



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

EFFECTO DEL AGUA DE RIEGO TRATADA MAGNÉTICAMENTE EN EL  
DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ  
DURO (*Zea mays*) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL ECAA

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO AGROPECUARIO

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Línea 4. Gestión Sostenible y Aprovechamiento de los Recursos Naturales

Sublínea 4.1 Desarrollo y Sostenibilidad

AUTOR: BRAYAN ARMANDO TERÁN LARA

ASESOR: MGS. DIEGO MIGUEL PUERRES VERA

IBARRA, FEBRERO 2021



Ibarra, 01 de febrero de 2021

Mgs. Diego Miguel Puerres Vera

ASESOR

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Mgs. Diego Miguel Puerres Vera

C.C.: 100177898-2



## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f):

Mgs. Diego Miguel Puerres Vera

C.C.: 1000177898-2

(f):

Mgs. Maritza de los Ángeles Mier Quiroz

C.C.: 100287828-6

(f):

MSc. Edwin Fernando Del Pozo Villacis

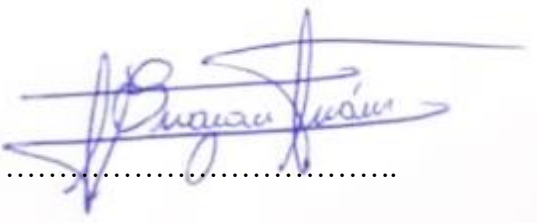
C.C.: 100175656-6



## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Brayan Armando Terán Lara, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 01 de febrero de 2021

(f): 

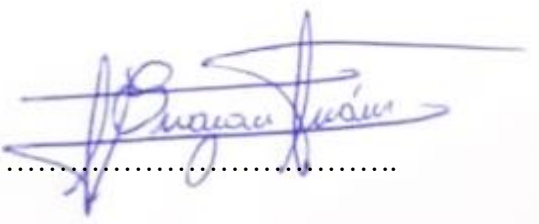
Brayan Armando Terán Lara

C.C.: 100351138-1



## AUTORÍA

Yo, Brayan Armando Terán Lara, portador de la cédula de ciudadanía N° 100351138-1, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

(f): .....

Brayan Armando Terán Lara

C.C.: 100351138-1



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Brayan Armando Terán Lara, con C.C.: 100351138-1, autor del trabajo de grado titulado: Efecto del agua de riego tratada magnéticamente en el desarrollo y producción de forraje verde hidropónico de maíz duro (*Zea mays*) en la Granja Experimental ECAA, previo a la obtención del título profesional de “Ingeniero Agropecuario”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 01 de febrero de 2021

(f): .....

Brayan Armando Terán Lara

C.C.: 100351138-1



## **DECLARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ÉTICO DE LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación del Proyecto de Titulación: Efecto del agua de riego tratada magnéticamente en el desarrollo y producción de forraje verde hidropónico de maíz duro (*Zea mays*) en la Granja Experimental ECAA, lo propuesto en el Código de ética de la Investigación y el Aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha de 15 de enero del 2018.

(f): 

Brayan Armando Terán Lara

C.C.: 100351138-1

Carrera: Ingeniería Agropecuaria

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo, en primera parte a mi familia, que ha sido mi soporte durante todos mis años de estudios, quienes me han dado la fuerza para seguir adelante sin importar cuan difíciles han sido los tiempos, mi madre que con su cariño supo guiarme por la senda que ahora he terminado de recorrer, mi padre que con sus consejos me dio la calidad en mis días más oscuros para continuar trabajando día a día en este proyecto que llamamos vida.*

*A Dios quien me acompañó en cada instante quien ha sido mi estandarte cuando más di perdida la batalla en este duro camino.*

*A mis amigos, Erick Chiza, Ana María Paspuel, Tania Mantilla y Wladimir López, quienes siempre han buscado tiempo para comprenderme y ayudarme en todo cuanto han podido incluso buscando la manera en momentos en donde no tenían la obligación de hacerlo.*

***Brayan Armando Terán Lara***

## **AGRADECIMIENTOS**

*Mi vida ha dado un giro muy importante al terminar esta etapa educativa, el esfuerzo propio, así como el de mis allegados ha rendido fruto, por eso me veo en la obligación de reconocerlos como participes directos de mi éxito, porque la vida es un camino duro, sin embargo, se vuelve menos complicado cuando caminas de la mano de gente muy maravillosa como las personas que mencionare en este momento.*

*Agradezco a mi familia, Mi madre quien se ha caracterizado por la ternura y el amor a sus consejos los cuales me llevaron a ser la persona de bien que soy ahora, Mi padre pilar del hogar, su manera directa de llevar a cabo las cosas me ha servido de ejemplo para tomar la vida con firmeza, seguridad y seriedad, mis hermanos quienes con su presencia han alegrado cada momento de mi vida, incluso en momentos malos.*

*Agradezco a mis amigos, Erick Chiza, Wladimir López, Tania Mantilla, Ana María Paspuel, parte fundamental de mi vida al igual que mi familia, consejos, risas y malos momentos han caracterizado mi vida junto a ellos, sin embargo, es la vida que he elegido vivir a su lado y jamás me he arrepentido de cada enseñanza y valores que han podido inculcarme a cada momento que hemos vivido, un abrazo especial para todos ellos.*

**Brayan Armando Terán Lara**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO II	
OBJETIVOS .....	5
2.1 Objetivo general .....	5
2.2 Objetivos específicos .....	5
2.3 Hipótesis .....	5
CAPÍTULO III	
ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1 Magnetización del agua .....	6
3.1.1 Beneficios de la magnetización .....	6
3.1.2 Técnica de la magnetización .....	7
3.1.3 Efecto del tratamiento magnético en el agua de riego.....	8
3.2 Baja productividad de pastos.....	8
3.3 Escases de pastos en épocas de verano .....	9
3.4 Suplementos alimenticios .....	9
3.5 Hidroponía .....	10

3.5.1	Beneficios de la hidroponía.....	10
3.6	Riego por nebulización.....	11
3.6.1	Ventaja del riego por nebulización.....	11
3.6.2	Desventaja de riego por nebulización.....	12
3.6.3	Sedimentos sólidos en el sistema de riego.....	12
3.7	Generalidades del cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	13
3.7.1	Producción de maíz ( <i>Zea mays</i> ) en el Ecuador.....	13
3.7.2	Importancia nutricional del maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	14
3.7.3	El Maíz ( <i>Zea mays</i> ) como forraje verde hidropónico.....	14
3.8	El forraje verde hidropónico.....	14
3.8.1	Propiedades del forraje verde hidropónico.....	15
3.8.2	Rendimiento de forraje verde hidropónico en verano.....	15
3.8.3	Costo beneficio del forraje verde hidropónico.....	16
 CAPÍTULO IV		
 MATERIALES Y MÉTODOS.....		
4.1	Materiales, insumos y equipos utilizados.....	17
4.2	Metodología.....	19
4.2.1	Ubicación del área de estudio.....	19
4.2.2	Diseño experimental.....	20
4.2.3	Esquema del análisis de ADEVA.....	20

4.2.4	Descripción e identificación de las unidades experimentales .....	20
4.2.5	Instalación del sistema de riego con inducción magnética .....	22
4.2.5.1	Elaboración del dispositivo de campo magnético .....	22
4.2.5.2	Particularidades de los imanes empleados para la investigación .....	23
4.2.6	Tratamiento del agua de riego para la obtención de forraje verde hidropónico de maíz .....	24
4.3	Manejo experimental .....	24
4.3.1	Selección de semilla .....	24
4.3.2	Lavado y desinfección de semilla .....	24
4.3.3	Remojo de semilla .....	25
4.3.4	Ubicación de semilla en bandeja .....	25
4.4	Variables dependientes evaluadas en campo .....	25
4.4.1	Porcentaje de germinación (%) .....	25
4.4.2	Altura de planta (cm) .....	25
4.4.3	Tapete radicular (cm) .....	26
4.4.4	Riego .....	26
4.4.5	Cosecha .....	27
4.5	Variables dependientes evaluadas en laboratorio .....	27
4.5.1	Conductividad eléctrica (S/m) .....	27
4.5.2	Potencial de hidrogeno (pH) .....	28
4.6	Rendimiento del cultivo .....	28

4.7	Análisis bromatológico .....	28
4.7.1	Materia seca .....	28
4.7.2	Fibra .....	29
4.7.3	Proteína.....	31
4.7.4	Energía .....	32
4.8	Relación costo beneficio .....	33
4.9	Tabulación de datos .....	34

## CAPÍTULO V

	RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	35
5.1	Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza .....	35
5.2	Variable dependiente evaluada en campo .....	36
5.2.1	Porcentaje de germinación (%) .....	36
5.2.2	Altura de plantas (cm) .....	38
5.2.3	Tapete radicular (cm).....	46
5.2.4	Análisis de pH.....	47
5.2.5	Conductividad eléctrica .....	49
5.2.6	Análisis bromatológico .....	50
5.2.6.1	Materia seca .....	50
5.2.6.2	Fibra .....	52
5.2.6.3	Proteína cruda .....	54

5.2.6.4	Energía .....	56
5.2.6.5	Rendimiento.....	57
5.3	Relación costo-beneficio.....	59
5.4	Resultados de la socialización.....	62
CAPÍTULO VI		
	CONCLUSIONES.....	68
CAPÍTULO VII		
	RECOMENDACIONES .....	70
CAPÍTULO VIII		
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
CAPÍTULO IX		
	ANEXOS .....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de ADEVA.....	20
Tabla 2. Descripción del área experimental.....	21
Tabla 3. Características técnicas del imán neodimio N52 .....	23
Tabla 4. Intervalos de riego aplicados en el sitio experimental.....	27
Tabla 5. Prueba de normalidad Shapiro Wilk y de la homogeneidad de la varianza .....	35
Tabla 6. Análisis de varianza del porcentaje de germinación (%) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 3 días posterior a la siembra.....	36
Tabla 7. Valores aceptables para el CV en ensayos agrícolas.....	38
Tabla 8. Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 3 días después de la siembra .....	38
Tabla 9. Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 6 días después de la siembra .....	40
Tabla 10. Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 9 días después de la siembra .....	41
Tabla 11. Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 12 días después de la siembra .....	43
Tabla 12. Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	44
Tabla 13. Análisis de varianza del tapete radicular (cm) del maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	46
Tabla 14. Análisis de varianza del potencial de hidrogeno (pH) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	48

Tabla 15. Análisis de varianza de la conductividad eléctrica (S/m) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	49
Tabla 16. Análisis de varianza de la materia seca (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	51
Tabla 17. Análisis de varianza de la fibra cruda (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	53
Tabla 18. Análisis de varianza de la proteína cruda (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	54
Tabla 19. Análisis de varianza para energía (Cal /g) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	56
Tabla 20. Análisis de varianza de rendimiento en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra .....	58
Tabla 21. Inversión total del proyecto de investigación .....	60
Tabla 22. Relación Costo-Beneficio del proyecto de investigación .....	61
Tabla 23. Comparación del contenido nutricional del balanceado y forraje verde hidropónico de maíz .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación; invernadero hidropónico de la granja experimental ECAA .....	19
Figura 2. Distribución de las unidades experimentales.....	21
Figura 3. Dispositivo de campo magnético.....	22
Figura 4. Imán de neodimio usado en la investigación.....	23
Figura 5. Porcentaje de germinación (%) del maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 3 días posterior a la siembra .....	37
Figura 6. Altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) 3 días después de la siembra.....	39
Figura 7. Altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 6 días después de la siembra .....	40
Figura 8. Altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 9 días después de la siembra .....	42
Figura 9. Altura de plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 12 días después de la siembra	43
Figura 10. Altura de las plantas (cm) de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	45
Figura 11. Tapete radicular (cm) del maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	47
Figura 12. Potencial de hidrogeno (pH) del maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	48
Figura 13. Conductividad eléctrica (S/m) del maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	50
Figura 14. Porcentaje de materia seca (%) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	52

Figura 15. Porcentaje de fibra cruda (%) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	53
Figura 16. Porcentaje proteína cruda (%) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	55
Figura 17. Energía (Cal /g) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	57
Figura 18. Rendimiento(Kg) en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) a los 15 días después de la siembra .....	58
Figura 19. Distribución de la inversión total.....	60
Figura 20. Comparación del contenido nutricional del balanceado y forraje verde hidropónico de maíz .....	62
Figura 21. Resultado de la pregunta 1 .....	63
Figura 22. Resultado de la pregunta 2 .....	63
Figura 23. Resultado de la pregunta 3 .....	64
Figura 24. Resultado de la pregunta 4 .....	64
Figura 25. Resultado de la pregunta 5 .....	65
Figura 26. Resultado de la pregunta 6 .....	65
Figura 27. Resultado de la pregunta 7 .....	66
Figura 28. Resultado de la pregunta 8 .....	66
Figura 29. Resultado de la pregunta 9 .....	67

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Limpieza del invernadero hidropónico en la granja experimental ECAA.....	80
Anexo 2. Materiales empleados en la instalación del sistema de riego.....	81
Anexo 3. Instalación del sistema de riego .....	82
Anexo 4. Instalación del diseño experimental .....	83
Anexo 5. Limpieza del reservorio para el suministro de agua al sistema de riego .....	83
Anexo 6. Limpieza y desinfección de bandejas de tol galvanizado.....	84
Anexo 7. Elaboración del dispositivo magnético e imanes de neodimio .....	85
Anexo 8. Limpieza, desinfección y remojo de semilla.....	86
Anexo 9. Pesaje y distribución de semilla en bandejas de tol galvanizado para la pre- germinación .....	87
Anexo 10. Germinación de semilla.....	88
Anexo 11. Distribución de bandejas a cada nebulizador .....	89
Anexo 12. Medidas de alturas planta .....	90
Anexo 13. Medidas del tapete radicular .....	91
Anexo 14. Cosecha .....	92
Anexo 15. Toma de medida de la conductividad eléctrica.....	93
Anexo 16. Toma de medida del potencial de hidrogeno (pH).....	94
Anexo 17. Rendimiento del cultivo de forraje verde hidropónico de maíz ( <i>Zea mays</i> ).....	94
Anexo 18. Análisis bromatológico.....	95
Anexo 19. Registro de datos de germinación (%) de <i>Zea mays</i> .....	101

Anexo 20. Registro de datos de altura de planta (cm) de <i>Zea mays</i> .....	101
Anexo 21. Registro de datos de tapete radicular (cm) de <i>Zea mays</i> .....	103
Anexo 22. Registro de datos de pH de <i>Zea mays</i> .....	103
Anexo 23. Registro de datos de conductividad eléctrica (S/m) de <i>Zea mays</i> .....	103
Anexo 24. Registro de datos del análisis bromatológico de <i>Zea mays</i> .....	104
Anexo 25. Costos de materiales e insumos del proyecto de investigación.....	105
Anexo 26. Costos de infraestructura del proyecto de investigación .....	106
Anexo 27. Costos de producción del proyecto de investigación .....	107
Anexo 28. Costos de mano de obra directa del proyecto de investigación .....	107
Anexo 29. Costos de gastos de operación del proyecto de investigación .....	108
Anexo 30. Costos de equipamiento y maquinaria del proyecto de investigación .....	108
Anexo 31. Costos de equipos de oficina, seguridad y limpieza del proyecto de investigación.....	109
Anexo 32. Costos de muebles del proyecto de investigación.....	109
Anexo 33. Indicadores de evaluación.....	109
Anexo 34. Invitación a la socialización de resultados .....	110
Anexo 35. Socialización de resultados .....	111
Anexo 36. Formato de encuesta.....	112
Anexo 37. Lista de asistencia a la socialización de la investigación .....	113
Anexo 38. Resultados de la socialización.....	114

## RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el invernadero hidropónico ubicado en la Granja Experimental ECAA, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. El objetivo principal de la investigación fue evaluar los efectos de la inducción magnética del agua de riego, en el desarrollo y producción de forraje verde hidropónico de maíz duro (*Zea mays*). Se aplicó el diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, dando como total doce unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron: T1 con inducción magnética al 100 %; T2 con inducción magnética al 75 %; T3 con inducción magnética al 50 % y T4 (testigo) sin inducción magnética; mientras que, las variables en estudio fueron: porcentaje de germinación, altura de plantas, tapete radicular, potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica y análisis bromatológico (materia seca, fibra cruda, proteína cruda, energía). Mediante los resultados obtenidos se pudo evidenciar el efecto de la inducción magnética, obteniendo mayor rendimiento en el tratamiento T1 = 23, 62 kg/m<sup>2</sup>. Las variables dependientes evaluadas en campo tuvieron los siguientes resultados; porcentaje de germinación T1 = 83,33 %, altura de planta (día 15) T1= 28,18 cm; tapete radicular (día 15) T1= 3,09 cm y de las variables dependientes evaluadas en laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados: potencial de hidrogeno (pH) 6,8; conductividad eléctrica 2,0 S/m; análisis bromatológico: materia seca 8,43 %, fibra cruda 44,56 %, proteína cruda 20,98 %, energía 4477,43 Cal/g.

Luego de analizar los resultados obtenidos se determinó que el tratamiento 1 (T1) presentó los mejores resultados en todas las variables evaluadas demostrando que la magnetización del agua contribuye de forma beneficiosa en el desempeño del cultivo

**Palabras clave.** - Riego, magnetización, forraje, hidroponía.

## **ABSTRACT**

The research was carried out in the hydroponic greenhouse located in the ECAA Experimental Farm, of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. The main objective of the research was to evaluate the effects of the magnetic induction of irrigation water in the development and production of hydroponic green forage of hard corn (*Zea mays*). The design was applied completely at random with four treatments and three repetitions, giving a total of twelve experimental units. The treatments evaluated were: T1 with 100% magnetic induction; T2 with magnetic induction at 75%; T3 with 50% magnetic induction and T4 (control) without magnetic induction; while, the variables under study were: germination percentage, plant height, root mat, hydrogen potential (pH), electrical conductivity and bromatological analysis (dry matter, crude fiber, crude protein, energy). Through the results obtained, the effect of magnetic induction was evidenced, obtaining higher performance in the treatment T1 = 23, 62 kg / m<sup>2</sup>. The dependent variables evaluated in the field had the following results; germination percentage T1 = 83.33%, plant height (day 15) T1 = 28.18 cm; root mat (day 15) T1 = 3.09 cm and the following results were obtained from the dependent variables evaluated in the laboratory: hydrogen potential (pH) 6,8; electrical conductivity 2.0 S / m; bromatological analysis: dry matter 8.43%, crude fiber 44.56%, crude protein 20.98%, energy 4477.43 Cal / g.

After analyzing the results obtained, it was determined that treatment 1 (T1) presented the best results in all the variables evaluated, demonstrating that the magnetization of the water contributes beneficially to the performance of the crop.

**Keywords.** - Irrigation, magnetization, forage, hydroponics.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

En el manejo de bovinos de leche se requiere una alimentación diaria con aportes de proteína, fibra, energía que generalmente se encuentra en los pastos y forrajes de la sierra ecuatoriana, siendo estos, el Rye grass, pasto azul, avena forrajera, vicia, trébol, llantén, alfalfa, maíz forrajero, entre otros ya sea solos o con mezcla forrajera o en forma individual.

Los medianos y pequeños productores ganaderos se encuentran preocupados por ver que su producción lechera disminuye al no tener pastos de buena calidad, el mismo que reduce sus propiedades nutricionales en la época de verano, hasta en un 40 % (Vargas, 2018). Afectando directamente al manejo del bovino, es por eso que los productores se ven en la obligación de tomar medidas como, cambios en el racionamiento de alimento, lo cual da como consecuencia una pérdida de peso y la susceptibilidad a enfermedades. Por lo tanto, los productores han tomado en cuenta la técnica de la hidroponía, favoreciendo la producción de forraje verde hidropónico en cualquier época del año en cantidades adecuadas, de forma económica con buenas prácticas agrícolas, manteniendo las condiciones de sanidad e inocuidad y mejorando las condiciones de productividad (Salas *et al.*, 2010).

Como alternativa para elevar los niveles nutricionales carentes en la alimentación de bovinos, la implementación técnica de forraje verde hidropónico permite producir forraje sin presencia de sustrato o suelo, solo con agua, en general se orienta a la producción de cultivos de tipo herbáceo, en situaciones no convencionales, tomando en cuenta las necesidades tanto de iluminación, humedad y nutrición, todo de forma controlada (Salas *et al.*, 2010).

El forraje verde hidropónico duplica el rendimiento productivo con relación al manejo convencional, esta tecnología alternativa permite controlar los diversos factores agroclimáticos que se presenta en el cultivo de pastos a campo abierto como son; humedad, luminosidad, plagas y enfermedades; ya que estas afectan directamente al rendimiento del cultivo especialmente en los tiempos de verano. En la actualidad este tipo de técnica hidropónica se ha vuelto fundamental siendo esta una solución viable a la falta de áreas aptas para la siembra de pastos, de igual manera evitara el avance de la frontera agrícola, el mal

uso del recurso agua para riego, uso de excesivo de agroquímicos y erosión de suelos (Beltrano, 2015).

Por tanto, el cultivo de maíz (*Zea mays*) como forraje verde hidropónico presenta buenas características nutricionales, aumentando la cantidad y calidad de material comestible, apta para el consumo del ganado de leche y de engorde (Bravo *et al.*, 2013); (Elizondo, 2015); (Zagal-Tranquilino *et al.*, 2016).

Dentro de las tecnologías alternativas para mejorar la productividad de forraje verde hidropónico, está la aplicación de los campos magnéticos (inducción magnética), en agua de riego, con el propósito de mejorar e incrementar los rendimientos (Medeiros *et al.*, 2014).

Por esta razón, se ha tomado en cuenta estudios de campos magnéticos en la agricultura, especificando el uso de diferentes intensidades de campos y tiempos de exposición. Con la intención de elevar el porcentaje de germinación, desarrollo de semillas, crecimiento de plántulas y peso de las plantas, sin embargo, no se descuida aspectos como coloración de frutos y actividad enzimática (Martínez *et al.*, 2003).

Por lo tanto, mediante este trabajo se determinará cuáles son las notables ventajas de tratar el cultivo hidropónico de maíz forrajero con agua magnetizada, con la finalidad de elevar los niveles nutricionales y rendimientos productivos del forraje, para satisfacer las necesidades alimenticias en ganadería bovina de leche.

## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS

#### 2.1 Objetivo general

Analizar el efecto del agua de riego tratada magnéticamente en el desarrollo y producción de forraje verde hidropónico de maíz duro (*Zea mays*) en la granja experimental ECAA.

#### 2.2 Objetivos específicos

- Examinar las características físicas del forraje verde hidropónico (porcentaje de germinación, altura de la planta y tapete radicular del forraje producido).
- Analizar la variación del pH. y conductividad eléctrica en el agua de riego con influencia magnética en la producción de forraje verde hidropónico.
- Realizar pruebas bromatológicas (materia seca, fibra cruda, proteína cruda y energía) del forraje verde hidropónico.
- Encontrar una relación costo beneficio a favor del forraje verde hidropónico en contraparte al balanceado comercial.
- Socializar los resultados al público interesado en el tema de investigación.

#### 2.3 Hipótesis

##### ○ Hipótesis alternativa (Ha)

- La magnetización del agua de riego produce un efecto significativo en la producción de forraje verde hidropónico en maíz duro (*Zea mays*).

##### ○ Hipótesis nula (Ho)

- La magnetización del agua de riego no produce un efecto significativo en la producción de forraje verde hidropónico en maíz duro (*Zea mays*).

## CAPÍTULO III

### ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 Magnetización del agua

La utilización de magnetismo o electromagnetismo en agua es una técnica complicada que abarca una serie de variables experimentales y así mismo una amplia gama de metodologías, tiempo de exposición, inducción magnética, frecuencia e intensidad, igualmente al tipo de campos electromagnéticos cuyas investigaciones tiene un tiempo aproximadamente de 40 años. Donde se determina que los organismos vivos son sensibles a la acción de un campo magnético (Alemán, 2011).

##### 3.1.1 Beneficios de la magnetización

La magnetización del agua aumenta la permeabilidad en suelo, y mejora la eficacia en riego dando como resultado la supresión de gases que contiene el agua en su estado natural, debido a la exposición a campos magnéticos. Como resultado se disminuye la periodicidad del riego en la industria agrícola. A su vez el agua tratada magnéticamente disminuye parcialmente la salinidad del suelo, sedimentos en tuberías, aspersores e incluso reducción de costo energético en el sistema de riego, disminuyendo el uso de fertilizantes y productos químicos (Aguas, 2013).

Debido a la influencia de dichos efectos magnéticos, se ha determinado un efecto positivo, mejorando notablemente sus niveles de producción al ser cultivados con agua magnetizada en sistemas de riego, obteniendo así resultados favorables en crecimiento, productividad y rendimiento (Duarte *et al.*, 2004).

A escala molecular, el agua sufre un reordenamiento dando como resultado una estructura sencilla. Se pueden incluso observar cambios en sus niveles de pH de forma leve y también de su conductividad eléctrica. Físicamente disminuye la tensión superficial y también viscosidad, lo que da como resultado una mejor absorción del líquido por las plantas y a esto sumamos un incremento de sus propiedades solubles en el suelo (Svartz, 2017).

En el momento que el flujo de agua atraviesa un campo magnético de intensidad y dirección adecuada, sus moléculas se ordenan; por lo tanto, se producen algunos cambios en sus propiedades. En particular, se produce una modificación en la forma de cristalización y de solubilidad de las sales en agua (Martínez, 2016).

### **3.1.2 Técnica de la magnetización**

El procedimiento se realiza en base a los principios del magneto hidrodinámico; nos referimos a la reorganización de las partículas que se han cargado con energía al pasar por un campo magnético. Es decir, las cargas positivas y negativas son atraídas por la fuerza del campo hacia uno de los extremos magnéticos. Durante la reorganización molecular por el efecto de la fuerza magnética, estas sufren un incremento en su velocidad, lo que provoca la colisión entre las moléculas y su posterior ruptura en agregados más pequeños, haciéndola más asimilable para la planta (Guerra, 2016).

También se reduce la tensión superficial, la viscosidad, permeabilidad y aumenta el contenido de oxígeno disuelto. Además, hay una mayor solubilidad de sales, aumento de conductividad eléctrica y variación en el pH, ya sea de manera creciente o decreciente. Este resultado dependerá del tipo de agua y de la cantidad de sales disueltas en ella (Guerra, 2016).

La metodología de aplicación del magnetismo puede dividirse en riego estático y dinámico, dependiendo si el agua se mantiene en estado de reposo o movimiento. Al hablar de método de riego estático nos referimos a un recipiente, donde, el agua es contenida y sometida a una influencia magnética por un imán. El único movimiento en esta técnica es correspondiente a la agitación térmica de las moléculas y la intensidad que el campo magnético influye sobre estas. En el caso del riego dinámico se ve influenciado mediante imanes, los cuales se encuentran distribuidos en las tuberías de riego, obteniendo diferentes influencias magnéticas de manera independiente para realizar tratamientos a distintos grupos de cultivo. La intención de ambas técnicas es someter el agua a un tratamiento magnético, intentando llegar a una intensidad superior a 800 Gauss (Martínez, 2016).

### **3.1.3 Efecto del tratamiento magnético en el agua de riego**

En muchos países ya se usa una tecnología orientada a la magnetización del agua de riego en la agricultura, analizando los beneficios del campo magnético en diferentes tipos de agua de riego y el cambio en su productividad, el cual ha sido motivo de amplio estudio (Alemán, 2011).

Se tiene entendido que el magnetismo induce cambios bioquímicos al agua de riego, el cual puede utilizarse para estimular el crecimiento de las plantas e incrementa la producción de alimentos, comprendiendo un factor importante a tomar en cuenta como un asunto de seguridad alimentaria (Alemán, 2011).

El implemento de un campo magnético sobre el agua de riego es una alternativa viable en relación al uso de químicos en el cultivo. Además, se ha determinado que las plantas sufren cambios fisiológicos, aumentando su productividad, funcionalidad de raíz, composición química y disponibilidad de nutrientes, activando las enzimas en la planta (Zúñiga, 2016).

### **3.2 Baja productividad de pastos**

La pastura es un alimento fundamental para el ganado de leche o carne, el cual constituye un rubro importante para el ganadero, sin embargo, la técnica tradicional de cultivo de patos se ve afectada por varios factores climáticos y de entorno, ya sea sequías, heladas, y empobrecimiento del suelo.

La productividad de los suelos se ve afectada debido a la erosión, ya que presentan deficiencia de materia orgánica, ocasionando baja retención de humedad, lo cual estimula su compactación del suelo por lo que aumenta dichos efectos negativos a la llegada de las sequías o tiempos en verano. A su vez, los pastos se ven afectados por enfermedades, parásitos u otros organismos patógenos lo incentivan el uso de productos fitosanitarios para su control (Romero, 2009).

Las zonas de característica árida se consideran como territorio marginal para la producción del sistema agropecuario, las razones principales son la baja cantidad de lluvia o su permanente escases, su facilidad de evaporación así también la baja calidad de agua y suelos.

Por lo cual son bastantes vulnerables a la degradación y es poco probable tener rendimiento y mantenerlo de manera sostenible (López *et al.*, 2009).

### **3.3 Escases de pastos en épocas de verano**

En la época de verano la capacidad de carga de unidades bovinas por hectárea se ve disminuida, sin tomar en cuenta el nivel de explotación del potrero, por lo cual se ve obligado a tomar medidas cautelares, para evitar un sobrepastoreo, como por ejemplo reducir la cantidad de animales o proyectar una elaboración de heno y silo, en verano el uso de kikuyo tiene un incremento de tiempo en su periodo de descanso de 42 días en invierno a 63 días en verano (Anzola, 2015).

La poca cantidad de hojas en una planta influye en la absorción de agua, por lo tanto, esta no se nutre ni aprovecha adecuadamente la luz solar, no asimila nutrientes. Así mismo eleva su gasto de transpiración y respiración, lo que da como resultado una debilitación de la pastura e incluso su muerte (Anzola, 2015).

### **3.4 Suplementos alimenticios**

En muchas ocasiones, debido a las condiciones climáticas propias de las zonas ganaderas en las cuales se cultiva, no siempre se obtiene la cantidad ni calidad necesaria de pastura, por lo que será necesario complementar la alimentación del ganado con forrajes de calidad, pero económicos ya sean en verde, henificados u ensilados (Santos, 2015).

El uso de suplementos es esencial para el ganado bovino ya que gracias a estos se complementa la nutrición, que el pasto de potrero no es capaz de suplir en porcentaje las necesidades nutricionales del animal. Debemos tomar en cuenta que los concentrados no pueden ser reemplazables en la dieta de ganado bovino por lo tanto deben ser incluidos en su alimentación diaria. Se tiene entendido que la implementación de balanceados ayude a que las vacas con balance negativo logren preñarse en poco tiempo posterior al parto (Santos, 2015).

Como alternativa, el forraje verde hidropónico de maíz, puede ser administrado en dos raciones de 15 kg a la hora del ordeño, garantizando un incremento de la producción de leche aproximadamente 13 % a diferencia de tratamientos convencionales. Podemos recalcar que

el forraje verde hidropónico de maíz posee una frecuencia mínima de enfermedades, elevada producción lechera y fertilidad (Díaz, 2015).

### **3.5 Hidroponía**

Se refiere a la producción de plantas en agua conocida como cultivo sin sustrato. El forraje es un cultivo de plantas herbáceas resultado de granos, cereales y dispuesto como suplemento en animales (Krämer, 2016).

Esta técnica otorga cultivar en sitios no convencionales, ya sean reducidos o de climas adversos desarrollando una autonomía ya que, se puede tener dominio sobre los nutrientes adecuados para la planta, reduciendo gastos significativos en su producción (García *et al.*, 2013).

#### **3.5.1 Beneficios de la hidroponía**

De acuerdo a (Espinoza *et al.*, 2004), menciona que la hidroponía de un cultivo se realiza en un medio acuoso los cuales reciben nutrientes y minerales necesarios para subsistir de sales disueltas en agua de riego. Gracias a esto obtenemos las siguientes ventajas:

- a) La independencia de localización y fenómenos meteorológicos en la producción.
- b) Limita en el uso de productos químicos en el cultivo dando un alimento ecológico.
- c) Alto rendimiento en espacios reducidos de bajo costo e infraestructura.
- d) Produce un alimento de elevado contenido nutricional.
- e) No es necesario el uso de maquinaria y se necesita menos mano de obra.
- f) Bajo consumo de agua.

De igual manera, esta tecnología nos brinda ventajas notables en la producción de forraje verde hidropónico y puede ser aplicada en variadas condiciones en vista que se realiza en un ambiente controlado.

Para ello, el riego más común es mediante el uso de nebulizadores, para evitar causar daño a las semillas y plántulas en desarrollo al usar gotas gruesas como en un aspersor convencional, el uso de nebulizador se trata de mantener que la semilla o plántula obtenga la humedad necesaria más no encharcar al cultivo (Espinoza *et al.*, 2004).

### **3.6 Riego por nebulización**

La técnica del riego por nebulización se entiende como un proceso el cual su principal característica es tener control sobre la cantidad de agua y fertilizante óptimo para el cultivo, mediante la generación de gotas a forma de neblina en cantidades adecuadas, de esta forma se logra estabilizar el entorno del cultivo, consecuentemente nivelando la humedad con la finalidad de mantenerla constante (Soto, 2015).

El resultado de las características de esta técnica, es apropiado para intensificar la obtención de forraje verde hidropónico y generar plántulas de germinación sin sustrato, ya que dicho cultivo es de carácter delicado por lo que necesita gotas finas a base de una nebulización, así evitamos causar daños significativos (Sánchez *et al.*, 2014).

Este sistema tiene la ventaja de ser fácil en la calibración de los caudales y el tamaño de gota mediante la adecuación de la boquilla, para usos varios según las necesidades de la producción. Igualmente se permite la regulación del agua usando instrumentos de riego que ayuden a mantener la humedad, temperatura, abonos y plaguicidas (Ceresuela, 2011). Este procedimiento es utilizado sobre todo en ambientes de clima cálido, árido o en temporadas secas, es muy común en espacios controlados como huertos personales en casas o invernaderos para producción en masa (De Miguel, 2016).

#### **3.6.1 Ventaja del riego por nebulización**

La humedad es fundamental en una semilla pre-germinada, debe contar con suficiente agua desde los primeros días hasta su cosecha, de forma automatizada por un nebulizador, la intención es que el agua vaya recorriendo la charola sin encharcarse, permitiendo oxigenar adecuadamente el área de cultivo (Romero, 2009).

- a) Reducción de temperatura incluso hasta 10 °C refrescando el ambiente.
- b) Fácil instalación especialmente en sistemas de baja presión.
- c) Puede ser programado por temporizador.
- d) En caso de uso de sustrato favorece la retención de humedad.
- e) Bajo consumo de energía.
- f) Ayuda a mantener la limpieza de las plántulas.
- g) Mantener humedad ambiental.

### **3.6.2 Desventaja de riego por nebulización**

Es muy importante controlar la cantidad de agua en cada riego mediante un temporizador, ya que un exceso puede ocasionar los siguientes problemas:

- a) En un uso excesivo tiende a producir la presencia de hongos.
- b) Solo puede ser usado en espacios cerrados o controlados ya que el viento puede disipar las pequeñas partículas de agua.
- c) No puede ser usado frecuentemente en ambientes con notable humedad ya que favorece a la producción de hongos.

### **3.6.3 Sedimentos sólidos en el sistema de riego**

La gran cantidad de minerales disueltos en el agua son en su mayoría bicarbonatos, sulfatos y cloruros (Ca, Mg y Na), en una mezcla con sus respectivos iones y cationes. Atribuyendo determinadas características en el agua dependiendo de las sales, destacando la dureza cálcica y la magnésica. Dichas características son las responsables de incrustaciones en la tubería de riego (Pérez, 2017).

Al someter agua de riego a campo magnético el carbonato cálcico contenido en dicha agua cambia su forma de cristalización de calcita a aragonita. Convencionalmente la principal técnica de tratamiento magnético del agua ha consistido en impedir la formación de cristales que se incrusten en los sistemas de riego ya sea tuberías o calderas (Días, 2013).

Tras producirse la precipitación del carbonato de calcio se origina una calcificación de las tuberías, es decir formando incrustaciones que se conocen de forma popular como caliche. La calcita es de forma hexaédrica que se agrupa fácilmente en las paredes de la tubería. De apariencia pétrea y de difícil eliminación, aunque es posible disolverlos con un lavado ácido lo cual da como resultado un impacto negativo al ambiente. El aragonito de forma esferoidal se encuentra en forma sedimentaria ya que es complicado que se agrupen entre ellos, encontrándose en forma esponjosa y quebradiza la cual es sencillo limpiar (Gálvez, 2010).

### **3.7 Generalidades del cultivo de maíz (*Zea mays*)**

El maíz es un alimento fundamental en nuestros tiempos, gracias a la capacidad de adaptarse y modificarse genéticamente dependiendo de la zona de cultivo y su facilidad de consumirse de distintas maneras. Se tiene indicios que su origen es en la cuenca del Balsas y desde ahí viajó hasta Mesoamérica y por ende al resto del continente. Cuando se realizó el contacto entre el viejo y nuevo mundo, este viajó hacia Europa y el resto del mundo por ejemplo África, Asia e incluso Oceanía, donde ha sido utilizado de distintas formas para la alimentación de humanos o animales. Cristóbal Colón fue el encargado de llevarlo a España en 1498 donde creció en abundancia y con facilidad, puede que los Portugueses lo hayan extendido hacia África y China en 1505 (Vargas, 2014).

El maíz es una planta que se utiliza como suplemento ya que es aprovechado eficientemente para la nutrición del ganado bovino. Siempre debe tomarse en cuenta que es imperativo algunos cuidados en la producción para conseguir un suplemento que cumpla las necesidades nutricionales del ganado. El contenido de proteína y materia seca puede ser determinado y tabulado mediante análisis experimental en las áreas de cultivo y así suministrar raciones equilibradas (Neri, 2013).

#### **3.7.1 Producción de maíz (*Zea mays*) en el Ecuador**

El Ecuador tiene uno de los más altos índices de biodiversidad en lo que a maíz se refiere por unidad de área en el mundo. La región andina es uno de los mayores núcleos de origen de plantas debido al grado de aislamiento que existe en las zonas altas. Aproximadamente se han encontrado 29 razas de maíz (Bravo *et al.*, 2013).

En la región litoral ecuatoriana se produce la mayor cantidad de maíz amarillo duro del país. La notable importancia de este producto el cual contribuye a la alimentación de la población y también como materia prima fundamental de alimentos destinados al consumo animal como balanceados. Mediante datos oficiales se tiene entendido que la superficie sembrada de maíz duro para el año 2019 en el país se siembran alrededor de 250 000 hectáreas de maíz y existen 60 000 maiceros en las provincias de Manabí, Los Ríos, Guayas y Loja, en época lluviosa y en época seca en la cual se aprovecha el remanente de humedad del suelo dando como resultado un rendimiento en promedio de 9 t/ha. Zambrano *et al.*, (2017).

### **3.7.2 Importancia nutricional del maíz (*Zea mays*)**

Los cereales forman parte fundamental de la nutrición de millones de personas y animales, su ingesta es considerablemente aumentada en países en vías de desarrollo. No se lo puede considerar solamente como una fuente de energía debido a que posee una cantidad notable de proteínas, lo suficiente como para ser utilizado como suplemento (Martínez *et al.*, 2009).

Por estas razones una de las plantas bastante reconocidas por dichas propiedades especialmente con fines forrajeros es el maíz (*Zea mays L.*), debido a su valor nutritivo y alto rendimiento, gracias a esto se puede permitir cultivar esta planta en entornos hidropónicos obteniendo elevados y constantes volúmenes de FVH de maíz, con precio reducido casi a la mitad en relación a los forrajes cultivados en campo. Puede ser suministrado a distintos tipos de animales, representando una dieta completa la cual consta de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales esenciales para la correcta nutrición animal Rivera *et al.*, (2010).

### **3.7.3 El Maíz (*Zea mays*) como forraje verde hidropónico**

El maíz contiene características nutricionales vinculadas estrechamente con factores como la digestibilidad de la materia seca y el contenido de la semilla, por lo tanto, influye directamente en el valor energético. La planta y sus elementos botánicos como semilla, raíz, tallo y hojas, tomando en cuenta que el elemento que mayor valor energético posee es la semilla por lo tanto este determinará la eficacia del suplemento (Hart, 2009).

El maíz proporciona un alto rendimiento en biomasa por unidad de área. Desde 40 a 95 t/ha, en lapsos de tiempo reducidos con un valor nutritivo de bueno a excelente, obviamente dependiente de la etapa de desarrollo en la que se encuentre el FVH al momento de ser cosechado. Los valores de materia seca contenida van de 15-20% cuando la planta se encuentra verde y una composición química de proteína cruda de 14%, 27-35% de fibra cruda y 10% de ceniza en la materia seca Amador *et al.*, (2000).

## **3.8 El forraje verde hidropónico de maíz**

Este término se refiere a la producción de un cultivo llevado a cabo por la germinación de semillas gramíneas o leguminosas (trigo, avena, cebada, maíz.), que posterior a 21 días es

cosechado y suministrado a los animales de granja, especialmente como suplemento; usando el principio de crecimiento de las plántulas a partir de las reservas en las semillas; igualmente se usan soluciones nutritivas para suplementarlo, este método puede ser trabajado con o sin sustrato. Su masa forrajera es completa: hojas, tallos, semillas y raíces, que se logra gracias al poder germinativo de la semilla, agua y energía solar (Zagal-Tranquilino, 2016).

Los intervalos de temperatura para la producción de forraje verde hidropónico van desde 20 a 28 °C, también una humedad relativa no inferior a 90 %. Se debe evitar encharcamientos en los contenedores y a su vez se debe mantener una importante circulación de aire en los mismos. La densidad de semilla depende de la siembra en el caso de maíz 4 kg/m<sup>2</sup> (Maldonado *et al.*, 2013).

### **3.8.1 Propiedades del forraje verde hidropónico de maíz**

El forraje verde hidropónico de maíz, dispone alrededor 8,8 a 13,4 % de materia seca; 18,3 a 26,3 % de proteína cruda; y 80 % de nutrientes digestibles. Se debe tomar en cuenta el conocimiento específico de los factores de producción, para administrar una dieta satisfactoria al tipo de producción que se necesite alimentar, en nuestro caso la ganadería bovina (Zúñiga *et al.*, 2004).

Posterior a la germinación las semillas logran una altura de 25 cm aproximadamente; en donde podemos suministrar al animal el forraje en su totalidad, desde raíz hasta las hojas verdes. El cultivo de FVH incrementa la obtención de alimento fresco a corto plazo y con resultados eficientes en relación de área y recursos (Rivera *et al.*, 2010).

### **3.8.2 Rendimiento de forraje verde hidropónico de maíz en verano**

El forraje verde hidropónico (FVH) de maíz, es usado como suplemento adecuado para ganado bovino. Puesto que este tipo de forraje conserva nutrientes en porcentajes altos y de digestibilidad sencilla. El tiempo y zona de cultivo carece de relevancia debido a que se desarrolla bajo ambientes controlados (invernadero) (Romero *et al.*, 2009).

Al no ser importante la estación y clima, se puede suministrar la misma variedad de forraje como suplemento. Ya sea en días secos de altas temperaturas que son comunes del verano, como días fríos y con altas precipitaciones comunes del invierno, como resultado se puede

suplir los requerimientos de forraje verde, durante los 365 días del año. Esta metodología desarrollada a manera de módulos de invernadero es de fácil producción diaria debido a su adaptabilidad por lo tanto el ganadero posee la capacidad de abastecer forraje diariamente ya sea disminuyendo la cantidad de grano, indiferente del rendimiento total.

### **3.8.3 Costo beneficio del forraje verde hidropónico de maíz**

El valor nutricional del forraje verde hidropónico es óptimo para tomarlo en cuenta como suplemento alimenticio, mejorando la ingestión de nutrientes al ganado incluso en zonas áridas y semiáridas, las cuales son limitadas de pastura lo que da como resultado una malnutrición del ganado (López-Aguilar *et al.*, 2009).

La utilización de esta técnica ha dado resultados positivos en la generación de forraje verde hidropónico, ya que la nutrición es disponible y digestible de manera inmediata; con optimización de la cantidad de agua y reducción del tiempo de crecimiento de 15 días a diferencia del cultivo geopónico que tarda de 30 a 90 días (Neri, 2013).

En las paredes de las células vegetales existe una fracción digerible y otra no digerible. El contenido de FDA es una cuantificación de la fracción indigerible. En el forraje verde hidropónico, la FDA varía con el tiempo de cosecha, observándose valores reducidos en la etapa inicial y valores mayores en la etapa final (López-Aguilar *et al.*, 2009).

El forraje verde hidropónico, tiene un beneficio, hablando de la capacidad de suministrar suplemento de alto rendimiento, dado que en áreas de 100 m<sup>2</sup> genera una cantidad similar a lo que podría producirse en 1ha de potrero (Neri, 2013).

## CAPÍTULO IV

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 4.1 Materiales, insumos y equipos utilizados

##### **Instrumentos de trabajo**

- Alambre de tutoreo
- Alicates
- Azadón
- Balanza
- Bandejas de acero inoxidable
- Bomba de fumigar
- Bomba de riego
- Cámara fotográfica
- Carretilla
- Cinta métrica
- Cisterna de agua
- Clavos
- Conector manguera
- Esponja de acero inoxidable
- Imanes de Neodimio N52
- Libreta de campo
- Malla sarán o poli sombra
- Mangueras
- Martillo
- Nebulizadores
- Pala hoyadora

- Pala recta
- Papel periódico
- Pegamento
- Plástico negro
- Rastrillo
- Regadera
- Rótulos de madera
- Soporte de madera para imanes
- Soportes de Madera
- Tacos Fischer
- Taladro
- Tornillos
- Tubos
- Válvulas

#### **Instrumentos de laboratorio**

- Balanza digital
- Calibrador
- Conductímetro
- pH-metro

#### **Insumos agrícolas**

- Semilla de maíz duro (*Zea mays*)

#### **Software Informático**

- Administración de datos: Microsoft Excel
- Redacción: Microsoft Word

## 4.2 Metodología

### 4.2.1 Ubicación del área de estudio

Este estudio se realizó en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador- Sede Ibarra, en la granja experimental ECAA, con una ubicación geográfica de coordenadas latitud  $00^{\circ}21'08''N$ , longitud  $78^{\circ}06'26''W$  y altitud de 2225 m.s.n.m., en la parroquia San Francisco, barrio La Victoria, cantón Ibarra, provincia Imbabura.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en el invernadero hidropónico de la granja experimental ECAA.

Para la finalidad de este estudio se requirió instalar un sistema de riego por nebulización y adecuar dicho sistema para la inducción magnética del agua.

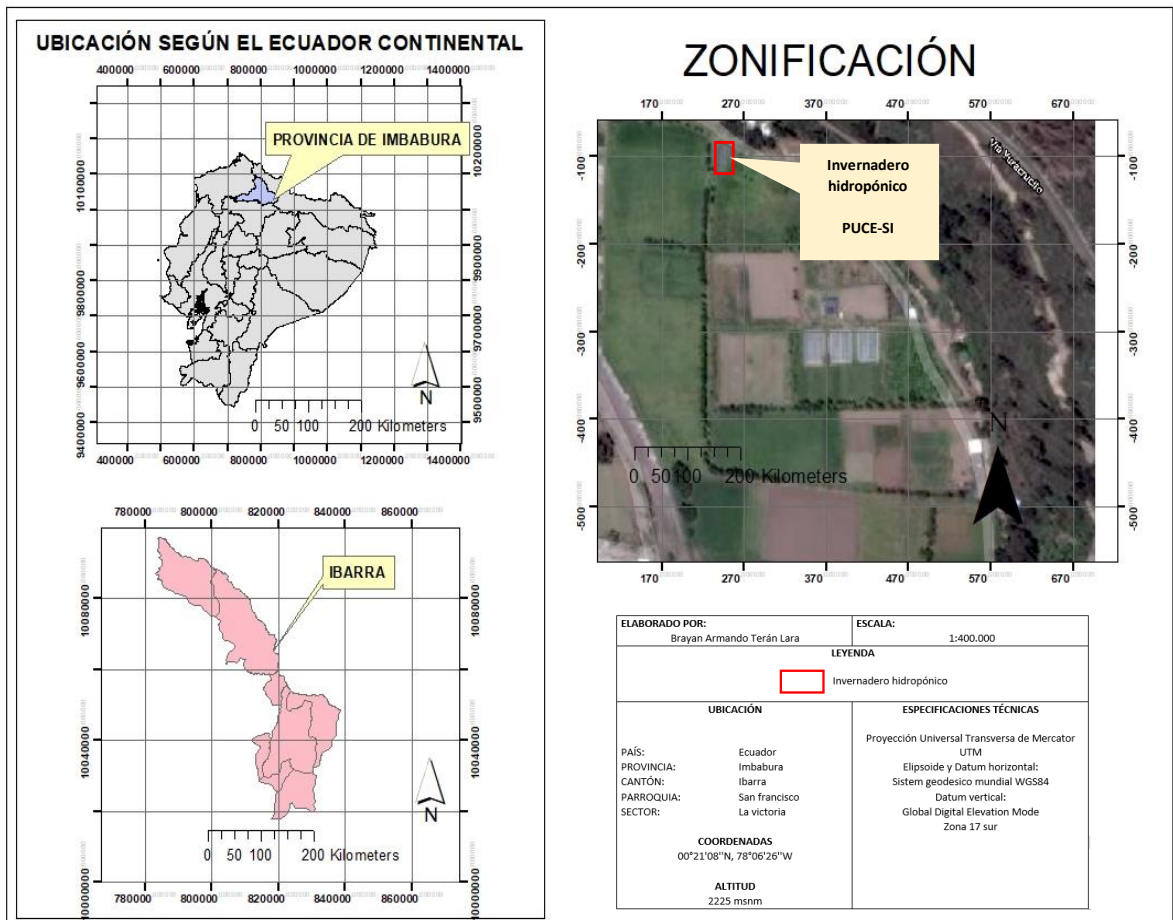


Figura 1. Zonificación; invernadero hidropónico de la granja experimental ECAA

Fuente: El autor

#### 4.2.2 Diseño experimental

Para la investigación se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones por cada tratamiento, obteniéndose un total de doce unidades experimentales. Además, se realizó la prueba de significancia de Tukey al 5 %.

Se consideró aplicar tres intensidades magnéticas al agua de riego; agua de riego con exposición magnética al 100 %, 75 % ,50 % y un testigo con agua de riego sin exposición magnética, con tres repeticiones por cada uno, formando 12 unidades experimentales en maíz duro (*Zea mays*).

El presente proyecto tiene como objetivo general analizar el efecto del agua de riego tratada magnéticamente en el cultivo, en conformidad al mismo, se utilizaron como referencia estudios similares donde el análisis se dirige al aporte del agua magnetizada al cultivo, independientemente de cual sea éste; el uso de los porcentajes de exposición magnética antes mencionados están basados en un ensayo similar realizado por Córdova (2019), mismo que es la referencia más cercana y actualizada del tema.

#### 4.2.3 Esquema del análisis de ADEVA

Para el análisis de varianza se utilizó el siguiente esquema.

Tabla 1.

*Esquema de ADEVA*

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamientos	3
Error experimental	8

Fuente: El autor

#### 4.2.4 Descripción e identificación de las unidades experimentales

El área total del invernadero hidropónico mide 128,7 m<sup>2</sup>, donde se estableció un sistema de riego por nebulización de acuerdo a la figura 2, los mismos que se distribuyen en un diseño completamente al zar (DCA).

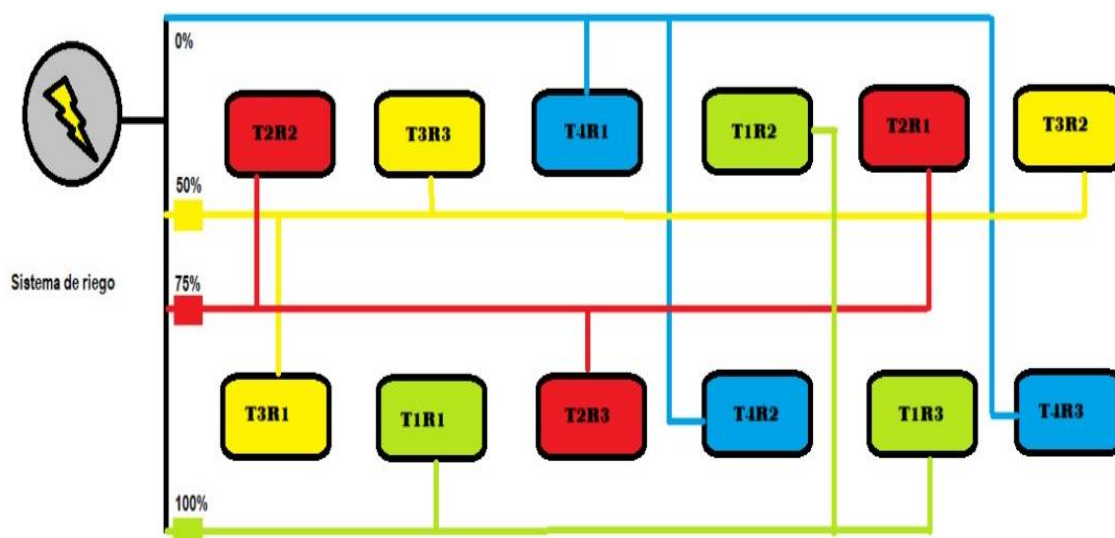


Figura 2. Distribución de las unidades experimentales

Fuente: El autor

El cultivo se desarrolló en bandejas de 1.1 m x 0,6 m, que son específicos para forraje verde en hidroponía, se aplicó 4 kg de semillas en cada bandeja, para ser cosechado al día 15.

Tabla 2.

*Descripción del área experimental*

DESCRIPCIÓN	MEDIDA
Área total	128,7 m <sup>2</sup>
Área útil	39,9 m <sup>2</sup>
Forma	Rectangular
Largo del área experimental total (UE)	13,3 m
Ancho del área experimental total (UE)	3 m
Tamaño de cada unidad experimental (UE)	0,72 m <sup>2</sup>
Número total de semilla por bandeja	4 kg
Número total de semilla por experimento	48 kg

Fuente: El autor

## 4.2.5 Instalación del sistema de riego con inducción magnética

### 4.2.5.1 Elaboración del dispositivo de campo magnético

La influencia del campo magnético para tratamiento de agua se realizó mediante el uso de tubería PVC de ½ pulgada, El dispositivo magnético se colocó de forma externa en las tuberías, dependiendo del porcentaje de influencia magnética a aplicarse en los respectivos tratamientos.

Se elaboró 3 dispositivos de forma cúbica en material de madera con cuatro imanes de Neodimio (serie N52) en su interior (Córdoba, 2019). Cada imán está sujeto a la caja de madera mediante el uso de pegamento a base de silicón. La numeración específica de cada tratamiento corresponde al (100 %, 75 %, 50 % y testigo).



Figura 3. Dispositivo de campo magnético

Fuente: El autor

#### 4.2.5.2 Particularidades de los imanes empleados para la investigación

Los imanes son de neodimio – hierro – boro de forma circular o de tipo arco cuyas dimensiones: 20 mm de largo, 3 mm de espesor, 5 mm de agujero, con una fuerza de sujeción de 3,4 kg y un recubierto de níquel, (Tabla 3).



Figura 4. Imán de neodimio usado en la investigación

Fuente: El autor

Tabla 3.

*Características técnicas del imán neodimio N52*

Propiedades	Valor
Calidad de magnetización	N52
Inducción Magnética o Densidad de Flujo magnético	1,42-1,47 (T) <sup>1</sup> ↔ 14200 - 14700 (G)
Coercividad* de densidad de flujo (bHv) <sup>1</sup>	10,8-12,5 (kOe) ↔ 860-995 (kA/m)
Coercividad intrínseca de polarización (iHc) <sup>2</sup>	≥12 (MGOe) ↔ 380-420 (kA/m)
Producto energético máximo <sup>3</sup>	48-53 (MGOe) ↔ 3180-334 (kJ/m <sup>3</sup> )
Temperatura de servicio máximo <sup>4</sup>	≤65 (°C)

Fuente: Supermagnete (2002)

Nota: \* Coercitividad (HC), intensidad del campo necesario para desmagnetizar completamente un imán.

(1) Campo magnético HC necesario para reducir a cero la inducción magnética B.

(2) Campo magnético HC necesario para reducir a cero la magnetización M.

(3) Máx. energía magnética almacenada, producto de densidad de flujo B e intensidad del campo H (BxH).

(4) Temperatura máxima de exposición que puede resistir sin que se produzcan cambios estructurales o inestabilidades en sus propiedades. Si supera esta temperatura, perderá parte de su magnetización.

T, tesla; G, gauss; kOe, kiloGauss oersteds; kA/m, kilo amperio por metro; MGOe, megaGauss oersteds kJ/m<sup>3</sup>, kilojulio/metro cubico; °C, grados Celsius

#### **4.2.6 Tratamiento del agua de riego para la obtención de forraje verde hidropónico de maíz**

De acuerdo a Alemán (2011), la obtención de forraje verde hidropónico de maíz con inducción magnética se la realiza utilizando un imán de Neodimio N°52 aplicando tres diferentes tiempos de riego, los cuales están descritos a continuación:

Para el tratamiento 1 se realizó el diseño de un acople para tubería de ½ pulgada con capacidad de adjuntar cuatro imanes para la exposición magnética del agua de riego por nebulización. Dicho tratamiento y sus consecuentes repeticiones tuvo una exposición al campo magnético del 100 % mediante una frecuencia de riego controlada. Para el tratamiento 2 la exposición magnética fue del 75 %. Mientras que para el tratamiento 3 la exposición magnética fue del 50 % (tabla 4). El cuarto tratamiento se consideró como testigo el mismo que no tiene influencia magnética en su riego por nebulización.

### **4.3 Manejo experimental**

#### **4.3.1 Selección de semilla**

Parte fundamental del estudio consistió en una categorización de semilla, descartando las semillas quebradas o infectadas con hongos, las semillas obtenidas no deben ser tratadas con químicos y deben poseer un alto grado de germinación superior a 75 %.

Considerando que, ensayos realizados por Aguirre *et al.*, (2014), demuestran que la germinación de la materia prima en estudio, debe obtener un porcentaje de germinación aceptable del 79, 17 %.

#### **4.3.2 Lavado y desinfección de semilla**

En base a la metodología expuesta por Hernández (2011), se lavó la semilla eliminando impurezas y suciedad, a su vez se utilizó cloro en una dosis de 5 ml por litro de agua por un periodo de 3 minutos y para eliminar la solución de cloro se enjuagó con abundante agua (Anexo 8).

### **4.3.3 Remojo de semilla**

Se procedió a remojar la semilla durante un periodo de 12 horas, luego se dejó secar por un lapso de tiempo de una hora y se cambió el agua. Posteriormente se remoja por otras 12 horas, y nuevamente se deja secar por otra hora. Todo este procedimiento se realizó con la finalidad de tener una imbibición adecuada de la semilla, (Anexo 8) (González et al., 2015).

### **4.3.4 Ubicación de semilla en bandeja**

Siguiendo la metodología de López (2005), se colocó una capa de semillas no superior a 1,5 cm de alto en las bandejas de germinación, a razón de 4 kg de semilla aproximadamente por m<sup>2</sup>, se cubrió la semilla con papel húmedo hasta producirse la germinación de la misma con la intención de que no pierda la humedad. Dichas bandejas se cubrieron con plástico negro bajo sombra hasta producir la germinación, en el mismo invernadero hidropónico (Anexo 9).

## **4.4 Variables dependientes evaluadas en campo**

### **4.4.1 Porcentaje de germinación (%)**

Se realizó una prueba en la cual se delimitó una sección de cada bandeja de cultivo en producción, por la cual podremos saber cuántas semillas logran germinar. El número de semillas que consigan germinar será el porcentaje de germinación, (Anexo 10) (González et al., 2015).

### **4.4.2 Altura de planta (cm)**

Se realizó una medición desde el primer brote (mesocótilo), a lo largo del tallo hasta el origen de la primera hoja (nomófilos), en etapas iniciales usando un calibrador, en etapas posteriores se usó un flexómetro midiendo en su totalidad el tallo formado, (Anexo 12) (López, 2005). Debemos tener en cuenta que la cosecha se la realiza a los 25 cm, este desarrollo demora unos 9 a 15 días dependiendo de las condiciones climáticas, invernadero y frecuencias de riego como resultado obtendremos un gran tapete radicular ya que las raíces se entrecruzan por la densidad de siembra, tratando de observar su crecimiento cada 3 días con esto sabremos un aproximado de forraje que obtendremos para consumo animal.

#### **4.4.3 Tapete radicular (cm)**

El tapete radicular es el resultado final de una masa formada por raíces entrecruzadas en forma de alfombra, esta medida se la realizó en la etapa final de cultivo cuando ya es apto para cosechar, se midió desde la sección en donde se originó la radícula hasta el ápex de la misma, utilizando un flexómetro, (Anexo 13) (Hernández, 2011).

#### **4.4.4 Riego**

Bautista (2002) menciona que en el forraje verde hidropónico de maíz, requiere 2 litros de agua por cada kg de semilla; con base en este antecedente y conociendo que el nebulizador usado en este experimento emite 1 litro por minuto, se fraccionó este requerimiento en 8 aplicaciones diarias.

El horario establecido para el riego fue programado desde las 9:00 hasta las 16:00 (Tabla 4), cada hora los nebulizadores suministraron agua por un minuto a las bandejas con semilla, el ensayo contó con 12 bandejas con 4 kg de semilla cada una, lo que representa un consumo de 8 litros de agua diarios por bandeja, durante los 15 días de producción el total de agua requerida fue de 1440 litros; la emisión de agua mediante el nebulizador y la frecuencia de riego logran cubrir la necesidad diaria de agua de cada bandeja cumpliendo de esta manera lo recomendado por (Hernández, 2011).

Tabla 4.

*Intervalos de riego aplicados en el sitio experimental*

Hora	Tiempo de Riego	Influencia Magnética			
		T1 100%	T2 75%	T3 50%	T4 testigo
09:00	1 min	✓	✓	✓	X
10:00	1 min	✓	✓	✓	X
11:00	1 min	✓	✓	✓	X
12:00	1 min	✓	✓	✓	X
13:00	1 min	✓	✓	X	X
14:00	1 min	✓	✓	X	X
15:00	1 min	✓	X	X	X
16:00	1 min	✓	X	X	X

Fuente: El autor

Nota: Influencia Magnética por tratamiento: T1: Tratamiento 1: 100 %; T2: Tratamiento 2: 75 %; T3: Tratamiento 3: 50 %; T4: Tratamiento 4: Testigo (0 %); X= sin magnetización; ✓ = con magnetización.

#### 4.4.5 Cosecha

La cosecha se la realizó a los 15 días después de la germinación del cultivo ya establecido, produciendo una lámina de forraje que supera los 21,00 cm. De acuerdo a la investigación realizada por López (2005), menciona que realizar la cosecha posterior a los 15 días puede haber reducciones del contenido nutricional del forraje, conforme avanza la madurez del cultivo, (Anexo 14).

### 4.5 Variables dependientes evaluadas en laboratorio

#### 4.5.1 Conductividad eléctrica (S/m)

Esta prueba se concluyó en el laboratorio, con el uso de un conductímetro con la finalidad de encontrar diferencias entre la conductividad de agua tratada en diferentes proporciones y

el agua sin tratamiento (magnético). Se tomó una muestra de agua de cada tratamiento, al inicio del ensayo y posterior a la culminación del mismo, con la finalidad de determinar la variación de conductividad eléctrica, (Anexo 15) (González *et al.*, 2015).

#### **4.5.2 Potencial de hidrogeno (pH)**

Mediante el uso de un potenciómetro en el laboratorio, se pudo determinar el pH y la diferencia que hay entre los tratamientos; el potenciómetro debe estar previamente calibrado. Al igual que el anterior procedimiento se toma una muestra de agua al inicio del ensayo y posterior a la culminación del mismo, donde se introduce el electrodo, evitando tocar las paredes del vaso y de ahí obtener los datos y tabularlos, (Anexo 16) (Rivera *et al.*, 2010).

#### **4.6 Rendimiento del cultivo**

Mediante el uso de una balanza, se recolectó el forraje producido del cultivo a los 15 días después de la germinación, y se pesó con el fin de determinar cuál fue la cantidad obtenida de forraje verde hidropónico, (Anexo 17) (López, 2005).

#### **4.7 Análisis bromatológico**

El análisis bromatológico se lo realizo a las muestras de los 4 tratamientos y sus repeticiones, determinando materia seca, fibra, proteína y energía, (Anexo 18) de acuerdo a los siguientes procesos (Hernández, 2011).

##### **4.7.1 Materia seca**

##### **Obtención de la muestra**

1. Tomar la muestra de campo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*)
2. Preparar la máquina mufla
  - Tomar recipientes donde se colocará la muestra
  - Picar la muestra en partículas pequeñas
  - Pesar la muestra para tener un peso inicial
  - Colocar la muestra de manera que este disperso para que el resultado no salga erróneo
  - Bajar la tapa de la máquina y ponemos a trabajar en la mufla

- Dejar que trabaje la mufla a 110 °C por 24 horas
- Pesar la muestra que se encuentra deshidratada
- Al finalizar obtenemos los resultados de materia seca  
(De Gracia, 2011)

#### **4.7.2 Fibra**

1. Tarar crisoles
  - Lavar y secar completamente los crisoles a utilizar
  - Pesar los crisoles y anotar su peso inicial
  - Secar los crisoles en la estufa a 110 °C por una hora
  - Sacar los crisoles y enfriar en un desecador por 15 minutos
  - Pesar los crisoles, comprobar si están tarados y anotar su peso
2. Colocar la muestra
  - Pesar 0,5 g de la muestra, anotar su peso y colocar en cada uno de los crisoles
3. Encender la máquina
  - Conectar la máquina a la luz
  - Encender la máquina
  - Abrir la llave de agua
4. Colocar los crisoles
  - Colocar cada uno de los crisoles en su sitio y bajar la palanca para sellarlos
  - Comprobar si no existen fugas
5. Preparar soluciones
  - Colocar 4,37 de Ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  en la jarra de color verde lentamente por el borde
  - Agregar 350 ml de agua destilada muy lentamente para evitar quemaduras
  - En el recipiente de color morado colocar 350 ml de agua destilada, agregue 4,37 g de Hidróxido de Potasio (KOH)
6. Cocinar con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ )

- Agregar la preparación de ácido sulfúrico en cada crisol hasta la segunda muesca
  - Programar el tiempo de 30 minutos y subir la temperatura a 8 °C
- 7. Cocinar con Hidróxido de Potasio (KOH)**
- Luego de que haya concluido el tiempo de cocción con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> presionar vacum y drenar lo restante
  - Lavar 3 veces con agua destilada caliente
  - Adicionar la solución de KOH
  - Programar el tiempo por 30 minutos y subir la temperatura a 7 °C
- 8. Lavado final**
- Luego de que haya concluido el tiempo de cocción de KOH presionar vacum y drenar lo restante
  - Lavar 3 veces con agua destilada caliente y una vez con agua destilada fría
  - Adicionar 25 ml de acetona por muestra y lavar por un minuto muy suavemente para evitar que la muestra suba y se quede en el tubo
  - Evacuar lo restante
  - Retirar los crisoles
- 9. Secado de muestra**
- Retirar los crisoles de la máquina
  - Colocar los crisoles en la estufa a 110 °C por una hora
  - Sacar los crisoles y dejar enfriar en un desecador por 15 minutos
  - Pesar y anotar el peso de cada crisol
- 10. Secar la muestra en la mufla**
- Colocar los crisoles en la mufla a 400 °C durante 3 horas
  - Retirar los crisoles y enfriar en un desecador por 15 minutos
  - Pesar y anotar el peso de cada crisol
- 11. Apagado de la Máquina**
- Apagar y desconectar la máquina
  - No olvidar cerrar la llave de agua.

(De Gracia, 2011)

### 4.7.3 Proteína

1. Lavar los tubos de ensayo grandes
  - Lavar los tubos de ensayo a utilizar y secarlos
2. Colocar la muestra
  - Pesar 2 g de cada muestra, anotar su peso y colocar en cada tubo
  - Etiquetar cada tubo
3. Digestar la muestra
  - Colocar los tubos en el digestor
  - Encender la máquina y calentar a 80 °C
  - Agregar en cada muestra:
    - Una pastilla catalizadora
    - 12 ml de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$  al 0,4 % muy despacio y por el borde
    - 3,3 ml de peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$  al 35 % muy despacio y por el borde. Todo este proceso se lleva a cabo dentro de la Sorbona
  - Colocar la tapa en los tubos
  - Encender la Sorbona y bajar la tapa de esta para que se extraigan los gases
  - Digestar hasta que la muestra cambie de color negro a color amarillo pálido
4. Preparar soluciones
  - Para preparar hidróxido de sodio al 35 % pesar 300 g de NaOH
  - Diluir en un balón de aforo con agua destilada
  - Aforar hasta 1000 ml
  - Hacerlo lentamente ya que es una reacción caliente
  - No tapar tan fuerte el balón hasta que la solución enfríe
  - Para preparar ácido bórico al 4 %, pesar 40 g de ácido bórico y diluir en 1000 ml de agua destilada
  - Para diluir el ácido bórico utilizar un agitador magnético
5. Destilado
  - Retirar los tubos del digestor
  - Dejar enfriar dentro de la Sorbona

- Neutralizar las muestras agregando 50 ml de agua destilada y 50 ml de NaOH al 35 %, agregar estas cantidades lentamente para evitar quemaduras
- Encender el destilador y abrir la llave de agua
- Revisar que el agua este corriendo
- Nivelar el agua con el botón que aparece en la parte superior
- Proceder a calentar el agua en el que se va a dar vapor a la muestra a digestar
- Colocar la perilla a 4,5 °C de temperatura
- Dejamos calentar por 20 minutos hasta verificar la salida de vapor
- Colocar la muestra en el tubo que va en el lado izquierdo y en lado derecho el matraz Erlenmeyer que contiene 50 ml de ácido bórico y 4 gotas de rojo tashiro
- Colocar en el destilador el matraz y el tubo de ensayo con la muestra ya neutralizada

#### 6. Titulación

- Con la solución que queda en el matraz de color verde adicionamos ácido clorhídrico HCl al 0,2 % normal
- Titular con HCl hasta que cambie a color rosado pálido
- Anotar las cantidades de ml de HCl  
(Caceres et al., 2000).

#### 4.7.4 Energía

1. Preparar la muestra
  - Trituramos las muestras de Forraje Verde Hidropónico
  - Pesamos 0,5 g de muestra
2. Encender la máquina
  - Conectar a la corriente de luz
  - Añadimos 2 litros de agua destilada en el balde
3. Preparación de la pastilla

- Con la ayuda de una prensa para encapsular, convertimos 0,5 g de muestra en una pastilla compacta
  - Se procede a pesar nuevamente la pastilla compacta
  - Anotar los nuevos pesos
4. Colocar la muestra en la porta capsula
    - Amarramos un hilo
    - Colocamos la pastilla en la capsula, el hilo queda en la mitad de la pastilla
    - Sellar la capsula completamente donde se encuentra la muestra
    - Colocamos 10 ml de agua destilada en la bomba
  5. Inicio de medición de energía
    - Llenar de oxígeno la capsula por 60 segundos cada una
    - Colocar en el balde la bomba
    - Esperar que se determine los resultados en 16 minutos aproximadamente (Ureña, 2014).

#### **4.8 Relación costo beneficio**

Con la finalidad de obtener un resultado adecuado se utilizó un método de análisis parcial de presupuesto, a través del cual se evaluó el método de cultivo utilizado, para determinar la técnica más apropiada por la que se obtienen mejores ingresos. Para el estudio se tomó en cuenta la inversión y producción que genero el proyecto (Anexo 27), posteriormente se determinó la relación costo beneficio del forraje verde hidropónico frente al balanceado comercial, para utilizar el producto como un suplemento alimenticio en ganado lechero.

Para establecer el costo de venta al público se aplicó la siguiente formula:

$$PvP = \frac{\text{costo total unitario}}{1 - \% \text{ de utilidad}}$$

misma que mencionada por Gretscher (2019).

Este procedimiento se basa en cualificar y cuantificar tanto resultados obtenidos como los insumos y materiales utilizados en nuestra practica con la finalidad de obtener forraje verde hidropónico para determinar si es factible implementarlo en la dieta del ganado lechero de manera parcial o total (Aguilera, 2017).

#### **4.9 Tabulación de datos**

Los resultados de la investigación se los obtuvo a través de procesos específicos obtenidos en campo y laboratorio, como: porcentaje de germinación (%), altura de planta (cm), tapete radicular (cm), conductividad eléctrica (S/m), potencial de hidrogeno (pH) y análisis bromatológico (materia seca, fibra, proteína y energía).

Los datos obtenidos en la investigación fueron tabulados y procesados, mediante el programa Microsoft Excel, Además, para el análisis de los datos se empleó la herramienta estadística InfoStat. Mientras que los datos pertenecientes a las variables evaluadas (tabla 5) fueron examinados estadísticamente mediante un análisis de varianza (ADEVA), bajo el nivel de significancia de la prueba TUKEY 5 %.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Prueba de normalidad y homogeneidad de la varianza

Luego de obtenidos los resultados se realizó las pruebas de normalidad de Shapiro – Wilk, obteniendo las *p-value* de las variables dependientes de campo y de laboratorio, observándose que los datos obtenidos se encuentran distribuidos normalmente. Conjuntamente se realizó evaluaciones de homogeneidad y varianza mediante la prueba de Leven, obteniendo valores estadísticos F calculado, mayores a 0,05, que demuestran homogeneidad entre los valores obtenidos.

Tabla 5.

*Prueba de normalidad Shapiro Wilk y de la homogeneidad de la varianza*

Variable	Nº	Promedio	Desviación estándar	W*	<i>p - value</i>	Homogeneidad de la var. Valor F
<b>Campo</b>						
<b>Germinación (%)</b>	12	79,17	8,28	0,97	0,9107	0,9012
<b>Altura de planta (cm)</b>						
Altura 3 Días	12	2,76	0,38	0,94	0,6017	0,1789
Altura 6 Días	12	6,69	1,72	0,97	0,8973	0,0952
Altura 9 Días	12	11,34	1,62	0,97	0,9334	0,0549
Altura 12 Días	12	14,64	1,72	0,87	0,1247	0,3275
Altura 15 Días	12	17,77	1,9	0,97	0,9453	0,3704
<b>Tapete radicular (cm)</b>						
Espesor de raíz	12	2,28	0,61	0,85	0,643	0,0943
<b>Rendimiento (kg)</b>	12	21,1	1,87	0,83	0,0674	0,1547
<b>Laboratorio</b>						
<b>PH</b>	12	6,62	0,14	0,95	0,7275	0,7505
<b>Conductividad eléctrica (S/m)</b>	12	1,29	0,62	0,84	0,0682	0,6985
<b>Análisis bromatológico (%)</b>						
Materia seca	12	9,75	1,18	0,82	0,0613	0,0765
Fibra	12	34,51	8,75	0,81	0,0737	0,0789
Proteína	12	18,9	1,42	0,81	0,0592	0,0575
Energía	12	4474,32	2,55	0,88	0,1559	0,6704

Fuente: El autor

## 5.2 Variable dependiente evaluada en campo

### 5.2.1 Porcentaje de germinación (%)

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 6, expresa los valores correspondientes al porcentaje de germinación (%) de maíz (*Zea mays*) a los 3 días posterior a la siembra, en la cual se observa que no existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p*-valor es de  $0,8007 > 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 12,85 %; de acuerdo con Pimentel (1985) en los ensayos agrícolas de campo los CV se consideran bajos cuando son inferiores a 10%; medios de 10 a 20%, altos cuando van de 20 a 30% y muy altos cuando son superiores a 30%.

En concordancia con lo anterior se establece que el valor de cv obtenido en el ensayo es aceptable debido a la poca variabilidad que existen en los resultados alcanzados, haciendo de éste un experimento confiable.

Tabla 6.

*Análisis de varianza del porcentaje de germinación (%) de maíz (Zea mays) a los 3 días posterior a la siembra*

F.V.	SC	Gl	CM	F	<i>p</i> -valor	Significancia
Tratamientos	104,17	3	34,72	0,34	0,8007	ns
Error	620,83	6	103,47			
Total	754,17	11				

CV= 12,85 %  
 $\bar{X}$  = 79,17 % germinación

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al analizar los resultados obtenidos de acuerdo al porcentaje de germinación, de maíz a los 3 días (Figura 5) relacionado con el porcentaje de exposición magnética del agua de riego, se obtuvo que el tratamiento con exposición magnética al 100% dio como resultado un porcentaje de germinación de 83,33%; mientras que el tratamiento que no poseía exposición magnética dio como resultado 75% de germinación.

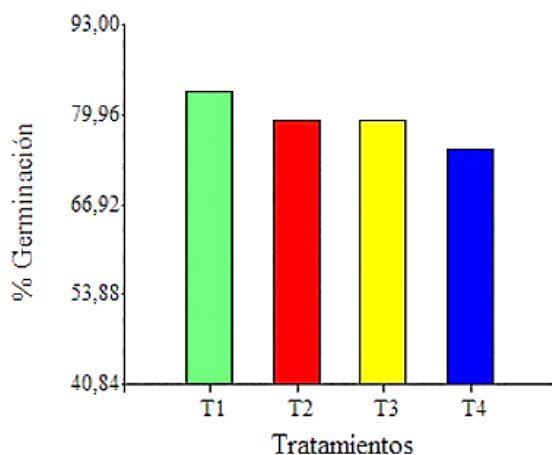


Figura 5. Porcentaje promedio de germinación (%) del maíz (*Zea mays*) a los 3 días posterior a la siembra

Cotejando estos valores con Rivera *et al.*, (2010), quien utilizó semillas híbridas de maíz para la producción de forraje verde hidropónico, obtenidas de la empresa "Semillas Híbridas de Venezuela C.A.", con un rendimiento del 85 % de germinación; se observa que los resultados obtenidos no tienen gran diferencia, además es necesario mencionar que en la investigación referencial se hizo uso de agua enriquecida con soluciones nutritivas para el proceso de germinación, mientras que en la presente investigación se utilizó agua sin ningún añadido nutricional y a pesar de ello la magnetización del agua casi logra igualar el porcentaje de germinación, este resultado se puede tomar como un indicador de los efectos positivos de la magnetización del agua de riego en el cultivo. Otro punto de influencia entre los valores obtenidos son las diferencias climáticas que existen entre las dos zonas de producción.

## 5.2.2 Altura de plantas (cm)

### 5.2.2.1 Altura de planta (cm) a los 3 días después de la siembra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 8 expresa los valores correspondientes a la altura de plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 3 días después de la siembra, en la cual se observa que no existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,1356 > 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 11,72 %; tomando como base la información proporcionada por la Dirección General de Estadística y Censos DIGESTYC (2010), se concluye que el coeficiente de variación obtenido en el ensayo se encuentra en los rangos aceptables, lo que demuestra un buen manejo del ensayo y la confiabilidad de los datos.

Tabla 7.

*Valores aceptables para el CV en ensayos agrícolas*

COEFICIENTE DE VARIACION	PRECISION
Hasta el 10%	Bueno
Del 10% al 20%	Aceptable
Más de 20%	No confiable

Fuente: DIGESTYC (2010)

Tabla 8.

*Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 3 días después de la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	<i>p-valor</i>	Significancia
Tratamientos	0,86	3	0,29	2,74	0,1356	Ns
Error	0,63	6	0,1			
Total	1,57	11				

CV= 11,72 %  
 $\bar{X}$  = 2,76 cm

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

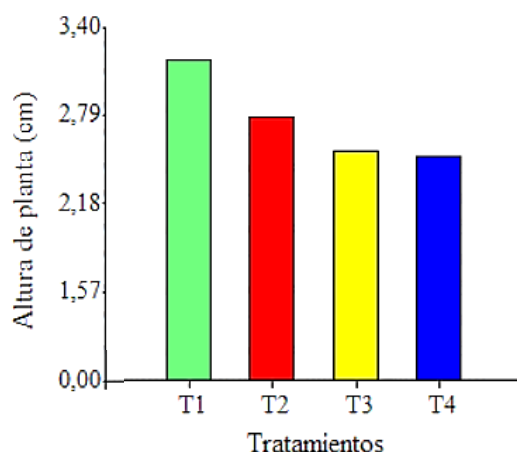


Figura 6. Porcentaje promedio de altura de las plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) 3 días después de la siembra

La implementación de magnetización en el agua de riego generó beneficios para el cultivo influyendo directamente en su crecimiento, estos beneficios son confirmados por (Guerra *et al.*, 2015) quien menciona que el campo magnético ayuda a la disponibilidad de bio-fertilizantes en el desarrollo de la planta lo cual influye en una mejor altura, vigor y rendimiento, incrementa la síntesis de azúcares y desarrollo de almidones en la hoja, así también el tamaño y masa de frutos.

#### 5.2.2.2 Altura de planta (cm) a los 6 días después de la siembra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 9, expresa los valores correspondientes a la altura de plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 6 días después de la siembra, en la cual se observa que no existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,2153 > 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 24,32 %. DIGESTYC (2010), se indica que un cv mayor al 20% no es confiable; por otra parte López (2008) menciona que no siempre los valores de cv altos representan poca confiabilidad en el ensayo ya que este valor depende también del tipo de variable y tipos de tratamientos.

Tabla 9.

*Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 6 días después de la siembra*

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	15,88	3	5,29	2	0,2153	ns
Error	15,87	6	2,64			
Total	32,68	11				

CV= 24,32 %  
 $\bar{X}$  = 6,69 cm

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

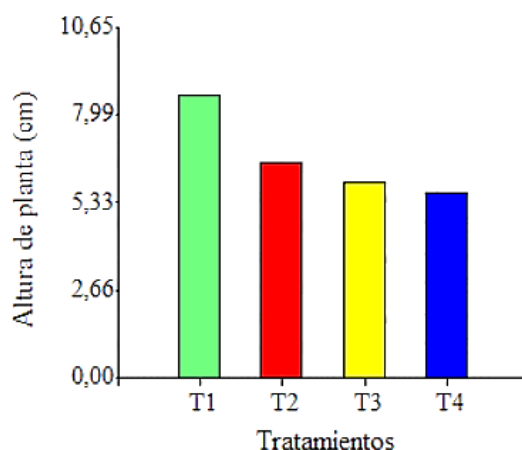


Figura 7. Porcentaje promedio de altura de las plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 6 días después de la siembra

Luego del análisis de los datos obtenidos se observa que la altura de las plantas sometidas al tratamiento 1 con exposición magnética del 100 % destaca sobre la altura obtenida en las plantas del tratamiento 4 sin exposición magnética, por esta razón se puede definir que la altura es producto de la acción de la magnetización del agua de riego usada en el cultivo.

En base al uso de campo magnético (Guerra *et al.*, 2016) asegura que; este ha producido nuevas reacciones en los niveles de tensión de la membrana celular, dichos cambios o repercusiones aceleran o disminuyen diferentes enzimas lo cual interviene en varios procesos bioquímicos, en este caso el aumento de la altura de la planta.

### 5.2.2.3 Altura de planta (cm) a los 9 días después de la siembra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 10, expresa los valores correspondientes a la altura de plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 9 días después de la siembra, en la cual se observa que no existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,1013 > 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 11,37 %, de acuerdo a Pimentel (1985) en los ensayos agrícolas un valor de cv entre 10 y 20% son aceptables debido a que no existe gran variación en los datos obtenidos lo que da confiabilidad al ensayo.

Tabla 10.

*Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 9 días después de la siembra*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b><i>p-valor</i></b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	16,29	3	5,43	3,27	0,1013	ns
Error	9,98	6	1,66			
Total	28,93	11				
		CV=	11,37 %			
		$\bar{X}$ =	11,34 cm			

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

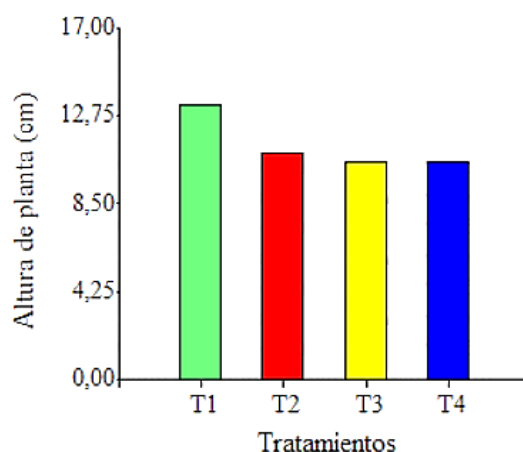


Figura 8. Porcentaje promedio de altura de las plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 9 días después de la siembra

Al igual que en el día seis de toma de datos, la altura de las plantas sometidas a magnetización al 100% resaltan sobre los demás tratamientos, por otra parte, los tratamientos 2,3 y 4 muestran valores similares.

(Guerra *et al.*, 2015) manifiesta que el campo magnético tiene una influencia sobre la concentración de calcio interfiriendo de manera positiva sobre el crecimiento de la planta especialmente sobre las células meristemáticas.

#### 5.2.2.4 Altura de planta (cm) a los 12 días después de la siembra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 11, expresa los valores correspondientes a la altura de plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 12 días después de la siembra, en la cual se observa que existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,0152 < 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 6,97 %, Patel (2001) señalan que los CV varían considerablemente de acuerdo al tipo de experimento, indicando que los rangos aceptables deben ser entre 6 a 8% para evaluación de cultivares.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se infiere que los datos obtenidos en el ensayo son aceptables y confiables.

Tabla 11.

*Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 12 días después de la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	25,66	3	8,55	8,22	0,0152	*
Error	6,25	6	1,04			
Total	32,54	11				

CV= 6,97 %  
 $\bar{X}$  = 14,64 cm

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 9), se observa la existencia de tres rangos de significancia (A), (AB) y (B), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor altura de planta (cm) pertenece al T1 (magnetización al 100 %), con 16,99 cm de altura, mientras que el tratamiento con menor altura de planta (cm) es el T4 (sin magnetización) con 13,08 cm de altura.

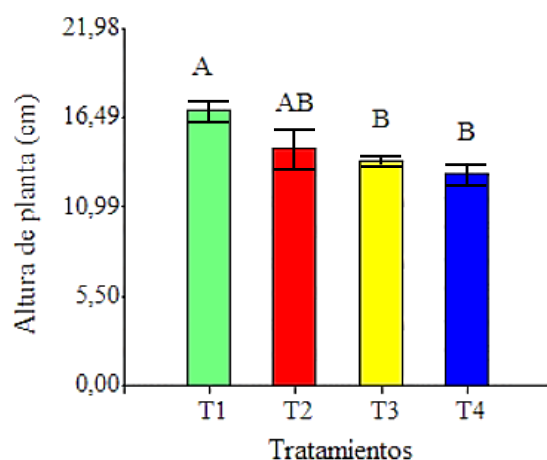


Figura 9. Altura de plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 12 días después de la siembra

(Cuero, 2012) y (Luna *et al.*, 2015) realizaron ensayos donde se utilizó la magnetización del agua de riego en diferentes cultivos teniendo como semejanza los beneficios que esta les aportó, dando como resultado un evidente rendimiento acelerado; esta base confirma lo obtenido en el ensayo, ya que, mediante la toma de datos se comprobó que el desarrollo de las plantas tuvo un incremento aproximado del 23 % con agua tratada magnéticamente, frente a las plantas tratadas con agua de riego sin magnetización.

La diferencia en el crecimiento de las plantas tratadas con magnetización frente a las no tratadas se explica con lo expresado por (Svartz, 2017), quien menciona que la magnetización disminuye la tensión superficial y también viscosidad, lo que da como resultado una mejor absorción del líquido por las plantas, lo que se traduce en crecimiento acelerado.

#### 5.2.2.5 Altura de planta (cm) a los 15 días después de la siembra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 12, expresa los valores correspondientes a la altura de plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,0033 < 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación del 4,81 %, según Martínez (1988) el valor obtenido se considera bajo ya que señala que normalmente en los ensayos agrícolas de campo los CV se consideran bajos cuando son inferiores a 10%; demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen mínima variabilidad.

Tabla 12.

*Análisis de varianza de la altura de las plantas (cm) de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	<i>p-valor</i>	Significancia
Tratamientos	33,39	3	11,13	15,22	0,0033	*
Error	4,39	6	0,73			
Total	39,85	11				
		CV=	4,81 %			
		$\bar{X}$ =	17,77 cm			

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 10), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (AB), (BC) y (C), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor altura de planta (cm) pertenece al T1 (magnetización al 100 %), con 20,19 cm de altura, mientras que el tratamiento con menor altura de planta (cm) es el T4 (sin magnetización) con 15,17 cm de altura.

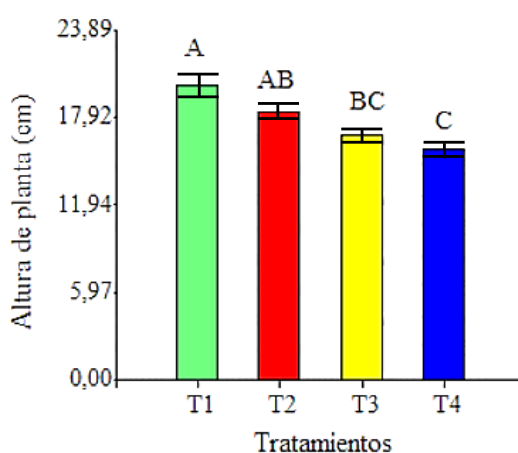


Figura 10. Altura de las plantas (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

Por medio de la tabulación y análisis de datos, se recalca la ventaja que el agua magnetizada brinda a las plantas en el desarrollo vegetativo; durante los 15 días en los cuales se llevó a cabo el ensayo, la altura de las plantas tratadas con agua magnetizada al 100%; destacó sobre los otros tratamientos.

Concorde a esta variable, (Mejía *et al.*, 2002) declara que en estudios realizados en diferentes cultivos se ha encontrado una desigualdad notable en el desarrollo vegetativo al ser sometidos a tratamientos de agua magnetizada, asegura que se debe a la facilidad que representa para la pared celular absorber los nutrientes disueltos en el suelo ya que el agua sometida a tratamiento magnético produce cambios en el pH, en el presente ensayo, los valores de pH registrados sin magnetización fueron de 6,10, mientras que al someter el agua a magnetización el valor de pH cambió a 6,81, en la ionización, y tensión superficial, interfiriendo directamente en los procesos normales de crecimiento de la planta

especialmente hormonales como las auxinas, dando como resultado un aumento de la altura facilitando su elongación.

### 5.2.3 Tapete radicular (cm)

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 13, expresa los valores correspondientes al tapete radicular (cm) de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencias altamente significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación del 1,15 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen baja variabilidad (Pimentel, 1985).

Tabla 13.

*Análisis de varianza del tapete radicular (cm) del maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b><i>p-valor</i></b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	4,15	3	1,38	2000,4	<0,0001	**
Error	4,20E-03	6	0,00069			
Total	4,16	11				
		CV=	1,15 %			
		$\bar{X}$ =	2,28 cm			

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 11), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor tapete radicular (cm) pertenece al T1 (magnetización al 100 %), con 3,09 cm de altura, mientras que el tratamiento con menor tapete radicular (cm) es el T4 (sin magnetización) con 1,54 cm de altura.

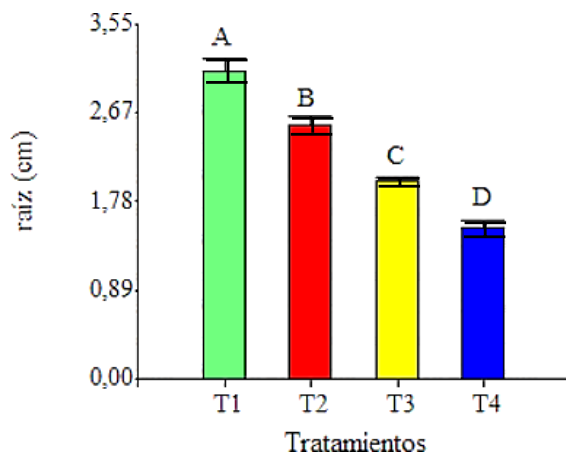


Figura 11. Tapete radicular (cm) del maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

El gran tapete radicular obtenido fue el resultado de la alta densidad de siembra, ya que las raíces se entrecruzan unas con otras. El empleo de magnetización en semillas previo a la siembra ha demostrado un desempeño positivo en relación a las semillas no tratadas. En estudios previos en plantas de romero (*Rosmarinus officinalis*) y llantén (*Plantago lanceolata*) regados con agua magnetizada se han notado valores favorables en desempeño radicular, altura de la planta y número de hojas al someter semillas a imanes con menor intensidad (600 - 1200 G) (Luna *et al.*, 2015).

#### 5.2.4 Análisis de pH

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 14, expresa los valores correspondientes al análisis del potencial de hidrogeno (pH) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe significancia estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de  $0,0002 < 0,05$ .

Además, revela un coeficiente de variación de 0,57 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento poseen poca variabilidad.

Tabla 14.

*Análisis de varianza del potencial de hidrogeno (pH) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	0,19	3	0,06	44,41	0,0002	*
Error	0,01	6	0,0014			
Total	0,2	11				

$$CV = 0,57 \%$$

$$\bar{X} = 6,62 \text{ pH}$$

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 12), se observa la existencia de tres rangos de significancia (A), (B) y (C), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor potencial de hidrogeno (pH) pertenece al T1 (magnetización al 100 %), con 6,81 (pH), mientras que el tratamiento con menor potencial de hidrogeno (pH) es el T4 (sin magnetización) con 6,47 (pH).

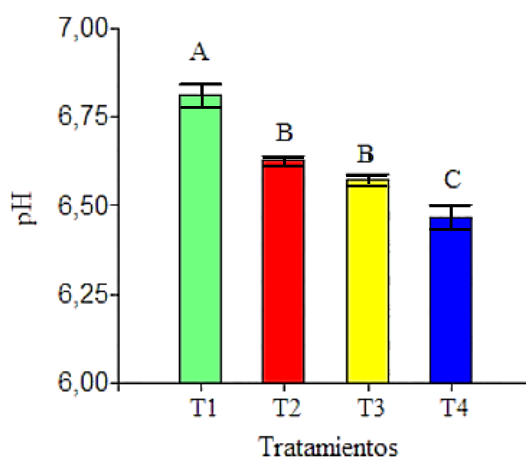


Figura 12. Potencial de hidrogeno (pH) del maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra

El tratamiento magnético influye directamente sobre el agua de riego, en este caso el pH, elevando los pH ácidos y reduciendo los pH alcalinos, dando como resultado la facilidad de absorción de nutrientes que se encuentran disueltos en el agua y mejorando el rendimiento del cultivo. A su vez el agua magnetizada también influye en aspectos como la tensión superficial, solubilidad y conductividad eléctrica (Mejía *et al.*, 2002).

En el presente ensayo los valores de pH registrados sin magnetización fueron de 6,10, mientras que al someter el agua a magnetización el valor de pH cambio a 6,81.

### 5.2.5 Conductividad eléctrica

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 15, expresa los valores correspondientes al análisis de la conductividad eléctrica (S/m) del cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 2,10 %, demostrando que los datos obtenidos son confiables debido a la baja variabilidad que presentan.

Tabla 15.

*Análisis de varianza de la conductividad eléctrica (S/m) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	4,21	3	1,4	1920,62	<0,0001	**
Error	0,0044	6	0,00073			
Total	4,21	11				

CV= 2,10 %

$\bar{X}$  = 1,29 S/m

\* Diferencia significativa (p<0,05)

\*\* Diferencia altamente significativa (p<0,01)

ns No existe diferencia significativa (p>0,05)

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 13), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias

significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor conductividad eléctrica (S/cm) pertenece al T1 (magnetización al 100 %), con 2,01 (S/m), mientras que el tratamiento con menor conductividad eléctrica (S/m) es el T4 (sin magnetización) con 0,42 (S/m).

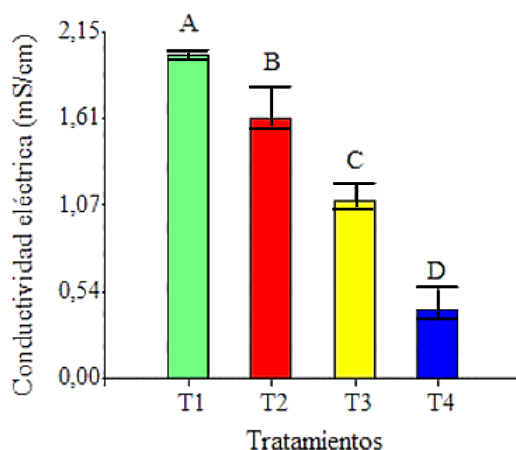


Figura 13. Conductividad eléctrica (S/m) del maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

La influencia magnética tiene una relación directa respecto a la conductividad eléctrica en el agua de riego, en el estudio de Guerra (2016) se obtuvo como resultado que la conductividad eléctrica aumenta dependiendo de la cantidad de tiempo que esta es expuesta a la magnetización, en el caso del cultivo de maíz, Aladjadjiyan (2002) usó un imán de 1500 G y obtuvo como resultado mayor germinación de la semilla y crecimiento de los brotes, en el presente ensayo se utilizó un imán de 14 200 G por lo cual los beneficios obtenidos fueron mayores, esto concuerda con lo mencionado por (Nyakane et al., 2018) quien añade que el efecto del campo magnético es mayor al utilizar un magneto de mayor intensidad.

## 5.2.6 Análisis bromatológico

### 5.2.6.1 Materia seca

Los resultados obtenidos para el estudio, forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) bajo la influencia de un campo magnético en el agua de riego; fueron los siguientes:

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 16, expresa los valores correspondientes al análisis de materia seca del cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra,

en la cual se observa que existe diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 0,18 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento poseen baja variabilidad estadística.

Tabla 16.

*Análisis de varianza de la materia seca (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b><i>p-valor</i></b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	15,25	3	5,08	16484,78	<0,0001	**
Error	1,90E-03	6	3,10E-04			
Total	15,25	11				
			CV=	0,18 %		
			$\bar{X}$ =	9,75 %		

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 14), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor materia seca pertenece al T4 (sin magnetización), con 11,50 %, mientras que el tratamiento con menor materia seca es el T1 (magnetización 100 %) con 8,43 %.

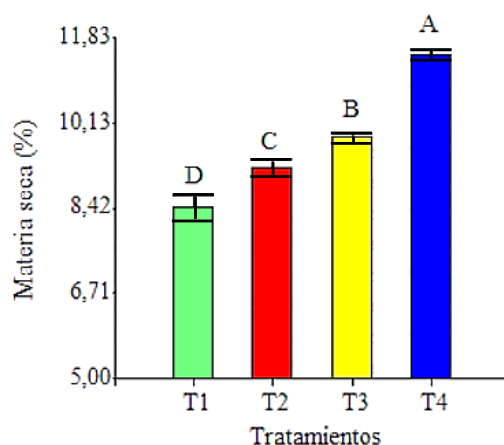


Figura 14. Porcentaje de materia seca (%) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

Según el estudio de Orellana (2015) el cual se llevó a cabo mediante el uso de cebada (*Hordeum vulgare*) como forraje utilizando agua de riego magnetizada, se obtuvo un porcentaje de materia seca de 8,47 %, al realizar la comparación de resultados notamos que el uso de maíz duro (*Zea mays*) como forraje nos brinda una cantidad más alta de materia seca de 9,75 %. Se tiene entendido que el contenido de materia seca es indispensable para la nutrición del ganado, ya que entre mayor sea la cantidad mejor es la nutrición del ganado, sin embargo, la cantidad de materia seca es más asimilable cuando el forraje se encuentra en etapas tempranas de crecimiento, ya que, al transcurrir mayor tiempo, las paredes celulares se vuelven más gruesas debido a la lignina lo cual disminuye la capacidad de absorción de nutrientes en el tracto digestivo.

En otro ensayo de producción de FVH de maíz llevado a cabo con agua de riego sin ningún tipo de tratamiento, obtuvieron un valor promedio de materia seca de 17,2% reportado Müller *et al.*, 2005, el valor obtenido en este experimento es superior al registrado por Campêlo *et al.*, 2007 (promedio: 11,54%) quienes cultivaron maíz, pero usando sustrato vegetal para el crecimiento del FVH, prescindiendo de la utilización de fertilizante foliar.

### 5.2.6.2 Fibra

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 17, expresa los valores correspondientes al análisis de fibra del cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencia altamente significativa estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* es de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 0,07 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen baja variabilidad de datos.

Tabla 17.

*Análisis de varianza de la fibra cruda (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	842,07	3	280,69	433683,03	<0,0001	**
Error	3,90E-03	6	6,50E-04			
Total	842,07	11				
			CV=	0,07 %		
			$\bar{X}$ =	34,5 %		

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 15), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor fibra cruda pertenece al T1 (magnetización 100 %), con 44,56 %, mientras que el tratamiento con menor fibra cruda es el T4 (sin magnetización) con 22,91 %.

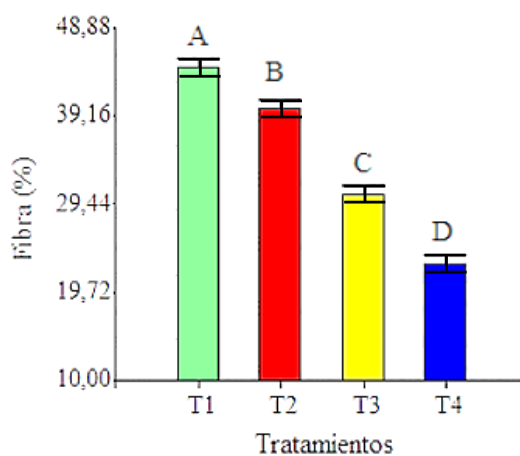


Figura 15. Porcentaje de fibra cruda (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra

En el estudio de Gonzales (2015) en semillas de sorgo tratadas con agua de riego magnetizada y tres tipos de fertilizantes, en distintos tratamientos, obtuvieron resultados de 20,10 % como mayor y 16,54 % como menor porcentaje de fibra cruda. Mientras que Amador (2014), en una producción de FVH de maíz obtuvo un porcentaje de fibra cruda de 31 %. En la presente investigación se obtuvo 44,56 % de fibra cruda lo que demostró eficiencia del agua de riego magnéticamente. El contenido de fibra es una parte importante de un alimento adecuado debido a que facilita la digestión por lo tanto mejora su consumo, ganancia de peso con alta calidad nutricional, digestibilidad y palatabilidad (Lima, 2018).

### 5.2.6.3 Proteína cruda

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 18, expresa los valores correspondientes al análisis de proteína cruda del cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencia altamente significativa estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* fue de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 0,05 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen baja variación estadística.

Tabla 18.

*Análisis de varianza de la proteína cruda (%) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

F.V.	SC	gl	CM	F	<i>p-valor</i>	Significancia
Tratamientos	22,1	3	7,37	73671,33	<0,0001	**
Error	6,00E-04	6	1,00E-04			
Total	22,1	11				
			CV=	0,05 %		
			$\bar{X}$ =	18,89 %		

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 16), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor proteína cruda pertenece al T1 (magnetización 100 %), con 20,98 %, mientras que el tratamiento con menor proteína cruda es el T4 (sin magnetización) con 17,35 %.

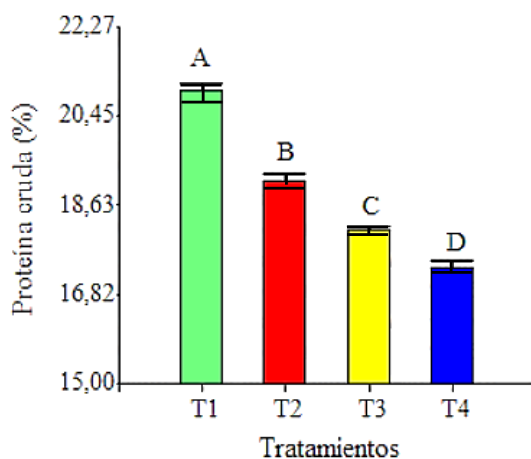


Figura 16. Porcentaje proteína cruda (%) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

Camero (2008) expone que mientras más avanzada sea la cosecha los valores de proteína cruda son menores, estos valores se encuentran alrededor de los 12 y 16 días de cultivo, dando unos valores de 14,72-14,48 % de proteína cruda aproximadamente. En la presente investigación se obtuvo como resultados 18,90 % de proteína cruda al día 15 del cultivo, al comparar con lo expuesto con Camero (2008) se identificó la superioridad de valores obtenidos en la presente investigación.

Este resultado indica que entre menor sea la edad del cultivo menos probabilidades hay para que esta sea aprovechada adecuadamente por el ganado, debido a la poca o pobre concentración de proteína cruda en la biomasa.

El contenido proteico del FVH de maíz en el presente ensayo fue de 18,90 %, el mismo fue ligeramente inferior al informado por Espinoza et al., 2004 (PB: 19,44%), cuando el cultivo se hizo sin la adición de soluciones nutritivas.

### 5.2.6.4 Energía

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 19, expresa los valores correspondientes al análisis de Energía del cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencia altamente significativa estadística para los tratamientos, ya que, el *p-valor* fue de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 0,01 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen baja variabilidad estadística.

Tabla 19.

*Análisis de varianza para energía (Cal /g) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b><i>p-valor</i></b>	<b>Significancia</b>
Tratamientos	70,37	3	23,46	153,81	<0,0001	**
Error	0,92	6	0,15			
Total	71,37	11				
			CV=	0,01 %		
			$\bar{X}$ =	4474,32 Cal /g		

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 17), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor energía pertenece al T1 (magnetización 100 %), con 4477,43 (Cal /g), mientras que el tratamiento con menor energía es el T4 (sin magnetización) con 4470,9 (Cal /g).

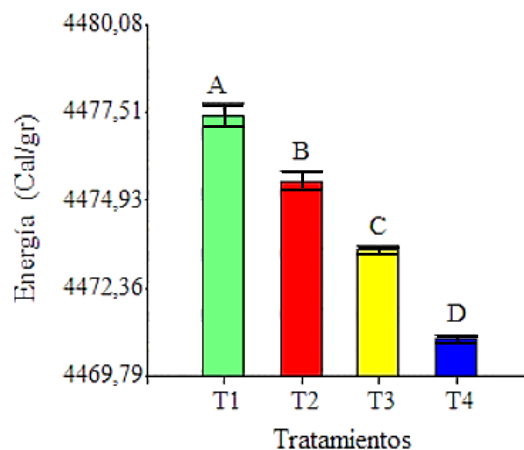


Figura 17. Energía (Cal /g) en el cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra

Entre el 75-80 % de la materia seca consumida por el ganado se convierte en energía al ser sometidas a procesos digestivos y metabólicos mismo proceso por el que atraviesan las proteínas, lípidos y carbohidratos, lo cual produce energía disponible para el animal. (Betancourt, 2011)

Casa (2008) determina que el FVH de maíz en general, contiene una energía digestible algo superior a las 3200 cal/g; en el presente ensayo el valor de energía de 4474 cal/g cave recalcar que en este ensayo se realizó únicamente con influencia magnética en el agua de riego.

#### 5.2.6.5 Rendimiento

El análisis de varianza (ADEVA) de la tabla 20, expresa los valores correspondientes al análisis del rendimiento en el cultivo de maíz (*Zea mays*) a los 15 días después de la siembra, en la cual se observa que existe diferencia altamente significativa estadística para los tratamientos, ya que, el *p*-valor fue de <0,0001.

Además, revela un coeficiente de variación de 0,03 %, demostrando que los datos obtenidos del experimento tienen baja variabilidad estadística.

Tabla 20.

*Análisis de varianza de rendimiento en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra*

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Tratamientos	38,34	3	12,78	353882,15	<0,0001	**
Error	2,20E-04	6	3,60E-05			
Total	38,34	11				

CV=	0,03 %
$\bar{X}$ =	21,09 kg

\* Diferencia significativa ( $p < 0,05$ )

\*\* Diferencia altamente significativa ( $p < 0,01$ )

ns No existe diferencia significativa ( $p > 0,05$ )

Nota: F.V.= Fuentes de Variación, SC= Suma de Cuadrados, gl= Grados de Libertad, CM= Cuadrados Medios, F= Valor F, CV= Coeficiente de variación.

Al realizar la prueba Tukey al 5 % (figura 18), se observa la existencia de cuatro rangos de significancia (A), (B), (C) y (D), en el cual se puede apreciar que existen diferencias significativas entre tratamientos. Demostrando que el tratamiento con mayor rendimiento pertenece al T1 (magnetización 100 %), con 23,63 kg, mientras que el tratamiento con menor rendimiento es el T4 (sin magnetización) con 18,89 kg.

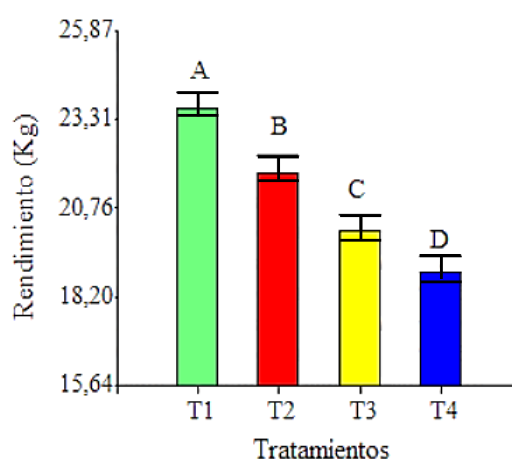


Figura 18. Rendimiento(Kg) en el cultivo de maíz (Zea mays) a los 15 días después de la siembra

Según el estudio de Ramírez (2016), se encontró que, el rendimiento por kg de maíz utilizado, es el indicador o testigo más importante para determinar indicios productivos y que delimita el efecto de la implementación de siembra en distintas densidades, cuando se

utilizó como densidad 1 kg de semilla por bandeja en el momento de la siembra se obtuvo resultados de mejor producción de FVH de maíz como resultado 1,32 kg por 0,25 m<sup>2</sup> utilizando 1 kg de semilla por m<sup>2</sup> lo que representa un rendimiento de 5,2 kg de FHV/ kg de semilla utilizada.

En el presente ensayo la densidad de siembra utilizada fue de 4,12 kg de semilla por bandeja en un área de 0,72m<sup>2</sup>, misma que obtuvo un rendimiento total de 23,63 kg de forraje por bandeja a los 15 días de cosecha.

### **5.3 Relación costo-beneficio**

Luego de realizar el análisis de costos de producción, se obtuvo que para la instalación del proyecto se requiere de una inversión inicial de 5.108,29 dólares, el mismo que está dividido en tres segmentos, la inversión tangible, inversión intangible y capital de trabajo. La participación en valor y de forma porcentual de cada segmento dentro de la inversión inicial se puede observar en la tabla 21 y figura 19 respectivamente.

Tabla 21.

*Inversión total del proyecto de investigación*

Inversiones	Rubros de Inversiones	Inversión desagregada	Inversiones Parciales (Dólares)	Total de Inversiones (Dólares)
Inversión Fija	Inversión Tangible	Maquinaria y equipamiento	525,00	3.243,49
		Equipo de oficina seguridad y limpieza	525,00	
		Muebles, equipos y artículos de oficina	125,00	
		Infraestructura (construcción)	2.068,49	
Capital de Trabajo	Capital de Trabajo	Gastos en materiales e insumos básicos	1.124,80	1.864,80
		Pago de sueldos y salarios	400,00	
		Gastos de operación	340,00	
Inversión Total (dólares)				5.108,29
Inversión Tangible			3.243,49	63,49 %
Capital de Trabajo			1.864,80	36,51 %
Inversión Total			5.108,29	100 %

Fuente: El autor

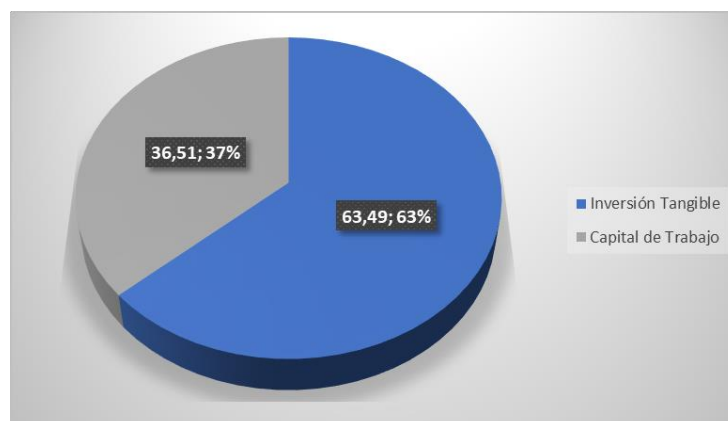


Figura 19. Distribución de la inversión total

Después de determinar los gastos de producción y venta del forraje verde hidropónico de maíz, el costo unitario de venta por kg es de \$ 0,33; añadiéndole a este precio un margen de utilidad del 25 % mismo que representa \$ 0,08, y a la vez aplicando a este valor (costo unitario de venta y utilidad) la fórmula para determinar el precio unitario de venta, expuesto por Gretscher (2019), el costo de venta al público es de \$ 0,44 por cada kg de forraje.

Por otra parte, el precio de venta del balanceado comercial Súper Lechero, es de \$ 21,50 por 45 kg, lo que determina un costo de \$ 0,48 por cada kg.

Al comparar estos precios resulta más conveniente consumir forraje verde hidropónico de maíz ya que se obtiene un ahorro de \$ 0,09 por cada kg.

Tabla 22.

*Relación Costo-Beneficio del proyecto de investigación*

<b>RELACIÓN COSTO- BENEFICIO</b>			
	<b>Saco 45 kg</b>	<b>Costo por kg</b>	<b>Utilidad respecto a la competencia</b>
<b>Costo producción forraje verde</b>	19,80	0,44	
<b>Costo producción balanceado comercial</b>	21,5	0,48	0,04

Fuente: El autor

En cuanto al contenido nutricional, se realizó un cuadro comparativo del análisis bromatológico de materia seca, fibra, proteína y energía del forraje verde hidropónico de maíz y el análisis bromatológico del balanceado comercial súper lechero, cuyo resultado se muestra en la tabla 23.

Tabla 23.

*Comparación del contenido nutricional del balanceado y forraje verde hidropónico de maíz*

	<b>Balanceado</b>	<b>Forraje</b>
	%	%
<b>Humedad</b>	9,91	91,57
<b>Materia seca</b>	90,09	8,43
<b>Proteína</b>	4,2	20,98
<b>Fibra</b>	6,99	44,56

Fuente: El autor

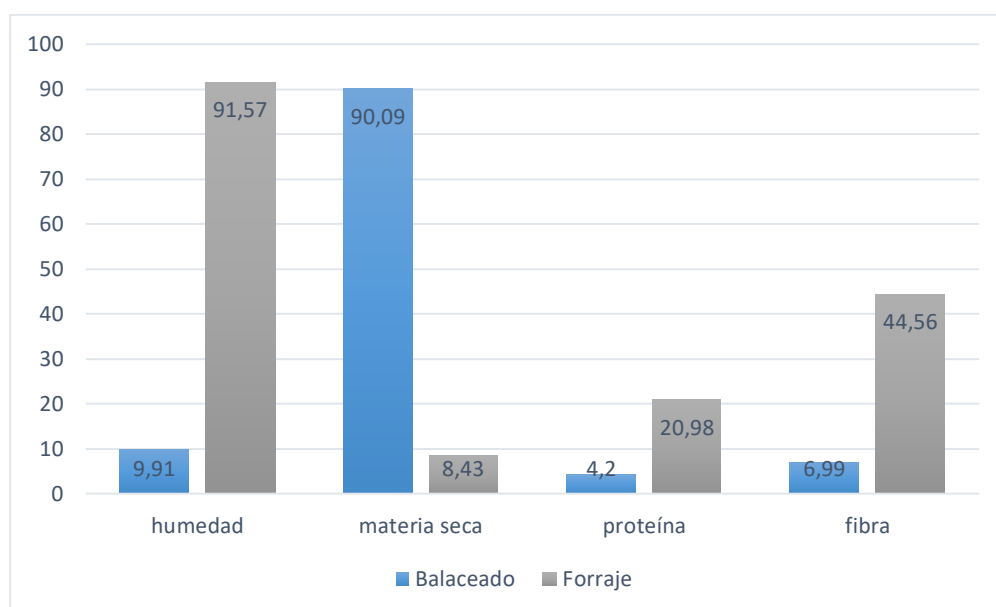


Figura 20. Comparación del contenido nutricional del balanceado y forraje verde hidropónico de maíz

Fuente: El autor

#### **5.4 Resultados de la socialización**

Los resultados obtenidos en la investigación fueron expuestos a un grupo de ganaderos lecheros en la Finca Juan Sebastián en sector de Monjas, vía Urcuquí, obteniendo los siguientes resultados.

## Resultados de las encuestas

**Pregunta 1.** ¿Considera usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?

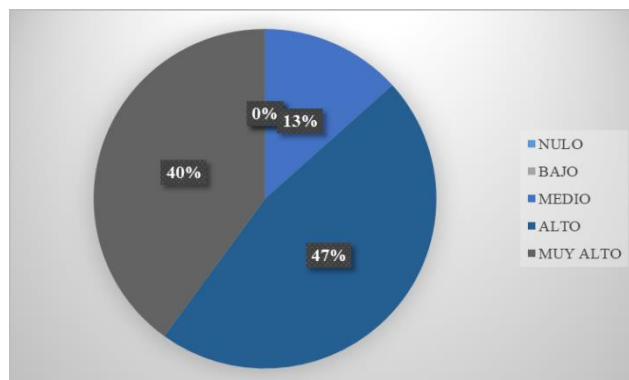


Figura 21. Resultado de la pregunta 1

La figura 21, demuestra que un 13 % de la audiencia presentó un nivel medio, 47 % alto y 40 % muy alto, considerando que el lugar donde se realizó la socialización fue propicio.

**Pregunta 2.** ¿Considera usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?

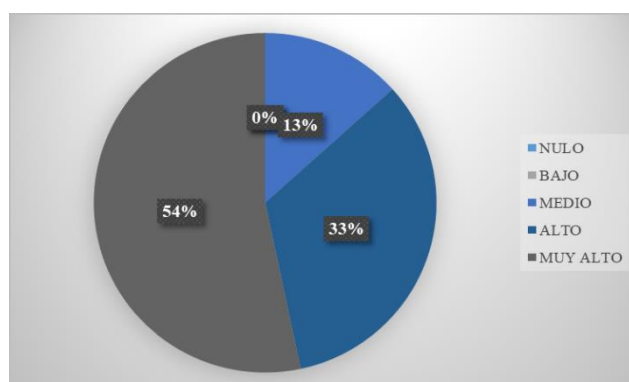
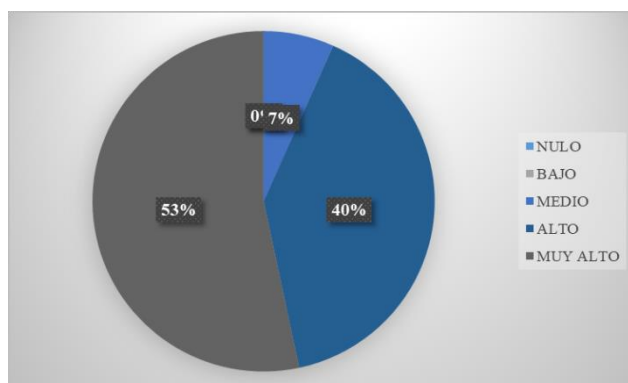


Figura 22. Resultado de la pregunta 2

La figura 22, demuestra que un 13 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 33 % alto y 54 % muy alto, considerando que la exposición y material visual fue apropiado para su entendimiento en la socialización.

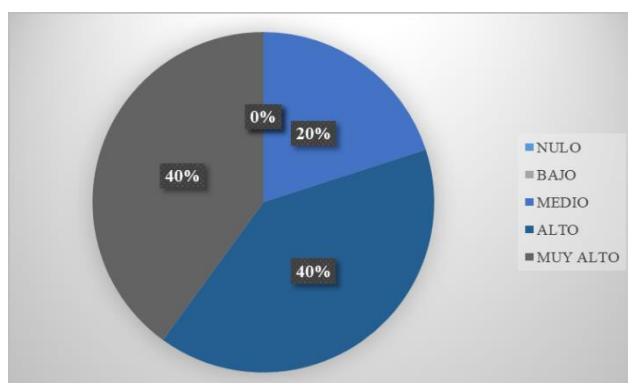
**Pregunta 3.** ¿Considera usted que el expositor mostró dominio del tema?



*Figura 23.* Resultado de la pregunta 3

La figura 23, demuestra que un 7 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 40 % alto y 53 % muy alto, considerando dominio del tema del expositor presentado en la socialización.

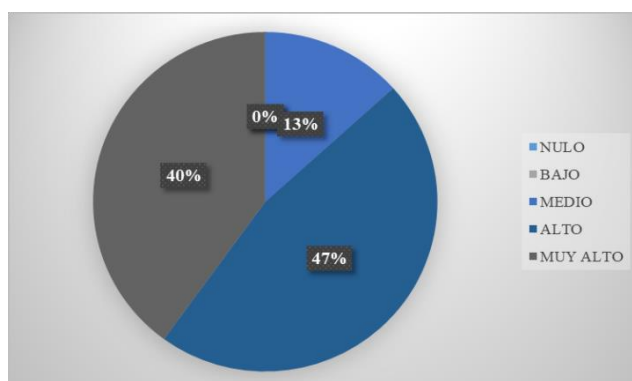
**Pregunta 4.** ¿Estima usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?



*Figura 24.* Resultado de la pregunta 4

La figura 24, demuestra que un 20 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 40 % alto y 40 % muy alto, considerando un buen manejo del auditorio por parte del expositor.

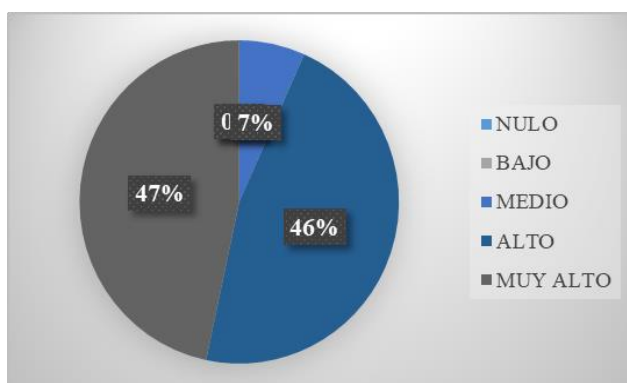
**Pregunta 5.** ¿Considera usted que el expositor demostró facilidad de expresión?



*Figura 25.* Resultado de la pregunta 5

La figura 25, demuestra que un 13 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 40 % muy alto y 47 % alto, coincidiendo con una excelente expresión del expositor.

**Pregunta 6.** ¿Considera usted que el tema investigativo posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?



*Figura 26.* Resultado de la pregunta 6

La figura 26, demuestra que un 7 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 46 % alto y 47 % muy alto, considerando que la investigación tiene un gran impacto frente a los ganaderos.

**Pregunta 7.** ¿Considera usted que ésta investigación posee perspectiva para estudios complementarios posteriores?

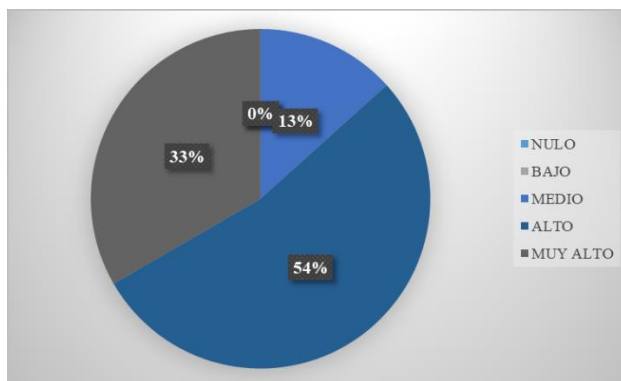


Figura 27. Resultado de la pregunta 7

La figura 27, demuestra que un 13 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 33 % muy alto y 54 % alto, en donde la audiencia considera que es completamente necesario continuar realizando ensayos prácticos de magnetización del agua de riego en diferentes cultivos.

**Pregunta 8.** ¿Considera usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización empresa pública o privada, comunidad o institución?

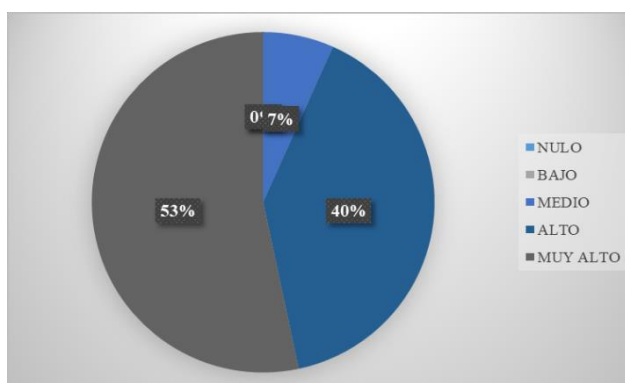
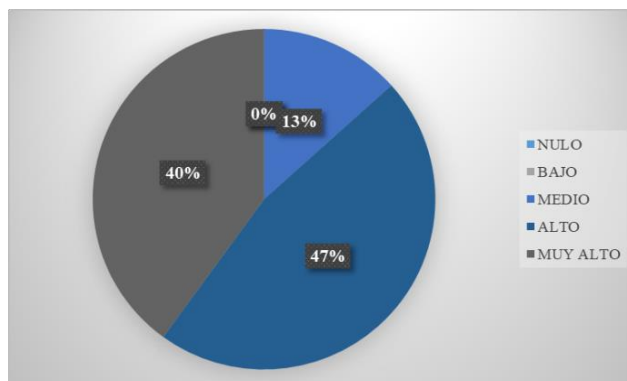


Figura 28. Resultado de la pregunta 8

La figura 28, demuestra que un 7 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 40 % alto y 53 % muy alto, consideran que la investigación aporta beneficio concreto para mejorar la producción tanto para la comunidad o empresas privadas.

**Pregunta 9.** ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que éstos se cumplieron?



*Figura 29.* Resultado de la pregunta 9

La figura 29, demuestra que un 13 % de la audiencia manifiesta un nivel medio, 40 muy alto y 47 % alto, la audiencia considera satisfactoriamente el cumplimiento de los objetivos planteados en la investigación.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

1. Se examinó las características físicas del forraje verde hidropónico de maíz, mediante algunas variables, dentro de estas se determinó el porcentaje de germinación; cuyo resultado promedio fue 79,16 %; se realizó la germinación total de las semillas, luego esta fue distribuida para cada uno de los tratamientos. En cuanto a la variable altura de planta; los valores obtenidos en el tratamiento 1, en cada uno de los periodos de medición sobresalen sobre el resto, el día de cosecha (5to día de medición), las plantas del tratamiento 1 tuvieron una diferencia de altura de 2,41 cm sobre el promedio establecido entre los 4 tratamientos. Al realizar la medida de tapete radicular se identifica la diferencia de 1,57 cm de longitud entre los resultados obtenidos en el tratamiento con magnetización al 100 % y el tratamiento con magnetización al 0 %.
2. Al analizar los valores obtenidos en cuanto a la variación de pH y conductividad eléctrica se obtiene lo siguiente; el tratamiento con el 100 % de magnetización presento un pH promedio de 6,81 y 2,00 S/m de conductividad eléctrica, el tratamiento 2 con 75% de magnetización tuvo un pH de 6,57 y 1,61 S/m de conductividad eléctrica, el pH en el tratamiento 3, con 50% de magnetización fue 6,63 y 1,1 S/m de conductividad eléctrica, mientras que el tratamiento 4 con 0% de magnetización tuvo un pH promedio de 6,47 y 0,42 S/m; a través de estos datos se concluye que estas dos variables son directamente proporcionales, ya que al acercarse el pH a 7 (neutro) la conductividad eléctrica también aumenta este comportamiento es benéfico para la planta ya que mejora la absorción de nutrientes lo cual se ve reflejado en su desarrollo y productividad, disminuye la salinidad y en los cultivos hidropónicos tiene el beneficio de evitar los sedimentos en las tuberías.
3. Luego de realizar las pruebas bromatológicas correspondientes a materia seca, fibra cruda, proteína y energía de cada uno de los tratamientos establecidos, se obtuvo; el mayor porcentaje de materia seca se encontró en el tratamiento 4 con 11,50 %; esto se debe a que su crecimiento fue menor tanto en altura como en tapete radicular lo que genera menos absorción de agua y por ende una rápida lignificación del tejido vegetal, mientras que para el resto de variables los valores más representativos fueron del tratamiento 1, con 44,56% de fibra cruda, 20,98 % proteína y 4477,43 cal/g energía.

4. En base a los datos obtenidos mediante el análisis de las variables relacionadas con el cultivo del forraje verde, los resultados demuestran el efecto benéfico que causa el uso de agua magnetizada en el cultivo del forraje verde hidropónico de maíz.
5. Al establecer la relación costo beneficio que genera el proyecto desarrollado, se identificó necesaria una inversión de 5.108,29 dólares, para generar una producción mensual de 5.104,08 kg, con un periodo de recuperación de 0,87 años. Luego de realizar el análisis financiero de la producción de forraje verde hidropónico de maíz se estableció que el costo de producción por cada kg es de \$0,30, al aumentarle 25 % como margen de utilidad, el precio de venta del saco de 45 kg es de \$19,80; teniendo como base que el valor de venta del saco de 45kg de balanceado comercial es \$21,5, se establece una diferencia de \$1,70 entre ambos y se concluyó que por cada kg de forraje verde hay una ganancia de \$0,04 en comparación al kilogramo de balanceado comercial, lo cual repercute de forma favorable en la economía del productor. En cuanto al contenido nutricional entre el balanceado comercial y el forraje verde la diferencia radica en el porcentaje de humedad y materia seca, esto debido a las características que cada uno posee, mientras que referente al contenido de fibra y proteína los valores del forraje son mucho más elevados que los del balanceado comercial.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

- 1.** Se recomienda seguir con la investigación del efecto del agua de riego tratada magnéticamente, enfocada en diferentes tipos de cultivo, para así determinar los beneficios o déficits que causa en cada uno de ellos.
- 2.** Al ser una tecnología de bajo costo, pero con amplios beneficios se recomienda socializar el estudio en cooperativas de productores, para que esta sea aplicada no solo de forma experimental.

## CAPÍTULO VIII

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguas, a. t. d. (2013, noviembre 28). hablemos del agua: la magnetización del agua para ahorrar en el riego agrícola. *hablemos del agua*. <http://hablemosdelagua-hoy.blogspot.com/2013/11/la-magnetizacion-del-agua-para-ahorrar.html>
- Aguilera Díaz, a. (2017). el costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *cofin habana*, 11(2), 322-343.
- Aguirre Cristian, barca Patricio, & Mora David. (2014). producción de forraje verde hidropónico (fvh). centro regional rayentué. <https://www.inia.cl/wp-content/uploads/2015/05/producci%3%b3n-de-forraje-verde-hidrop%3%b3nico.pdf>
- Aladjadjiyan Anna. (2002). study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of Zea mays. 2002, vol. 3. [https://jcea.agr.hr/articles/57\\_study\\_of\\_the\\_influence\\_of\\_magnetic\\_field\\_on\\_some\\_biological\\_characteristics\\_of\\_zea\\_mais\\_en.pdf](https://jcea.agr.hr/articles/57_study_of_the_influence_of_magnetic_field_on_some_biological_characteristics_of_zea_mais_en.pdf)
- Alemán Elizabeth, (2011, abril 8). el uso de los campos magnéticos en la agricultura: apostando por una agricultura sostenible. *magnetismo aplicado*. <https://magnetismocnea.wordpress.com/2011/04/08/el-uso-de-los-campos-magneticos-en-la-agricultura-apostando-por-una-agricultura-sostenible/>
- Alvares Lina. (2006). *eficacia de tres medios hidropónicos en la producción de forraje verde, en avena forrajera*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/439/1/05604.pdf>
- Amador, A. L., & Boschini-Figueroa, C. (2000). Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 171-177.

- Anzola Vásquez Héctor, v. g. z. (2015). *rotación de potreros, herramienta para incrementar la producción | contexto ganadero | noticias principales sobre ganadería y agricultura en Colombia*. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/rotacion-de-potreros-herramienta-para-incrementar-la-produccion>
- Basantes Emilio. (2017, enero 9). «manejo del cultivo de maíz»—noticias agropecuarias del ecuador y el mundo—primer periódico agrodigital del ecuador. *noticias agropecuarias del ecuador y el mundo - primer periódico agrodigital del ecuador*. <http://elproductor.com/articulos-tecnicos/articulos-tecnicos-agricolas/manejo-del-cultivo-de-maiz/>
- Bautista. (2002). *producción de forraje verde hidropónico de trigo triticum*. [https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/c1\\_4n22010.pdf](https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/c1_4n22010.pdf)
- Betancourt Liliana. (2011). nutrición y alimentación animal. *revista colombiana de ciencias pecuarias*, 24(3), 465-499.
- Bravo Elizabeth, & León Xavier. (2013). *monitoreo participativo del maíz ecuatoriano para detectar la presencia de proteínas transgénicas*. escuela de gestión local, universidad politécnica salesiana. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6813641>
- Cáceres, O., & González García, E. (2000). metodología para la determinación del valor nutritivo de los forrajes tropicales. *pastos y forrajes*, 23(2), 87-103.
- Camero Alberto. (2008). *evaluación biológica y económica del uso de forraje verde hidropónico (fvh) en la producción de leche 5402 – 2151 – 7501* [instituto tecnológico de costa rica vicerrectoría de investigación y extensión dirección de proyectos]. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3085/informe\\_final.pdf?sequence=1&isallowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3085/informe_final.pdf?sequence=1&isallowed=y)

- Camps Dario. (2003). *grano de maíz en la alimentación del ganado: ¿entero o partido?* sitio argentino de producción animal. [http://www.produccion-animal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion/04-grano\\_maiz.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/04-grano_maiz.pdf)
- Ceresuela José Luis. (2011). algunas técnicas de propagación de colutea. *pastos*, 14(2), 339-347.
- Cuero Ramiro. (2012). *hacia un sistema complementario de producción más limpia en suelos degradados por salinidad*. revista del doctorado interinstitucional en ciencias ambientales. <file:///c:/users/tics/downloads/documents/4328-texto%20del%20art%c3%adculo-12484-1-10-20170326.pdf>
- De Gracia Manuel. (2011). *guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes*. <https://msdegraciag-ciencianimal.com/folleto%20de%20laboratorio.pdf>
- De Miguel E. (2016, junio 30). *riego por nebulización o fog system: cómo instalarlo, ventajas e inconvenientes*. agrohuerto. <https://www.agrohuerto.com/riego-por-nebulizacion/>
- Días Jaime. (2013). *cambios de la conductividad eléctrica asociados al tratamiento magnético del agua*. ingeniería y competitividad. [http://revistas.univalle.edu.co/index.php/ingenieria\\_y\\_competitividad/article/download/2329/3079/](http://revistas.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/download/2329/3079/)
- Digestyc. (2010). *coeficiente de variación e intervalos de confianza*. ministerio de economía gobierno del salvador. <http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/ehpm/coeficiente-variacion.html?download=126%3a-coeficiente-ehpm-2010>

- Duarte D., C. E., Guevara, G., & Méndez, M. (2004). uso del agua activada y con tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico. *revista ciencias técnicas agropecuarias*, 13(3). <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=93213303>
- Espinoza, F, Argenti, P., Urdaneta, G., Araque, c., fuentes, a., palma, j., & bello, c. (2004). uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. *zootecnia tropical*, 22(4), 303-315.
- Gálvez Carlos. (2010). *uso del desincrustante magnético (dm) para mejorar la calidad del agua en la industria.* skynet environmental Perú. [http://revistas.ulima.edu.pe/index.php/ingenieria\\_industrial/article/view/244](http://revistas.ulima.edu.pe/index.php/ingenieria_industrial/article/view/244)
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., & Romero-Paredes, J. (2013). producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *agronomía mesoamericana*, 24(1), 169. <https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9794>
- Gonzales Efraín. (2015). *evaluación de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (sorghum bicolor l.) en invernadero noconvencional, la trinidad, Estelí* [universidad nacional agraria facultad de ciencia animal]. <http://repositorio.una.edu.ni/3166/1/tnf04g643p.pdf>
- González Elizabeth, Ceballos Jesús, & Benavides Orlando. (2015). producción de forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays*. I. en invernadero con diferentes niveles de silicio. *enero de 2015*, 32. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v32n1/v32n1a07.pdf>
- Guerra, g., & Joan, i. (2015). *efecto de la aplicación de agua y semilla magnetizada en el cultivo de rábano (raphanus sativus)*. 29.
- Guerra, G., & Joan, I. (2016). *efecto de la aplicación de agua y semilla magnetizada en el cultivo de rábano (raphanus sativus)*. 29.

- Hart J. (2009). silage corn (western oregon). *em* 8978-e.  
<https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em8978.pdf>
- Hernández, f. (2011). *manual producción de forraje verde hidropónico*.  
[https://www.academia.edu/41547781/manual\\_produccion\\_de\\_forraje\\_verde\\_hidrop\\_onico](https://www.academia.edu/41547781/manual_produccion_de_forraje_verde_hidrop_onico)
- Krämer Eugenio. (2016). *hidro forraje*. 2018.  
[http://cebem.org/cmsfiles/articulos/forraje\\_hidroponico.pdf](http://cebem.org/cmsfiles/articulos/forraje_hidroponico.pdf)
- Lima Kimberly. (2018). *evaluación del rendimiento de avena (avena sativa sp) y trebol blanco (trifolium repens) asociados como forraje verde hidropónico en relación a diferentes concentraciones de biol bovino como medio nutritivo en la localidad de viacha del departamento de la paz* [universidad mayor de san Andrés facultad de agronomía carrera de ingeniería agronómica].  
<https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18399/t-2556.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- López Luis. (2005). *producción de forraje verde hidropónico*. centro de investigación en química aplicada.  
<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/403/1/luis%20angel%20lopez%20martinez.pdf>
- López-Aguilar, R., Murillo-Amador, B., & Rodríguez-Quezada, g. (2009). el forraje verde hidropónico (fvh): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *interciencia*, 34(2), 121-126.
- Luna, E., Gómez, J. J., Lora, R., & Abueta, R. (2015). efecto de magnetización de semillas de papa criolla (solanum phureja juz et buk) sobre la calidad y rendimiento bajo

- condiciones de campo. *revista ciencia: desarrollo e innovación*, 1(1).  
<https://revistas.udca.edu.co/index.php/rcdi/article/view/506>
- Maldonado Torres, R., Álvarez Sánchez, M. E., Acevedo, D. C., & Ríos Sánchez, e. (2013).  
 nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *revista chapingo. serie horticultura*,  
 19(2), 211-223. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053>
- Martínez Ángel. (1988). *diseños experimentales: métodos y elementos de teoría*. trillas.
- Martínez Elvira, (2016). *estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos* (pag. 6).  
[file:///c:/users/usuario/downloads/investigacincyencia%20\(1\).pdf](file:///c:/users/usuario/downloads/investigacincyencia%20(1).pdf)
- Martínez Elvira, Carbonell Victoria, & Flórez Mercedes. (2003). *estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos*. investigación y ciencia.
- Martínez, M., Ortiz, R., & Palacios, N. (2009). caracterización nutricional del grano de 50  
 accesiones de maíz cubano. *cultivos tropicales*, 30(2), 00-00.
- Medeiros, N., Fung, y., Martínez, C., Ferrer, A., Asanza, G., & Gilart, F. (2014). *efecto del agua tratada magnéticamente en la recuperación de plántulas de adenanthera pavonina en estrés climático*. <https://doi.org/10.6008/spc2179-6858.2014.002.0001>
- Mejía Sáenz, E., Palacios Pérez, E., Exebio García, A., & Santos Hernández, A. L. (2002).  
 problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego. *terra latinoamericana*, 20(2). <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=57320215>
- Mora Eduardo. (2009). *evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (fvhm) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo*. instituto tecnológico de costa rica sede regional san carlos. <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2017/04/evaluaci%c3%b3n-del-uso-de-forraje-verde->

hidropónico-de-maíz-fvhm-sobre-la-producción-de-leche-de-vacas-en-pastoreo.pdf

Neri Alonso. (2013, julio 31). *maíz como forraje para ganado bovino—edición impresa—abc color*. <http://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/maiz-como-forraje-para-ganado-bovino-601889.html>

Nyakane, N., Markus, E., & Sedibe, M. (2018). the effects of magnetic fields on plants growth: a comprehensive review. *international journal of food engineering*, 5, 79-87. <https://doi.org/10.18178/ijfe.5.1.79-87>

Orellana Edison. (2015). *evaluación de tres niveles de fertilización de forraje verde hidropónico de cebada (hordeum vulgare)* [universidad politecnica salesiana, sede cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8154/1/ups-ct004907.pdf>

Patel. (2001). *coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof—an empirical study*. undefined. /paper/coefficient-of-variation-in-field-experiments-and-cv/2e12ac240249178564338c173fb608b592fe44e9

Pérez-Roldán Alberto, (2017). *el efecto del tratamiento magnético del agua de riego sobre la producción de pepino y productividad agua* | [www.agroholistic.com](http://www.agroholistic.com). [https://www.agroholistic.com/blog/articulos-2/post/el-efecto-del-tratamiento-magnetico-del-agua-de-riego-sobre-la-produccion-de-pepino-y-productividad-agua-9#blog\\_content](https://www.agroholistic.com/blog/articulos-2/post/el-efecto-del-tratamiento-magnetico-del-agua-de-riego-sobre-la-produccion-de-pepino-y-productividad-agua-9#blog_content)

Pimentel Federico. (1985). *estadística experimental no brasil*. 15.

Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, d., Perdomo, d., García, D E., & Hernández, G. (2010). producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* l.) en condiciones de iluminación deficiente. *zootecnia tropical*, 28(1), 33-41.

- Romero Manuel. (2009). *producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero*. universidad de guanajuato. <http://www.redsurvive.com/admin/imagesup/produccion%20de%20forraje%20verde%20hidroponico%20y%20su%20aceptacion.pdf>
- Romero Valdez, M. E., Córdova Duarte, G., & Hernández Gallardo, E. O. (2009). producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *acta universitaria*, 19(2). <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=41611810002>
- Sánchez-del-Sastillo, F., González-Molina, L., Moreno-Pérez, E. del C., Pineda-Pineda, J., & Reyes-González, c. e. (2014). dinámica nutrimental y rendimiento de pepino cultivado en hidroponía con y sin recirculación de la solución nutritiva. *revista fitotecnica mexicana*, 37(3), 261-269.
- Soto-Bravo, f. (2015). oxifertirrigación química mediante riego en tomate hidropónico cultivado en invernadero. *agronomía mesoamericana*, 277-289. <https://doi.org/10.15517/am.v26i2.19282>
- Supermagnete. (2002). *datos físicos de los imanes—supermagnete.es*. [https://www.supermagnete.es/data\\_table.php](https://www.supermagnete.es/data_table.php)
- Svartz Héctor. (2017). *agua magnetizada para el riego del jardín*. [http://www.economiayviveros.com.ar/mayo2017/plantas\\_ornamentales\\_y\\_flores\\_d\\_e\\_corte-cultivos\\_viveros-paisajismo-jardineria-arte\\_floral-2.html](http://www.economiayviveros.com.ar/mayo2017/plantas_ornamentales_y_flores_d_e_corte-cultivos_viveros-paisajismo-jardineria-arte_floral-2.html)
- Ureña francisco. (2014). *departamento de producción animal. uco*. <https://www.uco.es/zootecniaygestion/menu.php?tema=146>
- Vargas, l. a. (2014). el maíz, viajero sin equipaje11trabajo modificado a partir de su presentación en el simposio “somos de maíz: principio y destino”, con motivo del vigésimo quinto aniversario de la revista cuadernos de nutrición, en el instituto

nacional de ciencias médicas y nutrición “salvador zubirán”, 24 de julio de 2007.  
*anales de antropología*, 48(1), 123-137. [https://doi.org/10.1016/s0185-1225\(14\)70492-8](https://doi.org/10.1016/s0185-1225(14)70492-8)

Velásquez, m. a., & Maldonado, a. (2001). contribución al estudio del maíz y de la chicha de maíz. *anales de la facultad de medicina*, 4, 46-63.  
<https://doi.org/10.15381/anales.v4i0.10667>

Zagal-Tranquilino, m., Martínez-González, s., Salgado-Moreno, s., escalera-valente, f., Peña-Parra, b., Carrillo-Díaz, f., Zagal-Tranquilino, m., Martínez-González, s., Salgado-Moreno, s., Escalera-Valente, f., Peña-Parra, b., y Carrillo-Díaz, f. (2016). producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *abanico veterinario*, 6(1), 29-34.

Zambrano, E. E. Z., Andrade, J. R. F. L., Cobeña, F. D. A., Linzan, J. P. V., Caicedo, M., Egúez, J., & Mendoza, J. L. Z. (2017). Interacción genotipo ambiente de híbridos de maíz bajo temporal en Manabí y Los Ríos, Ecuador. *Revista ESPAMCIENCIA*, 8(1), 7-14.

Zúñiga Estrada, l., Martínez Hernández, j. de j., Baca Castillo, g. a., Martínez Garza, á., Tirado Torres, J. L., & Kohashi Shibata, j. (2004). producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *agrociencia*, 38(2).  
<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=30238208>

Zúñiga Orlando. (2016). *efecto del agua magnetizada en el desarrollo y la producción de cúrcuma* (pag: 176). revista colombiana de ciencias hortícolas.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v10n1/v10n1a1.pdf#page=177>

## CAPÍTULO IX

### ANEXOS

#### Anexo 1. Limpieza del invernadero hidropónico en la granja experimental ECAA



Fuente: El autor

## Anexo 2. Materiales empleados en la instalación del sistema de riego



Fuente: El autor

### Anexo 3. Instalación del sistema de riego



Fuente: El autor

#### Anexo 4. Instalación del diseño experimental



Fuente: El autor

#### Anexo 5. Limpieza del reservorio para el suministro de agua al sistema de riego



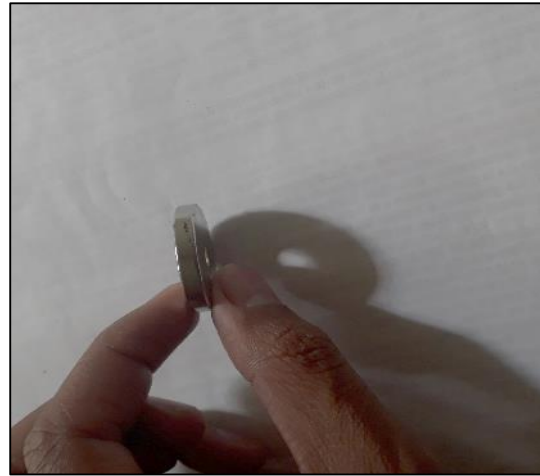
Fuente: El autor

## Anexo 6. Limpieza y desinfección de bandejas de tol galvanizado



Fuente: El autor

## Anexo 7. Elaboración del dispositivo magnético e imanes de neodimio



Fuente: El autor

## Anexo 8. Limpieza, desinfección y remojo de semilla



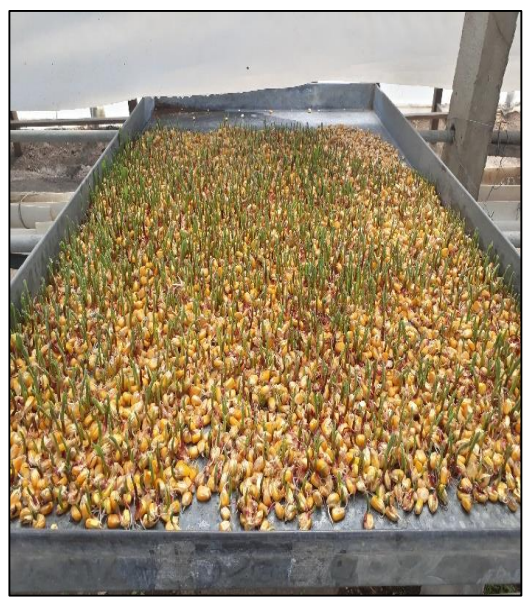
Fuente: El autor

Anexo 9. Pesaje y distribución de semilla en bandejas de tol galvanizado para la pre-germinación



Fuente: El autor

Anexo 10. Germinación de semilla



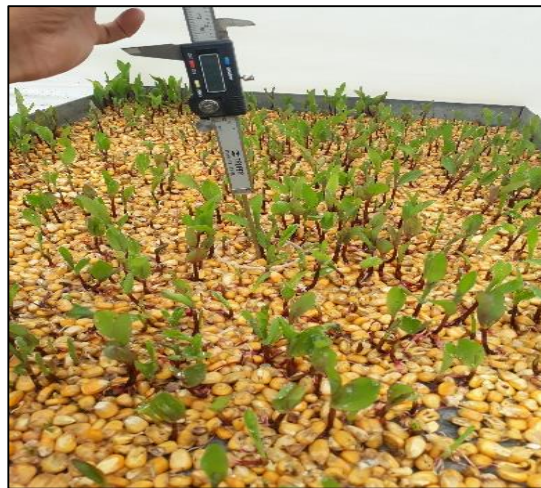
Fuente: El autor

Anexo 11. Distribución de bandejas a cada nebulizador



Fuente: El autor

## Anexo 12. Medidas de alturas planta



Fuente: El autor

### Anexo 13. Medidas del tapete radicular



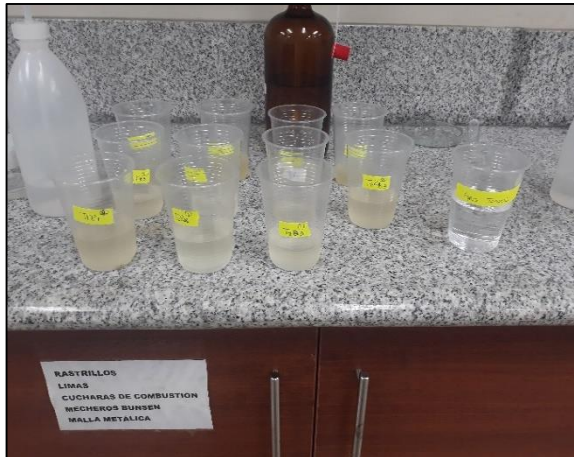
Fuente: El autor

Anexo 14. Cosecha



Fuente: El autor

## Anexo 15. Toma de medida de la conductividad eléctrica



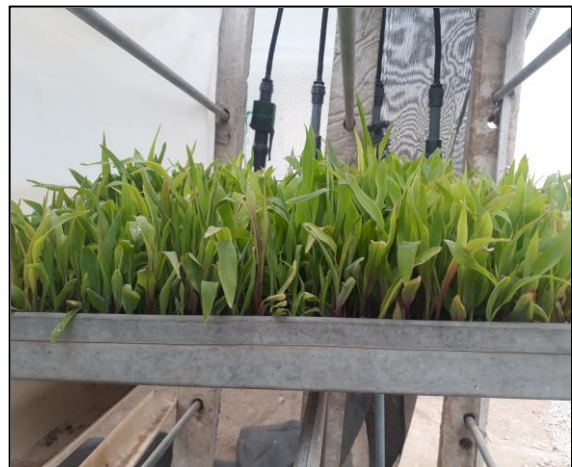
Fuente: El autor

Anexo 16. Toma de medida del potencial de hidrogeno (pH)



Fuente: El autor

Anexo 17. Rendimiento del cultivo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*)



Fuente: El autor

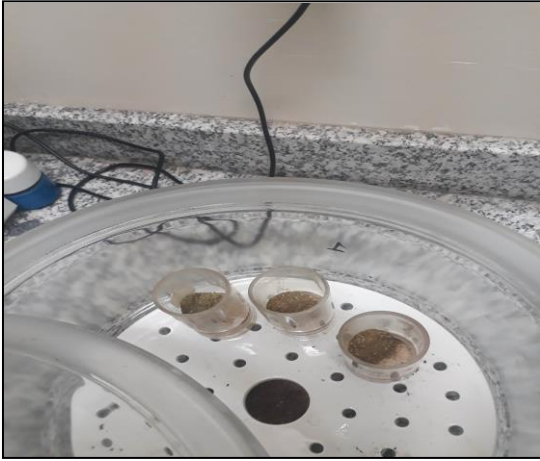
## Anexo 18. Análisis bromatológico

### Determinación de materia seca



Fuente: El autor

## Determinación de fibra cruda

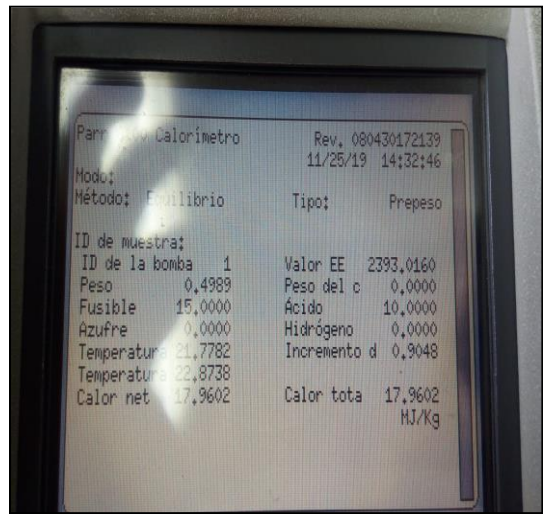


Fuente: El autor

## Determinación de energía



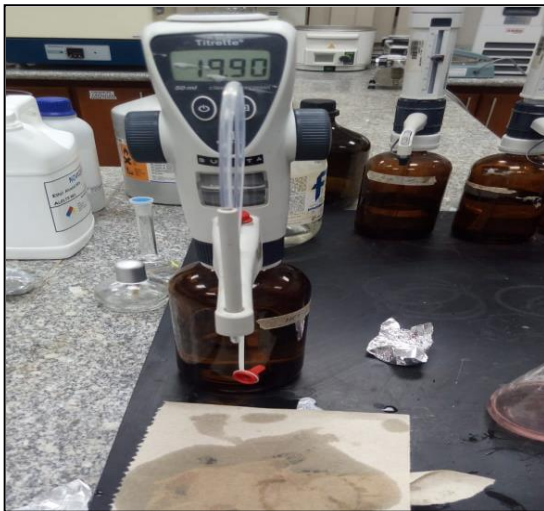
Fuente: El autor



Fuente: El autor

## Determinación de proteína cruda





Fuente: El autor

Anexo 19. Registro de datos de germinación (%) de *Zea mays*

	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	77,5	92,5	80	83,33333333
Tratamiento 2	75	77,5	85	79,16666667
Tratamiento 3	70	80	87,5	79,16666667
Tratamiento 4	87,5	75	62,5	75

Fuente: El autor

Anexo 20. Registro de datos de altura de planta (cm) de *Zea mays*

<b>Día 3</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	3,28	2,72	3,55	3,183333333
Tratamiento 2	2,64	3,04	2,66	2,78
Tratamiento 3	2,74	2,44	2,46	2,546666667
Tratamiento 4	2,84	2,49	2,21	2,513333333

Fuente: El autor

<b>Día 6</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	8,26	7,76	9,78	8,6
Tratamiento 2	8,58	4,89	6,15	6,54
Tratamiento 3	4,87	6,33	6,72	5,973333333
Tratamiento 4	3,96	7,32	5,63	5,636666667

Fuente: El autor

### Día 9

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	$\bar{X}$
Tratamiento 1	13,13	12,6	14,26	13,33
Tratamiento 2	12,01	9,98	10,97	10,9866667
Tratamiento 3	9,5	10,17	11,88	10,5166667
Tratamiento 4	8,67	12,15	10,75	10,5233333

Fuente: El autor

### Día 12

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	$\bar{X}$
Tratamiento 1	17,15	16,23	17,59	16,99
Tratamiento 2	16,21	13,1	14,54	14,6166667
Tratamiento 3	13,7	14,36	13,56	13,8733333
Tratamiento 4	12,45	13,63	13,15	13,0766667

Fuente: El autor

### Día 15

	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	$\bar{X}$
Tratamiento 1	20,05	19,38	21,13	20,1866667
Tratamiento 2	18,35	17,98	18,67	18,3333333
Tratamiento 3	16,78	17,33	16,24	16,7833333
Tratamiento 4	14,67	15,26	17,38	15,77

Fuente: El autor

Anexo 21. Registro de datos de tapete radicular (cm) de *Zea mays*

<b>Tapete Radicular</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	3,1	3,05	3,12	3,09
Tratamiento 2	2,5	2,56	2,55	2,5366667
Tratamiento 3	2	1,98	1,99	1,99
Tratamiento 4	1,5	1,52	1,54	1,52

Fuente: El autor

Anexo 22. Registro de datos de pH de *Zea mays*

<b>pH</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	6,87	6,76	6,81	6,8133333
Tratamiento 2	6,65	6,61	6,63	6,63
Tratamiento 3	6,55	6,57	6,6	6,5733333
Tratamiento 4	6,46	6,41	6,53	6,4666667

Fuente: El autor

Anexo 23. Registro de datos de conductividad eléctrica (S/m) de *Zea mays*

<b>Conductividad Eléctrica</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	$\bar{X}$
Tratamiento 1	2,01	2	2,01	2,0066667
Tratamiento 2	1,6	1,58	1,65	1,61
Tratamiento 3	1,1	1,12	1,08	1,1
Tratamiento 4	0,4	0,45	0,42	0,4233333

Fuente: El autor

Anexo 24. Registro de datos del análisis bromatológico de *Zea mays*

<b>Materia Seca (%)</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Tratamiento 1	8,47	8,4	8,43	8,4333333
Tratamiento 2	9,25	9,21	9,24	9,2333333
Tratamiento 3	9,84	9,85	9,83	9,84
Tratamiento 4	11,52	11,49	11,5	11,5033333

Fuente: El autor

<b>Proteína Cruda (%)</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Tratamiento 1	21	20,98	20,97	20,9833333
Tratamiento 2	19,12	19,13	19,1	19,116667
Tratamiento 3	18,13	18,14	18,13	18,1333333
Tratamiento 4	17,37	17,35	17,34	17,3533333

Fuente: El autor

<b>Fibra (%)</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Tratamiento 1	44,6	44,58	44,5	44,56
Tratamiento 2	39,98	39,97	39,96	39,97
Tratamiento 3	30,6	30,57	30,59	30,586667

Fuente: El autor

<b>Energía (Cal/gr)</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Tratamiento 1	4477,79	4476,85	4477,65	4477,43
Tratamiento 2	4475,68	4475,79	4474,96	4475,48
Tratamiento 3	4473,54	4473,36	4473,58	4473,49
Tratamiento 4	4470,72	4470,98	4470,97	4470,89

Fuente: El autor

<b>Rendimiento (Kg)</b>				
	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>	<b>Repetición 3</b>	<b><math>\bar{X}</math></b>
Tratamiento 1	23,63	23,61	23,64	23,625
Tratamiento 2	21,80	21,78	21,79	21,79
Tratamiento 3	20,10	20,08	20,09	20,09
Tratamiento 4	18,90	18,87	18,89	18,886667

Fuente: El autor

#### Anexo 25. Costos de materiales e insumos del proyecto de investigación

<b>Materiales e insumos</b>					
<b>N°</b>	<b>Materiales e insumos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad x Mes</b>	<b>Costo Unitario (Dólares)</b>	<b>Costo Total (Dólares)</b>
<b>1</b>	Semilla maíz amarillo	qq	9	19,00	171,00
<b>2</b>	Bandejas metálicas	unidad	108	6,00	648,00
<b>3</b>	Tinas de desinfección	unidad	10	8,00	80,00
<b>4</b>	Gavetas de germinación	unidad	10	8,00	80,00
<b>5</b>	Sarán	m	40	3,00	120,00
<b>6</b>	Saquillos	unidad	150	0,08	12,00
<b>7</b>	Desinfectante de semilla	l	10	1,38	13,80
<b>Costo Total de Materiales (para un mes en promedio) (Dólares)</b>					<b>1.124,80</b>

Fuente: El autor

Anexo 26. Costos de infraestructura del proyecto de investigación

<b>Infraestructura</b>					
<b>Nº</b>	<b>Materiales e insumos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad x Mes</b>	<b>Costo Unitario (Dólares)</b>	<b>Costo Total (Dólares)</b>
<b>1</b>	Invernadero construcción	m <sup>2</sup>	128,7	7,00	900,90
<b>2</b>	Sistema de riego				
	Bujes E/C 40mm*32mm	unidad	9	0,61	5,49
	Tee E/C 32mm	unidad	27	1,31	35,37
	Codo E/C 32mm*90mm	unidad	36	1,34	48,24
	Válvula PVC bola 32mm LD	unidad	36	2,11	75,96
	Adaptador hembra CR 32mm*1"	unidad	36	0,66	23,76
	Bushing PVC R/R 1"*1/2	unidad	36	0,46	16,56
	Neplo flex 1 1/2	unidad	36	0,14	5,04
	Codo flex 20mm	unidad	36	0,30	10,80
	Manguera poli 1 1/2 50PSI agro flex	m	900	0,14	126,00
	Fin línea doble "0" (8) 16/17m	unidad	108	0,07	7,56
	Pega americana grande	unidad	2	5,14	10,28
	Tube E/C 32mm*6mt 1.25mpa tig	m	5	4,33	21,65
	Coolpro C 4*7.5 30cm N/STB pfc	unidad	108	3,04	328,32
	Adaptador salida tanque 1" rojo	unidad	1	6,16	6,16
	Válvula 1"LD bola 1 1/2 universal plomas	unidad	1	5,40	5,40
	Adaptador macho C/R 32mm*1" astor	unidad	1	0,96	0,96
	Teflon geneber 12mts	unidad	4	0,31	1,24
	Tanque cisterna 2500 l	unidad	1	250,00	250,00
	Nebulizadores	unidad	108	0,96	103,68
	Tee flex 1 1/2 gemelo	unidad	72	0,21	15,12
	Instalación		1	70,00	70,00
<b>Costo Total de Materiales (para un mes en promedio) (Dólares)</b>					<b>2.068,49</b>

Fuente: El autor

Anexo 27. Costos de producción del proyecto de investigación

<b>COSTOS DE PRODUCCIÓN</b>	
Cantidad de Producción (Kg)	5.104,08
<b>ITEMS</b>	<b>MONTO</b>
Materiales e insumos directos	1.124,80
Mano de obra directa	400,00
Costos indirectos de fabricación	–
<b>Total</b>	<b>1.524,80</b>
Gastos Generales y Administrativos	40,00
Gastos de Ventas	130,00
Gastos Financieros	–
<b>COSTO DE VENTA</b>	<b>1.694,80</b>
COSTO UNITARIO DE PRODUCCION	0,30
COSTO UNITARIO DE VENTA	0,33
MARGEN DE UTILIDAD	0.066
<b>PRECIO DE VENTA</b>	<b>0.44</b>

Fuente: El autor

Anexo 28. Costos de mano de obra directa del proyecto de investigación

<b>Mano de Obra Directa (Personal)</b>				
<b>Personal</b>	<b>Forma de Contrato</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Remuneración Mensual en Dólares</b>	<b>Monto Total Mensual en Dólares</b>
<b>Trabajadores de producción</b>	Plazo Fijo	1	400,00	<b>400,00</b>
<b>Total Mano de Obra (Dólares)</b>				<b>400,00</b>

Fuente: El autor

Anexo 29. Costos de gastos de operación del proyecto de investigación

<b>Gastos de Operación</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Costo (Dólares)</b>	<b>Gastos mensuales por Rubro</b>	<b>Gastos Anuales por Rubro</b>
<b>Gastos Generales</b>			
Servicio de agua	10,00	<b>15,00</b>	<b>180,00</b>
Servicio de Luz	5,00		
<b>TOTAL</b>	<b>15,00</b>		
<b>Gastos Administrativos</b>			
Útiles de Oficina	25,00	<b>25,00</b>	<b>300,00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>25,00</b>		
<b>Gastos de Ventas</b>			
Imprevistos	30,00	<b>130,00</b>	<b>1.560,00</b>
Gasto en publicidad y promoción	100,00		
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>		
<b>Gastos de Operación (Dólares)</b>		<b>170,00</b>	<b>2.040,00</b>

Fuente: El autor

Anexo 30. Costos de equipamiento y maquinaria del proyecto de investigación

<b>Equipamiento y Maquinaria</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario (Dólares)</b>	<b>Monto Total (Dólares)</b>
<b>1</b>	Bomba de agua	400,00	400,00
<b>1</b>	Carretilla	35,00	35,00
<b>1</b>	Balanza industrial	90,00	90,00
<b>Total de equipamiento y maquinaria</b>			<b>525,00</b>

Fuente: El autor

Anexo 31. Costos de equipos de oficina, seguridad y limpieza del proyecto de investigación

<b>Equipos de Oficina, Seguridad y Limpieza</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario (Dólares)</b>	<b>Monto Total (Dólares)</b>
<b>Equipos de Oficina</b>			
<b>1</b>	Computadoras	500,00	500,00
<b>1</b>	Software de facturación e inventario	0,00	0,00
<b>1</b>	Kit de limpieza	0,00	0,00
<b>1</b>	Materiales oficina	25,00	25,00
<b>Total de Equipos de Oficina Seguridad y Limpieza (Dólares)</b>			<b>525,00</b>

Fuente: El autor

Anexo 32. Costos de muebles del proyecto de investigación

<b>Muebles</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unitario (Dólares)</b>	<b>Monto Total (Dólares)</b>
<b>1</b>	Escritorios	50,00	50,00
<b>2</b>	Sillas	15,00	30,00
<b>1</b>	Archivador	45,00	45,00
			0,00
<b>Total de muebles (Dólares)</b>			<b>125,00</b>

Fuente: El autor

Anexo 33. Indicadores de evaluación

<b>Indicadores Económicos</b>	
Valor Actual Neto Económico (VANE) en Dólares	21.003,21
Valor Actual Neto Financiero (VANF) en Dólares	21.003,91
Tasa Interna de Retorno Económico (TIRE)	114,34 %
Tasa Interna de Retorno Financiero (TIRF)	114,34 %
Periodo de Recuperación de Inversión (en años)	0,87

Fuente: El autor

## Anexo 34. Invitación a la socialización de resultados



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE IBARRA**

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

Le extienden la más cordial Invitación a la socialización del trabajo de investigación:

***"EFECTO DEL AGUA DE RIEGO TRATADA MAGNÉTICAMENTE EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE MAÍZ DURO (*Zea mays*) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL ECAA"***

Cuyo autor es el señor Terán Lara Brayan Armando, de la carrera de Ingeniería Agropecuaria

Fecha: 13 de marzo del 2020

Lugar: Finca ganadera, Juan Sebastián sector Monjas, vía Urcuquí

Hora: 10 :00 am

**RESUMEN**

La investigación se realizó en el invernadero hidropónico ubicado en la Granja Experimental ECAA, de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra. El objetivo principal de la investigación fue evaluar los efectos de la inducción magnética del agua de riego, en el desarrollo y producción de forraje verde hidropónico de maíz duro (*Zea mays*). Se aplicó el diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones, con un total de doce unidades experimentales. Los tratamientos evaluados son: T1 con inducción magnética al 100 %; T2 con inducción magnética al 75 %; T3 con inducción magnética al 50 % y T4 (testigo) sin inducción magnética. Mientras que, las variables en estudio fueron el porcentaje de germinación, altura de plantas, coloración de raíz, potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica y análisis bromatológico (materia seca, fibra cruda, proteína cruda, energía). En la presente investigación se evidenció el efecto de la inducción magnética, obteniendo los siguientes resultados: El rendimiento obtenido en T1 = 23,62 kg/m<sup>2</sup>, T2 = 21,79 kg/m<sup>2</sup>, T3= 20,09 kg/m<sup>2</sup>, y testigo = 18,88 kg/m<sup>2</sup>.


Fuente: El autor

## Anexo 35. Socialización de resultados



Fuente: El autor

Anexo 36. Formato de encuesta



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

**ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**  
ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD

**PROCESO DE SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

El siguiente cuestionario nos permitirá implementar mejoras constantes en los procesos de socialización de trabajos de investigación, por favor háganos llegar sus comentarios y sugerencias:

<b>FECHA</b>	13 de Marzo del 2020		
<b>EXPOSITOR</b>	Brayan Armando Terán Lara		
<b>LUGAR</b>	<b>DENTRO PUCESI</b>	<b>FUERA PUCESI</b>	X




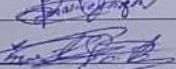
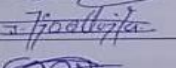
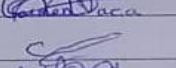
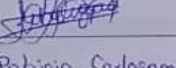
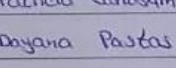
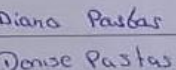
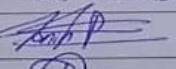
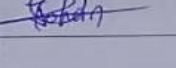
**NOTA IMPORTANTE:** Por favor conteste las preguntas según la siguiente escala:

5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO

DETALLE DE VALORACIÓN	1	2	3	4	5
<b>ORGANIZACIÓN DEL EVENTO DE SOCIALIZACIÓN:</b>					
1. ¿Considera Usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?				X	
2. ¿Considera Usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?			X		
<b>EJECUCIÓN DEL EVENTO POR PARTE DEL EXPOSITOR</b>					
3. ¿Considera Usted que el expositor mostró dominio del tema?				X	
4. ¿Estima Usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?			X		
5. ¿Considera Usted que el Expositor demostró facilidad de expresión?				X	
<b>MEDICIÓN DE IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN:</b>					
6. ¿Considera Usted que el tema Investigado posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?					X
7. ¿Considera Usted que esta investigación posee perspectivas para estudios complementarios posteriores?					X
8. ¿Considera Usted que el tema Investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización, empresa pública o privada, comunidad o Institución?				X	
9. ¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera Usted que éstos se cumplieron?					X
<b>REALICE UN COMENTARIO O SUGERENCIA PARA LOS ORGANIZADORES DE ESTE EVENTO</b>					
Bueno, se debe seguir fomentando y dar apertura a todos					
<b>MENCIONE USTED OTRAS PROBLEMÁTICAS QUE A SU PARECER PODRÍAN SER INVESTIGADAS Y QUE POSEAN IMPORTANCIA PARA ALGÚN ACTOR Y/O SECTOR DE NUESTRA COLECTIVIDAD</b>					
<b>INSTITUCIÓN U ORGANIZACIÓN A LA QUE PERTENECE EL ENCUESTADO</b>					
Finca la Magdalena					

Fuente: El autor

Anexo 37. Lista de asistencia a la socialización de la investigación

 Pontificia Universidad Católica del Ecuador ESCUELA CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES ÁREA DE VINCULACIÓN CON LA COMUNIDAD			
LISTA DE ASISTENCIA A SOCIALIZACIÓN DE INVESTIGACIÓN			
NOMBRE DEL EXPOSITOR: Brayan Armando Terán Lara CARRERA: Ingeniería Agropecuaria FECHA: 13 de marzo de 2020			
NOMBRE ASISTENTE	NÚMERO DE CÉDULA	INSTITUCIÓN A LA QUE REPRESENTA	FIRMA
Eixon Novarez	040124818-2	Finca Novarez	
Wilson Sugek	1003658190	Finca Novarez	
DARHO LARA	100217545-1	Finca La Magdala	
Esar Pastas	100275994-0	Finca San Esteban	
Carolina Fico	100352715-5	Finca Mirador	
CARLEN VACA	100477485-5	Finca Mirador	
emanuel	700732624-6	El paraíso	
Gabriela Cuaspad	100482637-4	Finca Mongis	
Patricia Carlosama	100595829-1	Finca Mongis	Patricia Carlosama
Dayana Pastas	100538326-8	Finca San Esteban	Dayana Pastas
Diana Pastas	100542880-6	Finca San Esteban	Diana Pastas
Denise Pastas	100538375-4	Finca San Esteban	Denise Pastas
Andres Pastas	105021915-3	Finca San Esteban	Andres Pastas
Lenin Pambaquishpe		Finca Fortaleza	
Johan Pambaquishpe		Finca Fortaleza	

Fuente: El autor

Anexo 38. Resultados de la socialización

<b>PREGUNTAS DE LA SOCIALIZACIÓN</b>		<b>NULO</b>	<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	<b>ALTO</b>	<b>MUY ALTO</b>
Pregunta 1	¿Considera usted que la sala donde se desarrolló este evento brindó las comodidades necesarias?	0	0	2	7	6
Pregunta 2	¿Considera usted que el material audiovisual utilizado en la presentación fue adecuado?	0	0	2	5	8
Pregunta 3	¿Considera usted que el expositor mostró dominio del tema?	0	0	1	6	8
Pregunta 4	¿Estima usted que el manejo del auditorio por parte del expositor fue adecuado?	0	0	3	6	6
Pregunta 5	¿Considera usted que el expositor demostró facilidad de expresión?	0	0	2	7	6
Pregunta 6	¿Considera usted que el tema investigativo posee relevancia para algún actor y/o sector de la sociedad?	0	0	1	7	7
Pregunta 7	¿Considera usted que ésta investigación posee perspectiva para estudios complementarios posteriores?	0	0	2	8	5
Pregunta 8	¿Considera usted que el tema investigado genera actualmente o a futuro un beneficio concreto para alguna organización empresa pública o privada, comunidad o institución?	0	0	1	6	8
Pregunta 9	¿En función de los objetivos planteados expuestos en la investigación, considera usted que éstos se cumplieron?	0	0	2	7	6

Fuente: El autor