

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS FORESTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA SOLUBILIDAD Y EL POTENCIAL DE
ABSORCIÓN DE (NPK) DE UN FERTILIZANTE INORGÁNICO
APLICADO A UN SUELO ARENOSO.**

Por:

JHONNY ARMANDO HUMACATA CHOQUE

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

GESTIÓN 2025

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

.....
Ing. Sergio Fernando Mendoza Mendoza
DOCENTE GUÍA

.....
M.Sc. Ing. Milton Javier Caba Olguín
**DECANO FACULTAD
DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y
FORESTALES**

.....
M.Sc. Ing. Víctor Enrique Zenteno López
**VICEDECANO FACULTAD DE
CIENCIAS AGRÍCOLAS Y
FORESTALES**

APROBADA POR:

TRIBUNALES:

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

.....
Ing. Omar Gutiérrez Catarí
TRIBUNAL

.....
Ing. Wilfredo Benítez Ordóñez
TRIBUNAL

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo estas responsabilidades del autor.

DEDICATORIA

A mis queridos padres. Quienes a lo largo de sus vidas me han inculcado la cultura del trabajo y estudio.

A mis hermanos, amigos y docentes que me apoyaron.

AGRADECIMIENTO

El principal agradecimiento a Dios quien me ha guiado y me ha dado fortaleza para seguir adelante.

A mis padres Santos Humacata y Flora Choque, personas maravillosas que con sus consejos y sabiduría supieron encaminarme en la culminación de mis proyectos. A mis hermanos y amigos por brindarme su apoyo y consejos.

Al equipo del laboratorio de suelos Ing. Sergio Mendoza Mendoza, Ing. Pablo Montaña Zambrana y Ing. Wilfredo Benítez Ordoñez por el apoyo, motivación, paciencia y consejos que me brindaron para mi vida profesional.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
JUSTIFICACIÓN	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo general:	3
Objetivo específico:.....	3
Hipótesis.....	3
CAPITULO I	
MARCO TEORICO.....	4
1.1. Fertilizante (NPK) triple 15	4
1.2. Origen y proceso de producción.....	4
1.2.1. Obtención de materias primas.....	4
1.2.2. Proceso de nitrofosforación	4
1.2.3. Neutralización y formación del NPK	5
1.2.4. Granulación.....	5
1.2.5. Secado.....	5
1.2.6. Enfriamiento y clasificación	5
1.2.7. Recubrimiento y almacenamiento.....	5
1.3. Tipos y composición.....	5
1.3.1. Composición química.....	6
1.3.2. Características físicas	6
1.4. Función de cada nutriente	7
1.4.1. Nitrógeno	7
1.4.2. Fósforo.....	8

1.4.3. Potasio	9
1.5. Solubilidad de fertilizantes.....	10
1.6. Impacto ambiental	11
1.7. Características de los suelos arenosos	11
1.7.1. Características físicas	11
1.7.2. Características químicas	13
1.8. Disponibilidad y movilidad de nutrientes	14
1.9. Lixiviación y pérdida de nutrientes	14
1.10. La Humedad del Suelo.....	15
1.11. Interacción fertilizante-suelo-planta	15
1.12. Modelos de absorción de nutrientes por las plantas	16
1.12.1. Modelo de difusión.....	16
1.12.2. Modelo de flujo de masa	17
1.12.3. Modelo de intercepción radicular.....	17
1.12.4. Relación entre los modelos de absorción de nutrientes.....	18
1.13. Descripción de la planta (<i>Lactuca sativa L.</i>).....	18
1.13.1. Origen de la lechuga crespa	18
1.13.2. Taxonomía	19
1.13.3. Caracteres morfológicos de la lechuga.....	19
1.13.4. Requerimiento del cultivo.....	20
1.14. Cosecha	22

CAPITULO II

MARCO METODOLOGICO	23
2.1. Localización	23
2.2. Ubicación del trabajo.....	23
2.3. Límites territoriales.....	23

2.4. Características climáticas	24
2.4.1 Precipitación	24
2.5. MATERIALES.....	25
2.5.1. Material de aplicación	25
2.5.2. Material vegetal.....	25
2.5.3. Material de campo experimental (invernadero).....	25
2.5.4. Material de laboratorio	25
2.5.5. Equipos	26
2.5.6. Reactivos	26
2.5.7. Material de registro	26
2.5.8. Material de gabinete	27
2.6. METODOLOGÍA.....	27
2.6.1. Diseño de investigación.....	27
2.6.2. Descripción de los tratamientos	27
2.6.3. Descripción de las unidades experimentales	27
2.7. Procedimiento experimental.....	28
2.7.1. Construcción de un invernadero	28
2.7.2. Recolección de suelo a usar en el ensayo	28
2.7.3. Preparación del suelo para las macetas	30
2.7.4. Distribución de las macetas en el invernadero.....	30
2.7.5. Aplicación del fertilizante y riego en simulación de lluvia	31
2.7.6. Recolección de lixiviado paso a paso.....	31
2.7.7. Análisis del lixiviados en laboratorio de suelos.....	32
2.7.8. Trasplante de la lechuga	32
2.7.9. Cálculo del grado de solubilidad y lixiviación	33
2.8. variables a evaluar	33

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
3.1. ANÁLISIS DE NITRÓGENO SOLUBLE	34
3.1.1. Análisis de nitrógeno soluble (00 horas)	34
Grado de solubilidad de nitrógeno a las 00:00h.....	35
3.1.2. Análisis de nitrógeno soluble (24 horas)	36
Grado de solubilidad de nitrógeno a las 24:00h.....	38
3.1.3. Análisis de nitrógeno soluble (72 horas)	39
Grado de solubilidad de nitrógeno a las 72:00h.....	40
3.1.4. Análisis de nitrógeno soluble (7 días)	41
Grado de solubilidad de nitrógeno a los 7 días.	43
3.2. ANÁLISIS DE FOSFORO SOLUBLE	45
3.2.1. Análisis de fosforo soluble (00 horas).....	45
El grado de solubilidad de fosforo a las 00:00 h.....	46
3.2.2. Análisis del fosforo soluble (24 horas).....	47
El grado de solubilidad de fosforo a las 24:00 h.....	48
3.2.3. Análisis de fosforo soluble (72 horas).....	49
Grado de solubilidad de fosforo a las 72 horas.....	50
3.2.4. Análisis del fosforo soluble (7 días).....	51
El grado de solubilidad de fosforo a los 7 días.	53
3.3. ANÁLISIS DE POTASIO SOLUBLE	55
3.3.1. Análisis de potasio soluble (00 horas).....	55
Grado de solubilidad de potasio a las 00:00 h.	56
3.3.2. Análisis del potasio soluble (24 horas).....	57
Grado de solubilidad de potasio a las 24 h.	58
3.3.3. Análisis del fosforo soluble (72 horas).....	59

Grado de solubilidad de potasio a las 72 h.	61
3.3.4. Análisis del potasio soluble (7 días).....	62
Grado de solubilidad de potasio a los 7 días.....	64
3.4. EVALUACION DEL POTENCIAL DE ABSORCIÓN DE MACRONUTRIENTES (NITRÓGENO, FOSFORO Y POTASIO). EN EL CULTIVO DE LA LECHUGA (<i>Lactuca sativa</i> L.)	66
3.4.1. Asimilación de nitrógeno (lechuga)	66
Eficiencia de nitrógeno en el cultivo de la lechuga.....	67
3.4.2. Asimilación de fosforo (lechuga).....	68
Eficiencia de fosforo para el cultivo de la lechuga.	69
3.4.3. Asimilación de potasio (lechuga).....	70
La eficiencia de potasio en el cultivo de la lechuga.....	72
3.5. DISCUSION DE LOS RESULTADOS	72
CAPITULO IV	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
4.1. CONCLUSIONES.....	76
4.2. RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Taxonomía.....	19
Cuadro N° 2 :Requerimientos nutricionales del cultivo de la lechuga	23
Cuadro N° 3: Precipitación de la zona de estudio.....	25
Cuadro N° 4:Diseño completamente al azar.....	29
Cuadro N° 5:Análisis de suelo.....	30
Cuadro N° 6:Análisis de fertilizante	32
Cuadro N° 7:Lixiviados de nitrógeno (00 horas).....	35
Cuadro N° 8: Análisis de varianza ANVA para nitrógeno.....	35
Cuadro N° 9: Test de tukey para los tratamientos	36
Cuadro N° 10:Grado de solubilidad.....	37
Cuadro N° 11:Lixiviados de nitrógeno (24 horas).....	37
Cuadro N° 12:Análisis de varianza ANVA para nitrógeno	38
Cuadro N° 13:Test de tukey para los tratamientos	38
Cuadro N° 14:Grado de solubilidad para nitrógeno.....	39
Cuadro N° 15: Lixiviados de nitrógeno (72 horas).....	40
Cuadro N° 16 análisis de varianza ANVA para nitrógeno	40
Cuadro N° 17:Test de tukey para los tratamientos	41
Cuadro N° 18: Grado de solubilidad de nitrógeno a las (72 horas)	42
Cuadro N° 19:Análisis de nitrógeno soluble a los (7 días)	42
Cuadro N° 20: Análisis de varianza ANVA para nitrógeno.....	43
Cuadro N° 21: Test de tukey para los tratamientos.....	43
Cuadro N° 22:Grado de solubilidad de nitrógeno (7 días).....	44
Cuadro N° 23: Análisis de solubilidad para fosforo (00 horas).....	46
Cuadro N° 24: Análisis de varianza ANVA para fosforo	46
Cuadro N° 25: Test de tukey para los tratamientos.....	47

Cuadro N° 26: Grado de solubilidad de fosforo (00 horas).....	47
Cuadro N° 27:Análisis de fosforo (24 horas)	48
Cuadro N° 28:Analisis de varianza ANVA para fosforo	48
Cuadro N° 29: Test de tukey para los tratamientos.....	49
Cuadro N° 30:Grado de solubilidad de fosforo (24 horas).....	49
Cuadro N° 31:Análisis de fosforo (72 horas)	50
Cuadro N° 32:Analisis de varianza ANVA para fosforo	50
Cuadro N° 33:Test de tukey para los tratamientos	51
Cuadro N° 34:Grado de solubilidad de fosforo (72horas).....	51
Cuadro N° 35:Análisis de fosforo (7 días)	52
Cuadro N° 36:Analisis de varianza ANVA para fosforo	53
Cuadro N° 37:Test de tukey para los tratamientos	53
Cuadro N° 38:Grado de solubilidad de fosforo (7 días).....	54
Cuadro N° 39:Analisis de solubilidad para potasio (00horas).....	56
Cuadro N° 40:Analisis de varianza ANVA para potasio	56
Cuadro N° 41:Test de tukey para los tratamientos	57
Cuadro N° 42:Grado de solubilidad de potasio (00 horas).....	57
Cuadro N° 43:Analisis de solubilidad de potasio (24 horas).....	58
Cuadro N° 44:Analisis de varianza ANVA para potasio	58
Cuadro N° 45:Test de tukey para los tratamientos	59
Cuadro N° 46:Grado de solubilidad de potasio (24 horas).....	60
Cuadro N° 47:Analisis de solubilidad de potasio (72 horas).....	61
Cuadro N° 48: Análisis de varianza ANVA para potasio	61
Cuadro N° 49:Test de tukey para los tratamientos	61
Cuadro N° 50:Grado de solubilidad de potasio (72 horas).....	62
Cuadro N° 51:Análisis de potasio (7 días)	63

Cuadro N° 52:Análisis de varianza ANVA para potasio	64
Cuadro N° 53:Test de tukey para los tratamientos	64
Cuadro N° 54:Grado de solubilidad para potasio (7 días).....	65
Cuadro N° 55:Análisis de asimilación de nitrógeno para las lechugas.....	67
Cuadro N° 56:Análisis de varianza ANVA para nitrógeno.....	67
Cuadro N° 57:Test de tukey para los tratamientos	68
Cuadro N° 58:Grado de asimilación de nitrógeno para las lechugas.....	68
Cuadro N° 59:Análisis de fósforo para la lechuga.....	69
Cuadro N° 60:Análisis de varianza ANVA para fósforo	70
Cuadro N° 61:Test de tukey para los tratamientos	70
Cuadro N° 62:Grado de asimilación de fósforo para la lechuga	70
Cuadro N° 63:Análisis de potasio para las lechugas.....	71
Cuadro N° 64:Análisis de varianza ANVA para potasio	72
Cuadro N° 65:Test de tukey para los tratamientos	72
Cuadro N° 66:Grado de asimilación de potasio para las lechugas	73

ÍNDICE DE GRAFICAS

Figura N° 1:Triángulo piramidal de la textura de suelo	13
Figura N° 2:Mapa de ubicación	24
Figura N° 3:Clasificación del suelo según el triángulo textural	31
Figura N° 4:Solubilidad de nitrógeno (00 horas).....	36
Figura N° 5:Grado de solubilidad de nitrógeno (00 horas)	37
Figura N° 6:Solubilidad de nitrógeno (24 horas).....	39
Figura N° 7:Grado de solubilidad de nitrógeno.....	39
Figura N° 8:Solubilidad de nitrógeno (72 horas).....	41

Figura N° 9:Grado de solubilidad de nitrógeno (72 horas)	42
Figura N° 10:Solubilidad de nitrógeno (7 días).....	44
Figura N° 11:Grado de solubilidad de nitrógeno (7 días)	44
Figura N° 12:Grado de solubilidad de fosforo (00 horas)	47
Figura N° 13:Grado de solubilidad de fosforo (24 horas)	49
Figura N° 14:Solubilidad de fosforo (72 horas)	51
Figura N° 15:Grado de solubilidad de fosforo (72 horas).....	52
Figura N° 16:Solubilidad de fosforo (7 días)	54
Figura N° 17:Grado de solubilidad de fosforo (7 días)	54
Figura N° 18:Grado de solubilidad de potasio (00 horas).....	57
Figura N° 19:Solubilidad de potasio (24 horas)	59
Figura N° 20:Grado de solubilidad de potasio (24 horas).....	60
Figura N° 21:Solubilidad de potasio (72 horas)	62
Figura N° 22:Grado de solubilidad de potasio (72 horas).....	63
Figura N° 23:Solubilidad de potasio (7 días)	65
Figura N° 24:Grado de solubilidad de potasio (7 días)	65
Figura N° 25:Asimilacion de nitrógeno (lechuga).....	68
Figura N° 26:Grado de asimilación de nitrógeno (lechuga).....	69
Figura N° 27:Grado de asimilación de fosforo (lechuga)	71
Figura N° 28:Asimilación de potasio (lechuga).....	72
Figura N° 29:Grado de asimilación de potasio (lechuga)	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Recolección del suelo que utilizo en el ensayo	82
Anexo N° 2: Masa del suelo por maceta	82
Anexo N° 3: Compra del fertilizante triple 15 (YaraMila)	82
Anexo N° 4: Masa que se utilizó en el T1, T2 y T3.....	83
Anexo N° 5: Agregar el fertilizante a la maceta	83
Anexo N° 6: Distribucion de macetas	83
Anexo N° 7: Recoleccion de lixiviados	84
Anexo N° 8: Trasplante de la lechuga.....	84
Anexo N° 9: Analisis de nitrógeno	84
Anexo N° 10: Análisis de fosforo	85
Anexo N° 11: Análisis de potasio	85
Anexo N° 12: Cosecha de la lechuga	85
Anexo N° 13: Análisis de suelo.	86
Anexo N° 14: Análisis del fertilizante	87