producción, ingresos y beneficio/costo (B/C) asociados al cultivo de forraje hidropónico de maíz, comparando las parcelas con y sin el uso de probióticos, durante un ciclo de producción de 14 días. Para las bandejas sin probióticos, el costo de producción para 49 bandejas fue de S/ 148.03, resultando en una producción de 182.16 kg y un costo por kilogramo de S/ 0.81. Este tratamiento generó ingresos brutos de S/ 236.80, equivalente a los ingresos netos por la igualdad de los costos e ingresos, con un beneficio/costo del 60%.

En contraste, el tratamiento con probióticos incurrió en un costo de producción significativamente mayor, S/ 302.57, pero también produjo una mayor cantidad de forraje, 209.05 kg, a un costo por kilogramo de S/ 1.45. Los ingresos brutos alcanzaron los S/ 271.76, pero los ingresos netos se redujeron a S/ 30.81 después de considerar los costos, resultando en un beneficio/costo negativo del -10%.

Este análisis revela que, aunque el uso de probióticos aumenta el rendimiento de producción, el incremento en los costos asociados no compensa los ingresos generados bajo las condiciones del estudio, llevando a una rentabilidad negativa en comparación con el tratamiento sin probióticos. Estos resultados marcan la importancia de evaluar cuidadosamente los beneficios en rendimiento frente a los costos incrementales cuando se incorporan innovaciones como los probióticos en sistemas de producción agrícola.

Tabla 26. Análisis Anual de Costos y Rentabilidad de Forraje Hidropónico de Maíz: Comparación Entre Tratamientos Con y Sin Probióticos

Forraje Hidropónico	Número de veces de producción al año	Producción Kg/año	Costo anual S/	Ingreso anual S/	Saldo S/	B/C
Sin probiótico	24	4371.78	S/ 3,552.64	S/ 5,683.31	S/ 2,130.68	60%
Con probiótico	24	5017.11	S/ 7,261.60	S/ 6,522.24	-S/ 739.35	-10%

La tabla 26 proporciona una comparación anual del rendimiento económico de la producción de forraje hidropónico de maíz con y sin el uso de probióticos. Ambos métodos se evalúan sobre la base de 24 ciclos de producción al año. En el escenario sin probióticos, la producción total anual alcanza 4,371.78 kg, con un costo operativo de S/ 3,552.64, resultando en ingresos anuales de S/ 5,683.31 y un saldo positivo de S/ 2,130.68, lo cual corresponde a un ratio beneficio/costo del 60%. Por otro lado, el uso de probióticos aumenta la producción a 5,017.11 kg por año; sin embargo, el costo operativo asciende a S/ 7,261.60. Aunque los ingresos se incrementan a S/ 6,522.24, el saldo neto es negativo, S/ -739.35, reflejando un ratio beneficio/costo de -10%.

Este análisis revela que, mientras el uso de probióticos mejora la producción total de forraje, los costos asociados superan los beneficios adicionales obtenidos, lo que resulta en una rentabilidad negativa.

CAPÍTULO V: DISCUSIONES

Este estudio confirmó que el uso de probióticos en la producción de forraje verde hidropónico de maíz en Zúngarococha incrementa notablemente el rendimiento, específicamente en la altura y la biomasa de las plantas. No obstante, estos beneficios agronómicos no se reflejaron en una mayor rentabilidad económica debido a los elevados costos asociados con los probióticos. Este hallazgo es consistente con investigaciones anteriores, como la realizada por Díaz Álvarez (2019) (1) en Abancay-Apurímac, que reportó mejoras en el rendimiento gracias a abonos orgánicos, pero con una rentabilidad económica limitada. Por otro lado, el estudio de Moreno (2018) (2) en Costa Rica destacó la viabilidad económica de los probióticos bajo condiciones locales específicas, lo que sugiere que la variabilidad geográfica y de mercado puede afectar significativamente los resultados económicos.

Además, la comparación con métodos convencionales de producción agrícola, como se analiza en el estudio de Medina Paredes (2020) (4) sobre la producción de carne de cuy en Huaraz, revela que las innovaciones tecnológicas como el forraje hidropónico deben evaluarse no solo por su eficacia técnica, sino también por su adaptabilidad económica y aceptación local.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados alcanzados y en los objetivos establecidos en este estudio, se llega a la siguiente conclusión:

1. Evaluación de la rentabilidad económica (Objetivo General): La producción de forraje verde hidropónico de maíz con probióticos en Zúngarococha durante el año 2023, aunque mostró un incremento en el rendimiento de producción, no resultó ser rentable económicamente debido al alto costo de los probióticos comparado con el incremento en ingresos. Esto contradice la hipótesis general de que la producción con probióticos sería económicamente rentable.
2. Determinación de costos de producción (Objetivo específico 1): Se determinó que los costos de producción para el forraje hidropónico con probióticos son significativamente mayores que sin probióticos. El análisis de costos demostró que, si bien los probióticos incrementan la biomasa producida, también aumentan los costos operativos y de insumos, afectando negativamente la rentabilidad global.
3. Estimación de ingresos (Objetivo específico 2): Los ingresos generados por la venta de forraje verde hidropónico de maíz con probióticos fueron mayores que sin probióticos debido al mayor rendimiento. Sin embargo, estos ingresos adicionales no compensaron el aumento en los costos de producción, resultando en un balance económico menos favorable.
4. Cálculo de la rentabilidad (Objetivo específico 3): La rentabilidad de la producción con probióticos, calculada como el ratio de beneficio sobre costos, fue negativa (-10%). Este resultado recalca que, aunque el uso

de probióticos mejora el rendimiento físico del cultivo, su impacto económico es desfavorable bajo las condiciones actuales de costos. En contraste el forraje hidropónico sin el uso de probiótico tuvo una rentabilidad del 60% en comparación con sus costos el cual es considerado alto.

5. Comparación con la producción convencional (Objetivo específico 4): La comparación entre la producción hidropónica de maíz sin probióticos y los métodos convencionales de cultivo de *Pennisetum sp. Cuba 22 (7)* en la región reveló que la hidroponía ofrece un rendimiento por metro cuadrado aproximadamente un 195% superior. Este hallazgo indica que, en el contexto actual de Zúngarococha, las técnicas hidropónicas representan una opción más ventajosa económicamente frente a las prácticas agrícolas convencionales.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Optimización del uso de probióticos: Se sugiere realizar estudios adicionales para determinar la dosis óptima de probióticos que maximice el rendimiento del forraje verde hidropónico sin incrementar desproporcionadamente los costos.
2. Análisis económico detallado: Es crucial llevar a cabo un análisis económico más exhaustivo que considere todos los costos indirectos y directos asociados con la producción de forraje verde hidropónico.
3. Educación y capacitación para agricultores en Zúngarococha: Fomentar programas de capacitación que eduquen a los agricultores sobre los beneficios y la aplicación correcta de los probióticos en la producción de forraje hidropónico.
4. Comparación con métodos convencionales: Se sugiere la continuación de investigaciones que comparen la producción de forraje hidropónico frente a métodos de cultivos convencionales. Estos estudios deberían enfocarse no solo en la rentabilidad, sino también en la sostenibilidad y la aceptación por parte de los productores locales.

CAPÍTULO VIII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Díaz Álvarez CJ. Abonos foliares (japaj húmico, 4n-20 y biol) en el rendimiento del forraje verde hidropónico de cebada (*hordeum vulgare*) en Abancay-Apurímac - 2017. Universidad Tecnológica de los Andes [Internet]. 2019 [citado 9 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/257>
2. Moreno A. Forraje Verde Hidropónico de Maíz (grano comercial). 2018;
3. De Souza RS. Viabilidad económica para el despliegue del sistema hidropónico en países emergentes: una propuesta de ajuste de riesgo diferenciado. *Revista de Agricultura Urbana y Periurbana*. 2019;15-23.
4. Medina Paredes YS. Forraje verde hidropónico en la producción de carne de cuy para incrementar la rentabilidad de los pequeños productores de Huaraz. 2023 [citado 9 de mayo de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/6065>
5. Rios_Aristizabal_Luis_Daniel.pdf [Internet]. [citado 24 de octubre de 2023]. Disponible en: https://ridum.umanizales.edu.co/bitstream/handle/20.500.12746/6369/Rios_Aristizabal_Luis_Daniel.pdf?sequence=2&isAllowed=y
6. Lazo Pozo LC. Producción de biomasa y calidad nutritiva del forraje verde hidropónico del *Zea mays* (maíz) a Diferentes edades de cosecha, en Tingo Maria. Universidad Nacional Agraria de la Selva [Internet]. 2023 [citado 19 de abril de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2394>

7. Quinteros Paredes DR. Fertilización inorgánica en características vegetativas y rendimiento de forraje en rebrote de Pennisetum sp. Cuba 22 en Zungarococha – Loreto. 2023. 2023 [citado 4 de junio de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/9756>
8. Zea mays. En: Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. 2024 [citado 19 de mayo de 2024]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Zea_mays&oldid=160010165
9. Sánchez P. Ventajas y desventajas de FVH. 2013. 40-57 p.
10. Perez Roblero A. Digestibilidad in vitro de maíz y sorgo cultivados en condiciones de hidroponia [Internet]. [citado 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.sidalc.net/search/Record/KOHA-OAI-UAAAN%3A62740/Description>
11. Tarrillo H. Manual de producción de forraje verde hidropónico. 2005.
12. Juárez López PorfirioH. Producción de Forraje Verde Hidropónico. abril de 2013;13:11.
13. Rios. AgriculturaWiki. 2024 [citado 10 de mayo de 2024]. ¿Qué tan rentable es el forraje hidropónico?: Aumenta tu rentabilidad con forraje hidropónico. Disponible en: <https://agriculturawiki.com/que-tan-rentable-es-el-forraje-hidroponico-aumenta-tu-rentabilidad-con-forraje-hidroponico/>
14. Forraje Verde Hidropónico (F.V.H) Para La Alimentación De Animales (Guia completa) [Internet]. Pastos y Forrajes < [Información

Actualizada】 . 2019 [citado 10 de mayo de 2024]. Disponible en:
<https://infopastosyforrajes.com/suplementacion/forraje-verde-hidroponico/>

15. EM Producción y Tecnología S,A(EMPROTEC). Guia de la Tecnologia de EM. Costa Rica C.A;
16. Cruz Huamán KV. Análisis de rentabilidad económica de la producción de avena grano (Avena sativa L.) en Churrubamba y Pacucha de Andahuaylas – Apurímac – 2019. 2022 [citado 5 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/479>
17. Mora D. Estudio de factibilidad para la producción de plantas forestales, frutales y ornamentales en el vivero de la comuna Loma Alta [Internet]. La libertad. Universidad Estatal Península de Santa Elena; 2017. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/3989/1/UPSE-TAA-2017-028.pdf>.
18. Análisis de coste-beneficio: 5 pasos para tomar mejores decisiones [2024] • Asana [Internet]. [citado 19 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/cost-benefit-analysis>
19. Cumbe Tobar NP. Propuesta para la creación de una empresa productora y comercializadora de champú natural. marzo de 2019 [citado 19 de mayo de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12795>

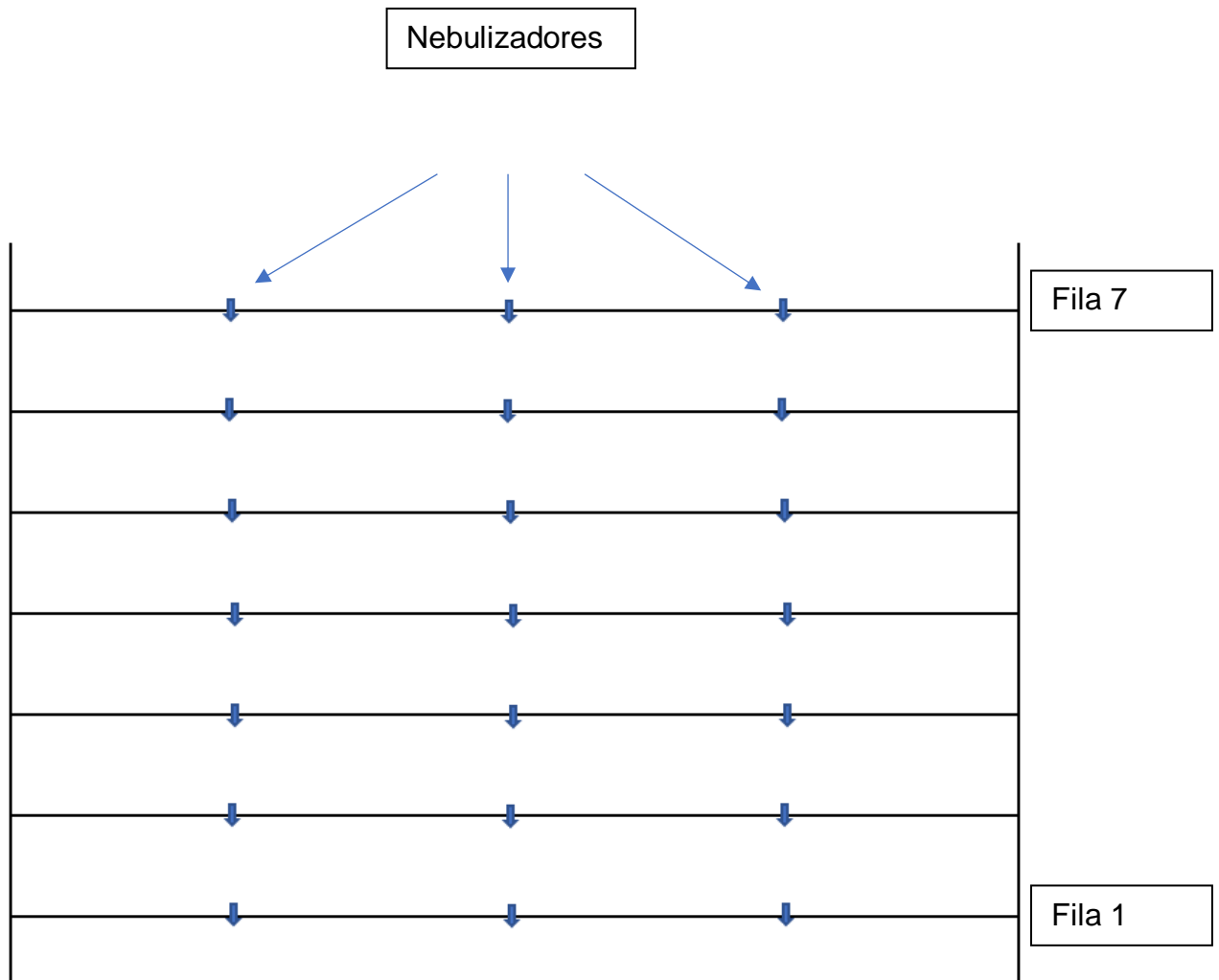
20. Ricardo FE, Antonio TC, Juan DJ. Experimentación agraria. Ediciones Díaz de Santos; 2018. 377 p.

ANEXOS

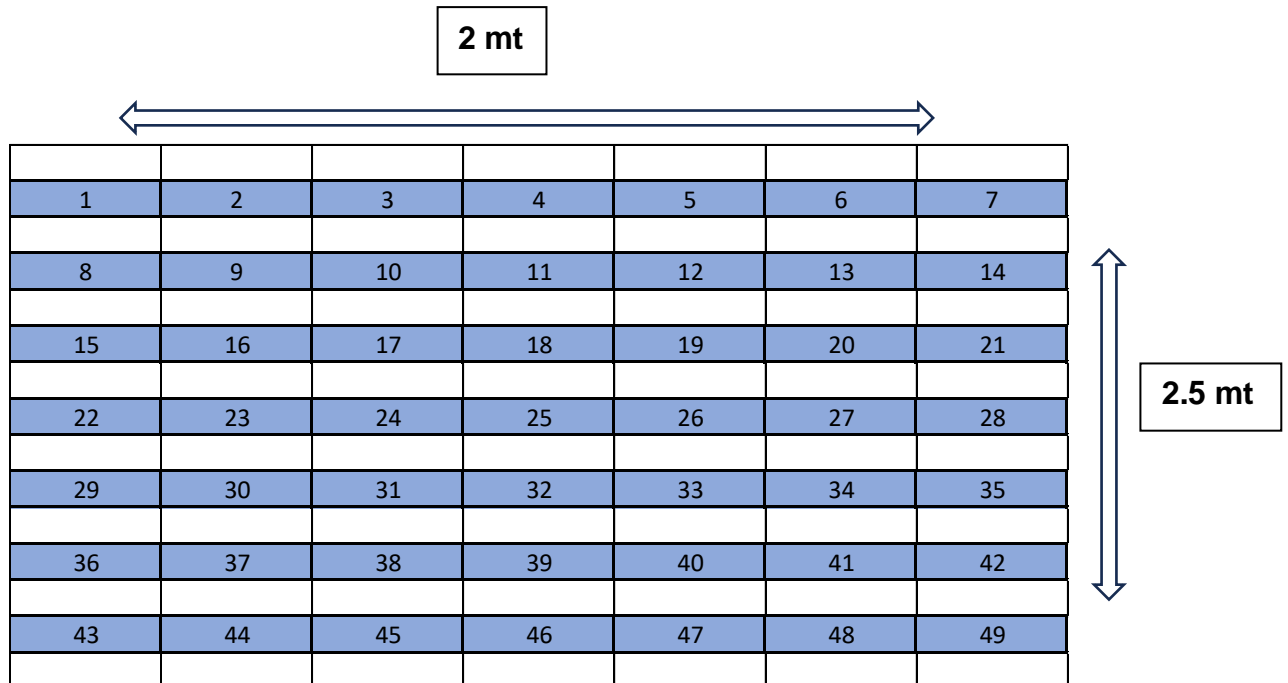
Anexo 1 Matriz de Consistencia

Título de la Investigación	Pregunta de Investigación	Objetivos de la Investigación	Hipótesis (cuando corresponda)	Tipo y diseño de estudio	Población de estudio y procesamiento de datos	Instrumento de recolección
<p>Evaluación de la rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023.</p>	<p>Problema General ¿Es económicamente rentable la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probióticos en Zúngarococha durante el año 2023?</p>	<p>Objetivo General Evaluar la rentabilidad económica de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Determinar los costos de producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023. 2. Estimar los ingresos por la venta de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023. 3. Calcular la rentabilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023. 4. Comparar la rentabilidad económica de la producción de forraje hidropónico de maíz en Zúngarococha en el 2023 con alternativas de producción convencionales en la región 	<p>Hipótesis General La producción de forraje verde hidropónico de maíz con probiótico es rentable económicamente en Zúngarococha en el 2023.</p> <p>Hipótesis Especifica</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El uso de probiótico tendrá un impacto significativo en los costos y beneficios de la producción de forraje verde hidropónico de maíz en Zúngarococha. 2. La rentabilidad de la producción de forraje verde hidropónico de maíz con agua y probiótico en Zúngarococha en el 2023 es positiva. 3. La producción de forraje hidropónico de maíz será más rentable en comparación con alternativas de producción convencionales en la región. 	<p>TIPO Transversal, prospectivo, experimental,</p> <p>DISEÑO INVESTIGACIÓN. Experimental. Transversal y explicativo causa efecto</p>	<p>La población de estudio está constituida por todas las plantas de maíz cultivadas en sistemas hidropónico en el Proyecto de Enseñanza e Investigación de Porcinos en Zúngarococha durante el año 2023.</p> <p>Análisis estadístico: Los resultados se analizarán con el paquete SPSS STATISTIC y el Software InfoStat</p>	<p>Los instrumentos de recolección de datos serán balanza de planto, balanza gramera, vernier, termómetro ambiental,</p> <p>cuaderno de campo, registros de producción.</p>

Anexo 2. **Diseño del módulo de producción para forraje hidropónico de maíz**



Anexo 3. Distribución de las bandejas en el módulo hidropónico



Anexo 4. Valores Promedios de las Variables en Estudio del Forraje Verde Hidropónico de Maíz Bajo el Tratamiento Sin Probiótico

VARIABLES EN ESTUDIO							
Día de siembra	Mediciones	Altura de planta en cm	Diámetro de tallo en mm	Número de hojas por planta	Peso fresco Kg	Rendimiento por unidad kg/m ²	Rendimiento Peso Seco Kg/m ²
3	1	2.71	1.56				
3	2	2.83	1.64				
3	3	2.24	1.66				
4	1	4.74	1.88				
4	2	4.80	1.72				
4	3	4.86	1.69				
5	1	11.79	2.01	1.43	2.49	19.89	4.18
5	2	11.86	1.82	1.00			
5	3	11.57	1.93	1.14			
6	1	13.00	2.12	1.71	2.80	22.41	4.71
6	2	13.00	2.07	2.00			
6	3	12.64	1.96	1.86			
7	1	14.93	2.13	2.00	2.89	23.11	4.86
7	2	15.36	2.07	2.00			
7	3	14.29	2.09	1.29			
8	1	18.93	2.27	2.14	3.13	25.05	5.27
8	2	18.64	2.17	2.00			
8	3	19.07	2.12	2.14			
9	1	20.71	2.33	2.57	3.33	26.63	5.60
9	2	21.14	2.39	2.71			
9	3	20.86	2.24	2.86			
10	1	24.29	2.42	2.29	3.53	28.26	5.94
10	2	24.00	2.53	2.57			

10	3	24.43	2.36	2.57			
11	1	25.29	2.42	2.86	3.58	28.66	6.02
11	2	24.86	2.49	2.57			
11	3	24.57	2.45	2.57			
12	1	27.43	2.51	3.14	3.71	29.67	6.24
12	2	27.43	2.51	3.00			
12	3	27.43	2.52	3.00			
13	1	28.86	2.41	3.29	3.75	30.02	6.31
13	2	29.43	2.51	3.00			
13	3	29.86	2.53	3.00			
14	1	35.14	2.66	3.00	3.73	29.83	6.27
14	2	32.43	2.68	3.00			
14	3	32.86	2.56	2.86			

Anexo 5. Valores Promedios de las Variables en Estudio del Forraje Verde Hidropónico de Maíz Bajo el Tratamiento Con Probiótico

Día de siembra	Mediciones	Altura de planta en cm	Diámetro de tallo en mm	Número de hojas por planta	Peso fresco Kg	Rendimiento por unidad kg/m2	Rendimiento Peso Seco Kg/m2
3	1	2.966	1.696				
3	2	2.856	1.714				
3	3	2.907	1.781				
4	1	5.086	2.037				
4	2	5.271	2.141				
4	3	5.271	2.026				
5	1	9.729	2.196	1.000	2.543	20.343	5.686
5	2	9.771	2.183	1.143			
5	3	9.971	2.231	1.000			
6	1	13.871	2.371	2.000	2.957	23.657	6.612
6	2	13.729	2.280	2.000			
6	3	13.686	2.224	2.000			
7	1	17.200	2.364	2.000	3.137	25.097	7.015
7	2	17.329	2.377	2.000			
7	3	17.129	2.394	2.000			
8	1	22.900	2.467	2.143	3.250	26.000	7.267
8	2	22.929	2.383	2.286			
8	3	23.000	2.493	2.429			
9	1	23.029	2.481	2.429	3.539	28.309	7.912
9	2	22.829	2.549	3.000			
9	3	22.914	2.527	3.000			
10	1	25.100	2.696	2.714	3.703	29.623	8.280

10	2	25.071	2.653	2.857			
10	3	25.543	2.590	2.857			
11	1	26.129	2.603	3.000	3.891	31.131	8.701
11	2	26.329	2.676	2.714			
11	3	26.514	2.633	2.714			
12	1	27.414	2.684	3.000	3.881	31.051	8.679
12	2	27.114	2.700	3.000			
12	3	26.443	2.754	3.000			
13	1	31.971	2.753	3.000	4.137	33.097	9.251
13	2	31.343	2.769	3.000			
13	3	30.814	2.740	3.000			
14	1	34.307	2.820	3.143	4.143	33.143	9.263
14	2	35.100	2.850	3.429			
14	3	34.993	2.823	3.286			

Anexo 6. Cuatro resúmenes para la prueba de T Student para las variables en estudio

Variable de estudio	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	T	p-valor
Altura de Planta cm	Sin probiótico	Probiótico	21	21	33.480	34.800	-1.940	0.06388 ns
Diametro de tallo mm	Sin probiótico	Probiótico	21	21	2.630	2.830	-4.440	0.00023 **
Número de hojas	Sin probiótico	Probiótico	21	21	2.950	3.290	-2.980	0.00571 *
Materia fresca / m2	Sin probiótico	Probiótico	21	21	29.740	34.130	-7.520	0.00000 **
Materia seca / m2	Sin probiótico	Probiótico	21	21	6.250	9.540	-22.740	0.00000 **

*, ** Significativo al 5 y 1% por la prueba de muestras independientes de t - Student. Ns: no significativo