

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y  
FORESTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO CON DOS ESPECIES SORGO (*Sorghum bicolor L.*) Y MAÍZ  
(*Zea mays L.*) CON TRES DENSIDADES, BAJO INVERNADERO EN LA  
COMUNIDAD DE COIMATA**

**POR:**

**COOPE MERCADO MARIA EUGENIA**

Tesis de grado presentada a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica.

**GESTIÓN 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

V° B°

.....  
Ing. Jesus Reynaldo Guzman Rosales

**PROFESOR GUÍA**

.....  
M. Sc. Ing. Henry Esnor Valdez Huanca

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....  
M. Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zúñiga

**VICEDECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

**APROBADO POR:**

.....  
M. Sc. Ing. Víctor Enrique Zenteno López

**TRIBUNAL**

.....  
M. Sc. Ing. Martin Oscar Tordoya Rojas

**TRIBUNAL**

.....  
M. Sc. Med.Vet.Zoot. José Nicolás Romero Romero

**TRIBUNAL**

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a todas esas personas que Dios puso en mi vida, que se me unieron en el camino y anduvieron al lado mío, recorriendo todos esos trayectos de campos frescos y desiertos fatigosos, brindándome un pincel de apoyo para pintar un lienzo de colores a través de la cual se puede sentir la felicidad y con ella derrochar nuevos colores diseñados para perdurar en el tiempo.

A esos pequeños de gran ser, quienes cada día alimenta mi esperanza y mi fortaleza para alcanzar ese éxito de vida tan anhelado. El que me inspira grandeza para afrontar cualquier adversidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento por todo a Dios por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles.

A mi madre quien depositó su confianza y me dio todo en cuanto estaba en su posibilidad para poder salir adelante.

A la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y la Facultad de Ciencias Agronomías y Forestales a la carrera Ingeniería Agronómica por la formación profesional que me brindaron.

Al Instituto Tecnológico Eustaquio Méndez por brindarme sus ambientes necesarios para la realización de la tesis.

A mis tribunales Ing. Víctor Zenteno L, Ing. Martin Oscar Tordoya R, por las revisiones, observaciones y sugerencias realizadas para mejorar el presente trabajo.

A todos aquellos que estuvieron en el día a día, apoyándome y dándome fuerza para continuar y salir adelante a mis familiares, a mis amigos y a todos aquellos profesionales que supieron guiarme en el camino hacia la cumbre del éxito; a los que me tendieron la mano cuando más lo necesite.

A todos muchas gracias.

## ÍNDICE

### **Dedicatoria**

### **Agradecimiento**

### **Resumen**

INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
HIPÓTESIS.....	3
<b>CAPÍTULO I</b>	
1.Marco Teórico.....	4
1.1 Sorgo (Sorghum bicolor).....	4
1.1.1 Origen.....	4
1.1.2 Descripción botánica del sorgo.....	4
1.1.2.1 Resistente a la Sequía.....	5
1.1.3 Taxonomía.....	5
1.1.4 Morfología del Cultivo.....	6
1.1.4.1 Raíz.....	6
1.1.4.2 Tallo.....	6
1.1.4.3 Las hojas.....	6

1.1.4.4 Inflorescencia o panoja.....	6
1.1.4.5 Semilla.....	6
1.1.5 Etapas Fenológicas.....	7
1.1.5.1 Etapa 0 – Emergencia.....	7
1.1.5.2 Etapa 1 – Estado de tres hojas .....	7
1.1.5.3 Etapa 2- Etapa de las 5 hojas .....	7
1.1.5.4 Etapa 3- Diferenciación del punto de crecimiento .....	7
1.1.5.5 Etapa 4- Última hoja visible .....	8
1.1.5.6 Etapa 5- Panoja embuchada .....	8
1.1.5.7 Etapa 6- 50% de floración.....	8
1.1.5.8 Etapa 7- Grano pastoso.....	8
1.1.5.9 Etapa 8 – Grano duro.....	8
1.1.5.10 Etapa 9- Madurez fisiológica.....	9
1.1.6 Tipos de sorgos forrajeros.....	9
1.1.6.1 Sorgo graníferos.....	9
1.1.6.2 Sorgos azucarados o silaje.....	10
1.1.6.3 Sorgo de escoba.....	11
1.1.6.4 Sorgos herbáceos (forrajeros).....	12
1.1.7 Requerimientos edafoclimáticos.....	13
1.1.7.1 Suelo.....	13
1.1.7.2 Elevación.....	13
1.1.7.3 Cantidad de horas luz .....	13
1.1.7.4 Humedad del suelo.....	14

1.1.7.5. Temperatura.....	14
1.1.7.6 Agua.....	14
1.1.8 Contenido nutricional del sorgo forrajero.....	15
1.2 Maíz (Zea mays).....	15
1.2.1 Origen.....	15
1.2.2 Taxonomía .....	16
1.2.3 Morfología del cultivo.....	17
1.2.3.1 Raíces .....	17
1.2.3.2 Tallos .....	17
1.2.3.3 Hojas .....	18
1.2.3.4 Inflorescencia .....	18
1.2.4 Fenología y fisiología en cultivo del maíz.....	19
1.2.4.1 Sistema de cuello de hoja.....	19
1.2.4.1.1 Etapas vegetativas .....	19
1.2.4.1.2 Etapas reproductivas.....	19
1.2.4.2 Escala BBCH .....	20
1.2.4.3 La importancia de las etapas vegetativas .....	21
1.2.4.4 En cuanto a la calidad de la semilla .....	21
1.2.4.5 Captación y uso de la radiación .....	21
1.2.4.6 Fisiología del nitrógeno .....	22
1.2.5 Requerimientos edafoclimáticos: .....	23
1.2.5.1 Suelo .....	23
1.2.5.2 Clima .....	23



1.2.5.3 Radiación solar .....	24
1.2.5.4 Temperatura.....	24
1.2.5.5 Duración del día o fotoperiodo.....	24
1.2.6 Composición nutricional del maíz.....	25
1.3 Invernadero .....	26
1.3.1 Invernaderos tipo capilla modificado (chileno) .....	26
1.3.1.1 Ventajas .....	26
1.3.1.2 Desventajas .....	27
1.3.1.3 Estructura .....	27
1.3.1.4 Cubierta .....	27
1.3.1.5 Ubicación .....	28
1.3.1.6 Orientación.....	29
1.3.1.7 Forma y tamaño .....	29
1.3.1.8 Ventilación.....	29
1.3.1.9 Construcción .....	30
1.3.1.10 El piso .....	30
1.3.1.11 Estructuras de soporte .....	30
1.3.1.12 Modulación .....	31
1.3.1.14 Recipientes de cultivo o bandejas .....	31
1.3.1.15 Sistema de riego .....	31
1.4 Hidroponía.....	31
1.4.1 Origen del forraje verde hidropónico.....	32
1.4.2 Nutrición hidropónica.....	33

1.4.3 Producción de forraje verde hidropónico .....	33
1.4.4 Factores que influyen en la producción de FVH .....	34
1.4.5 Ventajas y desventajas del FVH .....	35
1.4.5.1 Ventajas .....	35
1.4.5.2 Desventajas.....	36
1.4.6 Sistema de producción de forraje verde hidropónico.....	37
1.4.6.1 Semillas .....	37
1.4.6.2 Selección de la semilla.....	38
1.4.6.3 Desinfección de la semilla .....	38
1.4.6.4 Lavado de la semilla .....	39
1.4.6.5 Remojo y germinación de las semillas.....	39
1.4.6.6 Dosis de Siembra.....	40
1.4.6.7 Siembra en las Bandejas e Inicio de los Riegos .....	40
1.4.6.8 Riego de las bandejas .....	40
1.4.6.9 Riego con Solución Nutritiva .....	41
1.4.6.10 Fertilización en la producción de FVH .....	41
1.4.6.11 Cosecha del FVH .....	41
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
2.1 Localización .....	42
2.2 Ubicación .....	42
2.3 Características del área .....	43
2.3.1 Clima .....	43

2.3.2 Precipitación .....	43
2.3.3 Viento .....	43
2.4 Materiales .....	43
2.4.1 Material vegetal .....	43
2.4.2 Material de campo .....	44
2.4.3 Materiales de riego tecnificado .....	44
2.4.4 Material de escritorio .....	45
2.5 Metodología .....	45
2.5.1 Diseño experimental .....	45
2.5.1.1 Factores .....	45
2.5.1.2 Tratamientos .....	46
2.5.1.3 Unidades Experimentales .....	46
2.6 Croquis del diseño .....	47
2.7 Descripción del procedimiento .....	49
2.7.1 Ubicación de la investigación .....	49
2.7.2 Preparación del área del terreno .....	49
2.7.3 Construcción de invernadero .....	49
2.7.4 Estructura del Soporte del FVH .....	49
2.7.5 Instalación del sistema de riego .....	51
2.7.5.1 Las características de los nebulizadores .....	52
2.7.5.2 Características del Micro aspersor .....	53
2.7.6 Selección de la Semilla .....	54
2.7.7 Lavado de la semilla .....	54

2.7.8 Remojo y germinación de las semillas .....	54
2.7.9 Densidad de Siembra .....	55
2.7.10 Siembra en las Bandejas .....	55
2.7.11 Riego .....	56
2.7.12 Cosecha .....	56
2.8 Variables .....	57
2.8.1 Porcentaje de la germinación .....	58
2.8.2 Altura de la Plántula o Tapete .....	58
2.8.3 Materia Verde .....	59
2.8.4 Materia seca .....	59
2.9 Análisis de costo beneficio .....	59
<b>CAPÍTULO III</b>	
3.1. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	61
3.1.1 Altura (cm) de la plántula o tapete del sorgo y maíz. ....	61
3.1.2 Porcentaje de la germinación (%) .....	61
3.1.3 Rendimiento de materia verde kg/m <sup>2</sup> .....	70
3.1.4 Materia seca kg/m <sup>2</sup> .....	75
3.2 Análisis Económico .....	80
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	
<b>81</b>	
4.1 Conclusiones .....	81
4.2 Recomendaciones .....	83
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1 Requerimiento del agua en el cultivo del sorgo .....	14
Cuadro N° 2 Contenido Nutricional del Sorgo Forrajero .....	15
Cuadro N° 3 Valor nutricional del maíz.....	25
Cuadro N° 4 Estación de Coimata.....	43
Cuadro N° 5 Descripción de los Tratamientos.....	46
Cuadro N° 6 Características del Micro aspersor .....	53
Cuadro N° 7 Relación de semilla de peso seco y peso mojado.....	55
Cuadro N° 8 Programación de Riego en los Primeros 7 días de Germinación.....	56
Cuadro N° 9 Programación de Riego del octavo día de Riego hasta la Cosecha.....	57
Cuadro N° 10 Variables.....	58
Cuadro N° 11 Datos de las alturas(cm) del Sorgo y Maíz.....	61
Cuadro N° 12 Interacción factor especie/ factor densidad.....	62
Cuadro N° 13 ANVA de los datos de las alturas (cm) de las plantas Sorgo y Maíz.....	63
Cuadro N° 14 Datos de germinación del sistema de forraje verde hidropónico de los cultivos sorgo y maíz.....	65
Cuadro N° 15 Interacción factor especie/ factor densidad.....	66
Cuadro N° 16 ANVA de los datos de germinación del sistema de forraje verde hidropónico de los cultivos de sorgo y maíz .....	67
Cuadro N° 17 Prueba de Duncan de los tratamientos del porcentaje de germinación de los cultivos del sorgo y maíz, producidos en un sistema de FVH .....	68
Cuadro N° 18 Prueba del Duncan del factor E del porcentaje de germinación.....	69

Cuadro N° 19 Datos de materia verde en kg/m <sup>2</sup> del sistema de FVH, de los cultivos del sorgo y maíz .....	70
Cuadro N° 20 Interacción factor especie/ factor densidad.....	71
Cuadro N° 21 ANVA de los datos de materia verde del sistema de FVH de los cultivos del sorgo y maíz.....	72
Cuadro N° 22 Prueba de Duncan de los tratamientos del contenido de materia verde del sorgo y maíz, producidos en un sistema de FVH. ....	73
Cuadro N° 23 Prueba del Duncan del factor E en la materia verde kg/m <sup>2</sup> .....	74
Cuadro N° 24 Datos de la materia seca del sistema de FVH. de los cultivos del sorgo y maíz .....	75
Cuadro N° 25 Interacción factor especie/ factor densidad.....	76
Cuadro N° 26 ANVA de los datos de materia seca en kg/m <sup>2</sup> en un sistema de FVH de los cultivos de sorgo y maíz. ....	77
Cuadro N° 27 Prueba de Duncan de los tratamientos del contenido de materia seca de los cultivos del sorgo y maíz de un sistema de producción de FVH .....	78
Cuadro N° 28 Prueba del Duncan del factor E de la materia seca (kg/m <sup>2</sup> ).....	79
Cuadro N° 29 Relación Beneficio/costo.....	80

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen N° 1	Sorgo Graníferos .....	10
Imagen N° 2	Sorgo Silaje .....	11
Imagen N° 3	Sorgo de Escoba .....	12
Imagen N° 4	Sorgo herbáceo forrajero .....	13

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1	Ubicación en el contexto regional.....	42
-----------	--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Etapas Fenológicas del Sorgo.....	9
Figura N° 2	Morfología del Maíz.....	18
Figura N° 3	Fenología del Maíz.....	23
Figura N° 4	Estructura del invernadero capilla modificada (chileno).....	27
Figura N° 5	Estructura referencial del sistema hidropónico que se utilizó en la producción FVH.....	48
Figura N° 6	Estructura de soporte para las bandejas para la producción de FVH vista frontal.....	50
Figura N° 7	Distribución de la Instalación de Riego vista desde arriba.....	52
Figura N° 8	Micro nebulizador: FOGDA24-250BRB.....	53
Figura N° 9	Micro aspersor.....	54



## ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica N° 1 Relación promedio por Tratamiento de la altura (cm) en la cosecha.....	64
Gráfica N° 2 Relación Promedio por Tratamiento del % de Germinación.....	65
Gráfica N° 3 Relación Promedio de los Tratamientos del Contenido de la Materia Verde.....	74
Gráfica N° 4 Relación Promedio de los Tratamientos del Contenido de la Materia Seca.....	79

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Construcción del Invernadero

Anexo 2 Armado del sistema de riego y la estructura de la bandeja

Anexo 3 Lavado y rebojo de las semillas

Anexo 4 Sembrado y puesto en cámara oscuro con nylon negro

Anexo 5 Crecimiento de FVH del Sorgo

Anexo 6 Crecimiento de forraje del Maíz

Anexo 7 Forraje listo para la cosecha

Anexo 8 Costo de la producción del forraje verde hidropónico