



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**“REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS - SÓDICOS CON
ENMIENDAS ORGÁNICA, INORGÁNICA Y PRÁCTICA
HIDROTÉCNICA PARA EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium
quinoa* Willd) EN INVERNADERO”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. GIL JOSUE LOPE LOPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO - PERÚ

2021



DEDICATORIA

A DÍOS

*Por darme la vida,
sabiduría y fortaleza.*

A MIS QUERIDOS PADRES:

JORGE LOPE CHAMBI y DIONICIA LOPE QUENTA

*Con eterna gratitud y reconocimiento por sus sacrificios
desplegados en mi formación profesional de ser
Ingeniero Agrónomo, quienes me demostraron que con
esfuerzo y dedicación se puede lograr todo lo propuesto.*

A MIS HERMANOS:

Juan Artemio, Nelson

Uriel y Fredy Clinton

*Por sus inmensos apoyos
incondicionales.*

A MIS TÍOS (A):

Luis, Rolando y Ada

Por sus apoyos y buenos consejos.

Josué Lope



AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradamientos:

A Dios, por protegerme y guiarme por el camino correcto.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, de la escuela profesional de Ingeniería Agronómica por haberme aceptado ser parte de ella, principalmente a todos sus docentes quienes me brindaron sus conocimientos en mi formación profesional.

A la Estación Experimental Agraria Ilpa, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Anexo Salcedo - Puno, área Laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos, por darme la oportunidad de realizar la tesis y prácticas profesionales.

A los asesores Ing. Jorge Canihua Rojas e Ing. Selima Milagros Salcedo Mayta, responsables del laboratorio de aguas y suelos del INIA y especialistas del programa presupuestal 089 “Reducción de la degradación de suelos agrarios”, quienes me brindaron sus amplios conocimientos y experiencias de la ciencia del suelo, además por haberme financiado el 70% de la tesis, facilitándome el uso de materiales y equipos del laboratorio.

Al director de tesis M.Sc. Daniel Canaza Mamani, por su acertada orientación en el presente trabajo de investigación.

A los miembros del jurado D.Sc. Evaristo Mamani Mamani, M.Sc. Dawes Ramos Alata y D.Sc. Ernesto Javier Chura Yupanqui, por sus acertadas observaciones y correcciones para la mejora del contenido de la tesis.

Al Ing. Vilck Modesto Checalla Mamani, por compartir sus conocimientos en la parte de estadística experimental de la tesis.

Y a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron en la ejecución y finalización del presente trabajo de investigación.

Josué Lope



ÍNDICE GENERAL

Pág.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 16

ABSTRACT 17

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL 19

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 19

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SUELO..... 20

2.2. DEGRADACIÓN DE SUELOS 21

2.2.1. Tipos de degradación de suelos..... 21

2.3. SUELOS AFECTADOS POR SALES..... 21

2.3.1. Origen de sales en el suelo 21

2.3.1.1. Causas primarias o naturales 21

2.3.1.2. Causas secundarias o antrópicas 22

2.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES 23



2.4.1. Suelos normales.....	23
2.4.2. Suelos salinos	23
2.4.2.1. Características principales de las sales más frecuentes en suelos ...	24
2.4.3. Suelos sódicos	27
2.4.4. Suelos salinos-sódicos	28
2.5. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL SUELO	29
2.5.1. Reacción del suelo (pH).....	29
2.5.2. Conductividad eléctrica (CE)	30
2.5.3. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	31
2.5.4. Cationes cambiables.....	32
2.5.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	32
2.5.6. Densidad aparente (D_{ap}) del suelo.....	32
2.6. REHABILITACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES.....	33
2.6.1. Prácticas mecánicas.....	34
2.6.2. Prácticas hidrotécnicas.....	34
2.6.3. Prácticas químicas.....	35
2.6.3.1. Yeso agrícola.....	35
2.6.4. Prácticas biológicas.....	37
2.6.4.1. Materia orgánica.....	37
2.7. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD.....	38
2.7.1. Plantas halófitas o halófilas	39
2.7.2. Efectos de la salinidad y sodicidad	41
2.7.2.1. Efectos osmóticos	41
2.7.2.2. Efectos ion específico	43
2.7.2.3. Efectos de sodio de cambio	43



2.7.3. Salinidad y germinación	43
2.7.4. Tolerancia de la quinua a la salinidad.....	44
2.8. CULTIVO DE QUINUA.....	45
2.8.1. Centro de origen.....	45
2.8.2. Posición taxonómica	45
2.8.3. Quinua variedad Salcedo INIA	46
2.8.3.1. Suelo y clima	46
2.8.3.2. Fenología de la variedad.....	47
2.8.3.3. Reacción de factores bióticos y abióticos.....	47
2.9. COSTOS DE PRODUCCIÓN	47
2.9.1. Costos directos	48
2.9.2. Costos indirectos	48
2.9.3. Rentabilidad.....	48

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	49
3.2. CLIMA	49
3.3. SUELOS.....	51
3.4. MATERIALES, EQUIPOS Y FACTORES EN ESTUDIO.....	54
3.4.1. Fase de campo	54
3.4.1.1. Muestro de suelos.....	54
3.4.2. Fase de invernadero	54
3.4.2.1. Suelos salinos-sódicos	54
3.4.2.2. Enmiendas orgánica e inorgánica	54
3.4.2.3. Lavado de suelos salinos-sódicos	55



3.4.2.4. Variedad de quinua	55
3.4.2.5. Fertilizantes complementarios.....	55
3.4.2.6. Materiales del experimento	55
3.4.3. Fase de laboratorio	56
3.4.3.1. Equipos	56
3.4.3.2. Materiales	56
3.4.3.3. Reactivos	57
3.4.4. Distribución de Tratamientos	57
3.4.5. Diseño experimental	58
3.4.5.1. Eficiencias	59
3.4.5.2. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas.....	59
3.4.6. Características del experimento	60
3.4.7. Conducción del experimento.....	60
3.4.7.1. Incorporación de las enmiendas orgánicas e inorgánicas	60
3.4.7.2. Práctica hidrotécnica de suelo salino-sódico y la calidad del agua.	61
3.4.7.3. Siembra y fertilización.....	61
3.4.7.4. Riego.....	62
3.4.7.5. Cosecha.....	62
3.4.7.6. Trilla.....	62
3.4.7.7. Muestreo final de los suelos en estudio	62

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFICIENCIAS DE RECUPERACIÓN A DIFERENTES DOSIS DE ENMIENDAS Y PRÁCTICA HIDROTÉCNICA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS SALINOS-SÓDICOS.	63
--	-----------



4.1.1. Eficiencia de la reacción del suelo (pH)	68
4.1.2. Eficiencia de la conductividad eléctrica extracto de saturación.....	71
4.1.2.1. Práctica hidrotécnica para sales solubles (cationes y aniones)	74
4.1.3. Eficiencia del porcentaje de sodio (Na ⁺) intercambiable (PSI).....	77
4.1.4. Eficiencia del porcentaje de calcio intercambiable (Ca ⁺⁺)	81
4.1.5. Eficiencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	84
4.1.6. Eficiencia para densidad aparente (D _{ap})	87
4.1.7. Coeficientes de correlación	90
4.1.7.1. Correlación entre % Ca ⁺⁺ y Na ⁺ intercambiable	91
4.1.7.2. Correlación entre pH del suelo y % Na ⁺ intercambiable.....	92
4.2. INFLUENCIA DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA QUINUA VARIEDAD SALCEDO INIA.	92
4.3. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DE LA REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS EN EL CULTIVO DE QUINUA	99
V. CONCLUSIONES.....	102
VI. RECOMENDACIONES.....	104
VII. REFERENCIAS.....	105
ANEXOS.....	116

Área : Ciencias Agrícolas.

Línea : Manejo y Conservación de Recursos de Agua y Suelo.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 25 de mayo del 2021.



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Efectos de la salinidad y la sodicidad sobre las propiedades de los suelos y los cultivos.	41
Figura 2. Relaciones hídricas	42
Figura 3. Ubicación de la estación experimental Illpa INIA, anexo Salcedo Puno.....	49
Figura 4. Temperaturas promedios máximas, mínimas y medias.....	50
Figura 5. Representación gráfica de medias de pH para suelo de Juli	70
Figura 6. Representación gráfica de medias de pH para suelo de Tiquillaca.....	70
Figura 7. Representación gráfica de medias de CE_{ext} para suelo de Juli.....	72
Figura 8. Representación gráfica de medias de CE_{ext} para suelo de Tiquillaca	73
Figura 9. Representación gráfica de cationes y aniones para suelo de Juli	74
Figura 10. Representación gráfica de cationes y aniones para suelo de Tiquillaca	75
Figura 11. Representación gráfica de medias del PSI para suelo de Juli	79
Figura 12. Representación gráfica de medias del PSI para suelo de Tiquillaca	80
Figura 13. Representación gráfica de medias de % Ca^{++} intercambiable para suelo de Juli	83
Figura 14. Representación gráfica de medias de % Ca^{++} intercambiable para suelo de Tiquillaca.....	83
Figura 15. Representación gráfica de medias de CIC para suelo de Juli.....	86
Figura 16. Representación gráfica de medias de CIC para suelo de Tiquillaca.....	87
Figura 17. Representación gráfica de medias de D_{ap} para suelo de Juli.....	89
Figura 18. Representación gráfica de medias de D_{ap} para suelo de Tiquillaca.....	89
Figura 19. Correlación y regresión lineal de Pearson entre porcentaje de Ca^{++} y Na^{+} intercambiable.....	91



Figura 20. Correlación y regresión lineal de Pearson entre pH del suelo y % Na ⁺ intercambiable.....	92
Figura 21. Rendimiento grano de quinua var. Salcedo INIA para Juli y Tiquillaca	97
Figura 22. Gráfico de dispersión entre la relación B/C y la eficiencia del porcentaje de Na ⁺ intercambiable para suelo de Juli y Tiquillaca.	100
Figura 23. Certificado de análisis de salinidad de suelos iniciales en estudio	116
Figura 24. Certificado de análisis de salinidad de suelo lavado - Juli.....	117
Figura 25. Certificado de análisis de salinidad de suelo lavado - Tiquillaca	118
Figura 26. Certificado de análisis de la conductividad eléctrica de suelo lavado.....	119
Figura 27. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RII Juli.....	120
Figura 28. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RIV Juli	121
Figura 29. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RII Tiquillaca.....	122
Figura 30. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RIV Tiquillaca	123
Figura 31. Certificado de análisis de pH y la C.E. de suelo final	124
Figura 32. Certificado de análisis de la densidad aparente de suelo final.....	125
Figura 33. Certificado de análisis de yeso agrícola	126
Figura 34. Certificado de análisis de estiércol descompuesto de ovino	127
Figura 35. Croquis de distribución de tratamientos dentro del invernadero.	137
Figura 36. Vista panorámica de suelo salino-sódico (Rio Salado-Juli) Puno.	138
Figura 37. Vista panorámica de suelo salino-sódico (Challamayo - Tiquillaca) Puno.	138
Figura 38. Práctica de lavado, A y B : costras salinas y cuarteadura del suelo.	139
Figura 39. A y B : Remoción de las sales solubles fuera de las macetas.	139
Figura 40. A : Desinfección de la semilla, B : siembra de la quinua.	140
Figura 41. Emergencia de las plántulas de la quinua.....	140



Figura 42. Fase reproductiva de la quinua.....	141
Figura 43. Lectura de la temperatura dentro del invernadero.	141
Figura 44. A y B: secado de las panojas de la quinua a ambiente libre.	142
Figura 45. A: Trilla manual, B: pesado de granos de la quinua por panoja.....	142
Figura 46. A y B: muestreo de los suelos salinos-sódicos en estudio.	143
Figura 47. A y B: lectura de pH del suelo; A y C: lectura de la CE 1:25 del suelo...	143
Figura 48. A: determinación de la textura del suelo, B: lectura con hidrómetro.....	143
Figura 49. A: preparación de pasta de saturación, B: filtro del extracto de pasta de saturación en bomba de vacío.	144
Figura 50. Determinación de carbonato de calcio CaCO_3	144
Figura 51. A y B: lectura de la CE extracto de pasta de saturación.	145
Figura 52. A: titulación de Ca^{++} más Mg^{++} , B: titulación de Ca^{++}	145
Figura 53. A y B: titulación de HCO_3^-	146
Figura 54. A: preparación de SO_4^- , B: lectura de SO_4^- en espectrofotómetro.	146
Figura 55. A: determinación de NO_3^- en Micro Kjeldahl, B: preparación para la lectura NO_3^-	147
Figura 56. A: lectura de Na^+ y K^+ , B: fotometría de llama.	147
Figura 57. A: preparación de la D_{ap} método probeta, B: determinación de la D_{ap}	148
Figura 58. Color de los suelos salinos-sódicos en estudio con Tabla Munsell.	148
Figura 59. Mapa de la microcuenca del Rio Salado, Juli - Puno - Perú.	149
Figura 60. Mapa de la subcuenca Challamayo, Tiquillaca - Puno - Perú.	150



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de suelos afectados por sales.	23
Tabla 2. Principales tipos de sales salinos y su toxicidad en las plantas	24
Tabla 3. Clasificación del pH del suelo	29
Tabla 4. Efectos de las sales comunes en función de la concentración de sales solubles	31
Tabla 5. Clasificación del suelo con base en la saturación de cationes intercambiables	32
Tabla 6. Cantidades de yeso necesarias para sustituir las cantidades indicadas de sodio intercambiable	37
Tabla 7. Fases fenológicas de la quinua var. Salcedo INIA	47
Tabla 8. Temperaturas promedios máximas, mínimas y medias en invernadero durante el experimento (julio 2019 a enero 2020).....	50
Tabla 9. Análisis físico-químico del suelo proveniente de la microcuenca del Rio Salado (distrito de Juli).	52
Tabla 10. Análisis físico-químico del suelo proveniente de la subcuenca Challamayo (distrito de Tiquillaca).	53
Tabla 11. Clasificación de suelos afectados por sales en estudio	54
Tabla 12. Dosis de enmiendas por tratamientos para Juli y Tiquillaca	58
Tabla 13. Dosis de fertilización complementaria.....	62
Tabla 14. Análisis de varianza para las características fisicoquímicas del suelo.....	63
Tabla 15. Comparación múltiple de medias de Tukey para efectos principales de las eficiencias de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	65



Tabla 16. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de enmiendas dentro de lugar para las eficiencias de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	66
Tabla 17. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de lugar dentro de enmiendas para las eficiencias de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	67
Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características fisicoquímicos del suelo.....	90
Tabla 19. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua.	92
Tabla 20. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos principales para el rendimiento de grano de quinua.....	93
Tabla 21. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de enmiendas dentro de lugar para el rendimiento de grano de quinua	94
Tabla 22. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de lugar dentro de enmiendas para el rendimiento de grano de quinua.....	95
Tabla 23. Análisis económico para el cultivo de quinua var. Salcedo INIA en suelo salino-sódico de Juli.....	99
Tabla 24. Análisis económico para el cultivo de quinua var. Salcedo INIA en suelo salino-sódico de Tiquillaca.....	99
Tabla 25. Costos de producción (T10).....	128
Tabla 26. Rendimiento grano de quinua (Q) var. Salcedo INIA, (gramos/planta).	129
Tabla 27. Análisis de varianza para la reacción del suelo (pH)	130
Tabla 28. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE_{ext}).....	130
Tabla 29. Prueba de efectos simples para la conductividad eléctrica (CE_{ext}).....	130
Tabla 30. Análisis de varianza para el porcentaje de Na^+ intercambiable.....	131



Tabla 31. Prueba de efectos simples para el porcentaje de Na^+ intercambiable	131
Tabla 32. Análisis de varianza para el porcentaje de Ca^{++} intercambiable	131
Tabla 33. Prueba de efectos simples para el porcentaje de Ca^{++} intercambiable	132
Tabla 34. Prueba de efectos simples para la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	132
Tabla 35. Análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	133
Tabla 36. Análisis de varianza para la densidad aparente (D_{ap}).....	133
Tabla 37. Prueba de efectos simples para la densidad aparente (D_{ap})	133
Tabla 38. Medias para efectos principales de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	134
Tabla 39. Medias para efectos simples de enmiendas dentro de lugar de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	135
Tabla 40. Medias para efectos simples de lugar dentro de enmiendas de pH, CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} del suelo.	136



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

cmol(+)/kg	: Centimol carga (positiva) por kilogramo de suelo.
meq/100gr	: Miliequivalente por 100 gramos.
meq/lt	: Miliequivalente por litro.
mmhos/cm	: Milimhos por centímetro.
dS/m	: Decisiemens por metro.
CIC	: Capacidad de intercambio catiónico.
ppm	: Partes por millón.
pH	: Potencial de hidrógeno.
CE _{ext}	: Conductividad eléctrica extracto de pasta saturada.
PSI	: Porcentaje de sodio intercambiable.
D _{ap}	: Densidad aparente.
gr/cm ³	: Gramo por centímetro cubico.
%	: Porcentaje.
ton/ha	: Tonelada por hectárea.
Rdto	: Rendimiento.
R ²	: R cuadrado.
r	: Coeficiente de correlación de Pearson
Sig	: Significancia.
ns	: No significativa
*	: Significativa.
**	: Altamente significativa.
CAR	: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
IDEAM	: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
UDCA	: Universidad de Ciencias Ambientales y Aplicadas.



RESUMEN

La salinidad y sodicidad de los suelos en la Cuenca Hidrográfica del Titicaca se debe a la existencia de yacimientos de sales, en épocas de lluvia sus ríos con elevadas concentraciones salinas desbordan causando una salinización gradual sobre los suelos agrícolas y por ende la baja productividad de los cultivos, el cambio climático altera el ciclo hidrológico y causa sequía, el cual origina la presencia de sales. La investigación se realizó en la Estación Experimental Agraria Illpa INIA, Puno. El objetivo fue: Rehabilitar suelos salinos-sódicos con la aplicación de yeso agrícola, estiércol de ovino y práctica hidrotécnica para el cultivo de quinua variedad Salcedo INIA. Se adoptó el Diseño Experimental Completamente al Azar 2x10x5; dos suelos (Juli y Tiquillaca), con diez tratamientos (testigo absoluto, enmiendas: yeso agrícola 20, 40 y 60 ton/ha; estiércol de ovino 20, 40 y 60 ton/ha; combinación 10, 20 y 30 ton/ha) y cinco repeticiones, en el cual se empleó la práctica hidrotécnica y se cultivó quinua. Los resultados fueron: a) La mejor eficiencia de recuperación de la salinidad de los suelos se dio con la práctica hidrotécnica, la CE_{ext} del suelo de Juli con 13.40 mmhos/cm y Tiquillaca con 14.38 mmhos/cm disminuyeron considerablemente a rangos de 2 - 3 mmhos/cm con eficiencias de -10.11 y -10.27 mmhos/cm. La mejor eficiencia de reducción de la sodicidad se logró con yeso agrícola 60 ton/ha, en suelo de Juli el PSI de 45.58% redujo a 16.63% y en Tiquillaca el PSI de 79.05% redujo a 27.25% con eficiencias de -28.95 y -51.80%. b) La CE_{ext} del suelo de 2 a 3 mmhos/cm y $PSI > 15\%$ no influyeron en el rendimiento de grano de quinua, pero si influyeron las altas temperaturas (35.10°C). c) La mejor relación B/C en la rehabilitación de los suelos se logró con yeso agrícola 10 ton/ha + estiércol de ovino 10 ton/ha, donde se recupera la inversión (s/. 0.01 y 0.11) y reduce el PSI (-8.58 y -19.87 %).

Palabras claves: Suelo salino-sódico, rehabilitación, enmiendas, practica hidrotécnica y *Chenopodium quinoa* Willd.



ABSTRACT

The salinity and sodicity of soils in the Titicaca Watershed is due to the existence of salt deposits, in rainy seasons its rivers with high saline concentrations overflow causing a gradual salinization on agricultural soils and therefore the low productivity of crops, climate change alters the hydrological cycle and causes drought, which causes the presence of salts. The research was carried out at the Illpa INIA Agricultural Experimental Station, Puno. The objective was: To rehabilitate saline-sodium soils with the application of agricultural gypsum, sheep manure and hydrotechnical practice for the cultivation of quinoa variety Salcedo INIA. 2x10x5 Random Fully Random Experimental Design was adopted; two soils (Juli and Tiquillaca), with ten treatments (absolute witness, amendments: agricultural plaster 20, 40 and 60 ton/ha; sheep manure 20, 40 and 60 ton/ha; combination 10, 20 and 30 ton/ha) and five repetitions, in which hydrotechnical practice was used and quinoa was cultivated. The results were: a) The best efficiency of recovery of salinity of soils was achieved with hydrotechnical practice, Juli's soil CEext with 13.40 mmhos/cm and Tiquillaca with 14.38 mmhos/cm decreased considerably to 2 - 3 mmhos/cm ranges with efficiencies of -10.11 and -10.27 mmhos/cm. The best efficiency of reduction of sodicity was achieved with agricultural gypsum 60 ton/ha, in Juli soil the PSI of 45.58% reduced to 16.63% and in Tiquillaca the PSI of 79.05% reduced to 27.25% with efficiencies of -28.95 and -51.80%. b) Soil CEext from 2 to 3 mmhos/cm and PSI >15% did not influence quinoa grain yield, but if high temperatures (35.10°C) influenced. c) The best B/C ratio in soil rehabilitation was achieved with agricultural gypsum 10 ton/ha + sheep manure 10 ton/ha, where the investment is recovered (s/. 0.01 and 0.11) and reduces the PSI (-8.58 and -19.87 %).

Keywords: Saline-sodium soil, rehabilitation, amendments, hydrotechnical practice and *Chenopodium quinoa* Willd.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La salinidad y sodicidad del suelo son procesos de degradación de la tierra que alteran fuertemente la calidad del suelo y consecuentemente la productividad de las plantas (Leogrande y Vitti, 2018). La salinidad es un problema global que amenaza los sistemas de producción agrícola en todo el mundo (Wu, *et al.*, 2018), causando miles de millones de dólares en daños a los cultivos cada año. Independientemente de la causa, la toxicidad iónica, el déficit de agua o el desequilibrio nutricional, la alta salinidad en la zona de la raíz impide gravemente el crecimiento y desarrollo normal de la planta (Jamil *et al.*, 2011).

La acumulación de altos niveles de sales en el suelo es característica de las regiones áridas y semiáridas. Aunque se están utilizando diferentes medidas curativas y de gestión para hacer que los suelos afectados por la sal sean aptos para la agricultura, pero son extremadamente costosos y no brindan soluciones permanentes para superar el problema de la salinidad (Ashraf y Wu, 1994).

En el Altiplano, la ocurrencia de suelos con problemas de sales y/o sodio es ya un hecho, el problema de sales es frecuentemente acompañado por problemas de anegamiento o mal drenaje. El problema, va cobrando cada vez mayor fuerza debido a que en gran parte del año no ocurren las precipitaciones pluviales, pero si se incrementa la evapotranspiración y si existe la presencia de napas freáticas por efecto de capilaridad ascienden las sales cerca o sobre la superficie del suelo y cuando las precipitaciones pluviales se hacen presentes en dos o tres meses en cantidades menores a 400 mm no son suficientes para lavar las mencionadas sales y peor aún si no existe un adecuado drenaje, los suelos con problemas de sales se incrementan y ese hecho es más notorio en el altiplano de Bolivia (Herrera, 2010).



En el altiplano puneño se están incorporando nuevas áreas de cultivo bajo riego, aprovechando el recurso agua que brindan los ríos de la Cuenca Hidrográfica del Titicaca, dichas aguas de la mayoría de los ríos tienen una concentración salina elevada, con el riesgo de producir una salinización gradual en los suelos (Cari, 1978).

La salinidad del suelo es un estrés ambiental importante que restringe el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Zhao *et al.*, 2020). El desarrollo de cultivares tolerantes a la sal es un enfoque atractivo y económico para resolver este problema. Aunque se han desarrollado varios genotipos de plantas tolerantes a la sal mediante enfoques transgénicos, a menudo han fallado o han tenido un éxito limitado en condiciones salinas de campo (Jamil *et al.*, 2011).

La quinua es un cultivo nutritivo importante que puede jugar un papel estratégico en el desarrollo de tierras marginales y degradadas (Hussain *et al.*, 2018). La quinua es una especie vegetal halófila facultativa, siendo las variedades más tolerantes capaces de hacer frente a niveles de salinidad tan elevados como los presentes en el agua de mar (Adolf *et al.*, 2013).

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Rehabilitar suelos salinos-sódicos a través de la aplicación de yeso agrícola, estiércol de ovino y práctica hidrotécnica para el cultivo de la quinua var. Salcedo INIA, bajo condiciones de invernadero.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimar la eficiencia de recuperación a diferentes dosis de enmiendas y práctica hidrotécnica sobre las características fisicoquímicas del suelo salino-sódico.
- b) Evaluar la influencia de suelo salino-sódico sobre el rendimiento de la quinua.
- c) Analizar la relación beneficio/costo de la rehabilitación de suelos salinos-sódicos en el cultivo de quinua Var. Salcedo INIA.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SUELO

Es un ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas”. Es un ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad; trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa; dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Más importante que la definición es el concepto y su conocimiento como base de una prospera agricultura (Zavaleta, 1992).

Un suelo puede definirse como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos, bajo la influencia del clima y del medio biológico (Cepeda, 2007).

Es el medio natural en el que se desarrollan las plantas. Es un sistema dinámico y complejo en el que ocurren fenómenos físicos, químicos y biológicos de intensidad variable. Se extiende como un manto continuo sobre la superficie de la corteza terrestre. Ocupa un espacio definido por tres dimensiones: largo y ancho (área) y profundidad variable. Las sustancias naturales que lo componen está constituido por tres fases: fase solida: material mineral y materia orgánica, fase liquida: agua y fase gaseosa: aire (Noriega, 2011).

Thompson y Troeh (2012), definen al suelo como un producto natural formado a partir de la roca meteorizada por acción del clima y de los organismos vivos. El concepto de vida es esencial en ambas definiciones, en la primera el suelo soporta la vida y, en la segunda, la vida intervine en la formación del suelo.



2.2. DEGRADACIÓN DE SUELOS

La degradación es “el resultado de la interacción de factores naturales y antrópicos que activan y desencadenan procesos que generan cambios negativos en las propiedades del suelo”. Entre los tres tipos de degradación establecidos por este referente nacional (física, química y biológica), la salinización corresponde al segundo (IDEAM *et al.*, 2017).

2.2.1. Tipos de degradación de suelos

Según la FAO (2016b) son: erosión del suelo, compactación del suelo, acidificación del suelo, contaminación del suelo, salinización y sodificación del suelo, pérdida de la biodiversidad del suelo, desequilibrio de nutrientes, pérdida de carbono orgánico del suelo y sellado del suelo.

2.3. SUELOS AFECTADOS POR SALES

En términos químicos, una sal es la unión de un ácido y una base. Existen diferentes tipos de sales, clasificadas por grupos químicos según su afinidad o composición. En términos edáficos, se hace referencia a las sales que se encuentran en los suelos, generadas in situ, por condiciones naturales o que han llegado al suelo por diversos agentes (incluido el hombre) (IDEAM *et al.*, 2017).

2.3.1. Origen de sales en el suelo

Courel (2019), manifiesta que para hablar de origen de salinidad, es importante diferenciar dos grandes tipos de causas: causas de salinidad primarias o naturales y causas de salinidad secundarias o antrópicas (inducidas por el hombre).

2.3.1.1. Causas primarias o naturales

La principal causa natural de salinidad de los suelos es el ascenso capilar de napa freática con características salinas, siendo la fuente de salinidad la



meteorización del material original del suelo de naturaleza salina. En este caso el micro relieve juega un rol determinante en la presencia de mayor o menor cantidad de sales. Este fenómeno está asociado a regiones áridas, semiáridas y estepas, donde la precipitación es menor a la evapotranspiración potencial, generando un balance hídrico negativo. Sin embargo, también puede aparecer en lugares con prolongados períodos de sequía, como en zonas climáticas templadas y tropicales secas. Otra causa natural de salinización de los suelos es la cercanía al mar. Zonas costeras que normalmente son inundadas con agua de mar, reciben constantemente aporte de sales, lo cual lleva a estos suelos a la salinización (Courel, 2019).

2.3.1.2.Causas secundarias o antrópicas

Según Courel (2019), el origen de este tipo de salinización puede ser por: riego con aguas salinas, mal uso del riego (aunque las aguas sean de buena calidad) que provocan ascensos de capas freáticas salinas, uso de fertilizantes inadecuados (Jurinak y Wagenet, 1981), (algunos fertilizantes contienen altos niveles de sales que son potencialmente perjudiciales, tales como cloruro de potasio o sulfato de amonio) y otros insumos, especialmente en zonas de agricultura intensiva en las que el suelo es poco permeable y las posibilidades de lixiviación son limitadas, contaminación de suelos por uso de agua y subproductos industriales salinos (por ejemplo, riego con vinaza) y cambio brusco del uso de la tierra (por ejemplo, desmonte) que provoca revenimientos salinos desde profundidad hacia las capas superficiales del suelo.

Los fertilizantes y la materia orgánica en descomposición también sirven como fuentes adicionales de sal (Gupta y Abrol, 1990).

2.4. CLASIFICACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES

Richards *et al.* (1970), mencionan que la salinidad de suelos son aquellos que contienen concentraciones excesivas de sales solubles “suelo salino”, sodio intercambiable “suelos sódicos” o ambos “suelos salinos-sódicos”, que alteran desfavorablemente su productividad.

Tabla 1. Clasificación de suelos afectados por sales.

Suelos	pH	CE dS/cm	PSI (%)
Normal	6 a 7	< 2	< 15
Salino	< 8.5	≥ 4.0	< 15
Sódico	> 8.5	< 4.0	≥ 15
Salino - Sódico	> 8.5	≥ 4.0	≥ 15

Fuente: Richards *et al.* (1970)

2.4.1. Suelos normales

Son suelos que no poseen sales como para resultar perjudiciales para los cultivos siendo la CE inferior a 4 dS/m y PSI inferior a 15 % (Badia, 1992).

2.4.2. Suelos salinos

La salinización es la acumulación de sales más solubles que el yeso en la solución del suelo, suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de cultivos y otras plantas no especializadas, impacta la salud ambiental y el bienestar económico (Porta *et al.*, 2003; Rengasamy, 2006).

Richards *et al.* (1970), indican que el término “salino” se aplica a suelos cuya conductividad de extracto de saturación es mayor de 4 mmhos/cm, a 25°C, con un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15, generalmente el pH es menor de 8.5 (Tabla 1).

Las sales que predominan son SO_4^- y Cl^- de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} (Porta *et al.*, 2003; Sentís, 2014). Las sales están integradas por distintos cationes y aniones.

El catión que predomina universalmente es el sodio y entre los aniones, los cloruros y sulfatos (Lavado y Taboada, 2018).

Este suelo fue denominado por la escuela rusa como álcali blanco o *Solonchak*, denominación que persiste en el sistema clasificatorio de la FAO (2016a). Los suelos salinos se ubican en Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) en los órdenes Aridisoles, Vertisoles e Inceptisoles (Imbellone *et al.*, 2010).

2.4.2.1. Características principales de las sales más frecuentes en suelos

Tabla 2. Principales tipos de sales salinos y su toxicidad en las plantas

Clase	Presencia en los suelos salinos	Solubilidad	Toxicidad para las plantas
Cloruros			
Sódico	Común	Alta	Alta
Magnésico	Común	Alta	Muy alta
Cálcico	Raro	Alta	Mediana
Potásico	Baja	Alta	Baja
Sulfatos			
Sódico	Común	Muy variable	Mediana
Magnésico	Común	Media	Muy alta
Potásico	Baja	Alta	Baja
Carbonatos			
Sódico	En suelos sódicos	Media	Muy alta
Bicarbonatos			
Sódico	En suelos sódicos	Media	Muy alta

Fuente: Porta *et al.* (2003)

2.4.2.1.1. Cloruros

Los cloruros y los sulfatos son los responsables más frecuentes de la formación de suelos salinos, de las propiedades que éstos presentan y del estrés sobre las plantas. Los cloruros son sales muy solubles y con una toxicidad alta (Porta *et al.*, 2003).



El **cloruro sódico** es la sal más frecuente en suelos salinos. Las eflorescencias que se forman en la superficie de estos suelos durante la estación seca tienen un gusto salado. La eliminación de esta sal requiere el lavado en condiciones de buen drenaje. La presencia de NaCl afecta la solubilidad de otras sales que por efecto de ion común disminuye al aumentar la concentración de NaCl (Porta *et al.*, 2003).

La acumulación de **cloruro magnésico** se produce en suelos con una salinidad extremadamente alta. Es una sal altamente tóxica, muy perjudicial para las plantas. La presencia de cloruro magnésico da lugar a que la superficie del suelo se mantenga húmeda mucho tiempo después de la lluvia. Ello se debe a que esta es muy higroscópica y puede absorber agua del aire cuando la atmósfera no está totalmente seca, por ejemplo por la mañana. Las eflorescencias tienen un gusto amargo debido al magnesio. La mejora de los suelos con cloruro magnésico es difícil ya que por el efecto de dilución de valencia, el Mg^{++} tenderá a ocupar sedes de intercambio desplazando los iones monovalentes durante el lavado (Porta *et al.*, 2003).

El **cloruro cálcico** es una sal muy poco frecuente en los suelos. El yeso y el carbonato cálcico precipitan y el cloruro sódico formado puede perderse por lavado, con lo que la reacción progresa hacia la derecha. La formación de $CaCl_2$ se debe a una reacción análoga a la del cloruro magnésico (Porta *et al.*, 2003).

La presencia de esta sal es ocasional, se ha citado en suelos de Irak denominados sabakh (Buringh, 1960).

El **cloruro potásico** es una sal de propiedades análogas a las del cloruro sódico. Es muy poco frecuente en los suelos salinos debido a que el K^+ puede formar complejos de esfera interna en la superficie de algunas arcillas, donde



queda retenido. El potasio es un macronutriente por lo que además queda inmovilizado en la biomasa. Se han descrito salinizaciones por cloruro potásico en invernaderos en los que se había practicado un abonado excesivo. Como abono resulta tóxico para algunos cultivos sensibles al ion Cl^- , este es el caso del avellano, por ejemplo (Porta *et al.*, 2003).

2.4.2.1.2. Sulfatos

La significación de los distintos sulfatos en el comportamiento de las plantas varía considerablemente según el catión (Porta *et al.*, 2003).

El **sulfato sódico** es un componente frecuente en los suelos salinos, las eflorescencias tienen un sabor a jabón y salado (Porta *et al.*, 2003).

Su solubilidad se ve muy influenciada por la temperatura. A bajas temperaturas se disuelve lentamente, a razón de unos 50 g L^{-1} a 0°C (Kovda *et al.*, 1967).

De acuerdo con el comportamiento del Na_2SO_4 , durante el período cálido esta sal será transportada a la parte superior del suelo, al igual que otras sales, pudiendo dar lugar a eflorescencias blancas en superficie. Durante la estación húmeda, que en clima mediterráneo coincide en parte con el de bajas temperaturas, las restantes sales serán lavadas, lo que da lugar a una acumulación relativa de sulfato sódico en la parte superior de la zona de enraizamiento (Porta *et al.*, 2003).

El **sulfato magnésico** es un constituyente frecuente, muy soluble, altamente tóxico. Su lavado resulta dificultoso (Porta *et al.*, 2003)

El **sulfato potásico** no es responsable de salinizaciones en condiciones naturales, limitándose a crear problemas allí donde se realice un mal uso de los abonos, generalmente en invernaderos. En orden de toxicidad creciente el sulfato potásico es el menos tóxico: K_2SO_4 , Na_2SO_4 y MgSO_4 (Porta *et al.*, 2003).



2.4.2.1.3. Carbonato y bicarbonato sódico

La presencia de carbonato y bicarbonato sódico indica unas condiciones físico-químicas especiales, ligadas a procesos de alcalinización del suelo (ESP > 15%). Los suelos con Na_2CO_3 y NaHCO_3 tienen pH superiores a 9, pudiendo llegar a 12. Esta fuerte alcalinidad crea un medio inadecuado para el crecimiento de mayoría de plantas. La hidrólisis de carbonato sódico es el origen de valores de pH tan elevados (Porta *et al.*, 2003).

Los efectos desfavorables del Na_2CO_3 se dejan sentir a partir de concentraciones del orden de 0,05 a 0,1 % de esta sal. El bicarbonato sódico da lugar a unas condiciones menos alcalinas y, por consiguiente, menos tóxicas. En medios naturales que contengan yeso, el carbonato sódico tenderá a desaparecer (Porta *et al.*, 2003).

2.4.2.1.4. Nitratos

El **nitrato sódico** NaNO_3 es muy poco frecuente en los suelos salinos. Se ha citado en desiertos muy áridos de Chile, Perú, India, etc. Es una sal muy soluble y muy tóxica (Porta *et al.*, 2003).

2.4.2.1.5. Boratos

Este anión no es importante desde el punto de vista de la salinidad de los suelos en forma natural. El exceso de boro genera problemas de toxicidad muy graves en el normal desarrollo de los cultivos. El agua de riego es la fuente principal de boratos al suelo en muchas regiones del país (Alconada *et al.*, 2018).

2.4.3. Suelos sódicos

En estos suelos, el problema está dado por la presencia elevada de sodio absorbido al complejo coloidal arcillo-humus, donde el Na al mezclarse con agua es muy hidratable, aumenta de tamaño y fácilmente dispersa a las partículas del



suelo, compactándolos y al formarse el Na(OH), que es una sal caustica, quema a su paso a los organismos y materia orgánica dando lugar a que en la superficie de los suelos aparezcan manchas pequeñas e irregulares de colores oscuros o negruzcos, denominándoles suelos álcali negros o *Solonetz* “Rusia” (Herrera, 2010).

Los suelos sódicos también tienen muy poca materia orgánica y actividad biológica (Rengasamy, 2002). El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor de 15 %, la conductividad del extracto de saturación es menor de 4 mmhos/cm a 25°C y el pH generalmente varía entre 8.5 y 10 (Tabla 1) (Richards *et al.*, 1970).

2.4.4. Suelos salinos-sódicos

Los suelos salinos y sódicos contienen suficiente sodio intercambiable para interferir en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos; contienen, igualmente, cantidades perjudiciales de sales solubles (Fassbender y Bornemisza, 1994).

En estos suelos, al igual que los sódicos, el porcentaje de sodio en el complejo de cambio excede frecuentemente el 15 %, su conductividad es comúnmente superior que 4 dS (a 25°C), tienen niveles de pH inferiores a 8.5 y sus propiedades físicas son menos problemáticas que las de los suelos sódicos, esto se debe al efecto coagulante de las sales presentes. Su apariencia es similar a la de los suelos salinos (Fassbender y Bornemisza, 1994).

2.5. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO

2.5.1. Reacción del suelo (pH)

Tabla 3. Clasificación del pH del suelo

pH	Evaluación	Efectos esperables en el intervalo.
< 4,5	Extremadamente ácido	Condiciones muy desfavorables.
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácido	Posible toxicidad por Al ³⁺ y Mn ⁺⁺ .
5,1 - 5,5	Fuertemente ácido	Exceso: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Deficiencia: Ca, K, N, Mg, Mo, P, S. Suelos sin carbonato cálcico. Actividad bacteriana escasa.
5,6 - 6,0	Medianamente ácido	Intervalo adecuado para la mayoría de los cultivos.
6,1 - 6,5	Ligeramente ácido	Máxima disponibilidad de nutrientes.
6,6 - 7,3	Neutro	Mínimo efectos tóxicos. Por debajo de pH=7,0 el carbonato cálcico no es estable en el suelo.
7,4 - 7,8	Mediamente básico	Suelos generalmente con CaCO ₃ .
7,9 - 8,4	Básico	Disminuye la disponibilidad de P y B. Deficiencia creciente de: Co, Cu, Fe, Mn, Zn. Suelos calizos. Clorosis férrica debida al HCO ₃ ⁻ .
8,5 - 9,0	Ligeramente alcalino	Suelos con carbonatos, estos pH altos pueden deberse al MgCO ₃ , si no hay sodio intercambiable.
9,1 - 10,0	Alcalino	Presencia de carbonato sódico.
> 10,0	Fuertemente alcalino	Elevado porcentaje de sodio intercambiable (ESP>15%). Toxicidad: Na, B. Movilidad del P como Na ₂ PO ₄ . Actividad microbiana escasa. Micronutrientes pocos disponibles, excepto Mo.

Fuente: Adaptado de Richards *et al.* (1970) y Porta *et al.* (2003).

La reacción del suelo es el concepto que se refiere a las relaciones de acidez y basicidad del mismo; se trata de una propiedad que influye tanto en sus características químicas como físicas, además de tener considerable impacto sobre la vida microbiana de este medio (Fassbender y Bornemisza, 1994).



El pH es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto = básico o alcalino) del medio. El pH del medio de cultivo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Por tal motivo, los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo (Barbaro *et al.*, 2018). Davelouis (1992), manifiesta que la reacción del suelo se expresa como: $\text{pH} = \text{Log } 1/(\text{H}^+)$

2.5.2. Conductividad eléctrica (CE)

La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la CE. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor CE, mayor es la concentración de sales (Barbaro *et al.*, 2018; S.C. INTAGRI, 2017b).

Cuando se investiga la salinidad del suelo con relación al desarrollo de las plantas, se recomienda usar la conductividad del extracto e saturación como medio para evaluar salinidad (Richards *et al.*, 1970).

Tabla 4. Efectos de las sales comunes en función de la concentración de sales solubles

CE (mmhos cm ⁻¹)	Efecto sobre cosecha	Presión osmótica	Clasificación
0 – 2	Comúnmente despreciable	0 – 1	No salino
2 – 4	Cultivos muy sensibles afectados	1 – 2	Poco salino
4 – 8	Muchos cultivos afectados	2 – 4	Medianamente salino
8 – 16	Solamente cultivos tolerantes crecen bien	4 – 8	Muy salino
>16	Solamente crecen cultivos muy tolerantes	>8	Extremadamente salino

Fuente: Fassbender y Bornemisza (1994).

2.5.3. Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

El PSI está expresado con relación al total de cationes intercambiables en el complejo de intercambio del suelo (Richards *et al.*, 1970). Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$PSI = \frac{Na^+ * 100}{CIC}$$

Donde (Na⁺) es la concentración de iones de sodio intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), ambas expresados en cmol/kg o meq/100gr.

2.5.4. Cationes cambiabiles

Tabla 5. Clasificación del suelo con base en la saturación de cationes intercambiabiles

Cationes	% de saturación de bases en la fase de intercambio						
	Muy baja	Bajo	Mod. bajo	Mediano	Mod. alto	Alto	Muy alto
Potasio	< 1	1.1 - 2	2.1 - 3	3.1 - 4	4.1 - 6	6.1 - 10	>10.1
Calcio	< 25	26 - 40	41 - 60	61 - 75	76 - 80	81 - 85	>86
Magnesio	< 3	4 - 5	6 - 10	6 - 10	16 - 20	21 - 30	>30
Sodio	< 1	1 - 2	2.1 - 3	3.1 - 5	5.1 - 10	10.1 - 20	>20

Fuente: Castellanos (2000).

2.5.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Llamada también intercambio catiónico cuantitativo, y es definida como “la suma total de los cationes intercambiabiles que un suelo puede absorber” (Davelouis, 1992).

La CIC indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. La mayor influencia sobre la CIC viene de las arcillas del suelo y de la materia orgánica. La arcilla tiene capacidad de 10 - 150 cmol(+)/kg, mientras la materia orgánica tiene capacidad de 200 - 400 cmol(+)/kg, es decir la materia orgánica tiene más alta CIC. Los cmol(+)/kg = meq/100gr (S.C INTAGRI, 2019).

2.5.6. Densidad aparente (D_{ap}) del suelo

Representa la relación que existe entre el peso de suelo seco o peso de solidos (P_s) o también masa de solidos (M_s) y su volumen total (V_t) de una muestra de suelo no disturbado, cuyos valores se expresan generalmente en gr/cm³, ton/m³ o kg/dm³ (Vásquez *et al.*, 2017). El cálculo se efectúa mediante la relación:

$$D_{ap} = \frac{P_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_t}$$



2.6. REHABILITACIÓN DE SUELOS AFECTADOS POR SALES

Fundación Produce Nayarit (2010), menciona que para la rehabilitación de suelos salinos puede realizarse mediante: el lavado de sales, el reemplazo del sodio intercambiable por calcio intercambiable y el impedimento de una resalinización.

En zonas áridas, el lavado de las sales exige riego; en zonas semi-áridas, la precipitación es, a veces, suficiente; en regiones húmedas la lluvia lava, generalmente, las sales del suelo en un período razonable de tiempo. Durante el lavado se altera y modifica el equilibrio entre los iones adsorbidos y los iones presentes en la solución del suelo (Fundación Produce Nayarit, 2010).

Raramente el lavado de las sales se reduce al simple problema de reemplazar la solución salina del suelo haciendo pasar agua dulce a través de él. El agua que se mueve en sentido descendente se mezclará con la solución del suelo. Cuanto menor sea la capa de agua necesaria para una completa mezcla con la solución del suelo, mayor será la eficiencia de lavado (Fundación Produce Nayarit, 2010).

Esta eficiencia depende del contenido de humedad del suelo, de la velocidad de lavado, de la distribución por tamaños de los poros del suelo, de la disposición espacial de los poros de diferente tamaño y de la distribución vertical de la sal a lo largo del perfil (Fundación Produce Nayarit, 2010).

Para reemplazar los iones de sodio intercambiables por iones de calcio intercambiables, es necesario que en la solución del suelo haya suficientes iones de calcio y, además, que se elimine por lavado el producto del proceso de intercambio (Fundación Produce Nayarit, 2010).

En la rehabilitación de suelos con problemas de sales es indispensable contar con un buen drenaje para lixiviar y evacuar las sales del perfil del suelo. Existen diferentes prácticas para rehabilitar suelos con problemas de sales, las cuales pueden clasificarse en:



mecánicas, hidrotécnicas, químicas y biológicas. Generalmente estas prácticas no se utilizan en forma aislada, sino en forma combinada (Fundación Produce Nayarit, 2010).

2.6.1. Prácticas mecánicas

Fundación Produce Nayarit (2010), menciona que la práctica mecánica tiene como objetivo mejorar la estructura del suelo y corregir problemas de topografía en la parcela, mediante la utilización de maquinaria agrícola. Las prácticas mecánicas incluyen: barbecho para aflojar el suelo, rastreo para romper los terrones, subsoleo o cinceleo para romper los estratos compactos existentes y mejorar la capacidad interna del suelo. La profundidad recomendada para realizar el subsoleo es de 70 cm y de 50 cm para el cinceleo y empareje de la superficie del terreno, para mejorar la distribución del agua al momento del riego.

2.6.2. Prácticas hidrotécnicas

Tienen como objetivo lixiviar los excesos de sales solubles en el perfil del suelo. Consisten en la aplicación de sobre riegos para mantener un nivel de salinidad deseado en el suelo, de acuerdo a la tolerancia de los cultivos por establecer; o aplicación de lavados en parcelas improductivas con problemas de salinidad (Fundación Produce Nayarit, 2010).

El sobre riego o fracción de lavado, es la cantidad de agua que se adiciona a la lámina de riego neta del cultivo, para lixiviar los excesos de sales solubles hacia estratos inferiores del perfil del suelo. Para que la lámina de sobre riego cumpla con su función, debe aplicarse uniformemente en la parcela de cultivo y debe ser evacuada por el sistema de drenaje. La lámina de lavado es la cantidad de agua que se aplica en el suelo para remover el exceso de sales solubles que se han acumulado (Fundación Produce Nayarit, 2010)



Si se trata de recuperar suelos sódicos, en el proceso de lavado pueden usarse aguas salinas provenientes de drenaje agrícola, cuando presenten altos contenidos de sulfatos o cloruros de calcio y magnesio (Fundación Produce Nayarit, 2010).

2.6.3. Prácticas químicas

Las prácticas químicas consisten en la aplicación de sustancias denominadas mejoradores químicos que se utilizan para la recuperación de algunos suelos sódicos y salino-sódicos, con la finalidad de intercambiar sodio por calcio en la solución del suelo (Fundación Produce Nayarit, 2010).

Entre las sustancias más comunes utilizadas como mejoradores se tienen:

- a. **Sales solubles de calcio:** cloruro de calcio y el yeso.
- b. **Ácidos o sustancias formadoras de ácidos:** azufre, ácido sulfúrico, sulfato ferroso, sulfato de aluminio y el polisulfuro de calcio.
- c. **Sales de calcio de baja solubilidad:** calcita y dolomita.

La selección de un mejorador químico puede estar determinada por el tiempo que requiere su reacción en el suelo. Los ácidos reaccionan inmediatamente al entrar en contacto con el suelo; la velocidad de reacción de las sales solubles de calcio depende de la solubilidad de las mismas; es mucho más soluble el cloruro de calcio que el yeso, ya que este último tiene una solubilidad en agua pura de 30 me/l. En suelos salinos esta solubilidad varía con la composición de la solución y en suelos sódicos con un pH menor de 8.5 la solubilidad puede ser de 35 a 40 me/l (Fundación Produce Nayarit, 2010).

2.6.3.1. Yeso agrícola

El yeso agrícola es un mineral muy suave compuesto por sulfato de calcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que ha sido utilizado por los agricultores desde hace



mucho tiempo. Se aplicó ampliamente como fertilizante en Europa en el siglo XVIII, incluso los griegos y los romanos lo utilizaron. Más recientemente, el yeso se ha convertido en una enmienda del suelo que ha demostrado ser capaz de recuperar suelos sódicos degradados y mejorar varias propiedades físicas del suelo. El yeso puro está constituido por 79 % de sulfato de calcio y 21 % de agua. El sulfato de calcio contiene 23.3 % de calcio (Ca) y 18.6 % de azufre (S); es moderadamente soluble en agua (2.5 g/L), aproximadamente 200 veces mayor que la cal agrícola. Esta característica de solubilidad del yeso hace que el calcio sea más móvil que el calcio de la cal y le permite moverse con mayor facilidad a través del perfil del suelo (S.C. INTAGRI, 2015).

El yeso mejora las propiedades de suelos afectados con altos niveles de sodio, al reducir la densidad aparente, incrementar la permeabilidad e infiltración del suelo y reducir la formación de costras (S.C. INTAGRI, 2017a).

Es el más utilizado por su bajo costo pero presenta el inconveniente que es una sal de baja solubilidad en agua y requiere grandes cantidades para que sea efectivo (Fundación Produce Nayarit, 2010).

Tabla 6. Cantidades de yeso necesarias para sustituir las cantidades indicadas de sodio intercambiable

Sodio intercambiable meq/100 gr del suelo	Yeso: CaSO ₄ .2H ₂ O	
	ton/ha	ton/ha
	30 cm	15 cm
1	4.2	2.2
2	8.8	4.4
3	12.6	6.7
4	16.8	8.9
5	21.0	11.1
6	25.2	13.3
7	29.4	15.5
8	33.6	17.7
9	37.8	20.0
10	42.0	22.2

Fuente: Richards *et al.* (1970)

2.6.4. Prácticas biológicas

Las prácticas biológicas consisten en incorporar materia orgánica al suelo (estiércol, abonos verdes y rastrojo) y tienen como propósito mejorar la estructura del suelo y aumentar la conductividad hidráulica para acelerar el proceso de rehabilitación (Fundación Produce Nayarit, 2010).

2.6.4.1. Materia orgánica

El efecto de la materia orgánica en el mantenimiento de una buena estructura del suelo es bien conocido. La materia orgánica ejerce una profunda influencia en el comportamiento del agua en el suelo aumentando la capacidad de retención de la misma y facilitando su movimiento a través del perfil. En suelos salinos este efecto adquiere importancia fundamental (García, 2001).



Toda fuente de materia orgánica incorporada al suelo mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del mismo, por lo que se las considera como enmiendas (Herrera, 2010).

Los ácidos húmicos como los fúlvicos pueden ser considerados como polímeros coloidales formadores por unidades poliestructurales, que a su vez constituidas por monómeros monoestructurales (Navarro y Navarro, 2003).

Mamani (2011), manifiesta que la materia orgánica es importante por las siguientes razones: contiene la erosión del suelo, suministra nutrientes, tiene poder buffer que impide el cambio de pH, retiene agua, incrementa la CIC, protege la pérdida de nutrientes por lavado, disminuye la compactación almacena nutrientes de estación a estación, calienta el suelo en primavera, facilita especialmente la labranza del suelo cuando está demasiado húmedo, protege contra las plantas enfermas, da mayor aireación y mayor permeabilidad del suelo, protege de los metales pesados y sales tóxicos.

2.6.4.1.1. Abonos orgánicos

La incorporación al suelo de cualquier fuente de materia orgánica y de preferencia de origen vegetal a fin de incrementar el contenido de humus del suelo o en todo caso el de mantenerlo a nivel permisible. La principal fuente de materia orgánica y conocida desde hace mucho tiempo atrás es el estiércol. En la zona de Puno el más usado es el estiércol de ovino, seguido del vacuno y en menor proporción del camélido y animales menores (Herrera, 2010)

2.7. ADAPTACIÓN DE LAS PLANTAS A LA SALINIDAD

La existencia de plantas adaptadas a medios salinos puede servir para mejorar estos suelos. El cultivo de plantas de este tipo puede resultar efectivo para hacer disminuir la salinidad o la sodicidad (fitorremediación) (Ghaly, 2002; Qadir *et al.*, 2002).



Las adaptaciones de las plantas a la salinidad son de tres tipos distintos: tolerancia al estrés osmótico, exclusión de Na^+ o Cl^- y tolerancia del tejido al Na^+ o Cl^- acumulado (Rana Munns y Tester, 2008).

El reino vegetal contiene especies vegetales que poseen capacidades muy distintivas de tolerancia a la sal como resultado de la adaptación evolutiva a sus entornos. Sin embargo, los mecanismos celulares que contribuyen a la tolerancia a la sal parecen conservarse hasta cierto punto en las plantas, aunque algunas plantas muy tolerantes a la sal tienen estructuras únicas que pueden excretar sales activamente (Zhang y Shi, 2013).

Las soluciones agronómicas y de ingeniería se están agotando, por lo que para minimizar el impacto de las tierras salinas en la producción mundial de alimentos, el camino a seguir es generar una mayor tolerancia a la sal en los cultivos actuales e introducir nuevas especies para el cultivo (R. Munns y Gilliam, 2015).

2.7.1. Plantas halófitas o halófilas

Las halófitas se definen como plantas que se adaptan a vivir en suelos que contienen altas concentraciones de sal y se benefician de ella (Bose *et al.*, 2014), crecen en condiciones que pueden variar en temperaturas extremas (de congelación a muy caliente), disponibilidad de agua (sequía a anegamiento) y salinidad (de leve a casi saturación). Los halófitos también pueden enfrentar variaciones microambientales repentinas dentro de sus hábitats (Gul *et al.*, 2013).

Los halófitos desempeñarán un papel cada vez más importante como modelos para comprender la tolerancia a la sal de las plantas, como recursos genéticos que contribuyen al objetivo de mejorar la tolerancia a la sal en algunos cultivos, para la revegetación de tierras salinas y como “cultivos especializados” por derecho propio, para paisajes con suelos salinos (Flowers y Colmer, 2015).



Los halófitos son la flora de los suelos salinos. Se ajustan osmóticamente a la salinidad del suelo acumulando iones y secuestrando la gran mayoría de estos (generalmente Na^+ y Cl^-) en vacuolas, mientras que en el citoplasma se acumulan solutos orgánicos para prevenir efectos adversos sobre el metabolismo (Flowers *et al.*, 2015).

Sin embargo, a altas salinidades, se inhibe el crecimiento. Las posibles causas son: toxicidad para el metabolismo de Na^+ y / o Cl^- en el citoplasma; ajuste osmótico insuficiente que resulta en una fotosíntesis neta reducida debido al cierre estomático; turgencia reducida para el crecimiento de la expansión; relaciones hídricas celulares adversas si los iones se acumulan en el apoplasto (paredes celulares) de las hojas; desvío de la energía necesaria para mantener la homeostasis de los solutos; niveles subóptimos de K^+ (u otros nutrientes minerales) necesarios para mantener las actividades enzimáticas; posible daño de especies reactivas de oxígeno; o cambios en las concentraciones hormonales (Flowers *et al.*, 2015).

Debido a que las plantas son sistemas complejos, no existe una solución “mejor” u “óptima” y con respecto a la sal, los glucófitos y halófitos son solo los extremos de un continuo de respuestas y posibilidades (Cheeseman, 2013).

Las plantas halofíticas son de especial interés porque estas plantas están presentes de forma natural en ambientes caracterizados por un exceso de iones tóxicos, principalmente sodio y cloruro (Manousaki y Kalogerakis, 2011)

Según Porta *et al.* (2003), las halófilas pueden agruparse en:

- **Euhalófilas:** Son las más tolerantes a las sales y acumulan sales en sus tejidos.

- **Crinohalófilas:** Tienen glándulas excretoras que les permiten eliminar soluciones altamente salinas, por lo general en el envés de las hojas.
- **Glicohalófilas:** Tienen la capacidad de realizar una absorción selectiva frente a las sales.
- **Locahalófilas:** Localizan sales en estructuras especiales, con lo que controlan su distribución en los tejidos.

2.7.2. Efectos de la salinidad y sodicidad

Para una mejor comprensión se suelen individualizar tres efectos debidos a la salinidad y a la sodicidad, que en muchos casos actúan en simultáneo y pueden resultar difíciles de identificar de forma separada en la práctica (Porta *et al.*, 2003).

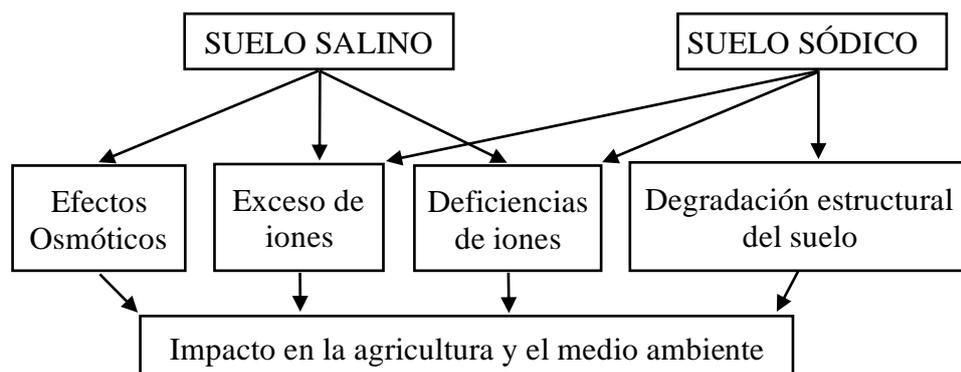


Figura 1. Efectos de la salinidad y la sodicidad sobre las propiedades de los suelos y los cultivos.

Fuente: Lavado (2010)

2.7.2.1. Efectos osmóticos

Las sales hacen disminuir el potencial osmótico del agua del suelo (en valor absoluto va siendo cada vez mayor). Se inhibe el crecimiento y puede haber paso de agua de la planta al suelo (plasmólisis) (Porta *et al.*, 2003).

Los efectos osmóticos llevaron a plantear la teoría de la disponibilidad de agua o de la sequía fisiológica “Shimper”. Postula que en condiciones de salinidad, a pesar de que el suelo contenga agua, la planta no es capaz de absorberla y, por consiguiente, el protoplasma de sus células tiene una baja

hidratación: la planta sufre estrés hídrico, se seca y acaba muriendo (Porta *et al.*, 2003).

La teoría del ajuste osmótico Bernstein (1961) supone que las plantas, al aumentar la presión osmótica del agua del suelo, se ven obligadas a realizar una adaptación osmótica en sus células para poder seguir absorbiendo agua. Este ajuste requiere un consumo de energía, que se hace a costa de un menor crecimiento. No obstante, una vez realizado el ajuste que se hace aumentando la concentración del jugo celular, la planta no consigue recuperar su crecimiento normal (Porta *et al.*, 2003). La salinidad del suelo inhibe el crecimiento de las raíces de la mayoría de las plantas de cultivo (Byrt *et al.*, 2018).

Las respuestas de las plantas al estrés hídrico y salino tienen mucho en común. La salinidad reduce la capacidad de las plantas para absorber agua, y esto provoca rápidamente reducciones en la tasa de crecimiento, junto con una serie de cambios metabólicos idénticos a los causados por el estrés hídrico (Rana Munns, 2002).

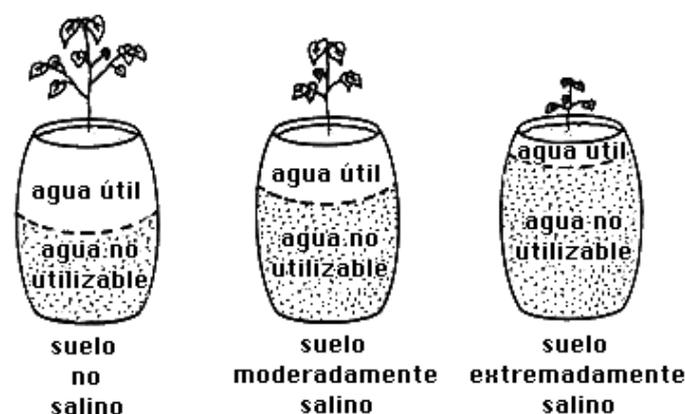


Figura 2. Relaciones hídricas

Fuente: Dorrnsoro (2004)

2.7.2.2. Efectos ion específico

Aumenta la concentración de algunos iones que afectan a la fisiología de las plantas, por resultar tóxicos o provocar desequilibrios en el metabolismo de nutrientes (Porta *et al.*, 2003).

En la corteza terrestre y en el agua de mar, el K^+ y el Na^+ son, con mucho, los cationes inorgánicos monovalentes más disponibles. Físico-químicamente, el K^+ y el Na^+ son muy similares, pero el K^+ es ampliamente utilizado por las plantas, mientras que el Na^+ puede alcanzar fácilmente niveles tóxicos (Benito *et al.*, 2014).

2.7.2.3. Efectos de sodio de cambio

La acción dispersante del sodio sobre las arcillas y solubilización de la materia orgánica afecta a las propiedades físicas del suelo, los agregados son pocos estables, y el medio será menos apto para el crecimiento de las raíces de las plantas. Se puede favorecer el sellado y encostramiento del suelo y la disminución de la conductividad hidráulica (Porta *et al.*, 2003).

En las arcillas alofónicas, que pueden ser dispersas en medio básico o ácido, es indudable que los agentes dispersantes usados pueden influir en las propiedades de los separados (ión Na^+) (Besoain, 1985).

2.7.3. Salinidad y germinación

En suelos con problemas por exceso de sales es frecuente que haya una mala nascencia. Los efectos dependerán de la planta y del nivel y tipo de salinidad. La germinación es un período crítico en el ciclo de la vida de la planta. La semilla, una vez dejada en el campo, empieza a embeber agua e inicia la germinación a costa de las reservas del endospermo, etapa heterotrófica; con el desarrollo de la plántula se acaban de consumir las reservas y se inicia la fotosíntesis, etapa de transición;



finalmente, se alcanza la plena nutrición a partir de la fotosíntesis, etapa autotrófica (Aceves, 1979). La salinidad, si es moderada, tendrá por efecto un retardo en la germinación, que será proporcional al potencial osmótico (Ayers, 1952).

Los cloruros son más tóxicos para la germinación que los sulfatos (Porta *et al.*, 2003)

2.7.4. Tolerancia de la quinua a la salinidad

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una halófito con alta resistencia a los estreses abióticos “sequía, salinidad, heladas” (Guarino *et al.*, 2020), puede adaptarse al aumento del estrés por salinidad cambiando los mecanismos de respuesta a la salinidad (Jaramillo *et al.*, 2020).

La quinua es un cultivo muy prometedor que se adapta a las zonas áridas afectadas por la salinidad, lo que la convierte en una alternativa real de aplicación actual en la agricultura y tiene un gran potencial como cultivo en el contexto del cambio climático (Rezzouk *et al.*, 2020b), con un inmenso potencial para contribuir a la seguridad alimentaria futura (Waqas *et al.*, 2019).

La quinua es un cultivo muy versátil, apto para las cálidas condiciones agronómicas del Medio Oriente, donde se cultiva bajo riego, con frecuencia utilizando agua salina (Rezzouk *et al.*, 2020a).

Ante las consecuencias del cambio climático, como el aumento de la sequía y la salinización de los suelos, la especie *Chenopodium quinoa* puede ser un buen cultivo alternativo por su alta tolerancias a estas condiciones y su alto valor nutricional (J. Miranda *et al.*, 2018).

Cari (1978), reporta que el rango de concentración salina letal para el crecimiento y desarrollo de las plantas de quinua, resulta ser a partir de 8.1 a 16



mmhos/cm. El mayor rendimiento de grano en las variedades Sajama y Kancolla, se obtuvo en el rango de salinidad de 2.1 a 4 mmhos/cm con 2.370 g/planta.

2.8. CULTIVO DE QUINUA

2.8.1. Centro de origen

La zona andina comprende uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo, dando origen a uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética en el mundo. La quinua, una planta andina, muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres en los alrededores del lago Titicaca del Perú y Bolivia (Mujica y Chura, 2012).

2.8.2. Posición taxonómica

Mujica y Chura (2012), mencionan que este cultivo fue descrito por primera vez por el científico Alemán Luis Christian Willdenow:

Reino: Vegetal

Sub reino: Phanerogamae

División: Angiospermae

Clase: Dicotyledoneae

Sub clase: Archychlamydeae

Orden: Centrospermales

Familia: Chenopodiaceae

Género: *Chenopodium*

Sección: Chenopodia

Sub sección: Cellulata

Especie: *Chenopodium quínoa* Willd.



2.8.3. Quinua variedad Salcedo INIA

Esta variedad fue lograda por selección masal de cruce dialélico de 7x7 de las variedades Real Boliviana x Sajama, en la estación experimental de Salcedo-INIA, Programa de Investigación de Cultivos Andinos - PICA (Mujica y Chura, 2012).

La quinua variedad Salcedo INIA tiene un tipo de crecimiento herbáceo, habito de crecimiento simple, ciclo vegetativo de 150 días para el altiplano, 135 días para valles interandinos y 120 días para costa, altura de planta de 1,48 a 1,70 m y rendimiento promedio de grano de 2,50 t/ha en zona alto andina y 6,50 t/ha en costa y valles interandinos (Apaza *et al.*, 2013)

2.8.3.1. Suelo y clima

Adaptación: Altiplano en la zona agroecológica circunlacustre y suni del altiplano entre los 3800 y 3950 msnm, con clima semi seco frio, precipitación pluvial de 400 a 560 mm, con temperaturas de 6° a 17°C, en suelos de textura franco y franco arenoso con pH de 5,5 a 7,8. Valles interandinos y costa de 640 a 1314 msnm, temperatura máxima de 24 a 25°C en suelos de textura arenosa (Apaza *et al.*, 2013).

Respecto a las temperaturas extremas altas, se ha observado que temperaturas por encima de los 38 °C produce aborto de flores y muerte de estimas y estambres, imposibilitando la formación de polen y por lo tanto impidiendo la formación de grano (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1990), caso observado en la zona de Canchones en Iquique, Chile y común en los invernaderos de la sierra que no cuentan con mecanismos de aireación (Mujica y Chura, 2012).

2.8.3.2. Fenología de la variedad

Tabla 7. Fases fenológicas de la quinua var. Salcedo INIA

Fase vegetativa						Fase reproductiva	
							
Germinación	Emergencia de plántula	Dos hojas verdaderas	Cuatro hojas verdaderas	Seis hojas verdaderas	Ramificación	Inicio de panoja y floración	Madurez fisiológica

Fuente: Apaza *et al.* (2013)

Según Apaza *et al.* (2013), los días de la fenología en el altiplano son:

- Días hasta la emergencia de plántulas a la superficie del suelo : 7 días.
- Días hasta el inicio de panoja : 57 días
- Días hasta la floración : 95 días
- Días hasta la maduración fisiológica : 150 días.

2.8.3.3. Reacción de factores bióticos y abióticos

Reacción a factores bióticos de la quinua var. Salcedo INIA, plagas: Ticona o Ticuchis (*Feltia experta*); (*Spodoptera* sp.) y la Kcona kcona (*Eurysacca quinoae* Povolny); (*Eurysacca melanocampta* Meyrick); tolerante al Mildiu (*Peronospora farinosa f.sp. chenopodii*) (Apaza *et al.*, 2013).

Reacción a factores abióticos de la quinua var. Salcedo INIA: moderadamente tolerante a la baja temperatura, sequía y humedad (Apaza *et al.*, 2013).

2.9. COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción, podemos definirlos como aquellos desembolsos y la valorización que se efectúan en la conducción y ejecución del cultivo, se refiere a la compra de insumos diversos, los cuales son necesarios para obtener una determinada producción de quinua, incluye la depreciación de herramientas, pago de leyes sociales,



gastos administrativos, uso de la tierra e imprevistos, los cuales están relacionados a la adquisición de bienes, transformación de materias primas e insumos o la prestación de servicios (Izquierdo *et al.*, 2001).

2.9.1. Costos directos

Son aquellos costos que intervienen directamente en el proceso productivo de la quinua, permitiendo la obtención del producto y forma parte del mismo producto obtenido, incluye el costo de la preparación de suelos, fertilización y abonamiento, siembra, labores culturales, controles fitosanitarios, cosecha, pago de jornales, pago de leyes sociales (Izquierdo *et al.*, 2001).

2.9.2. Costos indirectos

Son aquellos costos que intervienen indirectamente en el proceso de producción y son considerados aparte de los directos, entre ellos tenemos: los gastos de venta, gastos administrativos, gastos generales, imprevistos, gastos financieros, depreciación de herramientas, costo del uso de la tierra (Izquierdo *et al.*, 2001).

2.9.3. Rentabilidad

La rentabilidad de una empresa resulta de una operación de un producto, es comparar los resultados obtenidos del negocio en el plano económico con los esfuerzos efectuados en el mismo plano para la creación de la empresa, realización de la operación y venta del producto (Franquet, 1969).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

El presente trabajo de investigación se realizó en el invernadero de la Estación Experimental Agraria Illpa - Puno, del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Anexo Salcedo, área Laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos, ubicado en el distrito, provincia y departamento de Puno.

Geográficamente se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas:

- Latitud Sur : 15°52'52"
- Longitud Oeste : 70°00'08"
- Altitud : 3,820 m.s.n.m.



Figura 3. Ubicación de la estación experimental Illpa INIA, anexo Salcedo Puno.
Fuente: Adaptado de Google Earth.

3.2. CLIMA

La investigación se realizó en condiciones de invernadero, donde las temperaturas promedios oscilaron entre una máxima de 35.10°C, una media de 21.82°C y una mínima de 8.54°C; las temperaturas mensuales se muestran en la Tabla 8 y Figura 4.

Tabla 8. Temperaturas promedios máximas, mínimas y medias en invernadero durante el experimento (julio 2019 a enero 2020)

Meses	Temperatura °C		
	Máxima	Mínima	Media
Julio	34.8	8.2	21.50
Agosto	34.8	8.6	21.70
Setiembre	35.2	8.8	22.00
Octubre	35.4	8.5	21.95
Noviembre	35.5	8.8	22.15
Diciembre	35.1	8.3	21.70
Enero	34.9	8.6	21.75
TOTAL	245.7	59.8	152.75
Promedio	35.1	8.54	21.82

Fuente: Laboratorio de análisis de agua y suelo INIA-Puno.

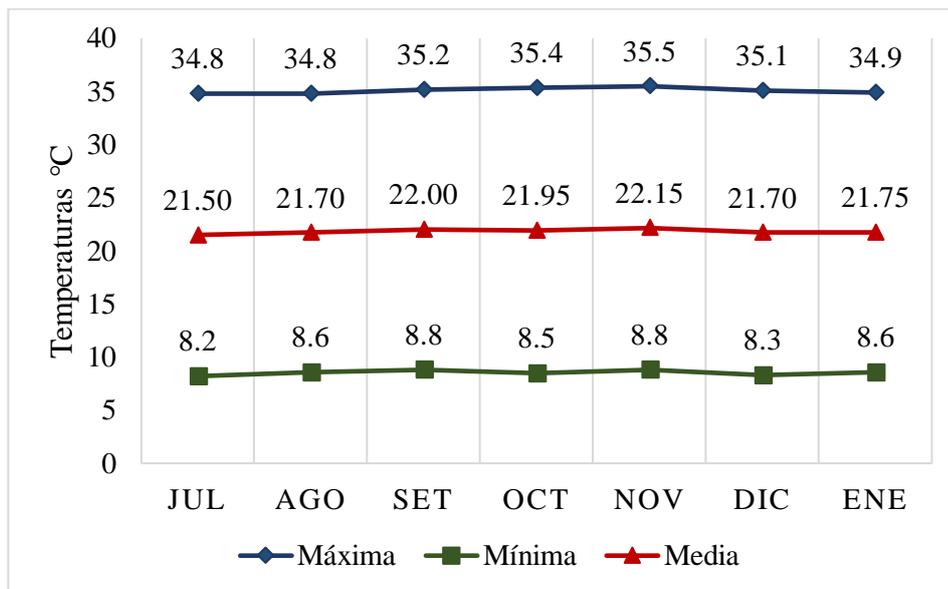


Figura 4. Temperaturas promedios máximas, mínimas y medias

La construcción del invernadero en su totalidad fue cubierta a base de material de plástico polietileno debido a su bajo costo, por dentro el techo fue construido a base de botellas de descartable reciclada. Las medidas del invernadero fueron: 6 m de largo y 4 m de ancho, con un área total de 24 m², la altura mayor de 2.40 m y altura menor de 2.20 m; con una orientación de Sur a Norte.



3.3. SUELOS

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron suelos salinos-sódicos de dos localidades, suelos provenientes de la microcuenca del Rio Salado (distrito de Juli, provincia de Chucuito y departamento de Puno) y de la subcuenca Challamayo (distrito de Tiquillaca, provincia y departamento de Puno). La georreferenciación de los puntos de muestreo con Google Earth Pro para ambas localidades se muestra a continuación:

Coordenadas de la microcuenca del Rio Salado - Juli:

- Coordenadas UTM : 447307.00 E 8205538.00 S
- Altitud media : 3835.00 m.s.n.m.
- Zona : Rural
- Región : Sierra

Coordenadas del subcuenca Challamayo - Tiquillaca:

- Coordenadas UTM : 373312.00 E 8250956.00 S
- Altitud media : 3865.00 m.s.n.m.
- Zona : Rural
- Región : Sierra

El muestreo realizado en las dos localidades fue la capa arable de suelo, se extrajeron 20 sub-muestras de 16 kg al azar de sitios representativos, a una profundidad de 0 a 25 cm utilizando el barreno y pala de material inoxidable, las muestras fueron secadas al ambiente libre, homogenizadas y luego tamizadas, utilizando el tamiz N° 10 (2 mm de diámetro) de lo cual se extrajo 1 kg de muestra de suelo para el análisis inicial. El análisis físico-químico inicial de los suelos salinos-sódicos de las dos localidades se muestra en las siguientes Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Análisis físico-químico del suelo proveniente de la microcuenca del Rio Salado (distrito de Juli).

Propiedades	Cantidad	Método	Interpretación
Arena	37%	Hidrómetro	-
Arcilla	9%	Hidrómetro	-
Limo	54%	Hidrómetro	-
Clase textural	FL	Triangulo textural	Franco Limoso
CO ₃ Ca	3,34 %	Gasó-Volumétrico	-
Materia orgánica	1,60 %	Calcinación	Bajo
Nitrógeno total	0,06 %	Micro-Kjeldahl	Bajo
pH	8,97	Potenciómetro	Fuertemente alcalino
C.E.	11,07 mmhos/cm	Conductímetro	Fuertemente salino
P ₂ O ₅ disponible	7,46 ppm	Olsen modificado	Medio
K ₂ O disponible	19,54 ppm	Fotometría de llama	Bajo
Cationes cambiabiles			
Ca ⁺⁺	11,26 meq/100g	EDTA	Alto
Mg ⁺⁺	4,78 meq/100g	EDTA	Alto
Na ⁺	13,60 meq/100g	Fotometría de llama	Alto
K ⁺	0,20 meq/100g	Fotometría de llama	Medio
CIC	30,00 meq/100g	Acetato de amonio	Alto
Suma cationes	29,84	-	Alto
Solubles – meq/lt del extracto de pasta de saturación			
C.E.	13,40 mmhos/cm	Conductímetro	Fuertemente salino
Cationes			
Na ⁺	10,56 meq/lt	Fotometría de llama	-
K ⁺	3,40 meq/lt	Fotometría de llama	-
Ca ⁺⁺	24,50 meq/lt	EDTA	-
Mg ⁺⁺	18,90 meq/lt	EDTA	-
Aniones			
Cl ⁻	376,58 meq/lt	ASTDMD512.NTP339.088	-
SO ₄ ⁼	1,79 meq/lt	STMD516; NTP339.088	-
NO ₃ ⁻	0,90 meq/lt	Micro-Kjeldahl	-
CO ₃ ⁼	0,00 meq/lt	Ácido sulfúrico a 0.10N	-
HCO ₃ ⁻	0,12 meq/lt	Ácido sulfúrico a 0.10N	-

Fuente: Laboratorio de análisis de agua y suelo INIA-Puno.

Tabla 10. Análisis físico-químico del suelo proveniente de la subcuenca Challamayo (distrito de Tiquillaca).

Propiedades	Cantidad	Método	Interpretación
Arena	25%	Hidrómetro	-
Arcilla	7%	Hidrómetro	-
Limo	68%	Hidrómetro	-
Clase textural	FL	Triangulo textural	Franco Limoso
CO ₃ Ca	2,02 %	Gasó-Volumétrico	-
Materia orgánica	1,48 %	Calcinación	Bajo
Nitrógeno total	0,05 %	Micro-Kjeldahl	Bajo
pH	8,75	Potenciómetro	Fuertemente alcalino
C.E.	12,13 mmhos/cm	Conductímetro	Fuertemente salino
P ₂ O ₅ disponible	6,60 ppm	Olsen modificado	Bajo
K ₂ O disponible	3557,91 ppm	Fotometría de llama	Alto
Cationes cambiables			
Ca ⁺⁺	4,50 meq/100g	EDTA	Medio
Mg ⁺⁺	1,64 meq/100g	EDTA	Medio
Na ⁺	32,60 meq/100g	Fotometría de llama	Alto
K ⁺	2,50 meq/100g	Fotometría de llama	Alto
CIC	39,80 meq/100g	Acetato de amonio	Alto
Suma cationes	41,24	-	Alto
Solubles – meq/lit del extracto de pasta de saturación			
C.E.	14,38 mmhos/cm	Conductímetro	Fuertemente salino
Cationes			
Na ⁺	11,16 meq/lit	Fotometría de llama	-
K ⁺	15,50 meq/lit	Fotometría de llama	-
Ca ⁺⁺	38,00 meq/lit	EDTA	-
Mg ⁺⁺	13,74 meq/lit	EDTA	-
Aniones			
Cl ⁻	416,58 meq/lit	ASTDMD512.NTP339.088	-
SO ₄ ⁼	1,79 meq/lit	STMD516; NTP339.088	-
NO ₃ ⁻	1,30 meq/lit	Micro-Kjeldahl	-
CO ₃ ⁼	0,00 meq/lit	Ácido sulfúrico a 0.10N	-
HCO ₃ ⁻	0,18 meq/lit	Ácido sulfúrico a 0.10N	-

Fuente: Laboratorio de análisis de agua y suelo INIA-Puno.

Según Richards *et al.* (1970), para poder clasificar suelos afectados por sales se deben de tomar los siguientes parámetros (pH, CE y PSI), Tabla 11.

Tabla 11. Clasificación de suelos afectados por sales en estudio

Localidades	pH	CE dS/cm	PSI	Clasificación
Juli	8,97	13,40	45,58	Suelo salino-sódico
Tiquillaca	8,75	14,38	79,05	Suelo salino-sódico

Fuente: Laboratorio de análisis de agua y suelo INIA-Puno.

3.4. MATERIALES, EQUIPOS Y FACTORES EN ESTUDIO

3.4.1. Fase de campo

3.4.1.1. Muestro de suelos

Los materiales usados para el muestreo de suelos en estudio de las dos localidades fueron:

- Barreno inoxidable
- Palas
- Picos
- Sacos
- Flexómetros
- Cubetas
- Logística: Camioneta

3.4.2. Fase de invernadero

3.4.2.1. Suelos salinos-sódicos

Se utilizaron suelos salinos-sódicos de dos localidades, suelos provenientes de:

- La microcuenca del Rio Salado (distrito de Juli) Puno.
- Subcuenca Challamayo (distrito de Tiquillaca) Puno.

3.4.2.2. Enmiendas orgánica e inorgánica

Se utilizaron dos enmiendas para la rehabilitación de los suelos salinos-sódicos.

- **Enmienda inorgánica:** Yeso agrícola (sulfato de calcio dihidratado $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
- **Enmienda orgánica:** Estiércol de ovino semidescompuesto.



El yeso agrícola y estiércol de ovino utilizados en el experimento, son los que disponían el Laboratorio de Análisis de Agua y Suelo del INIA anexo Salcedo Puno para realizar sus experimentos en campo, el yeso agrícola fue comprado y el estiércol de ovino fue facilitado por los productores de las comunidades del distrito de Mañazo-Puno. El análisis químico de las enmiendas se muestra en las Figuras 33 y 34.

3.4.2.3. Lavado de suelos salinos-sódicos

Se empleó aguas de buena calidad:

- Agua de lluvia.

3.4.2.4. Variedad de quinua

Se utilizó una variedad comercial, la semilla fue adquirida del Instituto Nacional de Innovación Agraria “INIA”, anexo Salcedo-Puno.

- Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) var. Salcedo INIA (básica).

3.4.2.5. Fertilizantes complementarios

Se usó fertilizantes sintéticos granulados dependiendo al análisis de suelo y demanda nutricional del cultivo de quinua.

- Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ con 46% de N.
- Fosfato diamónico $\text{HPO}_4(\text{NH}_4)_2$ con 18% de N y 46% de P_2O_5 .
- Cloruro de potasio KCl con 60% de K_2O .

3.4.2.6. Materiales del experimento

Los materiales y equipos utilizados en la conducción del trabajo de investigación dentro del invernadero fueron:

- 100 Bolsas de polietileno negras
- Letreros de codificación
- Micro barreno de acero inoxidable
- Libreta de apuntes
- Termohigrómetro digital HTC-2
- Espátulas



- Marcador indeleble
- Agua de lluvia, destilada y desionizada
- Tachos para recibir agua de lluvia
- Cámara fotográfica
- Flexómetro
- Vasos precipitados
- Lápiz
- Rafia
- Bandejas
- Hoz

3.4.3. Fase de laboratorio

3.4.3.1. Equipos

Para los análisis fisicoquímicos de la salinidad de los suelos dentro del laboratorio se utilizaron los siguientes equipos:

- pH metro
- Fotómetro de llama
- Agitadora Bouyoucos
- Gasómetro
- Bureta volumétrica y milimétrica
- Balanza analítica
- Destilador de agua
- Desionizador de agua
- Conductímetro
- Espectrofotómetro
- Agitadora Mecánica
- Bomba del vacío
- Micro Kjeldahl
- Incubadora
- Estufa
- Laptop

3.4.3.2. Materiales

Para el procedimiento de preparación y análisis de las muestras de los suelos se utilizaron los siguientes materiales del laboratorio:

- Probetas
- Vasos Erlenmeyer 250 ml
- Papel filtro
- Aleación de barda
- Pipeta gravimétrica y volumétrica
- Vasos de plástico
- Vasos precipitados
- Balón de vidrio
- Embudos de banner
- Espátulas



- Embudos
- Envases para potasio, fosforo y pH
- Agitadora manual
- Pissetas
- Bandejas
- Bolsas de polietileno
- Cubitos de 10 ml
- Pinzas
- Densímetro y termómetro
- Placas Petri
- Juego de tamices
- Mortero de porcelana

3.4.3.3. Reactivos

Para el procedimiento del análisis de las muestras de los suelos se utilizaron los siguientes reactivos del laboratorio:

- Agua destilada
- Acetato de amonio 1N pH 7
- Carbonato de amonio
- Ácido clorhídrico
- Ero cromo negro
- Etilendiaminotetracético (EDTA)
- Cloruro de bario
- Anaranjado de metilo
- Ácido sulfúrico 0.01N y 0.05N
- Ácido bórico
- Dispersante
- Floculante
- Cloruro de potasio a 1N
- Tampón
- Hidróxido de sodio 1N
- Muraxide
- Fenolftaleína
- Cromato de potasio
- Nitrato de plata
- Verde broma crisol

3.4.4. Distribución de Tratamientos

Se ha situado 10 tratamientos, considerando el T1 como testigo absoluto (sin enmienda), los cuales fueron distribuidos al azar. Las dosis de enmiendas a incorporar en macetas y por hectárea se detallan en la Tabla 12.

Tabla 12. Dosis de enmiendas por tratamientos para Juli y Tiquillaca

Trat	Enmiendas orgánicas e inorgánicas	Juli	Tiquillaca	ton/ha
		gr/maceta	gr/maceta	
T1	Testigo Absoluto	0.0	0.0	0.0
T2	Yeso agrícola “Dosis baja”	33.0	40.0	20.0
T3	Yeso agrícola “Dosis media”	67.0	80.0	40.0
T4	Yesos agrícola “Dosis alta”	100.0	120.0	60.0
T5	Estiércol de ovino “Dosis baja”	33.0	40.0	20.0
T6	Estiércol de ovino “Dosis media”	67.0	80.0	40.0
T7	Estiércol de ovino “Dosis alta”	100.0	120.0	60.0
T8	Combinación de yeso agrícola más estiércol de ovino “Dosis baja”	17.0+17.0	20.0+20.0	10.0+10.0
T9	Combinación de yeso agrícola con estiércol de ovino “Dosis media”	33.0+33.0	40.0+40.0	20.0+20.0
T10	Combinación de yeso agrícola con estiércol de ovino “Dosis alta”	50.0+50.0	60.0+60.0	30.0+30.0

Las diferencias de dosis de enmiendas por tratamientos en suelos de Juli y Tiquillaca son debido a la variación de la densidad aparente (D_{ap}) de los suelos, la D_{ap} de los suelos de Juli y Tiquillaca fueron de 1.44 y 1.20 gr/cm³ respectivamente (Tabla12). La dosis de yeso agrícola se calculó en función al porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo de Juli; y las dosis de estiércol de ovino se tomaron como referencia a Liu *et al.* (2010), quienes enmendaron con 20, 40 y 60 ton/ha de estiércol de ovino en suelos salinos-sódicos en noreste de China.

3.4.5. Diseño experimental

Se adoptó el Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial 2x10, tomando como factor el lugar de origen del suelo, enmiendas con 10 tratamientos y 5 repeticiones para cada caso, haciendo un total de 100 unidades experimentales. El modelo lineal general está representado por:



$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

- y_{ijk} = es la variable respuesta :
- μ = es la media general.
- A_i = Es el efecto debido a la i ésimo nivel del factor A.
- B_j = Es el efecto debido a la j ésimo nivel del factor B.
- $(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i ésimo nivel del factor A en el J ésimo nivel del factor B.
- e_{ijk} = Es el error experimental.

Se realizó la comparación múltiple de medias de Tukey al 95% de confianza; para interpretar el efecto de la interacción se realizó la prueba de efectos simples o efectos divididos para cada caso.

3.4.5.1. Eficiencias

Para obtener las eficiencias para cada variable de respuesta, se realizaron las diferencias entre los resultados del análisis inicial, con los resultados de análisis final de los suelos salinos-sódicos en estudio. Las comparaciones múltiples de medias de las eficiencias se procesaron en el software SAS 9.4 (System Analyzer Statistic).

3.4.5.2. Prueba de normalidad y homogeneidad de varianzas

Para cumplir los supuestos o principios de normalidad (Bartlett) y homogeneidad de la varianza (Kolmogorov-Smirnov) recomendado por Montgomery (2017), los datos de las eficiencias del porcentaje de sodio (Na^+) y calcio (Ca^{++}) intercambiable se transformaron a datos angulares (arco-seno \sqrt{x})



por estar expresados en porcentajes. Los datos para las eficiencias de la conductividad eléctrica extracto de pasta saturada (CE_{ext}), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente (D_{ap}) del suelo se transformaron a raíz cuadrada. Los datos de eficiencias de la reacción del suelo (pH) y rendimiento (Rdto) de grano de quinua variedad Salcedo INIA se efectuaron en un análisis de varianza no paramétrica Kruskal-Wallis (ajuste Bonferroni), debido a que no cumplen los supuestos (Shah y Madden, 2004).

3.4.6. Características del experimento

El experimento se realizó en macetas de bolsas cilíndricas de polietileno negra, las longitudes, cantidades de macetas y plantas se detallan a continuación:

- Altura del maceta : 35.00 cm.
- Radio del maceta : 12.50 cm.
- Diámetro del maceta : 25.00 cm.
- Volumen del maceta : 17,180.58 cm³
- Peso promedio de suelo/maceta : 6,000.00 gr
- Tipos de suelos en estudio : 02
- Total de macetas/localidad : 50
- Total de las macetas : 100
- Plantas/maceta : 03
- Total de plantas/100 macetas : 300

3.4.7. Conducción del experimento

3.4.7.1. Incorporación de las enmiendas orgánicas e inorgánicas

Después de haber realizado el secado del suelo salino-sódico al ambiente libre y tamizado, se procedió a pesar el suelo (6 kilos/maceta), en ello se hizo la



incorporación y mezclado con las diferentes dosis de enmiendas (yeso agrícola y estiércol de ovino), para cada uno de los tratamientos y repeticiones.

3.4.7.2. Práctica hidrotécnica de suelo salino-sódico y la calidad del agua

Una vez mezclado las enmiendas, se dejó en reposo las macetas dentro del invernadero por un periodo de tiempo de 02 meses y medio (enero, febrero y marzo del 2019), la humedad del suelo se mantuvo a capacidad de campo.

El proceso del lavado de sales solubles fueron de 20 días (08 a 28 de marzo del 2019), para esto se utilizó agua de lluvia con pH de 7.01 y una conductividad eléctrica de 0.03 mmhos/cm. El lavado se realizó hasta conseguir que los suelos tengan una conductividad eléctrica promedio de 2 a 3 mmhos/cm. La cantidad de agua de lluvia utilizada en el lavado para suelo salino-sódico de Juli fue de 3.30 lt/maceta y para suelo salino-sódico de Tiquillaca fue de 5.30 lt/maceta; la diferencia de lavado se debe a las diferentes concentraciones de sales solubles y proporciones de arena de la textura en ambos suelos.

3.4.7.3. Siembra y fertilización

La siembra de la quinua var. Salcedo INIA se realizó el día 28 de junio del 2019, se depositó 10 semillas por maceta dispuestas en círculo a una profundidad aproximada de un centímetro; posteriormente se dejó tres plantas representativas por maceta.

La fertilización complementaria que se aplicó fue en forma fraccionada, la primera mitad junto con la siembra y la otra mitad se aplicó cuando las plantas tenían una altura de 30 centímetros, lo cual ocurrió a los 60 días, y estos se adiciono por igual a todos los tratamientos, aplicándose la formulación alta de 120-80-60 de N - P₂O₅ - K₂O respectivamente, dosis recomendado por Tapia (2000), Tabla 13.

Tabla 13. Dosis de fertilización complementaria

Fuente	(kg/ha)	Juli (gr/maceta)	Tiquillaca (gr/maceta)
Urea	198.0	0.50	0.50
Fosfato diamónico	174.0	0.40	0.40
Cloruro de potasio	100.0	0.30	0.00

3.4.7.4. Riego

Los riegos se efectuaron en forma constante, para ello se utilizó agua de buena calidad (agua desionizada y destilada), de tal forma que se mantuvo la humedad de los suelos a su respectiva capacidad de campo.

3.4.7.5.Cosecha

La quinua variedad Salcedo INIA se cosechó el día 05 de febrero del 2020, a los 223 días de la siembra, las panojas recolectadas por cada tratamiento se secaron en bandejas al ambiente libre.

3.4.7.6.Trilla

La trilla se efectuó a mano, posteriormente los granos fueron pesados en una balanza analítica para obtener el rendimiento en grano (gramos/planta). Para la conversión a kg/ha se consideró 14 plantas por metro lineal, distanciamiento de surcos de 0.40 m, haciendo un total de 35000 plantas por hectárea.

3.4.7.7.Muestreo final de los suelos en estudio

Después de la cosecha de la quinua, se realizó el muestreo del suelo para cada tratamiento de las repeticiones II y IV respectivamente, a una profundidad de 0 a 20 cm, para ello se utilizó un micro barreno y bandejas para las muestras, por último los suelos muestreados fueron efectuados en el laboratorio de análisis de agua y suelo INIA-Puno (análisis de salinidad).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFICIENCIAS DE RECUPERACIÓN A DIFERENTES DOSIS DE ENMIENDAS Y PRÁCTICA HIDROTÉCNICA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS SUELOS SALINOS-SÓDICOS.

Tabla 14. Análisis de varianza para las características fisicoquímicas del suelo

Factor	pH	CE _{ext} (mmhos/cm)	Na ⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	CIC (meq/100gr)	D _{ap} (gr/cm ³)
Lugar	**	ns	**	**	**	ns
Enmiendas	**	ns	**	**	**	**
Lugar*Enmiendas	ns	ns	**	**	**	ns
CV (%)	-	3.45	2.21	5.05	6.67	1.36
Media general	-0.93	-10.19	-16.06	14.47	-4.77	-0.06

** : Altamente significativo; ns: no significativo; -: eficiencia negativa

En la Tabla 14 se presentan los resultados de análisis de varianza (ANVA) para las características fisicoquímicas de los suelos salinos-sódicos:

Para el **factor lugar** las eficiencias de pH, Na⁺, Ca⁺⁺ y CIC existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$), lo que significa que los suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron eficiencias diferentes, debido a que las propiedades químicas evaluados en ambos suelos no son iguales; sin embargo, para las eficiencias de la CE_{ext} y D_{ap} no existieron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$), es decir que las eficiencias en ambos suelos fueron similares estadísticamente.

Para el **factor enmienda** las eficiencias de pH, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$), lo que demuestra que al menos uno de los enmiendas influyó sobre estas propiedades fisicoquímicas evaluados, además fue diferente a comparación de los otros tratamientos; en cambio, para la eficiencia de la



CE_{ext} no existió diferencia estadística significativa ($p \geq 0.05$), lo que da a entender que la incorporación de enmiendas no influyeron sobre la CE_{ext} del suelo y estadísticamente las eficiencias fueron similares en todos los tratamientos.

Para el **factor interacción (lugar*enmiendas)** las eficiencias del Na^+ , Ca^{++} y CIC existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$), lo que significa que las enmiendas tuvieron reacciones químicas y comportamientos diferentes sobre estas propiedades químicas evaluados en ambos suelos; por otra parte, para las eficiencias de pH, CE_{ext} y D_{ap} no existieron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$), lo que demuestra que las mismas enmiendas en ambos suelos tuvieron reacciones químicas y comportamientos similares estadísticamente.

Los coeficientes de variación (CV) transformados para las eficiencias de la CE_{ext} , Na^+ , Ca^{++} , CIC y D_{ap} fueron de 3.45, 2.21, 5.05, 6.67 y 1.36 % respectivamente, indicando que los variables evaluados son datos estadísticamente confiables ($CV < 10\%$); el coeficiente de variación para el pH no se muestra debido a que los datos se trabajaron en un análisis de varianza no paramétrica (Kruskal-Wallis). Además, se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias generales de Tukey para cada variable fisicoquímico evaluado en los suelos.

Las eficiencias de las características fisicoquímicas analizadas en los suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca fueron las diferencias entre el dato inicial con el dato final (Tablas 15, 16 y 17). Además, los resultados de datos del suelo inicial, lavado y final se muestran en el anexo (Tablas 38, 39 y 40).

Tabla 15. Comparación múltiple de medias de Tukey para efectos principales de las eficiencias de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Factor	n	pH	n	CE _{ext} (mmhos/cm)	Na ⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	CIC (meq/100gr)	D _{ap} (gr/cm ³)
Lugar								
Juli	50	-1.09±0.05 a	20	-10.11±0.13 a	-6.92±3.15 b	7.01±3.21 b	-2.67±0.41 a	-0.07±0.01 a
Tiquillaca	50	-0.76±0.04 b	20	-10.27±0.19 a	-25.20±3.79 a	21.94±4.01 a	-6.88±1.34 b	-0.05±0.01 a
Enmiendas								
T1	10	-0.55±0.14 b	4	-10.42±0.13 a	3.21±2.72 e	-4.74±2.68 f	-3.98±0.96 ab	-0.02±0.02 c
T2	10	-1.11±0.09 a	4	-10.04±0.44 a	-16.19±3.44 cd	16.99±2.09 cd	-1.37±0.31 a	-0.03±0.02 bc
T3	10	-1.12±0.07 a	4	-9.80±0.33 a	-36.36±6.84 a	35.94±6.32 a	-3.62±0.96 ab	-0.04±0.04 bc
T4	10	-1.10±0.09 a	4	-9.50±0.28 a	-40.38±6.65 a	40.00±5.96 a	-1.53±0.93 a	-0.02±0.01 c
T5	10	-0.66±0.09 b	4	-10.60±0.21 a	-2.31±5.51 e	-0.50±3.89 e	-9.80±4.30 d	-0.06±0.03 abc
T6	10	-0.70±0.09 b	4	-10.49±0.21 a	-0.82±6.15 e	-1.76±4.36 ef	-7.64±4.68 cd	-0.10±0.03 ab
T7	10	-0.72±0.07 b	4	-10.43±0.55 a	-2.22±6.33 e	-0.68±4.21 e	-6.53±3.37 bc	-0.13±0.02 a
T8	10	-1.10±0.10 a	4	-10.50±0.54 a	-14.22±3.42 d	11.77±2.80 d	-5.79±0.50 ab	-0.04±0.04 bc
T9	10	-1.08±0.09 a	4	-10.02±0.33 a	-22.61±5.34b c	20.45±5.11 bc	-4.03±0.77 ab	-0.09±0.02 ab
T10	10	-1.12±0.07 a	4	-10.11±0.43 a	-28.67±7.66 b	27.25±6.71 b	-3.45±0.84 ab	-0.08±0.02 abc

T1: Testigo absoluto, **T2:** yeso agrícola 20 ton/ha, **T3:** yeso agrícola 40 ton/ha, **T4:** yeso agrícola 60 ton/ha, **T5:** estiércol de ovino 20 ton/ha, **T6:** estiércol de ovino 40 ton/ha, **T7:** estiércol de ovino 60 ton/ha, **T8:** yeso agrícola 10 ton/ha + estiércol de ovino 10 ton/ha, **T9:** yeso agrícola 20 ton/ha + estiércol de ovino 20 ton/ha, **T10:** yeso agrícola 30 ton/ha + estiércol de ovino 30 ton/ha.

Tabla 16. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de enmiendas dentro de lugar para las eficiencias de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Factor	n	pH	n	CE_{ext} (mmhos/cm)	Na⁺ (%)	Ca⁺⁺ (%)	CIC (meq/100gr)	D_{ap} (gr/cm³)
Juli								
T1	5	-0.71±0.27 e	2	-10.44±0.01 a	7.72±1.71 d	-9.34±0.71 e	-3.27±0.57 abc	-0.02±0.02 d
T2	5	-1.37±0.02 a	2	-10.61±0.28 a	-11.00±0.65 bc	14.33±0.18 b	-1.49±0.56 ab	-0.03±0.02 cd
T3	5	-1.27±0.09 ab	2	-10.24±0.52 a	-24.61±1.81 a	25.00±0.19 a	-4.89±0.95 bc	-0.05±0.04 bcd
T4	5	-1.32±0.10 a	2	-9.82±0.52 a	-28.95±0.45 a	29.80±1.36 a	-3.07±0.43 abc	-0.02±0.01 d
T5	5	-0.83±0.07 cde	2	-10.62±0.25 a	7.19±0.00 d	-7.18±1.03 d	-2.36±0.38 abc	-0.08±0.01 abcd
T6	5	-0.84±0.16 bcde	2	-10.15±0.20 a	9.73±1.83 d	-9.31±0.39 e	0.40±1.44 a	-0.11±0.04 ab
T7	5	-0.80±0.05 de	2	-9.53±0.40 a	8.67±0.29 d	-7.90±0.09 d	-0.80±0.43 a	-0.13±0.01 a
T8	5	-1.23±0.06 abc	2	-10.11±0.96 a	-8.58±0.13 c	7.07±0.92 c	-5.24±0.90 c	-0.05±0.04 bcd
T9	5	-1.29±0.09 ab	2	-9.89±0.12 a	-13.59±0.37 bc	11.67±0.24 b	-3.12±0.48 abc	-0.10±0.03 ab
T10	5	-1.22±0.13 abcd	2	-9.72±0.48 a	-15.74±0.70 b	15.93±1.37 b	-2.84±0.80 abc	-0.09±0.02 abc
Tiquillaca								
T1	5	-0.39±0.05 c	2	-10.40±0.32 abc	-1.31±0.81 f	-0.14±0.52 f	-4.69±2.05 bc	-0.01±0.01 c
T2	5	-0.86±0.05 abc	2	-9.48±0.67 bc	-21.38±4.10 d	19.65±3.47 d	-1.24±0.50 ab	-0.03±0.02 bc
T3	5	-0.97±0.03 a	2	-9.36±0.03 c	-48.11±1.26 a	46.88±0.53 a	-2.35±1.17 ab	-0.03±0.02 bc
T4	5	-0.89±0.03 abc	2	-9.18±0.08 c	-51.80±1.98 a	50.20±1.70 a	0.01±0.49 a	-0.01±0.01 c
T5	5	-0.49±0.13 bc	2	-10.58±0.45 abc	-11.82±1.17 e	6.18±0.81 e	-17.23±0.55 f	-0.03±0.02 bc
T6	5	-0.56±0.05 bc	2	-10.82±0.11 ab	-11.37±1.00 e	5.80±0.17 e	-15.67±0.67 e	-0.09±0.01 ab
T7	5	-0.63±0.14 abc	2	-11.33±0.25 a	-13.10±1.94 e	6.55±1.46 e	-12.25±1.50 d	-0.13±0.02 a
T8	5	-0.96±0.19 ab	2	-10.88±0.72 ab	-19.87±2.56 d	16.47±1.47 d	-6.34±0.24 c	-0.03±0.03 bc
T9	5	-0.87±0.07 abc	2	-10.16±0.78 abc	-31.63±2.85 c	29.23±1.58 c	-4.94±1.30 bc	-0.09±0.01 ab
T10	5	-1.03±0.06 a	2	-10.50±0.77 abc	-41.60±4.22 b	38.57±3.49 b	-4.05±1.69 bc	-0.08±0.02 ab

Eficiencias ± error estándar; las letras en las columnas representan diferencias estadísticas significativas (p≤0.05).

Tabla 17. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de lugar dentro de enmiendas para las eficiencias de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Trat	Factor	n	pH	n	CE _{ext} (mmhos/cm)	Na ⁺ (%)	Ca ⁺⁺ (%)	CIC (meq/100gr)	D _{ap} (gr/cm ³)
T1	Juli	5	-0.71±0.27 a	2	-10.44±0.01 a	7.72±1.71 b	-9.34±0.71 b	-3.27±0.57 a	-0.02±0.02 a
T1	Tiquillaca	5	-0.39±0.05 a	2	-10.40±0.32 a	-1.31±0.81 a	-0.14±0.52 a	-4.69±2.05 a	-0.01±0.01 a
T2	Juli	5	-1.37±0.02 a	2	-10.61±0.28 a	-11.00±0.65 b	14.33±0.18 b	-1.49±0.56 a	-0.03±0.02 a
T2	Tiquillaca	5	-0.86±0.05 b	2	-9.48±0.67 a	-21.38±4.10 a	19.65±3.47 a	-1.24±0.50 a	-0.03±0.02 a
T3	Juli	5	-1.27±0.09 a	2	-10.24±0.52 a	-24.61±1.81 b	25.00±0.19 b	-4.89±0.95 a	-0.05±0.04 a
T3	Tiquillaca	5	-0.97±0.03 a	2	-9.36±0.03 a	-48.11±1.26 a	46.88±0.53 a	-2.35±1.17 a	-0.03±0.02 a
T4	Juli	5	-1.32±0.10 a	2	-9.82±0.52 a	-28.95±0.45 b	29.80±1.36 b	-3.07±0.43 a	-0.02±0.01 a
T4	Tiquillaca	5	-0.89±0.03 b	2	-9.18±0.08 a	-51.80±1.98 a	50.20±1.70 a	0.01±0.49 a	-0.01±0.01 a
T5	Juli	5	-0.83±0.07 a	2	-10.62±0.25 a	7.19±0.00 b	-7.18±1.03 b	-2.36±0.38 a	-0.08±0.01 a
T5	Tiquillaca	5	-0.49±0.13 a	2	-10.58±0.45 a	-11.82±1.17 a	6.18±0.81 a	-17.23±0.55 b	-0.03±0.02 a
T6	Juli	5	-0.84±0.16 a	2	-10.15±0.20 a	9.73±1.83 b	-9.31±0.39 b	0.40±1.44 a	-0.11±0.04 a
T6	Tiquillaca	5	-0.56±0.05 a	2	-10.82±0.11 a	-11.37±1.00 a	5.80±0.17 a	-15.67±0.67 b	-0.09±0.01 a
T7	Juli	5	-0.80±0.05 a	2	-9.53±0.40 b	8.67±0.29 b	-7.90±0.09 b	-0.80±0.43 a	-0.13±0.01 a
T7	Tiquillaca	5	-0.63±0.14 a	2	-11.33±0.25 a	-13.10±1.94 a	6.55±1.46 a	-12.25±1.50 b	-0.13±0.02 a
T8	Juli	5	-1.23±0.06 a	2	-10.11±0.96 a	-8.58±0.13 b	7.07±0.92 b	-5.24±0.90 a	-0.05±0.04 a
T8	Tiquillaca	5	-0.96±0.19 a	2	-10.88±0.72 a	-19.87±2.56 a	16.47±1.47 a	-6.34±0.24 a	-0.03±0.03 a
T9	Juli	5	-1.29±0.09 a	2	-9.89±0.12 a	-13.59±0.37 b	11.67±0.24 b	-3.12±0.48 a	-0.10±0.04 a
T9	Tiquillaca	5	-0.87±0.07 b	2	-10.16±0.78 a	-31.63±2.85 a	29.23±1.58 a	-4.94±1.30 a	-0.09±0.01 a
T10	Juli	5	-1.22±0.13 a	2	-9.72±0.48 a	-15.74±0.70 b	15.93±1.37 b	-2.84±0.80 a	-0.09±0.02 a
T10	Tiquillaca	5	-1.03±0.06 a	2	-10.50±0.77 a	-41.60±4.22 a	38.57±3.49 a	-4.05±1.69 a	-0.08±0.02 a

Eficiencias ± error estándar; las letras en las columnas representan diferencias estadísticas significativas (p≤0.05).

4.1.1. Eficiencia de la reacción del suelo (pH)

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** de la eficiencia de la reacción del suelo (pH):

Para el **factor lugar** las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, en suelo de Juli con pH de 8.97 redujo a 7.88 cuya alta eficiencia fue de -1.09 ± 0.05 ; sin embargo, en suelo de Tiquillaca con pH de 8.75 redujo a 7.99 cuya baja eficiencia fue de -0.76 ± 0.04 ; por lo tanto, la diferencia de reducción se asume que se debe a que ambos suelos no son iguales, ya que sus propiedades físicas, químicas y biológicas son diferentes.

Para el **factor enmienda** las eficiencias fueron estadísticamente diferentes, los tratamientos T2, T3, T4, T8, T9 y T10 con pH de 8.86 redujeron a 7.75, 7.74, 7.76, 7.76, 7.78 y 7.74 cuyas altas eficiencias fueron de -1.11 ± 0.09 , -1.12 ± 0.07 , -1.10 ± 0.09 , -1.10 ± 0.10 , -1.08 ± 0.09 y -1.12 ± 0.07 respectivamente; en cambio, los tratamientos T1, T5, T6 y T7 con pH de 8.86 redujeron a 8.31, 8.20, 8.16 y 8.14 cuyas bajas eficiencias fueron de -0.55 ± 0.14 , -0.66 ± 0.09 , -0.70 ± 0.09 y -0.72 ± 0.07 respectivamente; siendo así los tratamientos con yeso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - sulfato de calcio dihidratado) que tuvieron mejores influencias en la reducción de la alcalinidad de los suelos; estos resultados guardan relación con lo que sostiene Sánchez (2013) quien señala que el yeso agrícola tiene una reacción neutra debido al azufre y por ende disminuye el pH de los suelos.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la eficiencia de la reacción del suelo (pH):

Para el factor **enmienda dentro de lugar (Juli)** las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, los tratamientos T2 y T4 con pH de 8.97



redujeron a 7.60 y 7.65 cuyas altas eficiencias fueron de -1.37 ± 0.02 y -1.32 ± 0.10 respectivamente; sin embargo, el tratamiento T1 con pH de 8.97 redujo a 8.26 cuya baja eficiencia fue de -0.71 ± 0.27 , y para las **enmienda dentro de lugar (Tiquillaca)** igualmente las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, los tratamientos T3 y T10 con pH 8.75 redujeron 7.78 y 7.72 cuyas altas eficiencias fueron de -0.97 ± 0.03 y -1.03 ± 0.06 respectivamente; en cambio, el tratamiento T1 con pH de 8.75 redujo 8.36 cuya baja eficiencia fue de -0.39 ± 0.05 ; por tanto se puede deducir que las mismas dosis de yeso agrícola tienen reacciones químicas similares en ambos suelos, pero las influencias y comportamientos fueron diferentes debido a que ambos suelos no son iguales. Estos resultados se pueden simular con Abdel *et al.*, (2015) quienes afirman que la aplicación de yeso de partículas finas (< 0.5 mm) en suelo sódico provoca una reducción apreciable de pH del suelo; donde de su trabajo de investigación reportan que de pH 8.4 redujo a 8.0.

Para **lugar dentro de enmiendas**, los tratamientos T2, T4 y T9 de suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron comportamientos diferentes estadísticamente, en suelo de Juli hubo alta reducción de pH y en suelo de Tiquillaca hubo baja reducción de pH; por lo tanto los comportamientos diferentes se presume que se deba al factor suelo, debido a que los pH alcalinos no son iguales en ambos suelos y estas tienen diferentes reacciones químicas con las enmiendas.

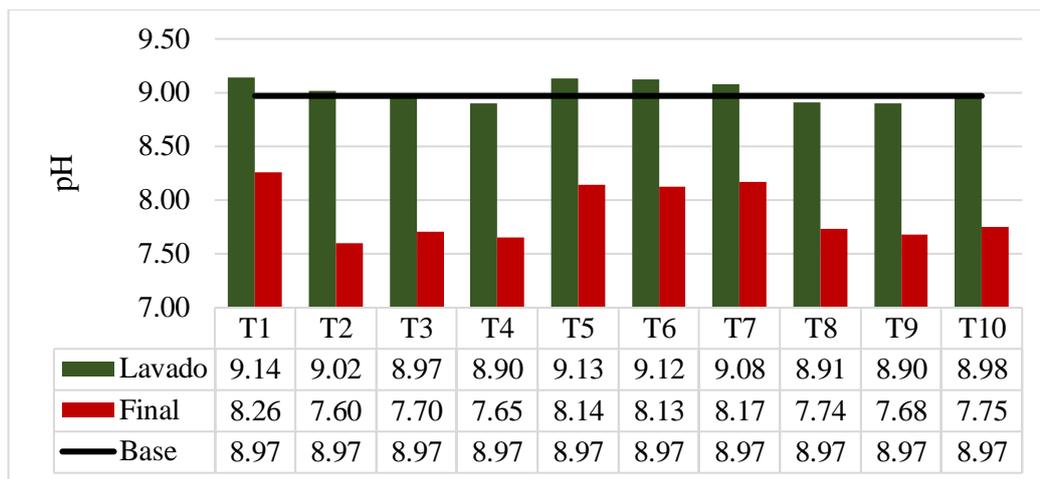


Figura 5. Representación gráfica de medias de pH para suelo de Juli

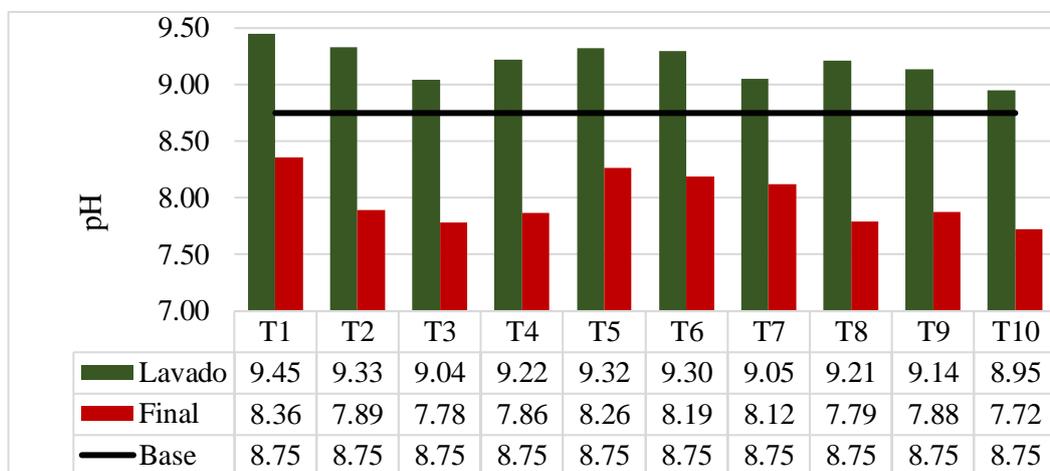


Figura 6. Representación gráfica de medias de pH para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 6 y 7 se muestran las medias de pH para suelos de Juli y Tiquillaca, donde se aprecia que con la práctica hidrotécnica en los suelos salinos-sódicos, las reacciones de los suelos aumentan y logran hacerse más alcalino temporalmente. Estos resultados coinciden con Richards *et al.* (1970) quienes afirman que el lavado de un suelo puede hacerlo mucho más alcalino (pH mayor a 8.5), debido a que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio, que a su vez puede cambiar a carbonato de sodio; por otro parte, también se aprecia que desde el lavado de los suelos salinos hasta la cosecha de la quinua var. Salcedo INIA, el pH de los suelos tiene una tendencia a disminuir en todo los tratamientos.



Con las diferentes dosis de yeso agrícola y las combinaciones durante el crecimiento y desarrollo de la quinua variedad Salcedo INIA disminuyeron los pH en ambos suelos ($\text{pH} < 7.8$), por lo tanto la variedad Salcedo INIA se adapta a estos rangos, ya que según Apaza *et al.* (2013) mencionan que la variedad se adapta de 5.5 a 7.8 de pH.

4.1.2. Eficiencia de la conductividad eléctrica extracto de saturación

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** de la eficiencia de la conductividad eléctrica (CE_{ext}) del suelo:

Para el **factor lugar** y **enmiendas** las eficiencias reducen y estadísticamente fueron similares, lo que significa que no hubo significancia entre los suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca, además las enmiendas no influyeron en la reducción de la conductividad eléctrica de los suelos; pero si influyeron las prácticas hidrotécnicas, ya que las sales solubles como Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- y HCO_3^- de Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} y K^+ se encuentran en la solución del suelo y estas con un riego pesado son fáciles de lixiviar a capas más profundas del suelo. Estos resultados son corroborados por Mata *et al.*, (2014) quienes mencionan que los suelos salinos solo requieren lavado sin aplicación de mejoradores químicos.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la conductividad eléctrica (CE_{ext}) del suelo:

Para el factor **enmienda dentro de lugar (Juli)**, todos los tratamientos reducen y estadísticamente fueron similares, lo que demuestra que las enmiendas no influyeron sobre la reducción de la CE_{ext} del suelo; sin embargo, para las **enmiendas dentro de lugar (Tiquillaca)**, el tratamiento T7 con CE_{ext} de 14.38

redujo a 3.05 mmhos/cm cuya alta eficiencia fue de -11.33 ± 0.25 mmhos/cm; en cambio, los tratamientos T3 y T4 con CE_{ext} de 14.38 redujeron a 5.03 y 5.20 mmhos/cm cuyas bajas eficiencias fueron de -9.36 ± 0.03 y -9.18 ± 0.08 mmhos/cm respectivamente, lo que demuestra que la dosis alta de estiércol de ovino (60 ton/ha) influye mejor en la lixiviación de sales solubles en suelo de Tiquillaca; el efecto de la práctica hidrotécnica tiene comportamiento diferente tanto en suelo salino-sódico de Juli y Tiquillaca, lo cual se presume que se deba a que en ambos suelos tienen diferentes contenidos de arena en la textura del suelo. Estos resultados guardan relación con Manzano *et al.*, (2014), quienes de su investigación reportaron que con lavado en dos suelos salinos-sódicos uno con $CE = 7.75$ dS/cm y el otro con $CE = 22.2$ dS/cm, disminuyen a menores de 4 dS/cm.

Para **lugar dentro de enmiendas**, el tratamiento T7 de los suelos de Juli y Tiquillaca tuvo comportamiento diferente estadísticamente, dicho tratamiento en suelo de Tiquillaca tuvo mayor reducción de CE_{ext} y en suelo de Juli tuvo menor reducción de la CE_{ext} , lo cual se asume que se deba al factor suelo y enmienda; los demás tratamientos tienen comportamientos similares en ambos suelos.

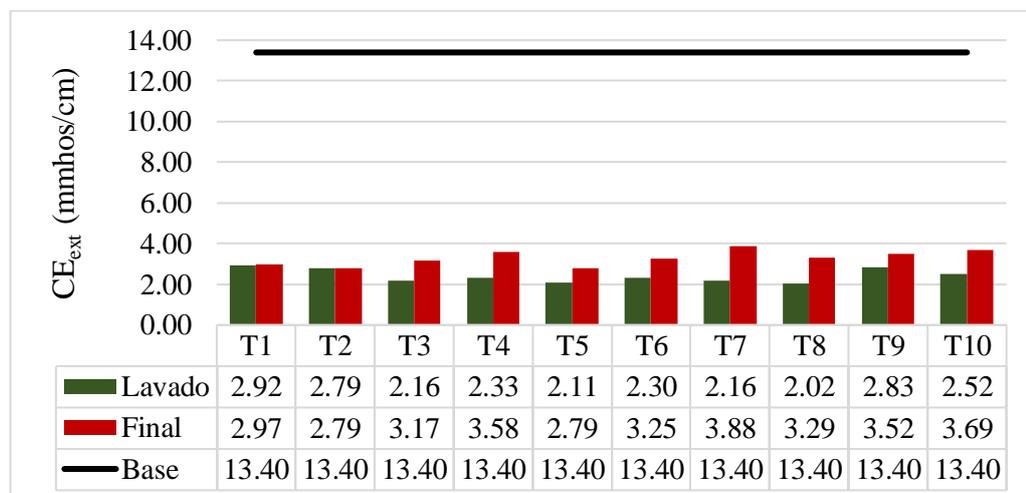


Figura 7. Representación gráfica de medias de CE_{ext} para suelo de Juli

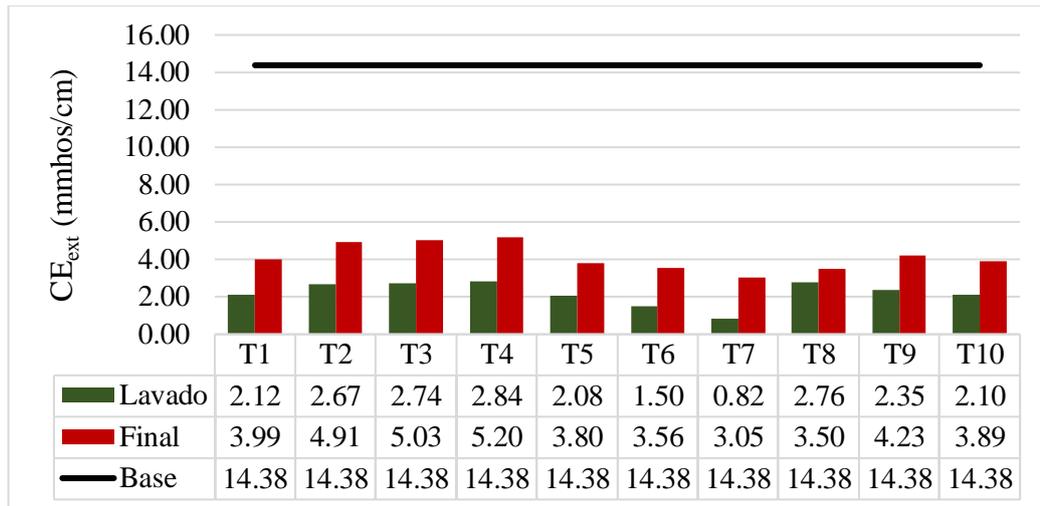


Figura 8. Representación gráfica de medias de CE_{ext} para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 7 y 8 se muestran las medias de la CE_{ext} de suelos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que con la práctica hidrotécnica sobre los suelos salinos-sódicos, la conductividad eléctrica disminuye considerablemente en todos los tratamientos, debido a que las concentraciones de sales solubles (cationes-aniones) son fáciles de lixiviar a capas más profundas cuando los suelos tienen un buen drenaje. Por otra parte, una vez lavados las concentraciones de sales solubles con aguas de buena calidad, durante el crecimiento y desarrollo de la quinua var. Salcedo INIA, se aprecia que la CE_{ext} aumenta ligeramente debido a que las sales solubles no fueron drenadas en su totalidad fuera de las macetas y estas ascienden por capilaridad.

El rango salino óptimo para la germinación y emergencia de la quinua variedad Salcedo INIA fue a una conductividad eléctrica pasta saturada de 2 a 4 mmhos/cm (Figuras 7 y 8), en cambio en rango de 4 a 6 mmhos/cm la variedad logra germinar y emerger, pero las plantas sufren el efecto del ajuste osmótico, tal como plantean Porta *et al.* (2003); a rangos mayores de 6 mmhos/cm las semillas de quinua no logran germinar en el suelo, pero si germinan cuando se hace la prueba de germinación en placas petri. En una CE_{ext} promedio 14.20 mmhos/cm

las semillas germinan al 100 % en 7 días en las placas petri, pero en ello no logran la formación de hojas cotiledonales, lo cual se asume que sufrieron plasmólisis siendo así no tolerantes a altos rangos salinos, tal como reporta Cari (1978).

Estos resultados guardan relación con los que sostienen R. Miranda *et al.*, (2017), quienes señalan que en muchos trabajos de investigación la germinación de la quinua es la etapa fenológica más sensible a la presencia de sales en la solución del suelo y siendo resistentes en las otras fases fenológicas de las plantas de quinua.

Richards *et al.* (1970), indican que la conductividad eléctrica pasta de saturación es la más recomendada para la evaluación e investigación de la salinidad del suelo, debido a que te indica datos más exactos a comparación de la CE en relación 1:25.

4.1.2.1. Práctica hidrotécnica para sales solubles (cationes y aniones)

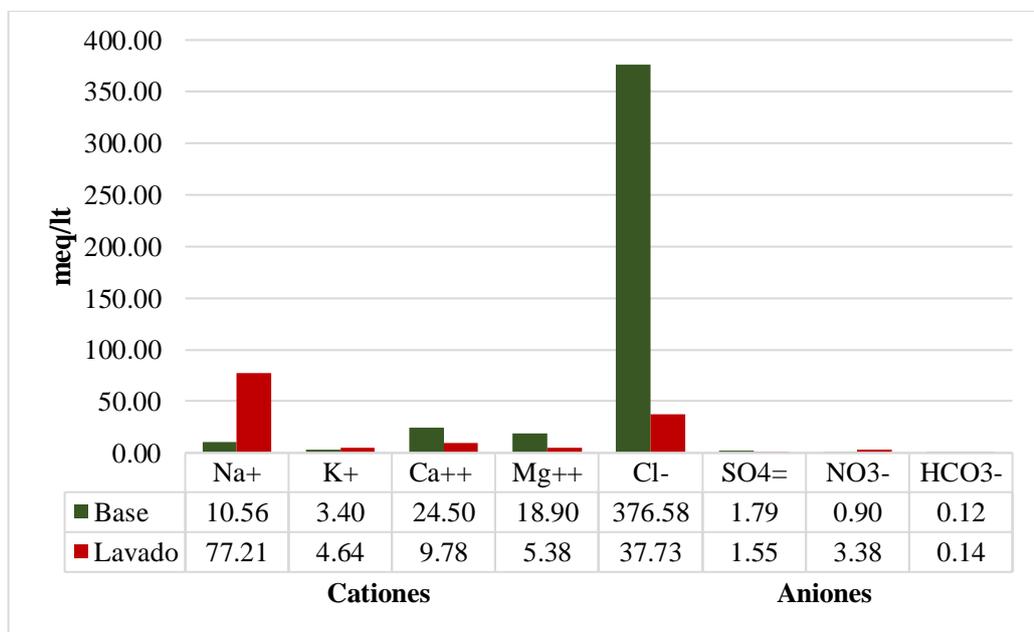


Figura 9. Representación gráfica de cationes y aniones para suelo de Juli

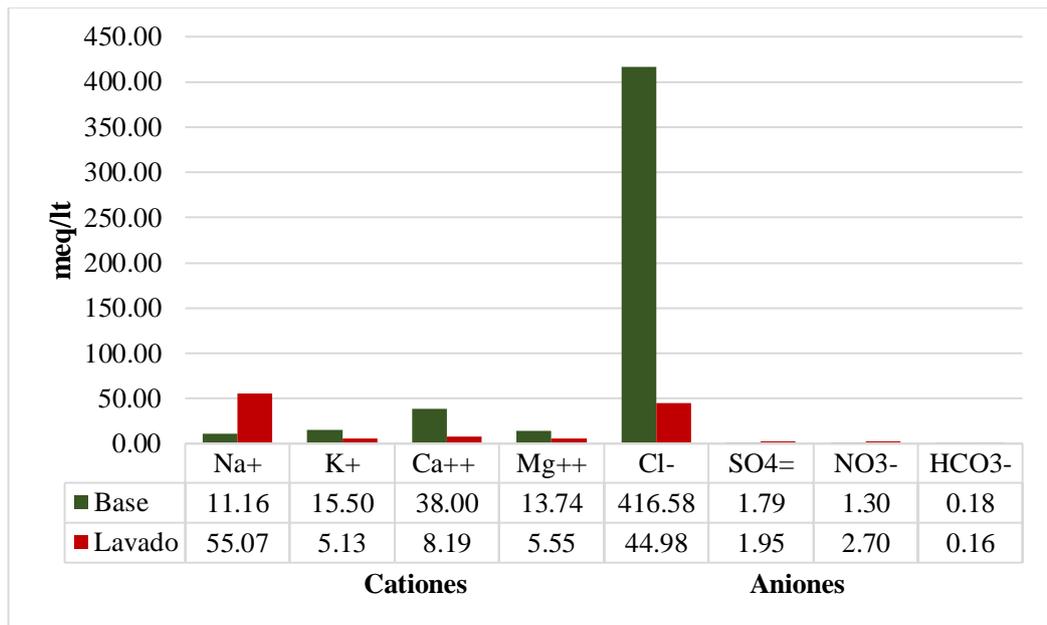


Figura 10. Representación gráfica de cationes y aniones para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 9 y 10 se muestran las medias de cationes y aniones en los suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que el ion cloruro (Cl⁻) predomina en la solución de ambos suelos y con la práctica hidrotécnica esto se reduce considerablemente, debido a que los cloruros son sales muy solubles, tal como señalan Porta *et al.* (2003), ello es acorde con lo que en este estudio se halla. El ion sodio (Na⁺) se encuentra en concentración baja y con la práctica hidrotécnica aumenta, esto se debe a que sodio intercambiable se liberó a la solución del suelo; los demás cationes y aniones se encuentran en concentraciones bajas en los suelos y con la práctica hidrotécnica estas disminuyen y aumentan en niveles muy bajos.

Trabajos similares realizadas concuerdan con el presente trabajo de investigación tal es el caso de autores como Manzano *et al.* (2014) quienes afirman que el lavado reduce la salinidad y sodicidad de suelos hasta niveles satisfactorios para cultivos convencionales con y sin de la aplicación de estiércol de bovino, yeso y ácido sulfúrico.



Los suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca, al tener altas concentraciones de cloruro en la solución y alta saturación de sodio intercambiable, nos indica que el principal mineral predominante en ambas cuencas del altiplano es la Halita (NaCl), resultado que es corroborado por Porta *et al.* (2003).

La razón por la que se realizó la práctica de lavado fue principalmente para disminuir las sales más tóxicas para las plantas (NaCl), debido a que esta sal en ambos suelos se encuentran en concentraciones muy altas, según Rueda (2019) quien manifiesta que las plantas solo requieren en pequeñas cantidades de cloruro (no más de 0.5 meq/lit en la solución del suelo), pero cuando las concentraciones son muy altas el cloruro puede convertirse en un elemento tóxico.

El nitrato en el presente trabajo de investigación se encuentra en concentraciones aceptables, pero si se encontrara en concentraciones altas, cumpliría un rol muy importante ya que según Geilfus (2018) plantea que la fertilización con nitrato podría ser una estrategia para suprimir la absorción de cloruro por medio de una competencia antagonista de absorción anión-anión.

El sulfato en ambos suelos en estudio se encuentra en concentraciones favorables ya que según Navarro y Navarro (2003) consideran que el azufre puede considerarse tóxico para el cultivo cuando sobrepasa las 1000 ppm de SO_4^- .

El sodio en el presente estudio se encuentra en concentraciones altas, lo cual es un problema que causa toxicidad a las plantas y desestabiliza la estructura del suelo ya que según Rueda (2019) señala que para la mayoría de las plantas cultivadas no se ha demostrado que el Na^+ sea esencial, aunque se sabe que puede reemplazar al K^+ en algunos casos.

Los resultados de la práctica hidrotécnica en el presente estudio guarda cierta relación con lo que sostienen Navarro y Navarro (2003) quienes dan a conocer que la pérdida de magnesio (Mg^{++}) en el suelo son las mismas que las de calcio (Ca^{++}), en orden de mayor a menor importancia: lixiviación, erosión y extracción por cultivos.

4.1.3. Eficiencia del porcentaje de sodio (Na^+) intercambiable (PSI)

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** de la eficiencia del porcentaje de sodio (Na^+) intercambiable (PSI) del suelo:

Para el **factor lugar** las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, en suelo de Tiquillaca con PSI de 79.05 redujo a 53.85% cuya alta eficiencia fue de $-25.20 \pm 3.79\%$; sin embargo, en suelo de Juli con PSI de 45.58 redujo a 38.66% cuya baja eficiencia fue de $-6.92 \pm 3.15\%$; por lo tanto la diferencia de reducción en ambos suelos se debe a que la saturación de sodio intercambiable no eran iguales, si no diferentes.

Para el **factor enmienda** las eficiencias fueron estadísticamente diferentes, los tratamientos T3 y T4 con PSI de 62.32 redujeron a 25.96 y 21.94% cuyas altas eficiencias fueron de -36.36 ± 6.84 y $-40.38 \pm 6.65\%$ respectivamente; en cambio, los tratamientos T1, T5, T6 y T7 con PSI de 63.32 aumentaron y redujeron a 65.52, 60.00, 61.49 y 60.10% cuyas bajas eficiencias fueron de 3.21 ± 2.72 , -2.31 ± 5.51 , -0.82 ± 6.15 y $-2.22 \pm 6.33\%$ respectivamente; siendo así los tratamientos con dosis media (40 ton/ha) y alta (60 ton/ha) de yeso agrícola que tuvieron mejores influencias en la reducción del porcentaje de sodio intercambiable de los suelos, debido a que hubo el proceso de intercambio catiónico en el complejo coloidal entre el sodio y el calcio. Estos resultados son



corroborados por Chaudhry (2001) quien menciona que el yeso aplicado reemplazará el sodio (Na^+) con calcio (Ca^{++}) del complejo de intercambio del suelo y se lixiviará por debajo de la zona de las raíces con agua de riego, lo que dará como resultado un suelo mejor y productivo y un mayor rendimiento del cultivo por unidad de área.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la eficiencia del porcentaje de sodio (Na^+) intercambiable (PSI) del suelo:

Para el factor **enmienda dentro de lugar (Juli)**, las eficiencias reducen y aumentan y estadísticamente fueron diferentes, los tratamientos T3 y T4 con PSI de 45.58 redujeron a 20.98 y 19.71% cuyas altas eficiencias fueron de -24.61 ± 1.81 y -28.95 ± 0.45 % respectivamente; sin embargo, los tratamientos T1, T5, T6 y T7 con PSI de 45.58 aumentaron a 53.29, 52.77, 55.30 y 54.24% cuyas eficiencias fueron de 7.72 ± 1.71 , 7.19 ± 0.00 , 9.73 ± 1.83 y 8.67 ± 0.29 % respectivamente, y para las **enmienda dentro de lugar (Tiquillaca)**, las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, los tratamientos T3 y T4 con PSI de 79.05 redujeron a 30.95 y 27.25% cuyas altas eficiencias fueron de -48.11 ± 1.26 y -51.80 ± 1.98 % respectivamente; sin embargo, el tratamiento T1 con PSI de 79.05 redujo a 77.75% cuya baja eficiencia fue de -1.31 ± 0.81 %; lo que demuestra que los tratamientos con yeso agrícola de 40 y 60 ton/ha tuvieron mejores influencias y reacciones químicas en la reducción del porcentaje de sodio intercambiable en ambos suelos; además, cabe mencionar que en el suelo de Juli el tratamiento T1 sin enmienda y los tratamientos con estiércol de ovino T5, T6 y T7 las eficiencias aumentan, lo cual se asume que se debe a que el sodio soluble pasa al complejo coloidal del suelo. Estos resultados de reducción del PSI son corroborados por

Abdel *et al.* (2015) quienes de su trabajo de investigación reportaron que con la incorporación de yeso de partículas finas (<0.5 mm) en suelo sódico, el porcentaje de sodio intercambiable de 29,2 % redujo y osciló entre 4.6 y 6.6 %, exhibiendo así una disminución de entre 78 a 84 %.

Para **lugar dentro de enmiendas**, todos los tratamientos en suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron comportamientos diferentes estadísticamente; lo cual se debe al factor suelo y enmienda, ya que las saturaciones de sodio fueron diferentes en ambos suelos.

En el presente estudio el objetivo principal fue eliminar las altas saturaciones de sodio, ya que según Fassbender y Bornemisza (1994) observaron que los valores altos de saturación de sodio en el complejo coloidal de cambio, tienen efectos perjudiciales sobre las propiedades del suelo. Los altos niveles de Na⁺ causan una dispersión de los agregados del suelo, dañando así su estructura. Como resultado, la aireación y la conducción del agua empeoran y el crecimiento de las plantas se reduce fuertemente.

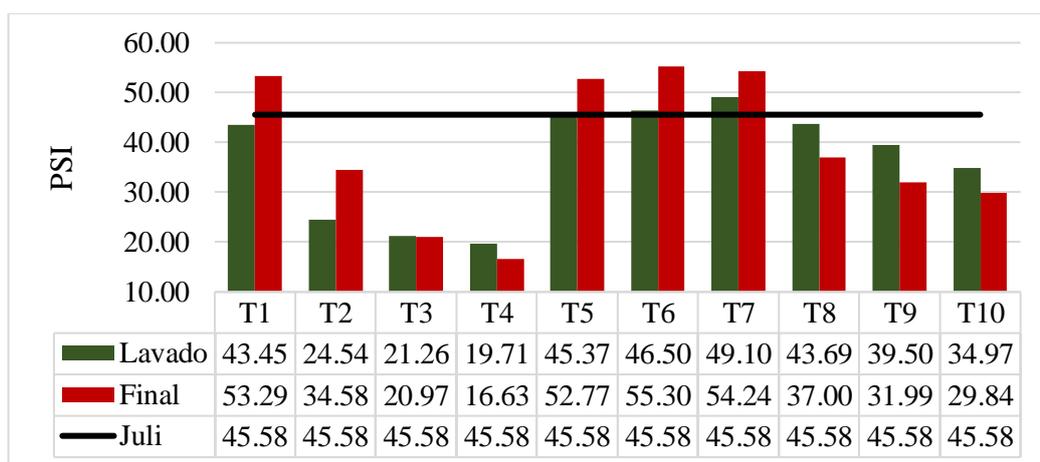


Figura 11. Representación gráfica de medias del PSI para suelo de Juli

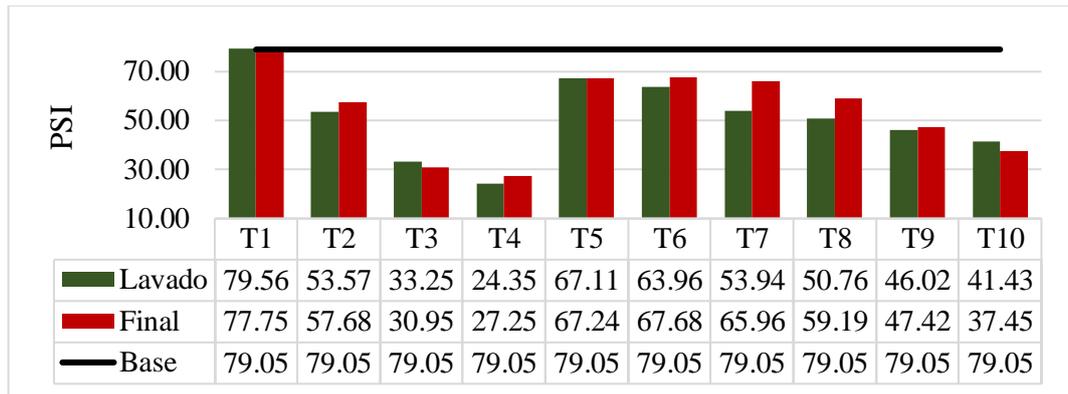


Figura 12. Representación gráfica de medias del PSI para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 11 y 12 se muestran las medias del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) para suelos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que con la incorporación de enmiendas y la práctica hidrotécnica sobre suelos salinos-sódicos, los tratamientos T2, T3 y T4 tienen una tendencia a disminuir, también se aprecia el mismo efecto en los tratamientos T8, T9 y T10, la reducción de la saturación del sodio en estos tratamientos se debe a que el calcio sustituyó al sodio mediante el proceso de intercambio catiónico del suelo, a mayor incorporación de yeso agrícola, mayor es la reducción de la saturación del sodio en el complejo coloidal del suelo.

Por otra parte, desde la práctica hidrotécnica de los suelos salinos-sódicos hasta la cosecha de la quinua var. Salcedo INIA, todos los tratamientos aumentan y reducen ligeramente. Según Castellanos (2000), la saturación de sodio en un suelo normal debe ser menor a 5 %, comparando este dato con los datos finales del sodio, no se consiguieron reducir en su totalidad pero sí en mayor parte con enmiendas de yeso agrícola, lo cual aún sigue habiendo la dispersión de las arcillas por el sodio en los suelos en estudio, esto se debe a que la incorporación de yeso agrícola no fueron suficientes, además tiene una solubilidad moderada.

Estos resultados se pueden simular con los resultados obtenidos por Gonçalo *et al.* (2019) quienes sugieren que el uso combinado de yeso y estiércol

de vaca es mejor para reducir la sodicidad del suelo, mejora las propiedades químicas del suelo y aumenta la infiltración de agua que el yeso solo.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son corroborados por Murtaza *et al.* (2017) quienes en su investigación concluyeron que con la aplicación de yeso agrícola puede mejorar el suelo salino-sódico aumentando así el rendimiento del cultivo y la eficiencia del uso de nitrógeno; ya que en el presente estudio los rendimientos de quinua aumentaron en todos los tratamientos con enmiendas de yeso agrícola, estiércol de ovino y todas las combinaciones de estas (Tablas 20, 21 y 22).

4.1.4. Eficiencia del porcentaje de calcio intercambiable (Ca^{++})

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** para la eficiencia del porcentaje de calcio intercambiable (Ca^{++}) del suelo:

Para el **factor lugar** las eficiencias aumentan y estadísticamente fueron diferentes, en suelo de Tiquillaca con Ca^{++} de 10.91 aumentó a 32.85% cuya alta eficiencia fue de $21.94 \pm 4.01\%$; sin embargo, en suelo de Juli con Ca^{++} de 37.73 aumento a 44.74% cuya baja eficiencia fue de $7.01 \pm 3.21\%$; por lo tanto, la diferencia de aumento en ambos suelos se debe a que la saturación de calcio intercambiable no eran iguales, si no diferente y también se debe a la incorporación de yeso agrícola.

Para el **factor enmienda** las eficiencias de aumento y reducción fueron estadísticamente diferentes, los tratamientos T3 y T4 con Ca^{++} de 24.32 aumentaron a 60.26 y 64.32% cuyas altas eficiencias fueron de 35.94 ± 6.32 y $40.00 \pm 5.96\%$ respectivamente; en cambio, el tratamiento T1 sin enmienda con 24.32 redujo a 19.59% cuya eficiencia fue de $-4.74 \pm 2.68\%$; siendo así los



tratamientos con dosis media (40 ton/ha) y alta (60 ton/ha) de yeso agrícola que tuvieron mejores influencias en el aumento del porcentaje de calcio intercambiable de los suelos, debido a que hubo un proceso de intercambio entre los bases (sodio y calcio) en el complejo coloidal del suelo. Estos resultados guardan estrecha relación con lo que sostienen Pavan *et al.*, (1984) quienes señalan que la incorporación de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) aumentan los niveles de Ca^{++} intercambiable del suelo.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la eficiencia del porcentaje de calcio intercambiable (Ca^{++}) del suelo:

Para el factor **enmienda dentro de lugar (Juli)** las eficiencias aumentan y estadísticamente fueron diferentes, los tratamientos T3 y T4 con Ca^{++} de 37.73 aumentaron a 62.74% cuyas altas eficiencias fueron de 25.00 ± 0.19 y $29.80 \pm 1.36\%$ respectivamente; sin embargo, los tratamientos T1 y T6 con Ca^{++} de 37.73 redujeron a 28.40 y 28.43% cuyas altas eficiencias fueron de -9.34 ± 0.71 y $-9.31 \pm 0.39\%$ respectivamente, y para las **enmienda dentro de lugar (Tiquillaca)** los tratamientos T3 y T4 con Ca^{++} de 10.91 aumentaron a 57.79 y 61.12% cuyas altas eficiencias fueron de 46.88 ± 0.53 y 50.20 ± 1.70 respectivamente; sin embargo, el tratamiento T1 sin enmienda con Ca^{++} de 10.91 redujo a 10.78% cuya ligera eficiencia fue de $-0.14 \pm 0.52\%$; lo que significa que los tratamientos con yeso agrícola de 40 y 60 ton/ha tuvieron mejores influencias en el aumento del porcentaje de calcio intercambiable de ambos suelos, lo cual se debe a que el calcio del yeso agrícola desplaza al sodio y satura el complejo coloidal del suelo. Estos resultados se pueden simular con Armstrong y Tanton (1992) quienes reportaron que la aplicación de yeso fue altamente eficiente como

tratamiento. Del calcio aplicado, del 64 al 74% se transfirió a sitios de intercambio iónico.

El estiércol de ovino incorporado en ambos suelos no tuvieron influencias considerables en el aumento de calcio en el complejo coloidal, debido a que la enmienda solo tiene 1.12 % de calcio, lo cual es considerado bajo (Figura 34).

Para **lugar dentro de enmiendas** todos los tratamientos en suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron comportamientos diferentes estadísticamente; lo cual se debe al factor suelo y enmienda, ya que las saturaciones de calcio fueron diferentes en ambos suelos.

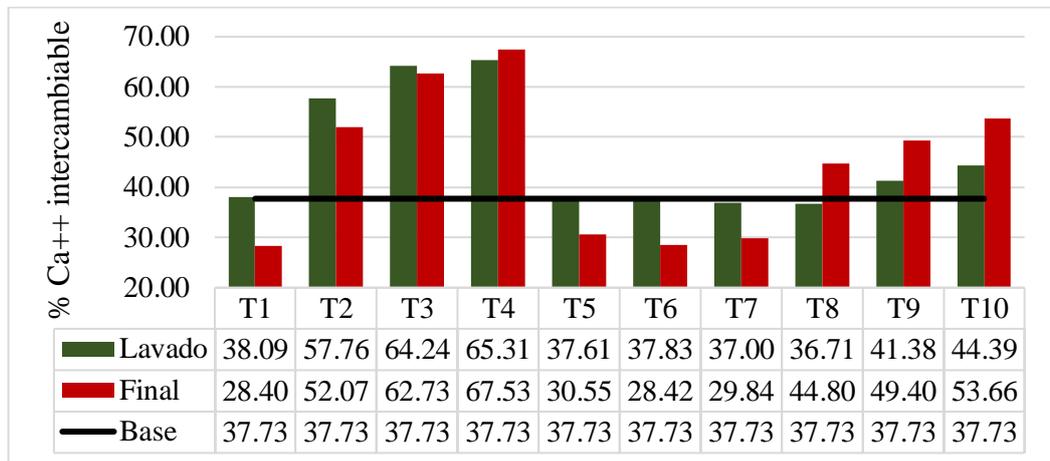


Figura 13. Representación gráfica de medias de % Ca⁺⁺ intercambiable para suelo de Juli

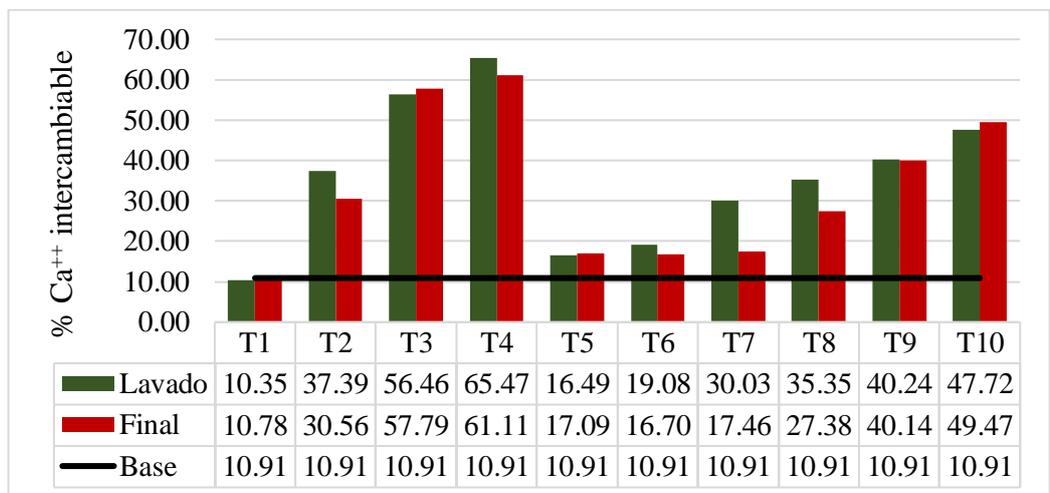


Figura 14. Representación gráfica de medias de % Ca⁺⁺ intercambiable para suelo de Tiquillaca



En las Figuras 13 y 14 se muestran las representaciones gráficas de las medias de porcentaje de calcio intercambiable para suelos de Juli y Tiquillaca respectivamente, donde se observa que con la incorporación de enmiendas y la práctica del lavado sobre suelos salinos-sódicos, los tratamientos T2, T3 y T4 tienen una tendencia a aumentar, también se aprecia el mismo efecto en los tratamientos T8, T9 y T10, este aumento se debe a que el yeso agrícola tiene calcio y al incorporarlo al suelo el calcio es liberado, a mayor cantidad de yeso agrícola incorporado sobre suelo salino-sódico, mayor liberación de calcio.

Por otro lado, también se aprecia que desde el lavado de los suelos salinos-sódicos hasta la cosecha de la quinua var. Salcedo INIA, el calcio tiende a aumentar y disminuir ligeramente. Según Castellanos (2000), la saturación de calcio en un suelo normal debe ser 61 a 75 %, comparando este dato con los datos finales de porcentaje de saturación de calcio, se consiguieron con la dosis media y alta del yeso agrícola (T3 y T4).

4.1.5. Eficiencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** de la eficiencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo:

Para el **factor lugar** las eficiencias reducen y estadísticamente fueron diferentes, en suelo de Juli con CIC de 29.84 redujo a 27.17 meq/100gr cuya ligera eficiencia fue de -2.67 ± 0.41 meq/100gr; sin embargo, en suelo de Tiquillaca con CIC de 41.24 redujo a 34.37 meq/100gr cuya eficiencia alta fue de -6.88 ± 1.34 meq/100gr; por lo tanto, la diferencia de reducción se presume que se debe a que ambos suelos no son iguales, ya que tuvieron diferentes niveles de cationes (Ca^{++} , K^+ , Na^+ y Mg^{++}).



Para el **factor enmienda** las eficiencias fueron estadísticamente diferentes, los tratamientos T2 y T4 con CIC de 35.54 redujeron a 34.18 y 34.01 meq/100gr cuyas ligeras eficiencias fueron de -1.37 ± 0.31 y -1.53 ± 0.93 meq/100gr respectivamente; en cambio, el tratamiento T5 con 35.54 redujo a 25.75 meq/100gr cuya alta eficiencia fue de 9.80 ± 4.30 meq/100gr; siendo así que la dosis baja y alta de yeso agrícola que tuvieron mejores influencias en la reducción mínima de la capacidad de intercambio catiónico; también se puede asumir que la baja reducción de la CIC se debe a la práctica hidrotécnica y la otra parte de cationes fueron absorbidos por las plantas de la quinua para su crecimiento y desarrollo. La dosis baja de estiércol de ovino (T5) favoreció a la lixiviación de algunos cationes.

Según López *et al.* (2012) mencionan que con la aplicación de yeso no solo se desplaza el Na^+ del complejo intercambiable, sino que también se incrementa la CIC mejorando así la nutrición de los cultivos, lo cual comparando con el presente estudio concuerda en cuanto a lo mencionado de que el yeso desplaza al Na^+ ; sin embargo, en lo que no concuerda es con la CIC ya que en el presente estudio realizado no mejora la CIC, pero si la eficiencia de reducción es bajo considerando así como los mejores enmiendas a comparación de los otros.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la eficiencia de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo:

Para el factor **enmienda dentro de lugar (Juli)** las eficiencias fueron estadísticamente diferentes, los tratamientos T6 y T7 con CIC de 29.84 aumentaron y redujeron a 30.24 y 29.04 meq/100gr cuyas ligeras eficiencias fueron de 0.40 ± 1.44 y -0.80 ± 0.43 meq/100gr respectivamente; sin embargo, el

tratamiento T8 con CIC de 29.84 redujo a 24.60 cuya alta eficiencia fue de -5.24 ± 0.90 meq/100gr, y para las **enmienda dentro de lugar (Tiquillaca)** igualmente fueron estadísticamente diferentes, el tratamiento T4 con CIC de 41.24 aumento a 41.25 meq/100gr cuya ligera eficiencia fue de 0.01 ± 0.49 meq/100gr; sin embargo, el tratamiento T5 con CIC de 41.24 redujo a 24.01 meq/100gr cuya alta eficiencia fue de -17.23 ± 0.55 meq/100gr; lo que demuestra que los tratamientos tuvieron reacciones y comportamientos diferentes en ambos suelos, lo cual se atribuye al factor suelo debido a que cada suelo tiene reacción química diferente. Los presentes resultados en cuanto al factor enmienda dentro de Juli guarda relación con lo que sostienen Jalali y Ranjbar (2009) quienes de sus resultados obtenidos indican que la aplicación de estiércol de ovino y avícola a los suelos provoca un aumento en la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y una mayor adsorción de cationes como calcio, magnesio y potasio que el sodio (Na^+).

Para **lugar dentro de enmiendas** los tratamientos T5, T6 y T7 de suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron comportamientos diferentes estadísticamente, lo cual se presume que se deba al factor suelo y enmiendas con estiércol de ovino, ya que tienen influencias y reacciones químicas diferentes en ambos suelos.

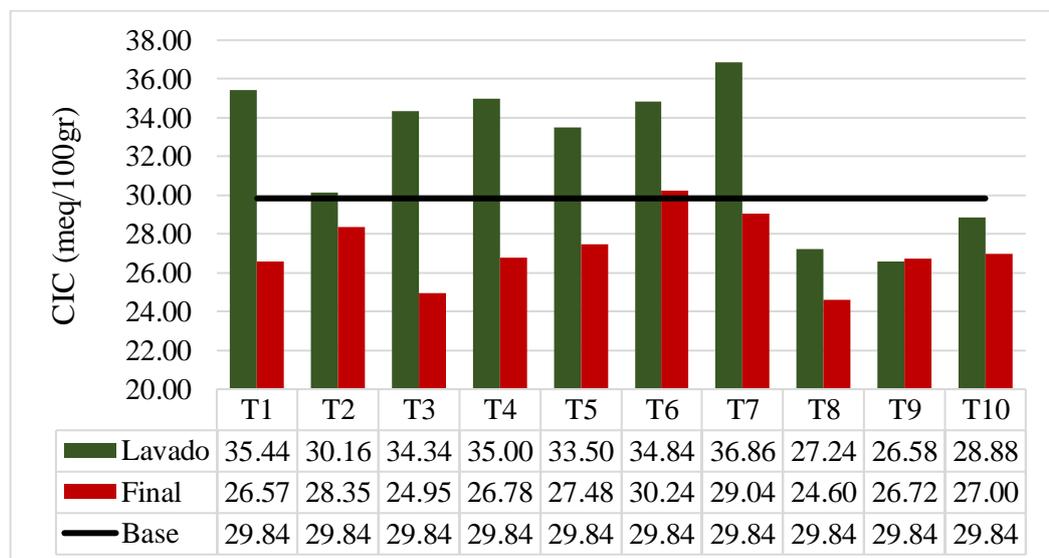


Figura 15. Representación gráfica de medias de CIC para suelo de Juli

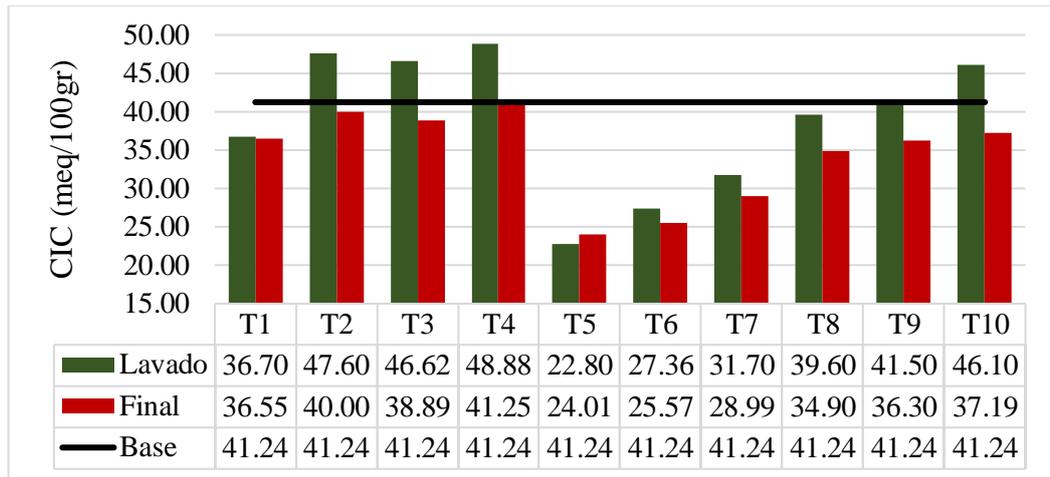


Figura 16. Representación gráfica de medias de CIC para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 15 y 16 se muestran las medias de la capacidad de intercambio catiónico para suelos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que con la incorporación de enmiendas y la práctica del lavado sobre suelos salinos-sódicos, los tratamientos tienen una tendencia a aumentar como también disminuyen, se asume que es debido a las bases cambiables que tienen reacciones y comportamientos diferentes en ambos suelos; por otro lado, desde la práctica del lavado hasta la cosecha de la quinua var. Salcedo INIA los tratamientos tienden a disminuir ligeramente, por lo cual se asume que es debido a la liberación de bases cambiables del complejo coloidal a la solución de suelo y estas fueron absorbidos por las plantas de la quinua para su nutrición.

4.1.6. Eficiencia para densidad aparente (D_{ap})

En la Tabla 15 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** de la eficiencia de la densidad aparente (D_{ap}) del suelo:

Para el **factor lugar** las eficiencias disminuyen y estadísticamente fueron similares, lo que significa que todos los tratamientos tuvieron influencias similares en ambos suelos de Juli y Tiquillaca, a pesar de tener diferentes densidades aparentes.



Para el **factor enmienda** las eficiencias fueron estadísticamente diferentes, el tratamiento T7 con D_{ap} de 1.32 disminuyó a 1.19 gr/cm^3 cuya alta eficiencia fue de $0.13 \pm 0.02 \text{ gr/cm}^3$; en cambio, los tratamientos T1 y T4 con D_{ap} de 1.32 disminuyeron a 1.30 y 1.31 cuyas ligeras eficiencias fueron de -0.02 ± 0.02 y $-0.02 \pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$ respectivamente; lo que indica que la dosis alta de estiércol de ovino (60 ton/ha) tuvo mejor influencia en la estructura de los suelos. Estos resultados obtenidos guardan estricta relación con lo que manifiestan Karami *et al.*, (2012) quienes reportan que la aplicación de diferentes fuentes de materia orgánica (estiércol de ovino) disminuye la densidad aparente del suelo y aumenta la tasa de infiltración del agua.

En las Tablas 16 y 17 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** de la eficiencia de la densidad aparente (D_{ap}) del suelo:

Para el factor **enmiendas dentro de lugar (Juli)** las eficiencias disminuyen y estadísticamente fueron diferentes, el tratamiento T7 con D_{ap} de 1.44 disminuyó a 1.31 gr/cm^3 cuya alta eficiencia fue de $0.13 \pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$; sin embargo, los tratamientos T1 y T4 con D_{ap} de 1.44 disminuyeron a 1.42 y 1.42 gr/cm^3 cuyas eficiencias fueron de -0.02 ± 0.02 y $-0.02 \pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$ respectivamente, y para las **enmiendas dentro de lugar (Tiquillaca)** igualmente las eficiencias disminuyen y estadísticamente fueron diferentes, el tratamiento T7 con D_{ap} de 1.20 disminuyó a 1.08 gr/cm^3 cuya alta eficiencia fue de $0.13 \pm 0.02 \text{ gr/cm}^3$; sin embargo, los tratamientos T1 y T4 con D_{ap} de 1.20 disminuyeron a 1.19 y 1.19 gr/cm^3 cuyas ligeras eficiencias fueron de -0.01 ± 0.01 y $-0.01 \pm 0.01 \text{ gr/cm}^3$ respectivamente; lo que demuestra que la dosis alta de estiércol de ovino (60 ton/ha) tuvo reacciones químicas y comportamientos similares en ambos suelos.

Según Barzegar *et al.*, (1997) de su trabajo mostro que la materia orgánica tiene un papel tan importante en la agregación en suelos sódicos como en suelos no sódicos, comparando estos resultados con el presente trabajo de investigación se puede simular con la dosis alta de estiércol de ovino (T7).

Para **lugar dentro de enmiendas** todos los tratamientos en suelos de Juli y Tiquillaca tuvieron influencias y comportamientos similares estadísticamente.

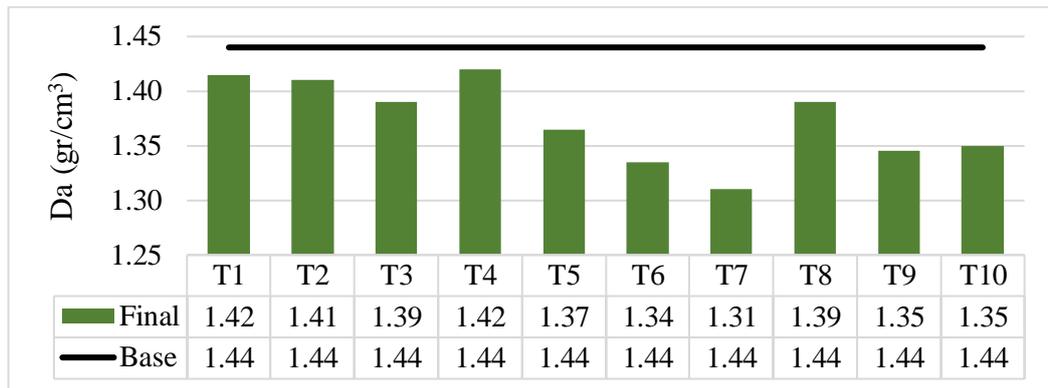


Figura 17. Representación gráfica de medias de D_{ap} para suelo de Juli

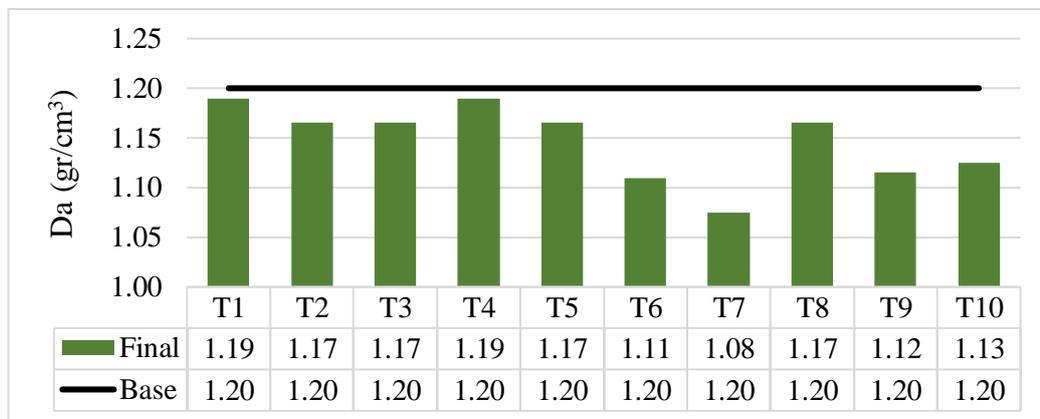


Figura 18. Representación gráfica de medias de D_{ap} para suelo de Tiquillaca

En las Figuras 17 y 18 se muestran las medias de la densidad aparente para suelos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que con la incorporación de enmiendas, la práctica del lavado de los suelos salinos-sódicos, y hasta la cosecha de la quinua var. Salcedo INIA los tratamientos disminuyen ligeramente a comparación del tratamiento T7, este efecto se asume que a mayor cantidad de estiércol de ovino, da mayor estabilidad a la estructura de los suelos.

Estos resultados son corroborados por Navarro y Navarro (2003) quienes mencionan que existe una buena relación materia orgánica-densidad aparente, que mejora la estructura del suelo en los primeros 20 cm. El humus influye notablemente en los caracteres físicos del suelo.

4.1.7. Coeficientes de correlación

Tabla 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre las características fisicoquímicas del suelo

	pH	CE _{ext}	Na ⁺	Ca ⁺⁺	CIC	D _{ap}	Rdto
pH		0.04	0.78	-0.77	0.19	-0.36	-0.11
CE _{ext}	ns		-0.11	0.19	0.61	-0.42	0.18
Na ⁺	**	ns		-0.99	0.05	-0.50	-0.19
Ca ⁺⁺	**	ns	**		0.07	0.42	0.18
CIC	ns	**	ns	ns		-0.55	0.07
D _{ap}	*	*	**	*	**		-0.22
Rdto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

Sobre la diagonal: coeficiente de correlación y debajo de la diagonal: significancia de los valores de Pearson

En la Tabla 18 se muestran los coeficientes de correlación de Pearson entre las características fisicoquímicas del suelo, además el rendimiento (Rdto) de grano de quinua, donde se observa que existió una correlación negativa alta ($r = -0.99$) entre el porcentaje de sodio (Na⁺) intercambiable con el porcentaje de calcio (Ca⁺⁺) intercambiable, seguido del pH que presento una correlación positiva y negativa moderada con Na⁺ ($r = 0.78$) y Ca⁺⁺ ($r = -0.77$) respectivamente.

Estos resultados son corroborados con Di Rienzo *et al.* (2016) quienes mencionan que cuando r está en la proximidad de 1 o -1 los pares (x,y) se alinean sobre una recta con pendiente positiva o negativa según el signo del coeficiente. Cuando $r = 0$, los pares (x,y) están dispersos alrededor del punto (X,Y) sin ninguna dirección predominante.

4.1.7.1. Correlación entre % Ca⁺⁺ y Na⁺ intercambiable

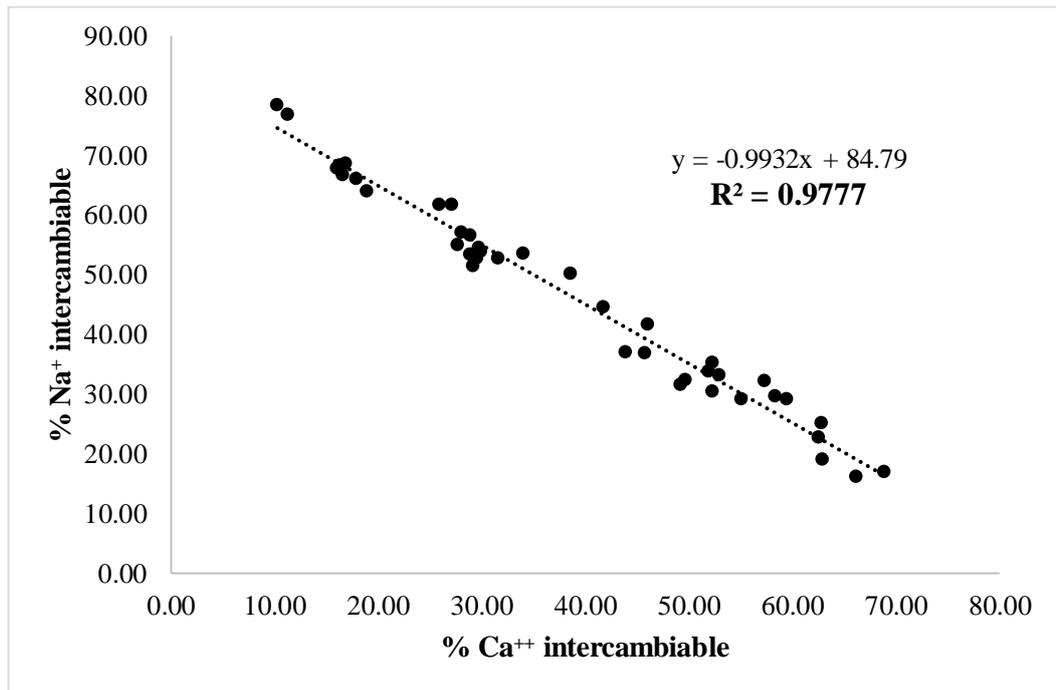


Figura 19. Correlación y regresión lineal de Pearson entre porcentaje de Ca⁺⁺ y Na⁺ intercambiable.

En la Figura 19 se muestra la correlación directa entre el porcentaje de Ca⁺⁺ intercambiable con el porcentaje de Na⁺ intercambiable, en lo cual se aprecia que a (> Ca⁺⁺ < Na⁺) y a (< Ca⁺⁺ > Na⁺), esto se debe a que el Ca⁺⁺ sustituye o desplaza al Na⁺ mediante el proceso de intercambio catiónico en el complejo coloidal del suelo, además la línea de tendencia a la que se ajusta la distribución de los datos con R² da como resultado a una regresión lineal.

Estos resultados de relación de bases son corroborados con lo que respalda Cepeda (2007) quién indica que 1 meq de sodio será desplazado por 1 meq de sulfato de calcio (yeso).

4.1.7.2. Correlación entre pH del suelo y % Na⁺ intercambiable

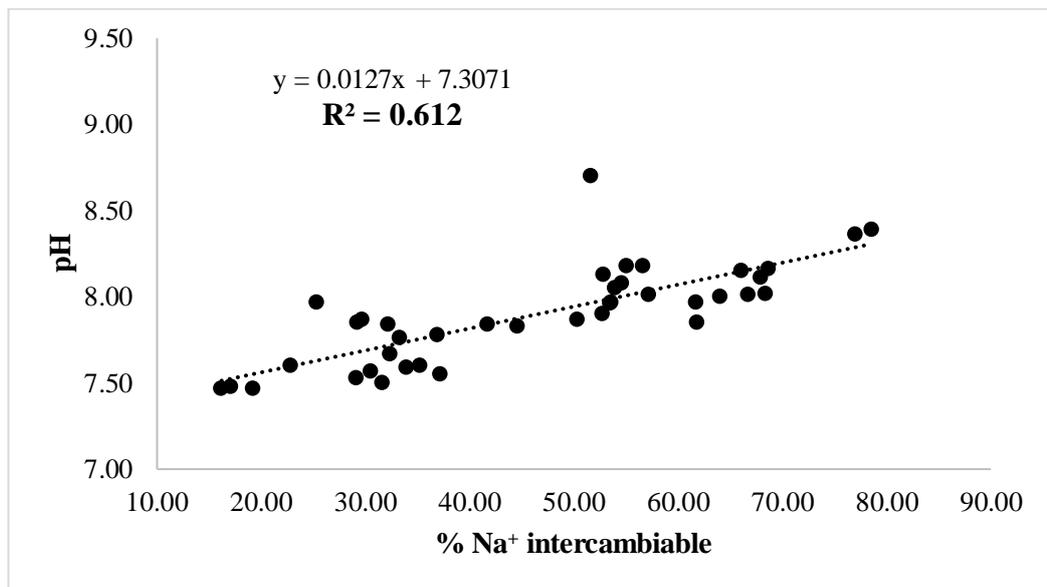


Figura 20. Correlación y regresión lineal de Pearson entre pH del suelo y % Na⁺ intercambiable.

En la Figura 20 se muestra la correlación entre el pH del suelo con el porcentaje de Na⁺ intercambiable, en lo cual se aprecia que a (< Na⁺ < pH) y a (> Na⁺ > pH), esto se debe a que el Na⁺ tiene una reacción básica dentro del suelo, además la línea de tendencia a la que se ajusta la distribución de los datos con R² da como resultado a una regresión lineal.

Estos resultados guardan relación con lo que sostiene Cepeda (2007) quien sostiene que en casi todos los suelos con pH superior a 8 poseen un exceso de sales o un elevado porcentaje de Na⁺ en sus sitios de intercambio catiónico.

4.2. INFLUENCIA DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS EN EL RENDIMIENTO DE LA QUINUA VARIEDAD SALCEDO INIA.

Tabla 19. Análisis de varianza para el rendimiento de grano de quinua.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > ChiSq	Pr > F	Sig.
Lugar	1	80	0.56	0.56	0.4524	0.4546	ns
Enmiendas	9	80	20.51	2.28	0.015	0.0249	*
Lugar*Enmiendas	9	80	3.47	0.39	0.9428	0.9389	ns

*: Significativo; ns: no significativo

Tabla 20. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos principales para el rendimiento de grano de quinua

Factor	n	Rendimiento (gr/planta)	Rdto (kg/ha), media ± error estándar
Lugar			
Juli	50	3.11	1088.01±0.08 a
Tiquillaca	50	3.14	1099.00±0.07 a
Enmiendas			
T1	10	2.69	941.50±0.08 b
T2	10	3.11	1088.50±0.11 ab
T3	10	3.14	1100.05±0.13 ab
T4	10	3.39	1186.50±0.20 ab
T5	10	3.15	1101.10±0.26 ab
T6	10	3.03	1059.80±0.13 ab
T7	10	3.14	1098.30±0.07 ab
T8	10	3.04	1064.00±0.16 ab
T9	10	3.05	1068.90±0.07 ab
T10	10	3.50	1226.40±0.23 a
Media general	-	3.12	1093.51

T1: Testigo absoluto, **T2:** yeso agrícola 20 ton/ha, **T3:** yeso agrícola 40 ton/ha, **T4:** yeso agrícola 60 ton/ha, **T5:** estiércol de ovino 20 ton/ha, **T6:** estiércol de ovino 40 ton/ha, **T7:** estiércol de ovino 60 ton/ha, **T8:** yeso agrícola 10 ton/ha + estiércol de ovino 10 ton/ha, **T9:** yeso agrícola 20 ton/ha + estiércol de ovino 20 ton/ha, **T10:** yeso agrícola 30 ton/ha + estiércol de ovino 30 ton/ha.

Tabla 21. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de enmiendas dentro de lugar para el rendimiento de grano de quinua

Factor	n	Rendimiento (gr/planta)	Rdto (kg/ha), media ± error estándar
Juli			
T1	5	2.73	955.50±0.10 b
T2	5	3.14	1100.40±0.11 ab
T3	5	2.94	1029.00±0.15 ab
T4	5	3.21	1122.80±0.26 ab
T5	5	3.31	1157.80±0.53 a
T6	5	3.08	1076.60±0.17 ab
T7	5	3.08	1076.60±0.06 ab
T8	5	2.91	1019.20±0.15 ab
T9	5	3.03	1059.80±0.10 ab
T10	5	3.66	1282.40±0.47 a
Tiquillaca			
T1	5	2.65	927.50±0.14 b
T2	5	3.08	1076.60±0.20 ab
T3	5	3.35	1171.10±0.19 a
T4	5	3.57	1250.20±0.33 a
T5	5	2.98	1044.40±0.13 ab
T6	5	2.98	1043.00±0.20 ab
T7	5	3.20	1120.00±0.13 a
T8	5	3.17	1108.80±0.29 ab
T9	5	3.08	1078.00±0.10 ab
T10	5	3.34	1170.40±0.12 a

Las letras en las columnas representan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).

Tabla 22. Comparación múltiple de medias de Tukey de efectos simples de lugar dentro de enmiendas para el rendimiento de grano de quinua

Trat	Factor	n	Rendimiento (gr/planta)	Rdto (kg/ha), media \pm error estándar
T1	Juli	5	2.73	955.50 \pm 0.10 a
T1	Tiquillaca	5	2.65	927.50 \pm 0.14 a
T2	Juli	5	3.14	1100.40 \pm 0.11 a
T2	Tiquillaca	5	3.08	1076.60 \pm 0.20 a
T3	Juli	5	2.94	1029.00 \pm 0.15 a
T3	Tiquillaca	5	3.35	1171.10 \pm 0.19 a
T4	Juli	5	3.21	1122.80 \pm 0.26 a
T4	Tiquillaca	5	3.57	1250.20 \pm 0.33 a
T5	Juli	5	3.31	1157.80 \pm 0.53 a
T5	Tiquillaca	5	2.98	1044.40 \pm 0.13 a
T6	Juli	5	3.08	1076.60 \pm 0.17 a
T6	Tiquillaca	5	2.98	1043.00 \pm 0.20 a
T7	Juli	5	3.08	1076.60 \pm 0.06 a
T7	Tiquillaca	5	3.20	1120.00 \pm 0.13 a
T8	Juli	5	2.91	1019.20 \pm 0.15 a
T8	Tiquillaca	5	3.17	1108.80 \pm 0.29 a
T9	Juli	5	3.03	1059.80 \pm 0.10 a
T9	Tiquillaca	5	3.08	1078.00 \pm 0.10 a
T10	Juli	5	3.66	1282.40 \pm 0.47 a
T10	Tiquillaca	5	3.34	1170.40 \pm 0.12 a

Las letras en las columnas representan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$).



En la Tabla 19 se presenta el resultado del análisis de varianza (ANVA) para el rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA, donde para el **factor lugar (Juli y Tiquillaca)** y para el **efecto de la interacción (lugar*enmiendas)** no existieron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$), lo cual se asume que fue debido a la temperatura uniforme del aire dentro del invernadero; mientras tanto para el **factor enmienda** existió diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$), lo que significa que al menos uno de los enmiendas tiene una reacción química diferente en comparación de los otros e influye sobre el rendimiento de grano de quinua.

En la Tabla 20 se presenta la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos principales** del rendimiento de grano de quinua var. Salcedo INIA:

Para el **factor lugar** los rendimientos fueron estadísticamente similares, esto se asume que las diferentes concentración de sales solubles (CE_{ext} de 2 a 3 mmhos/cm) e intercambiables ($PSI > 15\%$) en ambos suelos no influyen en el rendimiento, pero si hubo influencia por la temperatura.

Para el **factor enmienda** la media del tratamiento T10 tuvo mayor rendimiento de grano quinua de 1226.40 ± 0.23 kg/ha, donde estadísticamente es diferente y superior a comparación del tratamiento T1 que tuvo menor rendimiento de grano de quinua de 941.50 ± 0.08 kg/ha; lo que demuestra que la dosis alta de la combinación de yeso agrícola con estiércol de ovino tuvo mayor influencia en el rendimiento de grano de quinua a comparación con el testigo absoluto sin enmienda.

En las Tablas 21 y 22 se presentan las pruebas de comparación múltiple de medias de Tukey para **efectos simples** del rendimiento de grano de quinua var. Salcedo INIA:

Para el **factor enmienda dentro de lugar (Juli)**, las medias de los tratamientos T5 y T10 tuvieron mayores rendimientos de 1157.80 ± 0.53 y 1282.40 ± 0.47 kg/ha respectivamente, donde estadísticamente fueron diferentes y mejores a comparación de

la media del tratamiento T1 (testigo absoluto sin enmienda) que tuvo menor rendimiento de 955.50 ± 0.10 kg/ha; en cambio, para las **enmiendas dentro de lugar (Tiquillaca)**, las medias de los tratamientos T3, T4, T7 y T10 tuvieron mayores rendimientos de 1171.10 ± 0.19 , 1250.20 ± 0.33 , 1120.00 ± 0.13 y 1170.40 ± 0.12 kg/ha respectivamente, donde estadísticamente fueron diferentes y mejores a comparación de la media del tratamiento T1 (testigo absoluto sin enmienda) que tuvo menor rendimiento de 927.50 ± 0.14 kg/ha, lo que demuestra que las enmiendas influyen y tienen reacciones químicas diferentes en ambos suelos.

Para **lugar dentro de enmiendas**, las medias de todos los tratamientos tuvieron comportamientos similares estadísticamente tanto en suelos de Juli y Tiquillaca.

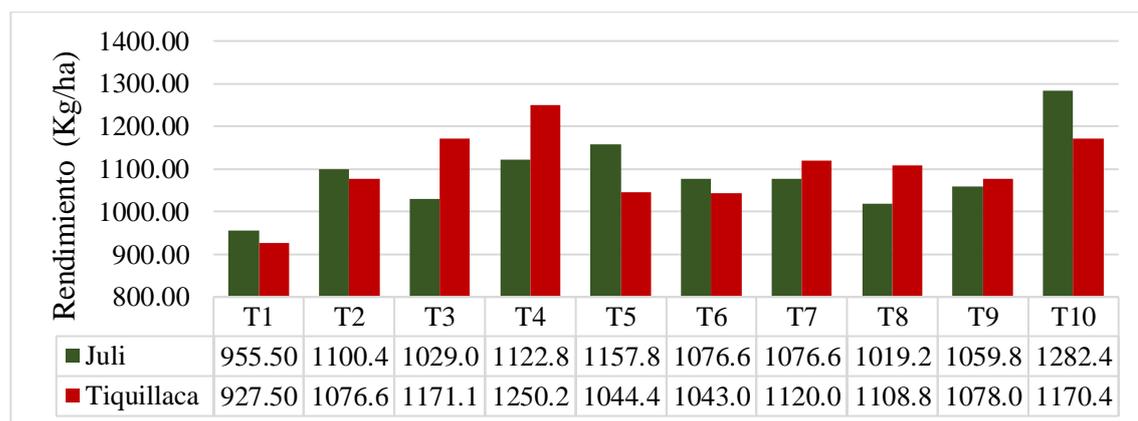


Figura 21. Rendimiento grano de quinua var. Salcedo INIA para Juli y Tiquillaca

En la figura 21 se muestra las medias del rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA en los suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca, donde se observa que existe ligera diferencia entre los tratamientos de ambos suelos, los rendimientos obtenidos en todos los tratamientos no lograron alcanzar y mucho menos superar a los rendimientos reportados por Apaza *et al.* (2013) quienes mencionan que el rendimiento promedio de grano de quinua variedad Salcedo INIA en zona alto andina es de 2,500 kg/ha, por lo cual se presume que los bajos rendimientos en todos los tratamientos fue debido a la alta temperatura dentro del invernadero, promedio que osciló entre una máxima de 35.10°C



(Tabla 8), temperatura alta producen aborto de flores y muerte de estigmas y estambres, imposibilitando la formación de polen y por lo tanto impidiendo la formación de grano, tal como reporta la Junta del Acuerdo de Cartagena (1990), ya que no existe una correlación directa con las sales más tóxicas del suelo. Sin embargo, los tratamientos con enmiendas incorporadas sobre suelos salinos-sódicos nos dan a entender que ayuda y mejora los rendimientos de grano de quinua en comparación al testigo absoluto (T1) influyendo sobre las propiedades del suelo y en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Los resultados obtenidos del presente trabajo de investigación muestran que la salinidad ($CE = 2 - 3$ mmhos/cm) y sodicidad ($PSI = >15\%$) no influyen directamente en el rendimiento de grano de quinua, ya que según Rengasamy (2002), sostiene que el rendimiento real de grano en suelos sódicos es a menudo menos de la mitad del rendimiento potencial esperado sobre la base del clima, debido a limitaciones del subsuelo como salinidad, sodicidad, alcalinidad, deficiencias de nutrientes y toxicidad de iones.

4.3. ANÁLISIS DE LA RELACIÓN BENEFICIO/COSTO DE LA REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINOS-SÓDICOS EN EL CULTIVO DE QUINUA

Tabla 23. Análisis económico para el cultivo de quinua var. Salcedo INIA en suelo salino-sódico de Juli

Indicadores	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Costo Total del Cultivo (s/.)	3966.00	17551.00	30751.00	43951.00	6551.00	8751.00	10951.00	12051.00	19751.00	27451.00
Producción grano (kg/ha)	955.50	1100.40	1029.00	1122.80	1157.80	1076.60	1076.60	1019.20	1059.80	1282.40
Precio (s/./kg)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Ingreso total (s/.)	11466.00	13204.80	12348.00	13473.60	13893.60	12919.20	12919.20	12230.40	12717.60	15388.80
Ingreso Neto (s/.)	7500.00	-4346.20	-18403.00	-30477.40	7342.60	4168.20	1968.20	179.40	-7033.40	-12062.20
Rentabilidad (%)	189.11	-24.76	-59.85	-69.34	112.08	47.63	17.97	1.49	-35.61	-43.94
Relación B/C	2.89	0.75	0.40	0.31	2.12	1.48	1.18	1.01	0.64	0.56
% Na ⁺ intercambiable	+7.72	-11.00	-24.61	-28.95	+7.19	+9.73	+8.67	-8.58	-13.59	-15.74

+: Eficiencia positiva (Na⁺); -: eficiencia negativa (Na⁺)

Tabla 24. Análisis económico para el cultivo de quinua var. Salcedo INIA en suelo salino-sódico de Tiquillaca

Indicadores	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Costo Total del Cultivo (s/.)	3883.50	17468.50	30668.50	43868.50	6468.50	8668.50	10868.50	11968.50	19668.50	27368.50
Producción grano (kg/ha)	927.50	1076.60	1171.10	1250.20	1044.40	1043.00	1120.00	1108.80	1078.00	1170.40
Precio (s/./kg)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Ingreso total (s/.)	11130.00	12919.20	14053.20	15002.40	12532.80	12516.00	13440.00	13305.60	12936.00	14044.80
Ingreso Neto (s/.)	7246.50	-4549.30	-16615.30	-28866.10	6064.30	3847.50	2571.50	1337.10	-6732.50	-13323.70
Rentabilidad (%)	186.60	-26.04	-54.18	-65.80	93.75	44.38	23.66	11.17	-34.23	-48.68
Relación B/C	2.87	0.74	0.46	0.34	1.94	1.44	1.24	1.11	0.66	0.51
% Na ⁺ intercambiable	-1.31	-21.38	-48.11	-51.80	-11.82	-11.37	-13.10	-19.87	-31.63	-41.60

-: Eficiencia negativa (Na⁺)

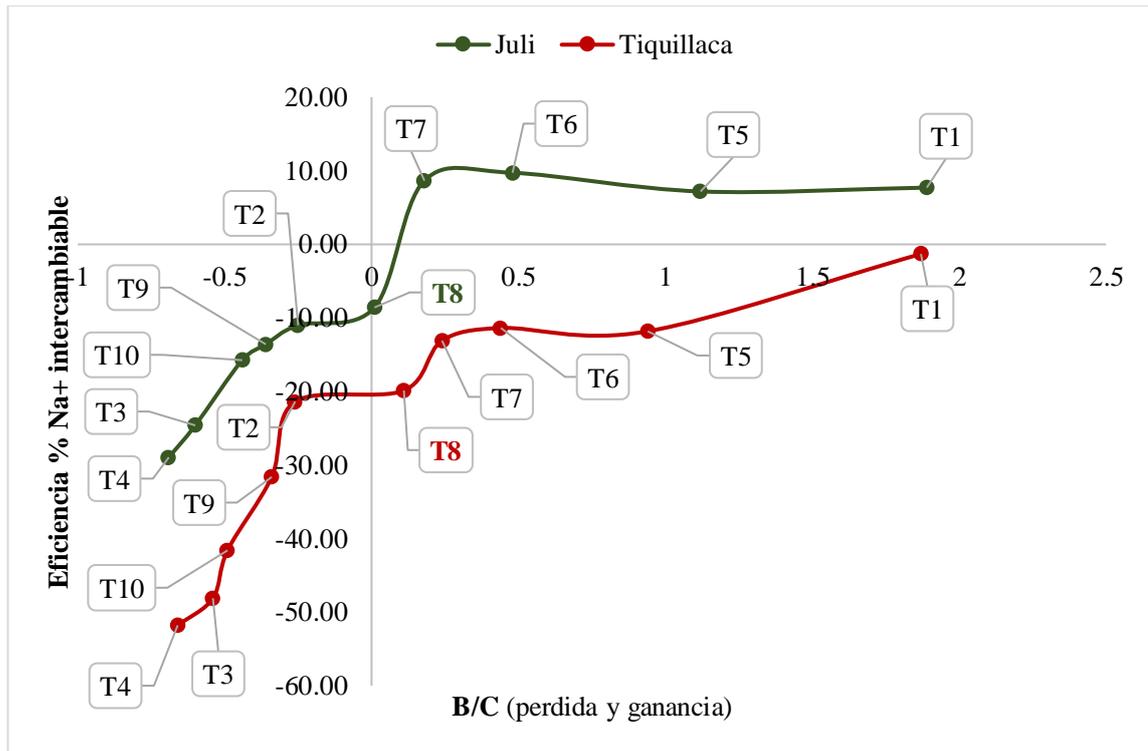


Figura 22. Gráfico de dispersión entre la relación B/C y la eficiencia del porcentaje de Na⁺ intercambiable para suelo de Juli y Tiquillaca.

En las Tablas 28, 29 y Figura 22 se muestran los análisis económicos de la relación beneficio/costo (B/C) para el cultivo de quinua variedad Salcedo INIA en suelos salinos-sódicos de Juli y Tiquillaca en relación a la eficiencia del porcentaje de sodio (Na⁺) intercambiable, donde se aprecia que la mejor enmienda fue el tratamiento T8, lo que indica que por cada s/. 1.00 invertido se gana s/. 0.01 y 0.11 respectivamente, donde no se pierde, pero se recupera la inversión y lo más importante redujeron los niveles de Na⁺ intercambiable del suelo (-8.58 y -19.87 %) tanto para suelos de Juli y Tiquillaca.

Además, en suelos de Juli y Tiquillaca la relación B/C de los testigos absolutos y estiércol de ovino fueron mayores a uno (T1 = s/. 1.89 y 1.87) y (T5 = s/. 1.12 y 0.94, T6 = s/. 0.48 y 0.44 y T7 = s/. 0.18 y 0.24), lo que significa que los beneficios son mayores a los costos (ganancias económicas); pero los niveles de Na⁺ intercambiable aumentaron en suelos de Juli y disminuyeron en suelos de Tiquillaca en cantidades mínimas comparado con el tratamiento T8.



También, en suelos de Juli y Tiquillaca la relación B/C de la enmienda yeso agrícola y combinaciones fueron menores a uno (T4 = s/. -0.69 y -0.66, T3 = s/. -0.60 y -0.54, T10 = s/. -0.44 y -0.49, T9 = s/. -0.36 y -0.34 y T2 = s/. -0.25 y -0.26), lo que demuestra que los costos superan a los beneficios (perdidas económicas); pero los niveles de Na^+ intercambiable disminuyeron en ambos suelos (T4 = -28.95 y -51.80 %, T3 = -24.61 y -48.11 %, T10 = -15.74 y -41.60 %, T9 = -13.59 y -31.63 % y T2 = -11.00 y -21.38 %), lo que significa que las enmiendas incorporados con grandes cantidades no se gana, si no se pierde la inversión, pero disminuyen considerablemente las concentraciones de Na^+ en el complejo coloidal, por lo cual se recomienda cultivar quinua variedad Salcedo INIA para dos campañas a más en los mismos suelos enmendados, en lo cual se presume que en la segunda campaña la relación B/C será mayores a uno.

Estos resultados de la relación B/C son corroborados por la Fundación Produce Nayarit (2010) quienes manifiestan que en la mayoría de los casos el factor limitante en la rehabilitación de suelos ensalitrados no es la tecnología, sino el costo de recuperación, resultando mucho más económico cambiar el tipo de explotación o cultivo.



V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se establecen las siguientes conclusiones:

- a) La mejor eficiencia de recuperación de la salinidad de los suelos se dio con la práctica hidrotécnica; donde la conductividad eléctrica (CE_{ext}) del suelo de Juli con 13.40 mmhos/cm y Tiquillaca con 14.38 mmhos/cm disminuyeron considerablemente a rangos de 2 - 3 mmhos/cm, el pH del suelo de Juli con 8.97 y Tiquillaca con 8.75 aumentaron temporalmente a escalas de 8.97 y 9.45 y durante el crecimiento y desarrollo de la quinua disminuyeron, principalmente con enmiendas de yeso agrícola ($pH \leq 7.90$). La mejor eficiencia de reducción de la sodicidad no se logró en su totalidad, la alta reducción del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) se consiguió con la dosis alta T4 (yeso agrícola 60 ton/ha) en suelo de Juli con PSI de 45.58% redujo a 16.63% y en Tiquillaca con PSI de 79.05% redujo a 27.25%, el estiércol de ovino no influyó en la reducción del PSI; la dosis alta T7 (estiércol de ovino 60 ton/ha) influyó en la densidad aparente (D_{ap}) del suelo de Juli con 1.44 gr/cm³ disminuyó a 1.31 gr/cm³ y en Tiquillaca con 1.20 gr/cm³ disminuyó a 1.08 gr/cm³.
- b) La conductividad eléctrica (CE_{ext}) del suelo 2 - 4 mmhos/cm y el alto porcentaje de sodio intercambiable ($PSI > 15\%$) no influyeron en el rendimiento de grano de quinua variedad Salcedo INIA; el factor que influyó en el rendimiento fue las temperaturas altas del invernadero (35.10°C). El mayor rendimiento de grano de quinua se obtuvo con el tratamiento T10 (yeso agrícola 30 ton/ha + estiércol de ovino 30 ton/ha) tanto en suelo de Juli y Tiquillaca cuyos rendimientos fueron de 1282.4 y 1170.4 kg/ha respectivamente.



c) La mejor relación B/C en la rehabilitación en suelos de Juli y Tiquillaca se obtuvo con el tratamiento T8 (yeso agrícola 10 ton/ha + estiércol de ovino 10 ton/ha), donde se recupera la inversión y se gana lo mínimo s/. 0.01 y 0.11 por cada 1.00 invertido, pero los niveles de sodio intercambiable reducen en cantidades medias de -8.58 y -19.87 % respectivamente. La ganancia económica se obtuvo con el testigo absoluto y el estiércol de ovino, pero los niveles de Na^+ aumenta en suelo de Juli y disminuye en suelos de Tiquillaca en cantidades mínimas. La pérdida económica se obtuvo con yeso agrícola y combinaciones, pero sin embargo disminuyen considerablemente los niveles de Na^+ intercambiable.



VI. RECOMENDACIONES

De las conclusiones obtenidas, se establecen las siguientes recomendaciones:

- a) Realizar el mismo experimento en condiciones de campo en suelos salinos-sódicos del altiplano de Puno, incorporando yeso agrícola con dosis óptimas en función al porcentaje de sodio intercambiable a fin de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Realizar la práctica hidrotecnia con aguas de buena calidad, aguas con bajas concentraciones de sales, para ello se recomienda practicar la siembra y cosecha de agua construyendo reservorios o cochas para asegurar la cantidad y calidad del agua, además construir canales de drenaje para la remoción de sales.

- b) La conductividad eléctrica de los suelos debe estar en rangos de 2 a 4 mmhos/cm y en ello se sugiere el uso combinado de yeso agrícola (30 ton/ha) con estiércol de ovino (30 ton/ha) debido a que en el presente trabajo de investigación la quinua variedad Salcedo INIA tuvo un mayor rendimiento de grano.

- c) Realizar la incorporación de yeso agrícola en los suelos, en la primera campaña existirán pérdidas económicas, pero reducirán los niveles de sodio intercambiable, por lo cual se recomienda cultivar quinua variedad Salcedo INIA a largo plazo (dos campañas a más).



VII. REFERENCIAS

- Abdel, M., Fouda, S., & Schmidhalter, U. (2015). Effects of Gypsum Particle Size on Reclaiming Saline-Sodic Soils in Egypt. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(9), 1112-1122. doi: 10.1080/00103624.2015.1018528
- Aceves, E. (1979). *El ensalitramiento de los suelos bajo riego: identificación, control, combate y adaptación* (Colegio de Postgraduados Ed.). Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Adolf, V., Jacobsen, S., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54. doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.07.004
- Alconada, M., Lanfranco, J., & Pellegrini, A. (2018). *Suelo en el paisaje Parte I Condiciones de dotación* (Eduulp ed.). La Plata, Argentina.
- Apaza, V., Cáceres, G., Estrada, R., & Pinedo, R. (2013). Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. In INIA & FAO (Eds.), (Primera ed., pp. 41 - 45). Lima, Perú.
- Armstrong, A., & Tanton, T. (1992). Gypsum applications to aggregated saline - sodic clay topsoils. *Journal of Soil Science*, 43(2), 249-260. doi: 10.1111/j.1365-2389.1992.tb00133.x
- Ashraf, M., & Wu, L. (1994). Breeding for Salinity Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(1), 17-42. doi: 10.1080/07352689409701906
- Ayers, A. (1952). Seed Germination as Affected by Soil Moisture and Salinity. 82 - 84. doi: 10.2134/agronj1952.00021962004400020006x
- Badia, D. (1992). *Suelos afectados por sales* (Vol. XIII). Bellaterra, Barcelona.



- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2018). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas* (INTA Ed. Primera ed.). Buenos Aires, Argentina.
- Barzegar, A., Nelson, P., Oades, J., & Rengasamy, P. (1997). Organic matter, sodicity, and clay type: Influence on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal*, 61(4), 1131-1137. doi: 10.2136/sssaj1997.03615995006100040020x
- Benito, B., Haro, R., Amtmann, A., Cuin, T. A., & Dreyer, I. (2014). The twins K⁺ and Na⁺ in plants. *Journal of Plant Physiology*, 171(9), 723-731. doi: 10.1016/j.jplph.2013.10.014
- Bernstein, L. (1961). Osmotic adjustment of plant to saline media. 48, 909 - 917. doi: 10.1002/j.1537-2197.1961.tb11730.x
- Besoain, E. (1985). *Mineralogía de Arcillas de Suelos* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA Ed.). San José, Costa Rica.
- Bose, J., Rodrigo, A., & Shabala, S. (2014). ROS homeostasis in halophytes in the context of salinity stress tolerance. *J Exp Bot*, 65(5), 1241-1257. doi: 10.1093/jxb/ert430
- Buringh, P. (1960). *Soils and Soil Conditions in Irak*. Bagdad - Irak.
- Byrt, C., Munns, R., Burton, R., Gilliam, M., & Wege, S. (2018). Root cell wall solutions for crop plants in saline soils. *Plant Science*, 269, 47-55. doi: 10.1016/j.plantsci.2017.12.012
- Cari, A. (1978). *Efectos de la salinidad y fertilización potásica en dos variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. (Pregrado), Universidad Nacional Tecnica del Altiplano, Puno, Perú.
- Castellanos, J. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas* (INTAGRI Ed. Segunda ed.). Guanajuato, México.



- Cepeda, J. (2007). *Química de Suelos* (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Ed. Segunda ed.). México.
- Courel, G. (2019). Guía de estudio Suelos Salinos y Sódicos. In Cátedra de Edafología-Facultad de Agronomía y Zootecnia-Universidad Nacional de Tucumán (Ed.), (pp. 2 - 3). Tucumán, Argentina.
- Chaudhry, M. (2001). Gypsum efficiency in the amelioration of saline sodic/sodic soils. *International Journal of Agriculture and Biology (Pakistan)*.
- Cheeseman, J. (2013). The integration of activity in saline environments: problems and perspectives. *Functional Plant Biology*, 40(9), 759-774. doi: <https://doi.org/10.1071/FP12285>
- Davelouis, J. (1992). *Edafología. Tomo I - II* (Universidad Nacional Agraria la Molina Ed. Primera ed.). Lima, Perú.
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Gonzalez, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C., & Balzarini, M. (2016). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias* (Séptima ed.). Córdoba, Argentina.
- Dorronsoro, C. (2004). Tema 12. Contaminación por sales solubles. 1 - 7. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema12/concep.htm>
- FAO. (2016a). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos*. Roma, Italia.
- FAO. (2016b). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Roma, Italia.
- Fassbender, H., & Bornemisza, E. (1994). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA Ed. Segunda ed.). San José, Costa Rica.



- Flowers, T., & Colmer, T. (2015). Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Ann Bot*, 115(3), 327-331. doi: 10.1093/aob/mcu267
- Flowers, T., Munns, R., & Colmer, T. (2015). Sodium chloride toxicity and the cellular basis of salt tolerance in halophytes. *Ann Bot*, 115(3), 419-431. doi: 10.1093/aob/mcu217
- Franquet, A. (1969). *Estudio de rentabilidad* (Deusto Ed. Vol. 13). Barcelona, España.
- Fundación Produce Nayarit, A. C. (2010). Salinidad del Suelo. In SAGARPA. & SEDER. (Eds.), (pp. 4 - 57). México.
- García, A. (2001). *Fertilidad de Suelos Diagnóstico y Control* (F. Silva Ed. Segunda ed.). Bogotá, Colombia.
- Geilfus, C. (2018). Review on the significance of chlorine for crop yield and quality. *Plant Science*, 270, 114-122. doi: 10.1016/j.plantsci.2018.02.014
- Ghaly, F. (2002). Role of natural vegetation in improving salt affected soil in northern Egypt. 173 - 178. doi: 10.1016/S0167-1987(01)00240-9
- Gonçalo, F., da Silva, N., Suddarth, S., Ferreira, J., Anderson, R., dos Santos, C., . . . Cosme, C. (2019). Reclaiming Tropical Saline-Sodic Soils with Gypsum and Cow Manure. *Water*, 12(1), 57. doi: 10.3390/w12010057
- Guarino, F., Ruiz, K., Castiglione, S., Cicatelli, A., & Biondi, S. (2020). The combined effect of Cr(III) and NaCl determines changes in metal uptake, nutrient content, and gene expression in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Ecotoxicol Environ Saf*, 193, 110345. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110345
- Gul, B., Ansari, R., Flowers, T., & Khan, M. (2013). Germination strategies of halophyte seeds under salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 4-18. doi: 10.1016/j.envexpbot.2012.11.006



- Gupta, R., & Abrol, I. (1990). Salt-Affected Soils: Their Reclamation and Management for Crop Production. 224 - 276. doi: 10.1007/978-1-4612-3322-0_7
- Herrera, A. (2010). *Suelos: Con énfasis del Altiplano* (Primera ed. Vol. 1). Puno, Perú.
- Hussain, M., Al-Dakheel, A., & Reigosa, M. (2018). Genotypic differences in agrophysiological, biochemical and isotopic responses to salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants: Prospects for salinity tolerance and yield stability. *Plant Physiol Biochem*, 129, 411-420. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.06.023
- IDEAM, CAR, & U.D.C.A. (2017). Protocolo para la identificación y evaluación de la degradación de suelos por salinización (pp. 34). Colombia.
- Imbellone, P., Giménez, J., & Panigatti, J. (2010). *Suelos de la Región Pampeana. Procesos de Formación* (INTA ed.). Buenos Aires, Argentina.
- INTAGRI, S. C. (2015). Manual de Uso del Yeso Agrícola como Mejorador de Suelos. 1 - 9. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/manual-de-uso-del-yeso-agricola>
- INTAGRI, S. C. (2017a). El Yeso Agrícola en Fertirrigación. 1 - 4. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/El-Yeso-Agricola-en-Fertirrigacion>
- INTAGRI, S. C. (2017b). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. 1 - 5. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- INTAGRI, S. C. (2019). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. 1 - 3. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- Izquierdo, J., Mujica, A., Jacobsen, S., & Marathe, J. (2001). Quinoa (*Chenopodium quinoa* will) ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. *FAO*.



- Jalali, M., & Ranjbar, F. (2009). Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma*, 153(1-2), 194-204. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.08.004
- Jamil, A., Riaz, S., Ashraf, M., & Foolad, M. (2011). Gene Expression Profiling of Plants under Salt Stress. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 435-458. doi: 10.1080/07352689.2011.605739
- Jaramillo, V., den Toom, L., Castro, C., van der Pijl, N., Visser, R., van Loo, E., & van der Linden, C. (2020). Differential responses to salt stress in ion dynamics, growth and seed yield of European quinoa varieties. *Environmental and Experimental Botany*, 177, 104146. doi: 10.1016/j.envexpbot.2020.104146
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1990). *I Foro Internacional para el Fomento de Cultivos y Crianzas Andinos. Situación, perspectivas y bases para un programa de promoción de Cultivos y crianzas Andinos*. Cuzco, Perú.
- Jurinak, J., & Wagenet, R. (1981). Fertilization and salinity. *Salinity in irrigation and water resources*, 103-119.
- Karami, A., Homae, M., Afzalnia, S., Ruhipour, H., & Basirat, S. (2012). Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico-chemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 148, 22-28. doi: 10.1016/j.agee.2011.10.021
- Kovda, V., Berg, C., & Hagan, R. (1967). *International source-book on irrigation and drainage of arid lands in relation to salinity and alkalinity* (FAO-UNESCO Ed.). París, Francia.
- Lavado, R. (2010). *Fertilidad de Suelos Caracterización y Manejo en la Región Pampeana "3. Salinidad y alcalinidad: propiedades, efectos sobre los cultivos y*



- manejo*" (R. Álvarez, G. Rubio & C. Álvarez Eds. Primera ed.). Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía-Universidad de Buenos Aires.
- Lavado, R., & Taboada, M. (2018). Manejo de suelos Halomórficos. In Universidad Nacional de la Plata-Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-Curso Manejo y Conservación de Suelos (Ed.), (pp. 4 - 78). Buenos Aires, Argentina.
- Leogrande, R., & Vitti, C. (2018). Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, 33(1), 1-21. doi: 10.1080/15324982.2018.1498038
- Liu, M., Liang, Z., Ma, H., Huang, L., Bi, J., Gu, X., & Wang, M. (2010). Application of sheep manure in saline-sodic soils of Northeast China 1-effect on rice (*Oryza sativa* L.) yield and yield components. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(3/4 part 1), 524-529.
- López, R., Rodríguez, G., Naranjo, A., Beltrán, L., Troyo, E., Casanova, A., & Peralta, O. (2012). Uso de yeso para una agricultura orgánica sustentable en zonas áridas y semiáridas. *Interciencia*, 37(8), 594-601.
- Mamani, E. (2011). *Materia Orgánica y Producción de Abonos Orgánicos para la Agricultura Ecológica* (Primera ed.). Puno, Perú.
- Manousaki, E., & Kalogerakis, N. (2011). Halophytes-An Emerging Trend in Phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 13(10), 959-969. doi: 10.1080/15226514.2010.532241
- Manzano, J., Rivera, P., Briones, F., & Zamora, C. (2014). Rehabilitación de suelos salino-sódicos: estudio de caso en el distrito de riego 086, Jiménez, Tamaulipas, México. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 211-219.
- Mata, I., Rodríguez, M., López, J., & Vela., G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26-35.



- Miranda, J., Yoldi, A., Aguirresarobe, A., del Canto, A., & Pérez, U. (2018). Similarities and differences between the responses to osmotic and ionic stress in quinoa from a water use perspective. *Agricultural Water Management*, 203, 344-352. doi: 10.1016/j.agwat.2018.03.026
- Miranda, R., Caballero, A., Cadena, F., & Bosque, H. (2017). Salinidad y el cultivo de la quinua – una breve revisión bibliográfica. *Apthapi 3(1)*: 87-92., 6.
- Montgomery, D. (2017). *Design and Analysis of Experiments* (Ninth ed.). Arizona State University, United States.
- Mujica, A., & Chura, E. (2012). *Cultivo de granos andinos y cereales* (Universidad Nacional del Altiplano Ed.). Puno, Perú.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250. doi: 10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x
- Munns, R., & Gilliham, M. (2015). Salinity tolerance of crops - what is the cost? *New Phytol*, 208(3), 668-673. doi: 10.1111/nph.13519
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681. doi: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- Murtaza, B., Murtaza, G., Sabir, M., Owens, G., Abbas, G., Imran, M., & Shah, G. M. (2017). Amelioration of saline–sodic soil with gypsum can increase yield and nitrogen use efficiency in rice–wheat cropping system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(9), 1267-1280. doi: 10.1080/03650340.2016.1276285
- Navarro, G., & Navarro, S. (2003). *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal* (Segunda ed.). Madrid, España.
- Noriega, V. (2011). Cadena Agroproductiva de Papa Manejo y Fertilidad de Suelos. In Ministerio de Agricultura (Ed.), (pp. 50). Lima, Perú.



- Pavan, M., Bingham, F., & Pratt, P. (1984). Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, 48(1), 33-38. doi: 10.2136/sssaj1984.03615995004800010006x
- Porta, J., López, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (Mundi-Prensa Ed. Tercera ed.). Madrid, España.
- Qadir, M., Qureshi, R., & Ahmad, N. (2002). Amelioration of calcareous saline sodic soils through phytoremediation and chemical strategies. *18*(4), 381 - 385. doi: 10.1111/j.1475-2743.2002.tb00256.x
- Rengasamy, P. (2002). Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 42(3), 351-361. doi: 10.1071/EA01111
- Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *J Exp Bot*, 57(5), 1017-1023. doi: 10.1093/jxb/erj108
- Rezzouk, F., Shahid, M., Elouafi, I., Zhou, B., Arous, J., & Serret, M. (2020a). Agronomic performance of irrigated quinoa in desert areas: Comparing different approaches for early assessment of salinity stress. *Agricultural Water Management*, 240, 106205. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106205
- Rezzouk, F., Shahid, M., Elouafi, I., Zhou, B., Arous, J., & Serret, M. (2020b). Agronomical and analytical trait data assessed in a set of quinoa genotypes growing in the UAE under different irrigation salinity conditions. *Data in Brief*, 31, 105758. doi: 10.1016/j.dib.2020.105758
- Richards, L., Wilcox, L., Allison, L., Bernstein, L., Bower, C., Brown, J., . . . Reeve, R. (1970). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils - N° 60* (L. Richards Ed. Limusa ed.). Mexico.



- Rueda, J. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539-1563.
- Sánchez, P. (2013). *Nutrición de zarzamora*. Michoacán, México.
- Sentís, I. (2014). Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4), 50-63. doi: 10.1016/s2095-6339(15)30058-7
- Shah, D., & Madden, L. (2004). Nonparametric analysis of ordinal data in designed factorial experiments. *Phytopathology*, 94(1), 33-43. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.1.33
- Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (Décima segunda ed.). USDA, Estados Unidos.
- Tapia, M. (2000). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación* (FAO Ed. Segunda ed.). Santiago, Chile.
- Thompson, L., & Troeh, F. (2012). *Los suelos y su fertilidad* (Editorial Reverté Ed.). España.
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). *FUNDAMENTOS DE LA INGENIERÍA DE RIEGOS* (Universidad Nacional Agraria La Molina Ed. Primera ed.). Lima, Perú.
- Waqas, M., Yaning, C., Iqbal, H., Shareef, M., Ur Rehman, H., Iqbal, S., & Mahmood, S. (2019). Soil drenching of paclobutrazol: An efficient way to improve quinoa performance under salinity. *Physiol Plant*, 165(2), 219-231. doi: 10.1111/ppl.12820
- Wu, H., Zhang, X., Giraldo, J., & Shabala, S. (2018). It is not all about sodium: revealing tissue specificity and signalling roles of potassium in plant responses to salt stress. *Plant and Soil*, 431(1), 1-17. doi: 10.1007/s11104-018-3770-y



Zavaleta, A. (1992). *Edafología; el suelo en relación con la producción* (CONCYTEC Ed. 1ra ed.). Lima, Perú.

Zhang, J., & Shi, H. (2013). Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. *Photosynth Res*, *115*(1), 1-22. doi: 10.1007/s11120-013-9813-6

Zhao, C., Zhang, H., Song, C., Zhu, J., & Shabala, S. (2020). Mechanisms of Plant Responses and Adaptation to Soil Salinity. *The Innovation*, *1*(1), 1-17. doi: 10.1016/j.xinn.2020.100017

ANEXOS

Anexo 01. Certificados de análisis de suelos salinos-sódicos

ANALISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"
 Dirección: Acora – Puno. Procedencia: Suelo en estudio "Juli y Tiquillaca", Puno.
 Fecha de Recepción: 07 de Enero del 2019. Fecha de Certificación: 16 de Enero del 2019.
 Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANALISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Da gr/cm ³	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
			1	31011	Juli	37				
2	31012	Tiquillaca	25	7	68	FL	2,02	1,20	1,48	0,05
3										

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro Soluble (ppm)	CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100g	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)		Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g	Na me/100g	K me/100g		
	1	8,97	11,07	7,46	19,54				0,00	11,26	4,78	13,60		
2	8,75	12,13	6,60	3557,91			0,00	4,50	1,64	32,60	2,50	39,80	41,24	
3														

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN								
		CATIONES				ANIONES				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
1	13,40	10,56	3,40	24,50	18,90	376,58	1,79	0,90	0,00	0,12
2	14,38	11,16	15,50	38,00	13,74	416,58	1,79	1,30	0,00	0,18
3										

Referencias:
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:
 La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)

Nota:
 Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.

Los resultados son aplicables a esta muestra.

INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing^o JORGE CAMILLO ROJAS
 Jefe Laboratorio Analisis
 S/A L C E I O

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
 Puno. Puno. Perú
 T: (051) 363-812

Figura 23. Certificado de análisis de salinidad de suelos iniciales en estudio



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 27 de Junio del 2019.

Fecha de Certificación: 13 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECÁNICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
1	317N3	RIIT1 - Juli								
2	317N4	RIIT2 - Juli								
3	317N5	RIIT3 - Juli								
4	317O1	RIIT4 - Juli								
5	317O2	RIIT5 - Juli								
6	317O3	RIIT6 - Juli								
7	317O4	RIIT7 - Juli								
8	317O5	RIIT8 - Juli								
9	317P1	RIIT9 - Juli								
10	317P2	RIIT10 - Juli								

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro Soluble (ppm)	CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100g	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Zn		Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	9,14	2,00					0,00	13,50	4,84	15,40	1,70	30,80	35,44	
2	9,02	2,22					0,00	17,42	4,14	7,40	1,20	28,90	30,16	
3	8,97	2,48					0,00	22,06	3,78	7,30	1,20	34,00	34,34	
4	8,90	2,23					0,00	22,86	3,94	6,90	1,30	36,00	35,00	
5	9,13	2,50					0,00	12,60	4,30	15,20	1,40	36,00	33,50	
6	9,12	2,34					0,00	13,18	3,66	16,20	1,80	33,00	34,84	
7	9,08	2,95					0,00	13,64	3,82	18,10	1,30	33,10	36,86	
8	8,91	2,30					0,00	10,00	4,24	11,90	1,10	30,00	27,24	
9	8,90	2,61					0,00	11,00	3,98	10,50	1,10	30,20	26,58	
10	8,98	2,77					0,00	12,82	4,66	10,10	1,30	24,60	28,88	

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN									
		CATIONES				ANIONES					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
1	2,92	87,10	3,70	4,74	3,26	52,90	1,33	3,60	0,00	0,08	
2	2,79	80,70	4,00	13,44	7,12	41,30	1,46	3,40	0,00	0,14	
3	2,16	67,90	3,50	19,56	4,44	25,30	1,52	3,20	0,00	0,12	
4	2,33	66,10	4,00	6,30	8,68	25,30	1,42	3,00	0,00	0,24	
5	2,11	88,30	5,20	4,28	7,72	43,10	1,46	3,20	0,00	0,24	
6	2,30	78,20	5,20	4,54	3,66	38,30	1,73	3,80	0,00	0,16	
7	2,16	74,10	5,30	4,72	4,70	37,30	1,71	3,40	0,00	0,18	
8	2,02	84,30	5,10	11,80	4,30	42,90	1,58	3,60	0,00	0,10	
9	2,83	74,30	5,20	13,64	4,84	36,30	1,52	3,40	0,00	0,12	
10	2,52	71,10	5,20	14,76	5,04	34,60	1,75	3,20	0,00	0,06	

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. 8th Edición, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe solo es válido para la muestra sometida a ensayo)

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Rinconada de Salcedo - Puno, Puno, Perú
Tel: (051) 363-812
Ing. JORGE CANIVUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Figura 24. Certificado de análisis de salinidad de suelo lavado - Juli



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 27 de Junio del 2019.

Fecha de Certificación: 08 de Julio del 2019.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
1	317P3	RIIT1 - Tiquillaca								
2	317P4	RIIT2 - Tiquillaca								
3	317P5	RIIT3 - Tiquillaca								
4	317Q1	RIIT4 - Tiquillaca								
5	317Q2	RIIT5 - Tiquillaca								
6	317Q3	RIIT6 - Tiquillaca								
7	317Q4	RIIT7 - Tiquillaca								
8	317Q5	RIIT8 - Tiquillaca								
9	317R1	RIIT9 - Tiquillaca								
10	317R2	RIIT10 - Tiquillaca								

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro Soluble (ppm)	CATIONES CAMBIABLES					CIC me/100g	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Zn		Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)		me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	9,45	2,22					0,00	3,80	1,60	29,20	2,10	20,90	36,70	
2	9,33	2,90					0,00	17,80	1,50	25,50	2,80	36,60	47,60	
3	9,04	2,99					0,00	26,32	1,20	15,50	3,60	38,90	46,62	
4	9,22	2,60					0,00	32,00	1,88	11,90	3,10	39,10	48,88	
5	9,32	2,30					0,00	3,76	1,04	15,30	2,70	25,00	22,80	
6	9,30	2,15					0,00	5,22	1,54	17,50	3,10	24,60	27,36	
7	9,05	2,89					0,00	9,52	1,68	17,10	3,40	30,90	31,70	
8	9,21	2,45					0,00	14,00	1,70	20,10	3,80	37,50	39,60	
9	9,14	2,43					0,00	16,70	2,00	19,10	3,70	36,00	41,50	
10	8,95	2,17					0,00	22,00	1,20	19,10	3,80	25,00	46,10	

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN									
		CATIONES				ANIONES					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
1	2,12	60,10	5,00	2,90	3,54	54,40	1,85	3,00	0,00	0,60	
2	2,67	63,50	5,10	9,90	7,10	48,50	1,46	2,80	0,00	0,10	
3	2,74	57,30	5,10	21,40	5,90	41,10	1,63	3,00	0,00	0,10	
4	2,84	56,80	5,20	17,18	7,82	50,90	1,79	2,20	0,00	0,14	
5	2,08	61,30	5,20	1,76	6,24	50,90	2,38	2,80	0,00	0,12	
6	1,50	48,90	5,20	1,34	2,30	37,40	2,50	2,40	0,00	0,14	
7	0,82	35,00	4,90	1,52	2,66	39,70	2,96	2,80	0,00	0,06	
8	2,76	65,80	5,20	6,42	4,58	43,70	1,63	2,60	0,00	0,10	
9	2,35	53,50	5,20	8,60	7,40	35,30	1,85	3,00	0,00	0,12	
10	2,10	48,50	5,20	10,86	7,92	47,90	1,42	2,40	0,00	0,10	

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Series 9592, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo es válido para la muestra sometida a ensayo.

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.gob.pe



ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Puno, Perú
Ing. JORGE SANHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Figura 25. Certificado de análisis de salinidad de suelo lavado - Tiquillaca



PERÚ Ministerio de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 27 de Junio del 2019.

Fecha de Certificación: 08 de Julio del 2019.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

N°	Cod. Lab.	MARCAS	RI	RII	RIII	RIV	RV
			C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm
1	317R3	T1 - Juli	2,44	2,00	2,62	2,37	3,50
2	317R4	T2 - Juli	2,10	2,22	2,63	2,36	2,53
3	317R5	T3 - Juli	2,33	2,48	2,74	2,83	2,83
4	317S1	T4 - Juli	2,60	2,23	2,69	2,76	2,57
5	317S2	T5 - Juli	2,57	2,50	2,51	2,49	2,03
6	317S3	T6 - Juli	2,01	2,34	2,11	2,31	2,70
7	317S4	T7 - Juli	2,21	2,95	2,34	2,60	2,76
8	317S5	T8 - Juli	2,97	2,30	2,08	2,03	2,43
9	317T1	T9 - Juli	2,32	2,61	2,01	2,46	2,96
10	317T2	T10 - Juli	2,64	2,77	2,39	2,32	2,64

N°	Cod. Lab.	MARCAS	RI	RII	RIII	RIV	RV
			C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm	C.E. mmhos/cm
1	317T3	T1 - Tiquillaca	2,06	2,22	2,85	2,18	3,07
2	317T4	T2 - Tiquillaca	2,24	2,90	2,10	2,47	2,17
3	317T5	T3 - Tiquillaca	3,02	2,99	2,23	2,03	2,45
4	318A1	T4 - Tiquillaca	2,67	2,60	2,66	2,44	2,23
5	318A2	T5 - Tiquillaca	2,76	2,30	2,32	2,72	2,43
6	318A3	T6 - Tiquillaca	2,30	2,15	2,17	2,40	2,35
7	318A4	T7 - Tiquillaca	2,52	2,89	2,94	2,22	2,44
8	318A5	T8 - Tiquillaca	2,64	2,45	2,77	2,86	2,20
9	318B1	T9 - Tiquillaca	2,53	2,43	2,82	2,58	2,15
10	318B2	T10 - Tiquillaca	2,47	2,17	2,68	2,80	2,60

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:

La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.

Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CÁNHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812

Figura 26. Certificado de análisis de la conductividad eléctrica de suelo lavado



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 08 de Julio del 2019.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
			%	%	%					
1	318B3	RIIT1 - Juli	33,6	6,4	60	FL	2,11		1,44	0,05
2	318B4	RIIT2 - Juli	33,6	0,4	66	FL	1,98		1,20	0,04
3	318B5	RIIT3 - Juli	35,6	0,4	64	FL	2,02		0,90	0,03
4	318C1	RIIT4 - Juli	31,6	0,4	68	FL	1,85		0,80	0,02
5	318C2	RIIT5 - Juli	29,6	6,4	64	FL	1,98		1,00	0,03
6	318C3	RIIT6 - Juli	31,6	6,4	62	FL	1,89		1,56	0,05
7	318C4	RIIT7 - Juli	33,6	6,4	60	FL	1,76		1,40	0,05
8	218C5	RIIT8 - Juli	31,6	4,4	64	FL	1,54		1,36	0,05
9	318D1	RIIT9 - Juli	35,6	4,4	60	FL	1,80		1,37	0,05
10	318D2	RIIT10 - Juli	37,6	6,4	56	FL	1,45		1,40	0,05

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro Soluble (ppm)	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)		Al (me/100g)	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	Na (me/100g)	K (me/100g)		
1	8,18	2,37	5,80	0,000			0,00	7,20	4,20	14,30	0,30	30,00	26,00	
2	7,59	2,82	6,80	0,000			0,00	15,00	3,70	9,81	0,40	26,00	28,91	
3	7,60	2,30	6,00	0,000			0,00	16,20	3,50	5,90	0,30	30,00	25,90	
4	7,47	2,40	6,00	19,549			0,00	18,00	4,50	4,40	0,30	30,00	27,20	
5	8,13	2,83	5,93	0,000			0,00	8,00	4,40	14,30	0,40	28,00	27,10	
6	7,96	2,33	5,90	78,196			0,00	8,30	4,40	15,40	0,70	27,00	28,80	
7	8,05	2,48	5,93	469,176			0,00	8,82	3,85	15,90	0,90	28,00	29,47	
8	7,78	3,22	6,00	0,000			0,00	11,66	4,14	9,40	0,30	24,00	25,50	
9	7,67	2,73	5,94	78,196			0,00	13,50	4,50	8,80	0,40	30,00	27,20	
10	7,53	2,51	5,90	78,196			0,00	15,30	3,90	8,10	0,50	29,90	27,80	

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN								
		CATIONES				ANIONES				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁼⁼	HCO ₃ ⁻
1	2,97	33,90	0,00	4,40	5,22	28,20	2,17	2,40	0,00	1,10
2	2,51	21,90	0,10	16,36	6,24	10,00	2,67	3,00	0,00	0,90
3	2,65	23,90	0,10	26,30	6,38	14,00	2,58	2,40	0,00	1,00
4	3,06	28,50	0,00	26,42	6,68	15,60	3,04	2,60	0,00	1,20
5	2,54	63,00	0,60	5,42	3,98	22,80	2,58	2,30	0,00	1,40
6	3,05	68,40	1,60	4,80	5,20	30,20	2,92	2,40	0,00	1,50
7	3,48	77,40	4,20	5,54	4,46	35,20	2,92	2,10	0,00	1,90
8	4,25	81,40	0,60	13,00	7,00	34,80	2,58	2,40	0,00	1,20
9	3,40	68,80	1,60	17,20	6,40	33,80	3,33	2,00	0,00	1,30
10	3,21	63,50	1,00	20,00	6,70	20,80	3,25	2,80	0,00	1,20

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. - Sacramento, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe suscrita y sellada a ensayo.

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

www.inia.pe



ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Puno, Puno, Perú
Ing° JORGE CANHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis

Figura 27. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RII Juli



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 11 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
1	318D3	RIVT1 - Juli					1,76		1,40	0,05
2	318D4	RIVT2 - Juli					1,50		1,40	0,05
3	318D5	RIVT3 - Juli					1,80		1,32	0,04
4	318E1	RIVT4 - Juli					1,67		1,36	0,05
5	318E2	RIVT5 - Juli					1,63		1,39	0,05
6	318E3	RIVT6 - Juli					1,67		1,40	0,05
7	318E4	RIVT7 - Juli					1,98		1,38	0,05
8	318E5	RIVT8 - Juli					1,89		1,38	0,05
9	318F1	RIVT9 - Juli					1,98		1,33	0,04
10	318F2	RIVT10 - Juli					2,07		1,40	0,05

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Zn	Soluble	Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	8,70	2,60	5,60	312.784				0,00	7,90	4,84	14,00	0,40	29,00	27,14
2	7,60	2,47	6,00	19.549				0,00	14,52	3,28	9,79	0,20	25,00	27,79
3	7,47	3,12	6,00	1544.371				0,00	15,10	3,90	4,60	0,40	29,00	24,00
4	7,48	3,20	5,92	312.784				0,00	18,15	3,30	4,50	0,40	30,04	26,35
5	7,90	2,54	5,90	19.549				0,00	8,80	4,06	14,70	0,30	29,00	27,86
6	8,01	2,52	5,96	234.588				0,00	8,88	4,20	18,10	0,50	29,80	31,68
7	8,08	3,07	5,98	1485.724				0,00	8,51	4,30	15,60	0,20	31,00	28,61
8	7,55	2,89	5,98	156.392				0,00	10,40	4,00	8,80	0,50	25,00	23,70
9	7,50	2,68	5,90	117.294				0,00	12,90	4,54	8,30	0,50	28,00	26,24
10	7,57	3,37	6,03	547.372				0,00	13,70	4,20	8,00	0,30	34,80	26,20

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN									
		CATIONES					ANIONES				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
1	2,96	57,00	1,40	1,22	1,68	17,20	2,08	2,60	0,00	1,60	
2	3,07	60,60	0,30	19,00	6,30	16,80	2,38	2,20	0,00	0,40	
3	3,68	69,20	4,50	27,64	3,36	24,40	2,38	2,80	0,00	0,80	
4	4,10	74,30	1,20	25,82	5,28	24,20	2,83	2,20	0,00	1,00	
5	3,03	68,80	0,40	6,48	3,72	28,20	2,31	2,00	0,00	1,10	
6	3,45	76,20	2,80	4,90	2,80	36,20	2,83	2,80	0,00	1,10	
7	4,27	86,60	5,00	5,22	3,48	32,00	2,83	2,20	0,00	1,80	
8	2,33	52,50	0,80	11,42	4,58	15,60	2,17	2,20	0,00	1,40	
9	3,63	69,40	1,00	21,80	7,20	24,80	2,67	2,40	0,00	1,60	
10	4,16	78,50	3,00	18,44	5,56	34,60	2,83	2,60	0,00	0,90	

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988, 1950.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe de la muestra sometida a ensayo N° 1

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Rincónada de Salcedo
Puno, Puno, Perú
T: (051) 363-812
Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

Figura 28. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RIV Juli



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 11 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANÁLISIS		MECÁNICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arcilla	Limo	Textura				
			%	%	%					
1	318F3	RIIT1 - Tiquillaca	21,6	18,4	60	FL	1,23		1,46	0,05
2	318F4	RIIT2 - Tiquillaca	29,6	4,4	66	FL	1,45		1,42	0,05
3	318F5	RIIT3 - Tiquillaca	23,6	4,4	72	FL	1,76		1,40	0,05
4	318G1	RIIT4 - Tiquillaca	27,6	2,4	70	FL	1,54		1,43	0,05
5	318G2	RIIT5 - Tiquillaca	25,6	16,4	58	FL	1,63		1,00	0,03
6	318G3	RIIT6 - Tiquillaca	25,6	14,4	60	FL	0,88		0,96	0,03
7	318G4	RIIT7 - Tiquillaca	27,6	12,4	60	FL	1,45		0,94	0,03
8	318G5	RIIT8 - Tiquillaca	27,6	14,4	58	FL	1,41		0,76	0,03
9	318H1	RIIT9 - Tiquillaca	25,6	12,4	62	FL	1,36		1,00	0,03
10	318H2	RIIT10 - Tiquillaca	29,6	2,4	68	FL	1,36		1,11	0,04

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Zn	Soluble	Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	8,36	2,82	6,90	1720,312				0,00	4,36	1,74	29,70	2,80	35,00	38,60
2	7,85	3,42	6,01	1251,136				0,00	10,70	1,30	24,40	3,10	38,00	39,50
3	7,84	4,20	6,20	742,862				0,00	22,94	1,12	12,90	3,10	38,00	40,06
4	7,85	3,98	5,99	781,96				0,00	24,80	1,24	12,20	3,50	36,00	41,74
5	8,15	2,83	6,03	2169,939				0,00	4,20	1,56	15,50	2,20	25,00	23,46
6	8,16	2,63	6,08	1818,057				0,00	4,20	1,40	17,10	2,20	30,00	24,90
7	8,00	2,24	6,90	1935,351				0,00	5,20	1,29	17,60	3,40	30,10	27,49
8	7,97	2,51	6,77	2267,684				0,00	8,98	1,58	21,40	2,70	36,80	34,66
9	7,87	2,90	5,96	2189,488				0,00	14,50	1,60	18,90	2,60	36,00	37,60
10	7,84	2,64	5,97	2033,096				0,00	17,88	1,80	16,20	3,00	36,00	38,88

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN									
		CATIONES				ANIONES					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼	NO ₃ ⁺	CO ₃ ⁺	HCO ₃ ⁺	
1	3,67	77,10	3,60	2,14	4,66	42,20	2,08	2,20	0,00	1,70	
2	4,24	82,40	4,00	15,14	8,52	36,60	3,13	2,20	0,00	1,10	
3	5,00	91,60	5,00	22,70	8,20	40,60	3,33	2,40	0,00	0,90	
4	5,12	92,90	5,00	22,80	9,00	41,60	3,50	2,00	0,00	0,90	
5	3,35	74,80	4,90	2,20	4,08	32,80	2,25	2,30	0,00	0,90	
6	3,45	76,00	5,10	2,50	4,50	34,40	2,58	2,20	0,00	0,80	
7	2,80	67,10	5,00	2,32	4,92	24,60	2,67	2,20	0,00	1,00	
8	2,78	64,00	5,00	3,90	5,30	19,60	2,50	2,30	0,00	0,60	
9	3,45	72,10	5,00	11,40	6,04	22,60	3,13	2,20	0,00	0,90	
10	3,12	63,50	4,90	16,60	7,50	13,40	3,04	2,20	0,00	0,40	

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.H.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe solo describe la muestra sometida a ensayo.

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL INIA
Rinconada de Sillabamba - PUNO
Puno, Puno, Perú
(051) 363-812
Ing° JORGE DANIELA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
S.A.L.C.E.D.O.

Figura 29. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RII Tiquillaca



ANALISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 11 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	ANALISIS		MECANICO		CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura				
1	318H3	RIVT1 - Tiquillaca					1,76		1,48	0,05
2	318H4	RIVT2 - Tiquillaca					1,54		1,44	0,05
3	318H5	RIVT3 - Tiquillaca					1,41		1,40	0,05
4	318I1	RIVT4 - Tiquillaca					1,76		1,47	0,05
5	318I2	RIVT5 - Tiquillaca					1,54		1,40	0,05
6	318I3	RIVT6 - Tiquillaca					1,14		1,36	0,05
7	318I4	RIVT7 - Tiquillaca					1,23		1,34	0,05
8	318I5	RIVT8 - Tiquillaca					1,32		1,28	0,04
9	318J1	RIVT9 - Tiquillaca					1,50		1,26	0,04
10	318J2	RIVT10 - Tiquillaca					1,54		1,20	0,04

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

Nº	Suelo: Agua 1:2.5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Zn	Soluble	Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	8,39	3,40	5,94	1427,077				0,00	3,54	1,66	27,10	2,20	36,00	34,50
2	7,97	2,80	6,00	1231,587				0,00	13,78	1,42	21,70	3,60	36,90	40,50
3	7,87	4,12	5,94	957,901				0,00	22,00	1,32	11,20	3,20	39,10	37,72
4	7,97	4,11	5,99	1524,822				0,00	25,60	1,16	10,30	3,70	36,20	40,76
5	8,02	3,29	5,94	1251,136				0,00	4,00	1,66	16,80	2,10	27,00	24,56
6	8,01	2,62	5,90	1524,822				0,00	4,34	1,10	17,50	3,30	26,00	26,24
7	8,11	2,49	6,00	2619,566				0,00	4,88	1,31	20,70	3,60	28,80	30,49
8	8,18	3,09	6,08	2209,037				0,00	10,14	1,30	19,90	3,80	31,20	35,14
9	7,83	3,67	6,11	1329,332				0,00	14,60	1,20	15,60	3,60	25,10	35,00
10	7,76	4,20	6,22	2697,762				0,00	18,80	1,40	11,80	3,50	30,60	35,50

Evaluación de la salinidad actual de las muestras.

Nº	Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)	SOLUBLES - me / lt DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN									
		CATIONES				ANIONES					
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	
1	4,30	86,30	4,50	2,40	3,68	46,60	1,92	2,40	0,00	1,00	
2	5,57	98,10	5,00	16,76	7,16	44,40	3,75	2,60	0,00	1,70	
3	5,05	89,00	4,80	21,82	7,98	40,00	3,42	2,00	0,00	1,00	
4	5,28	93,40	5,10	21,54	8,36	46,80	2,67	2,20	0,00	1,00	
5	4,25	82,10	5,00	2,72	4,20	40,60	1,96	2,00	0,00	0,80	
6	3,67	79,20	5,00	2,40	3,80	37,00	2,17	2,00	0,00	0,90	
7	3,30	72,10	4,80	2,20	4,60	31,60	3,13	2,40	0,00	1,10	
8	4,22	86,00	5,10	4,22	4,28	42,80	2,25	2,00	0,00	0,80	
9	5,00	88,50	4,00	15,66	7,24	34,00	3,25	2,10	0,00	0,60	
10	4,65	89,30	5,10	19,40	8,70	42,00	3,46	2,30	0,00	0,20	

Referencias: Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe se refiere a la muestra sometida a ensayo N° 1.

Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Rinconada de Saucedo, s/n
Puno. Puno. Perú
(051) 363-812
Ing° JORGE CANIUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
S.A.C.E.D.O.

Figura 30. Certificado de análisis de salinidad de suelo final - RIV Tiquillaca



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope. "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 11 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	RI		RIII		RV	
			pH	C.E. mmhos/cm	pH	C.E. mmhos/cm	pH	C.E. mmhos/cm
1	318J3	T1 - Juli	7,85	2,63	9,03	2,16	7,53	5,24
2	318J4	T2 - Juli	7,68	3,77	7,55	2,89	7,60	4,01
3	318J5	T3 - Juli	7,87	3,29	7,96	2,40	7,62	2,61
4	318K1	T4 - Juli	7,94	2,78	7,84	2,72	7,53	2,96
5	318K2	T5 - Juli	8,15	3,38	8,25	3,17	8,27	2,48
6	318K3	T6 - Juli	7,84	2,21	8,74	2,52	8,08	3,01
7	318K4	T7 - Juli	8,20	2,62	8,20	2,78	8,31	2,82
8	318K5	T8 - Juli	7,73	2,76	7,92	2,39	7,70	3,03
9	318L1	T9 - Juli	7,47	2,40	7,97	2,56	7,80	2,97
10	318L2	T10 - Juli	7,68	2,58	8,23	2,53	7,75	3,15

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	RI		RIII		RV	
			pH	C.E. mmhos/cm	pH	C.E. mmhos/cm	pH	C.E. mmhos/cm
1	318L3	T1 - Tiquillaca	8,51	2,62	8,37	3,22	8,17	2,93
2	318L4	T2 - Tiquillaca	8,06	2,34	7,77	2,71	7,80	3,38
3	318L5	T3 - Tiquillaca	7,75	3,94	7,72	3,71	7,72	4,13
4	318LL1	T4 - Tiquillaca	7,87	3,70	7,86	3,87	7,77	4,09
5	318LL2	T5 - Tiquillaca	8,74	2,95	8,33	2,58	8,07	3,13
6	318LL3	T6 - Tiquillaca	8,30	2,60	8,21	2,76	8,27	2,85
7	318LL4	T7 - Tiquillaca	8,48	2,37	7,68	3,12	8,33	2,92
8	318LL5	T8 - Tiquillaca	7,50	2,14	8,10	3,79	7,20	2,91
9	318M1	T9 - Tiquillaca	8,12	2,89	7,91	3,60	7,66	3,06
10	318M2	T10 - Tiquillaca	7,65	3,19	7,85	3,70	7,51	3,08

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)
Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
Ing° JORGE CÁNHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812

Figura 31. Certificado de análisis de pH y la C.E. de suelo final



ANÁLISIS DE SALINIDAD

Nombre: Gil Josué Lope Lope, "Tesis"

Fecha de Recepción: 13 de Febrero del 2020.

Fecha de Certificación: 11 de Marzo del 2020.

Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	RII	RIV
			Da gr/cm ³	Da gr/cm ³
1	318M3	T1 - Juli	1,43	1,40
2	318M4	T2 - Juli	1,39	1,43
3	318M5	T3 - Juli	1,43	1,35
4	318N1	T4 - Juli	1,43	1,41
5	318N2	T5 - Juli	1,36	1,37
6	318N3	T6 - Juli	1,30	1,37
7	318N4	T7 - Juli	1,32	1,30
8	318N5	T8 - Juli	1,35	1,43
9	318O1	T9 - Juli	1,37	1,32
10	318O2	T10 - Juli	1,33	1,37

Nº	Cod. Lab.	MARCAS	RII	RIV
			Da gr/cm ³	Da gr/cm ³
1	318O3	T1 - Tiquillaca	1,20	1,18
2	318O4	T2 - Tiquillaca	1,15	1,18
3	318O5	T3 - Tiquillaca	1,15	1,18
4	318P1	T4 - Tiquillaca	1,18	1,20
5	318P2	T5 - Tiquillaca	1,15	1,18
6	318P3	T6 - Tiquillaca	1,12	1,10
7	318P4	T7 - Tiquillaca	1,06	1,09
8	318P5	T8 - Tiquillaca	1,14	1,19
9	318Q1	T9 - Tiquillaca	1,12	1,11
10	318Q2	T10 - Tiquillaca	1,11	1,14

Conclusiones: La muestra analizada de SUELO CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales. El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo)
Nota: Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento. Los resultados son aplicables a esta muestra.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Jorge Canihuá Rojas
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

www.inia.gob.pe

Rinconada de Salcedo s/n
Puno. Puno. Perú
T: (051) 363-812

Figura 32. Certificado de análisis de la densidad aparente de suelo final

Anexo 02. Certificados de análisis de enmiendas



PERÚ
Ministerio
de Agricultura y Riego



inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

SOLICITANTE : Gil Josue Lope Lope.
DIRECCION :
PROCEDENCIA :
PRODUCTO : Yeso.
TIPO DE ANALISIS : Pureza.
N° DE ANALISIS : 01.
FECHA DE RECEPCIÓN : 02 de Enero del 2019.
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 04 de Enero del 2019.

N°	Determinaciones	Sulfato de Calcio %	Calcio %	Azufre %	pH
01	Yeso Agrícola	68.20	22.01	17.43	6.90
02					
03					
04					

Referencias:
Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimprisión, Octubre 1988. 195p.

Conclusiones:
La muestra analizada de Suelos CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales.

Nota:
Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.



ING° JORGE CANHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Analisis
SALCEDO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

EL PERÚ PRIMERO

Figura 33. Certificado de análisis de yeso agrícola



PERÚ Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

CERTIFICADO DE ANALISIS N° 254-2011

SOLICITANTE : Gil Josue Lope Lope.
DIRECCION :
PROCEDECENCIA :
PRODUCTO : Estiercol Descompuesto de Ovino.
TIPO DE ANALISIS : Pureza.
N° DE ANALISIS : 01.
FECHA DE RECEPCIÓN : 02 de Enero del 2019.
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 04 de Enero del 2019.
DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:

Determinaciones	Estiercol de Ovino
Humedad %	64,60
Nitrógeno %	1,33
Materia Organica %	32,00
Fósforo %	1,48
Potasio %	1,12
CE mmhos/cm. 25°C	3,02
pH	7,52
Calcio %	1,12
Magnesio %	0,32
Manganeso %	0,10
Sodio %	0,10
Fierro ppm	280,00
Manganeso ppm	100,01
Zinc ppm	13,00
Fierro %	0,04
Cobre %	0,02
Boro %	0,003

Referencias:

- Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpression, Octubre 1988. 195p.
Nitrogeno: Método del Semimicrokjeldahl (Digestión con ácido sulfúrico).
Fósforo: Método del Metavanadato de Amonio(Espectrofotometro Digital 21)
Potasio: Ataque con ácido sulfúrico (Fotometro de Flama)
1.-Determinación de pH Potenciómetro Calomelano.
2.-Determinación de Conductividad Electrica Conductímetro de tres anillos.
3.-Determinación de Nitrogeno Total Semimicrokjeldahl.
4.-Determinación de Fósforo Metavanadato de Amonio.
5.-Determinación de Potasio Combustión húmeda, lectura Fotómetro de Flama
6.-Determinación de Calcio y Magnesio EDTA - verse riato.
7.-Determinación de Fierro Combustión húmeda, Lectura en Espectrofotometro de Luz Visible
8.-Determinación de Manganeso, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para manganeso.
9.-Determinación de Zinc, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para zinc.
10.-Determinación de Cobre, método analítico propuesto por el Internacional Soil Fertility Evaluation and Improvement Project, introduciendo la solución extractante múltiple para cobre.
11.-Determinación de Boro, Combustión húmeda, lectura en Espectrofotometro de luz visible, usando Tetraoxiantraquinona como reactivo.
12.- Componentes bioquímicos Espectrofotometro de Luz Visible UV/VIS.

Conclusiones:

La muestra analizada de Estiercole de Ovino Descompuesto CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, utilizados en el análisis.

Nota:

Cualquier corrección y/o enmendadura anula al presente documento.



INIA
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
Jefe Laboratorio Análisis
SALCEDO

EL PERÚ PRIMERO

La Rinconada Salcedo S/N°-Puno
T: (051) 363 812
www.inia.gob.pe
www.minagri.gob.pe

Figura 34. Certificado de análisis de estiércol descompuesto de ovino



Anexo 03. Costos de producción

Cultivo: Quinua variedad Salcedo INIA

Lugar: Puno – Perú

Área: 1 hectárea

Dosis de enmiendas para Juli (T10): 30 ton de yeso agrícola + 30 ton de estiércol de ovino semidescompuesto.

Tabla 25. Costos de producción (T10).

ACTIVIDADES AGRICOLAS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS DEL CULTIVO				24810.00
1. ANALISIS DEL SUELO				235.00
Muestreo de suelo	Jornal	1.0	35.00	35.00
Análisis de suelo	Análisis de salinidad	1.0	200.00	200.00
2. ENMIENDAS				21000.00
Yeso agrícola	Ton	30.0	600.00	18000.00
Estiércol de ovino	Ton	30.0	100.00	3000.00
3. PREPARACION DE TERRENO				825.00
Limpieza del terreno	Jornal	1.0	35.00	35.00
Aradura	Hora/maq	4.0	60.00	240.00
Rastrado	Hora/maq	2.0	50.00	100.00
Surcado	Hora/maq	2.0	50.00	100.00
Enmendado	Jornal	10.0	35.00	350.00
4. SIEMBRA Y FERTILIZACION				920.00
Semilla básica	Kg	12.0	10.00	120.00
Siembra manual y fertilización	Jornal	4.0	35.00	140.00
Fertilizantes: Urea	Kg	200.0	1.50	300.00
Fosfato diamónico	Kg	150.0	1.50	225.00
Cloruro de potasio	Kg	50.0	1.50	75.00
Tapado	Jornal	2.0	30.00	60.00
5. LABORES CULTURALES				595.00
Fertilización complementaria	Jornal	1.0	35.00	35.00
Aporque y deshierbo general	Jornal	6.0	35.00	210.00
Raleo y desahije	Jornal	10.0	35.00	350.00
6. MATERIALES				200.00
Cintas y plásticos Ahuyentadores	Metros	300.0	0.20	60.00
Cohetes de arranque	Docena	1.0	15.00	15.00
Sacos	Unidad	25.0	5.00	125.00

6. COSECHA					1035.00
Siega manual	Jornal	12.0	35.00	420.00	
Emparve	Jornal	4.0	35.00	140.00	
Corte de paja para tapado	Jornal	1.0	35.00	35.00	
Trilla mecánica	Hora/maq	4.0	60.00	240.00	
Ayudante de trilla	Hora/maq	4.0	30.00	120.00	
Transporte de producto cosechado	Transporte	1.0	80.00	80.00	
B. COSTOS INDIRECTOS					2641.00
Costo uso de la tierra	Meses	8.0	20.00	160.00	
Gastos administrativos	%	8.0	24810.00	1984.80	
Imprevistos	%	2.0	24810.00	496.20	
COSTOS TOTALES					27451.00

Anexo 04. Rendimiento de grano de quinua.

Tabla 26. Rendimiento grano de quinua (Q) var. Salcedo INIA, (gramos/planta).

	Trat	I		II		III		IV		V	
		Q1 gr/pl	Q2 gr/pl								
Juli	T1	2.66	2.84	2.00	2.79	2.72	3.05	2.53	3.40	2.68	2.60
	T2	3.65	2.44	3.58	3.50	3.40	2.98	3.07	2.60	2.69	3.50
	T3	2.94	3.27	2.29	2.52	3.48	2.64	2.95	3.61	3.13	2.55
	T4	2.90	2.65	3.48	3.45	2.60	3.38	2.96	2.45	3.20	4.97
	T5	2.90	2.23	3.72	2.60	2.74	2.66	2.83	2.63	2.50	8.25
	T6	3.53	3.63	3.66	2.77	3.70	2.12	2.29	2.82	3.42	2.80
	T7	2.95	3.18	2.84	3.73	2.73	3.25	3.01	3.04	3.34	2.66
	T8	2.89	2.52	2.62	3.48	3.59	2.79	2.30	2.54	3.48	2.89
	T9	2.81	2.54	3.40	2.92	3.30	2.51	2.94	3.40	3.25	3.18
	T10	2.76	3.29	2.88	2.71	7.00	3.84	3.47	3.08	3.63	3.95
Tiquillaca	T1	2.92	2.67	2.27	2.16	2.86	3.12	2.14	2.68	3.01	2.65
	T2	2.60	3.12	4.37	3.15	2.30	2.85	3.72	2.11	2.63	3.88
	T3	3.80	2.76	2.95	3.00	3.40	3.51	3.18	2.84	3.28	4.72
	T4	3.46	2.37	3.33	2.95	3.60	3.70	3.01	3.73	3.68	5.88
	T5	2.73	4.04	2.96	2.63	2.82	2.45	2.51	3.35	3.31	3.00
	T6	2.42	3.40	3.21	4.13	2.45	2.53	3.84	2.45	2.62	2.73
	T7	3.23	2.80	2.78	3.04	3.84	3.27	4.30	2.57	3.23	2.90
	T8	2.67	2.55	2.68	2.55	3.23	3.84	3.60	2.31	4.23	3.98
	T9	2.31	3.68	2.88	3.16	4.41	2.51	3.05	2.95	2.76	3.08
	T10	3.75	3.73	3.21	3.17	3.33	3.35	4.17	2.67	2.58	3.47

Anexo 05. Análisis de varianzas.

Tabla 27. Análisis de varianza para la reacción del suelo (pH)

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > ChiSq	Pr > F	Sig.
Lugar	1	80	23.69	23.69	<.0001	<.0001	**
Enmiendas	9	80	37.57	4.17	<.0001	0.0002	**
Lugar*Enmiendas	9	80	3.30	0.37	0.9512	0.9476	ns

Kruskal-Wallis; GL: grados de libertad

Tabla 28. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica (CE_{ext})

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Lugar	1	0.0071	0.0071	0.61	8.10	4.35	0.4451	ns
Enmiendas	9	0.1162	0.0129	1.11	3.46	2.39	0.4023	ns
Lugar*Enmiendas	9	0.1841	0.0205	1.75	3.46	2.39	0.1418	ns
Error experimental	20	0.2335	0.0117					
Total	39	0.5408						

CV: 3.45% \bar{x} transformada: 3.13 R^2 : 0.57

Tabla 29. Prueba de efectos simples para la conductividad eléctrica (CE_{ext})

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Tratamiento dentro de Juli	9	0.0634	0.0070	0.60	3.46	2.39	0.7793	ns
Tratamiento dentro de Tiquillaca	9	0.2368	0.0263	2.25	3.46	2.39	0.0624	ns
Lugar dentro de T1	1	0.00004	0.00004	0.00	8.10	4.35	0.9559	ns
Lugar dentro de T2	1	0.03191	0.03191	2.73	8.10	4.35	0.1139	ns
Lugar dentro de T3	1	0.01928	0.01928	1.65	8.10	4.35	0.2134	ns
Lugar dentro de T4	1	0.00996	0.00996	0.85	8.10	4.35	0.3667	ns
Lugar dentro de T5	1	0.00003	0.00003	0.00	8.10	4.35	0.9629	ns
Lugar dentro de T6	1	0.01178	0.01178	1.01	8.10	4.35	0.3272	ns
Lugar dentro de T7	1	0.08512	0.08512	7.29	8.10	4.35	0.0138	*
Lugar dentro de T8	1	0.01526	0.01526	1.31	8.10	4.35	0.2663	ns
Lugar dentro de T9	1	0.00204	0.00204	0.17	8.10	4.35	0.6807	ns
Lugar dentro de T10	1	0.01579	0.01579	1.35	8.10	4.35	0.2585	ns
Error experimental	20	0.23346	0.01167					
Total	39	0.54082						

Tabla 30. Análisis de varianza para el porcentaje de Na⁺ intercambiable

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Lugar	1	4.3657	4.3657	400.99	8.10	4.35	<.0001	**
Enmiendas	9	11.4956	1.2773	117.32	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar*Enmiendas	9	0.6400	0.0711	6.53	3.46	2.39	0.0002	**
Error experimental	20	0.2177	0.0109					
Total	39	16.7191						
CV: 2.21%		\bar{x} transformada: 4.72		R ² : 0.99				

Tabla 31. Prueba de efectos simples para el porcentaje de Na⁺ intercambiable

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Tratamiento dentro de Juli	9	4.0669	0.4519	41.5	3.46	2.39	<.0001	**
Tratamiento dentro de Tiquillaca	9	8.0688	0.8965	82.35	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar dentro de T1	1	0.0763	0.0763	7.01	8.10	4.35	0.0154	*
Lugar dentro de T2	1	0.1312	0.1312	12.05	8.10	4.35	0.0024	**
Lugar dentro de T3	1	0.9503	0.9503	87.29	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T4	1	0.9837	0.9837	90.35	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T5	1	0.3629	0.3629	33.33	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T6	1	0.4390	0.4390	40.33	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T7	1	0.4760	0.4760	43.72	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T8	1	0.1496	0.1496	13.74	8.10	4.35	0.0014	**
Lugar dentro de T9	1	0.4352	0.4352	39.97	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T10	1	1.0014	1.0014	91.98	8.10	4.35	<.0001	**
Error experimental	20	0.2177	0.0109					
Total	39	16.7191						

Tabla 32. Análisis de varianza para el porcentaje de Ca⁺⁺ intercambiable

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Lugar	1	10.6194	10.6194	603.4	8.10	4.35	<.0001	**
Enmiendas	9	39.8012	4.4224	251.28	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar*Enmiendas	9	1.5701	0.1745	9.91	3.46	2.39	<.0001	**
Error experimental	20	0.3520	0.0176					
Total	39	52.3426						
CV: 5.05%		\bar{x} transformada: 2.63		R ² : 0.99				

Tabla 33. Prueba de efectos simples para el porcentaje de Ca⁺⁺ intercambiable

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Tratamiento dentro de Juli	9	25.7072	2.8564	162.3	3.46	2.39	<.0001	**
Tratamiento dentro de Tiquillaca	9	15.6641	1.7405	98.89	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar dentro de T1	1	1.5833	1.5833	89.97	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T2	1	0.0818	0.0818	4.65	8.10	4.35	0.0435	*
Lugar dentro de T3	1	0.8625	0.8625	49.01	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T4	1	0.6870	0.6870	39.04	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T5	1	1.7132	1.7132	97.35	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T6	1	2.8802	2.8802	163.65	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T7	1	2.0743	2.0743	117.86	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T8	1	0.3297	0.3297	18.74	8.10	4.35	0.0003	**
Lugar dentro de T9	1	0.8363	0.8363	47.52	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T10	1	1.1411	1.1411	64.84	8.10	4.35	<.0001	**
Error experimental	20	0.3520	0.0176					
Total	39	52.3426						

Tabla 34. Prueba de efectos simples para la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Tratamiento dentro de Juli	9	0.8684	0.0965	1.75	3.46	2.39	0.1427	ns
Tratamiento dentro de Tiquillaca	9	24.6974	2.7442	49.73	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar dentro de T1	1	0.0399	0.0399	0.72	8.10	4.35	0.4049	ns
Lugar dentro de T2	1	0.0009	0.0009	0.02	8.10	4.35	0.8971	ns
Lugar dentro de T3	1	0.1121	0.1121	2.03	8.10	4.35	0.1694	ns
Lugar dentro de T4	1	0.1438	0.1438	2.61	8.10	4.35	0.1221	ns
Lugar dentro de T5	1	9.8940	9.8940	179.31	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T6	1	7.7062	7.7062	139.66	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T7	1	3.1325	3.1325	56.77	8.10	4.35	<.0001	**
Lugar dentro de T8	1	0.0241	0.0241	0.44	8.10	4.35	0.5158	ns
Lugar dentro de T9	1	0.0613	0.0613	1.11	8.10	4.35	0.3044	ns
Lugar dentro de T10	1	0.0269	0.0269	0.49	8.10	4.35	0.4927	ns
Error experimental	20	1.1036	0.0552					
Total	39	32.6191						

Tabla 35. Análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Lugar	1	5.9498	5.9498	107.83	8.10	4.35	<.0001	**
Enmiendas	9	10.3736	1.1526	20.89	3.46	2.39	<.0001	**
Lugar*Enmiendas	9	15.1921	1.6880	30.59	3.46	2.39	<.0001	**
Error experimental	20	1.1036	0.0552					
Total	39	32.6191						
CV: 6.67%		\bar{x} transformada: 3.52		R ² : 0.97				

Tabla 36. Análisis de varianza para la densidad aparente (D_{ap})

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Lugar	1	0.00042	0.00042	2.15	8.10	4.35	0.1581	ns
Enmiendas	9	0.01181	0.00131	6.65	3.46	2.39	0.0002	**
Lugar*Enmiendas	9	0.00027	0.00003	0.15	3.46	2.39	0.9966	ns
Error experimental	20	0.00395	0.00020					
Total	39	0.01645						
CV: 1.36%		\bar{x} transformada: 1.03		R ² : 0.76				

Tabla 37. Prueba de efectos simples para la densidad aparente (D_{ap})

Fuente de variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Ft		Pr > F	Sig.
					0.01	0.05		
Tratamiento dentro de Juli	9	0.00594	0.00066	3.34	3.46	2.39	0.0117	*
Tratamiento dentro de Tiquillaca	9	0.00614	0.00068	3.46	3.46	2.39	0.0100	*
Lugar dentro de T1	1	0.00006	0.00006	0.28	8.10	4.35	0.6031	ns
Lugar dentro de T2	1	0.00001	0.00001	0.03	8.10	4.35	0.8615	ns
Lugar dentro de T3	1	0.00005	0.00005	0.26	8.10	4.35	0.6145	ns
Lugar dentro de T4	1	0.00002	0.00002	0.12	8.10	4.35	0.7275	ns
Lugar dentro de T5	1	0.00038	0.00038	1.93	8.10	4.35	0.1804	ns
Lugar dentro de T6	1	0.00005	0.00005	0.25	8.10	4.35	0.6218	ns
Lugar dentro de T7	1	0.00001	0.00001	0.03	8.10	4.35	0.8678	ns
Lugar dentro de T8	1	0.00005	0.00005	0.27	8.10	4.35	0.6122	ns
Lugar dentro de T9	1	0.00002	0.00002	0.11	8.10	4.35	0.7401	ns
Lugar dentro de T10	1	0.00005	0.00005	0.26	8.10	4.35	0.6143	ns
Error experimental	20	0.00395	0.00020					
Total	39	0.01645						

Tabla 38. Medias para efectos principales de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Factor	pH		CE _{ext} (mmhos/cm)		Na ⁺ (%)		Ca ⁺⁺ (%)		CIC (meq/100gr)		D _{ap} (gr/cm ³)						
	I	L	I	L	I	L	I	L	I	L	I	F					
Lugar																	
Juli	8.97	9.02	7.88	13.40	2.41	3.29	45.58	36.81	38.66	37.73	46.03	44.74	29.84	32.28	27.17	1.44	1.37
Tiquillaca	8.75	9.20	7.99	14.38	2.20	4.11	79.05	51.40	53.85	10.91	35.86	32.85	41.24	38.89	34.37	1.20	1.15
Enmiendas																	
T1	8.86	9.30	8.31	13.89	2.52	3.48	62.32	61.51	65.52	24.32	24.22	19.59	35.54	36.07	31.56	1.32	1.30
T2	8.86	9.18	7.75	13.89	2.73	3.85	62.32	39.06	46.13	24.32	47.58	41.31	35.54	38.88	34.18	1.32	1.29
T3	8.86	9.01	7.74	13.89	2.45	4.10	62.32	27.26	25.96	24.32	60.35	60.26	35.54	40.48	31.92	1.32	1.28
T4	8.86	9.06	7.76	13.89	2.59	4.39	62.32	22.03	21.94	24.32	65.39	64.32	35.54	41.94	34.01	1.32	1.31
T5	8.86	9.23	8.20	13.89	2.10	3.29	62.32	56.24	60.00	24.32	27.05	23.83	35.54	28.15	25.75	1.32	1.27
T6	8.86	9.21	8.16	13.89	1.90	3.41	62.32	55.23	61.49	24.32	28.46	22.57	35.54	31.10	27.91	1.32	1.22
T7	8.86	9.07	8.14	13.89	1.49	3.46	62.32	51.52	60.10	24.32	33.52	23.65	35.54	34.28	29.02	1.32	1.19
T8	8.86	9.06	7.76	13.89	2.39	3.40	62.32	47.23	48.09	24.32	36.03	36.10	35.54	33.42	29.75	1.32	1.28
T9	8.86	9.02	7.78	13.89	2.59	3.87	62.32	42.76	39.71	24.32	40.81	44.77	35.54	34.04	31.51	1.32	1.23
T10	8.86	8.97	7.74	13.89	2.31	3.79	62.32	38.20	33.65	24.32	46.06	51.57	35.54	37.49	32.10	1.32	1.24

I = suelo inicial; L = suelo lavado; F = suelo final

Tabla 39. Medias para efectos simples de enmiendas dentro de lugar de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Factor	pH		CE _{ext} (mmhos/cm)			Na ⁺ (%)			Ca ⁺⁺ (%)			CIC (meq/100gr)			D _{ap} (gr/cm ³)		
	I	L	I	L	F	I	L	F	I	L	F	I	L	F	I	L	F
Juli																	
T1	8.97	9.14	8.26	13.40	2.92	2.97	45.58	43.45	53.29	37.73	38.09	28.40	29.84	35.44	26.57	1.44	1.42
T2	8.97	9.02	7.60	13.40	2.79	2.79	45.58	24.54	34.58	37.73	57.76	52.07	29.84	30.16	28.35	1.44	1.41
T3	8.97	8.97	7.70	13.40	2.16	3.17	45.58	21.26	20.98	37.73	64.24	62.74	29.84	34.34	24.95	1.44	1.39
T4	8.97	8.90	7.65	13.40	2.33	3.58	45.58	19.71	16.63	37.73	65.31	67.53	29.84	35.00	26.78	1.44	1.42
T5	8.97	9.13	8.14	13.40	2.11	2.79	45.58	45.37	52.77	37.73	37.61	30.56	29.84	33.50	27.48	1.44	1.37
T6	8.97	9.12	8.13	13.40	2.30	3.25	45.58	46.50	55.30	37.73	37.83	28.43	29.84	34.84	30.24	1.44	1.34
T7	8.97	9.08	8.17	13.40	2.16	3.88	45.58	49.10	54.24	37.73	37.00	29.84	29.84	36.86	29.04	1.44	1.31
T8	8.97	8.91	7.74	13.40	2.02	3.29	45.58	43.69	37.00	37.73	36.71	44.81	29.84	27.24	24.60	1.44	1.39
T9	8.97	8.90	7.68	13.40	2.83	3.52	45.58	39.50	31.99	37.73	41.38	49.40	29.84	26.58	26.72	1.44	1.35
T10	8.97	8.98	7.75	13.40	2.52	3.69	45.58	34.97	29.84	37.73	44.39	53.67	29.84	28.88	27.00	1.44	1.35
Tiquillaca																	
T1	8.75	9.45	8.36	14.38	2.12	3.99	79.05	79.56	77.75	10.91	10.35	10.78	41.24	36.70	36.55	1.20	1.19
T2	8.75	9.33	7.89	14.38	2.67	4.91	79.05	53.57	57.68	10.91	37.39	30.56	41.24	47.60	40.00	1.20	1.17
T3	8.75	9.04	7.78	14.38	2.74	5.03	79.05	33.25	30.95	10.91	56.46	57.79	41.24	46.62	38.89	1.20	1.17
T4	8.75	9.22	7.86	14.38	2.84	5.20	79.05	24.35	27.25	10.91	65.47	61.12	41.24	48.88	41.25	1.20	1.19
T5	8.75	9.32	8.26	14.38	2.08	3.80	79.05	67.11	67.24	10.91	16.49	17.10	41.24	22.80	24.01	1.20	1.17
T6	8.75	9.30	8.19	14.38	1.50	3.56	79.05	63.96	67.68	10.91	19.08	16.71	41.24	27.36	25.57	1.20	1.11
T7	8.75	9.05	8.12	14.38	0.82	3.05	79.05	53.94	65.96	10.91	30.03	17.47	41.24	31.70	28.99	1.20	1.08
T8	8.75	9.21	7.79	14.38	2.76	3.50	79.05	50.76	59.19	10.91	35.35	27.39	41.24	39.60	34.90	1.20	1.17
T9	8.75	9.14	7.88	14.38	2.35	4.23	79.05	46.02	47.42	10.91	40.24	40.14	41.24	41.50	36.30	1.20	1.12
T10	8.75	8.95	7.72	14.38	2.10	3.89	79.05	41.43	37.46	10.91	47.72	49.48	41.24	46.10	37.19	1.20	1.13

I = suelo inicial; L = suelo lavado; F = suelo final

Tabla 40. Medias para efectos simples de lugar dentro de enmiendas de pH, CE_{ext}, Na⁺, Ca⁺⁺, CIC y D_{ap} del suelo.

Trat	Factor	pH			CE _{ext} (mmhos/cm)			Na ⁺ (%)			Ca ⁺⁺ (%)			CIC (meq/100gr)			D _{ap} (gr/cm ³)		
		I	L	F	I	L	F	I	L	F	I	L	F	I	L	F	I	L	F
T1	Juli	8.97	9.14	8.26	13.40	2.92	2.97	45.58	43.45	53.29	37.73	38.09	28.40	29.84	35.44	26.57	1.44	1.42	1.42
T1	Tiquillaca	8.75	9.45	8.36	14.38	2.12	3.99	79.05	79.56	77.75	10.91	10.35	10.78	41.24	36.70	36.55	1.20	1.19	1.19
T2	Juli	8.97	9.02	7.60	13.40	2.79	2.79	45.58	24.54	34.58	37.73	57.76	52.07	29.84	30.16	28.35	1.44	1.41	1.41
T2	Tiquillaca	8.75	9.33	7.89	14.38	2.67	4.91	79.05	53.57	57.68	10.91	37.39	30.56	41.24	47.60	40.00	1.20	1.17	1.17
T3	Juli	8.97	8.97	7.70	13.40	2.16	3.17	45.58	21.26	20.98	37.73	64.24	62.74	29.84	34.34	24.95	1.44	1.39	1.39
T3	Tiquillaca	8.75	9.04	7.78	14.38	2.74	5.03	79.05	33.25	30.95	10.91	56.46	57.79	41.24	46.62	38.89	1.20	1.17	1.17
T4	Juli	8.97	8.90	7.65	13.40	2.33	3.58	45.58	19.71	16.63	37.73	65.31	67.53	29.84	35.00	26.78	1.44	1.42	1.42
T4	Tiquillaca	8.75	9.22	7.86	14.38	2.84	5.20	79.05	24.35	27.25	10.91	65.47	61.12	41.24	48.88	41.25	1.20	1.19	1.19
T5	Juli	8.97	9.13	8.14	13.40	2.11	2.79	45.58	45.37	52.77	37.73	37.61	30.56	29.84	33.50	27.48	1.44	1.37	1.37
T5	Tiquillaca	8.75	9.32	8.26	14.38	2.08	3.80	79.05	67.11	67.24	10.91	16.49	17.10	41.24	22.80	24.01	1.20	1.17	1.17
T6	Juli	8.97	9.12	8.13	13.40	2.30	3.25	45.58	46.50	55.30	37.73	37.83	28.43	29.84	34.84	30.24	1.44	1.34	1.34
T6	Tiquillaca	8.75	9.30	8.19	14.38	1.50	3.56	79.05	63.96	67.68	10.91	19.08	16.71	41.24	27.36	25.57	1.20	1.11	1.11
T7	Juli	8.97	9.08	8.17	13.40	2.16	3.88	45.58	49.10	54.24	37.73	37.00	29.84	29.84	36.86	29.04	1.44	1.31	1.31
T7	Tiquillaca	8.75	9.05	8.12	14.38	0.82	3.05	79.05	53.94	65.96	10.91	30.03	17.47	41.24	31.70	28.99	1.20	1.08	1.08
T8	Juli	8.97	8.91	7.74	13.40	2.02	3.29	45.58	43.69	37.00	37.73	36.71	44.81	29.84	27.24	24.60	1.44	1.39	1.39
T8	Tiquillaca	8.75	9.21	7.79	14.38	2.76	3.50	79.05	50.76	59.19	10.91	35.35	27.39	41.24	39.60	34.90	1.20	1.17	1.17
T9	Juli	8.97	8.90	7.68	13.40	2.83	3.52	45.58	39.50	31.99	37.73	41.38	49.40	29.84	26.58	26.72	1.44	1.35	1.35
T9	Tiquillaca	8.75	9.14	7.88	14.38	2.35	4.23	79.05	46.02	47.42	10.91	40.24	40.14	41.24	41.50	36.30	1.20	1.12	1.12
T10	Juli	8.97	8.98	7.75	13.40	2.52	3.69	45.58	34.97	29.84	37.73	44.39	53.67	29.84	28.88	27.00	1.44	1.35	1.35
T10	Tiquillaca	8.75	8.95	7.72	14.38	2.10	3.89	79.05	41.43	37.46	10.91	47.72	49.48	41.24	46.10	37.19	1.20	1.13	1.13

I = suelo inicial; L = suelo lavado; F = suelo final.

Anexo 06. Distribución de tratamientos

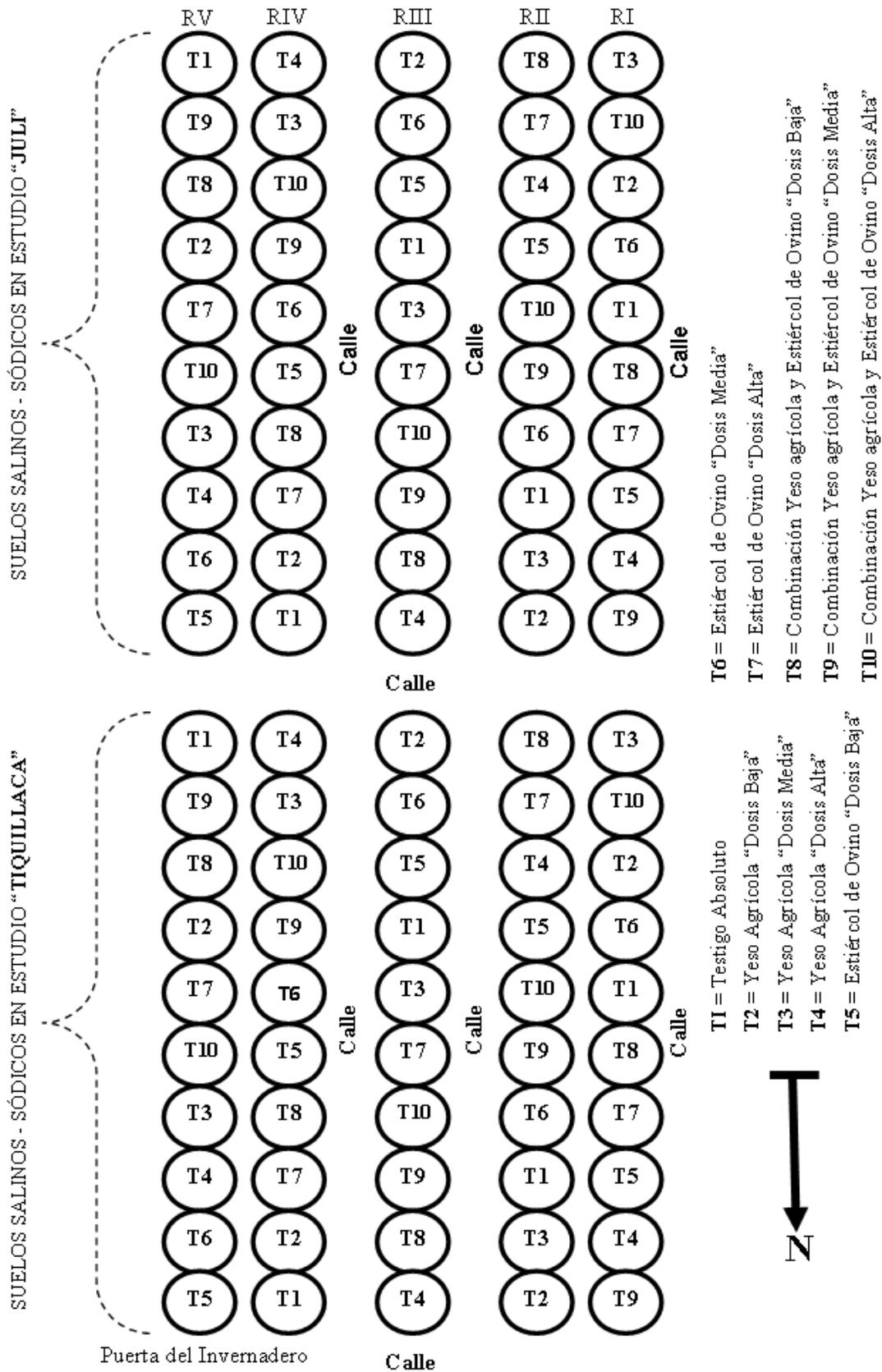


Figura 35. Croquis de distribución de tratamientos dentro del invernadero.

Anexo 07. Panel fotográfico



Figura 36. Vista panorámica de suelo salino-sódico (Rio Salado-Juli) Puno.



Figura 37. Vista panorámica de suelo salino-sódico (Challamayo - Tiquillaca) Puno.



Figura 38. Práctica de lavado, A y B: costras salinas y cuarteadura del suelo.



Figura 39. A y B: Remoción de las sales solubles fuera de las macetas.



Figura 40. A: Desinfección de la semilla, **B:** siembra de la quinua.



Figura 41. Emergencia de las plántulas de la quinua.



Figura 42. Fase reproductiva de la quinua.



Figura 43. Lectura de la temperatura dentro del invernadero.



Figura 44. A y B: secado de las panojas de la quinua a ambiente libre.



Figura 45. A: Trilla manual, **B:** pesado de granos de la quinua por panoja.

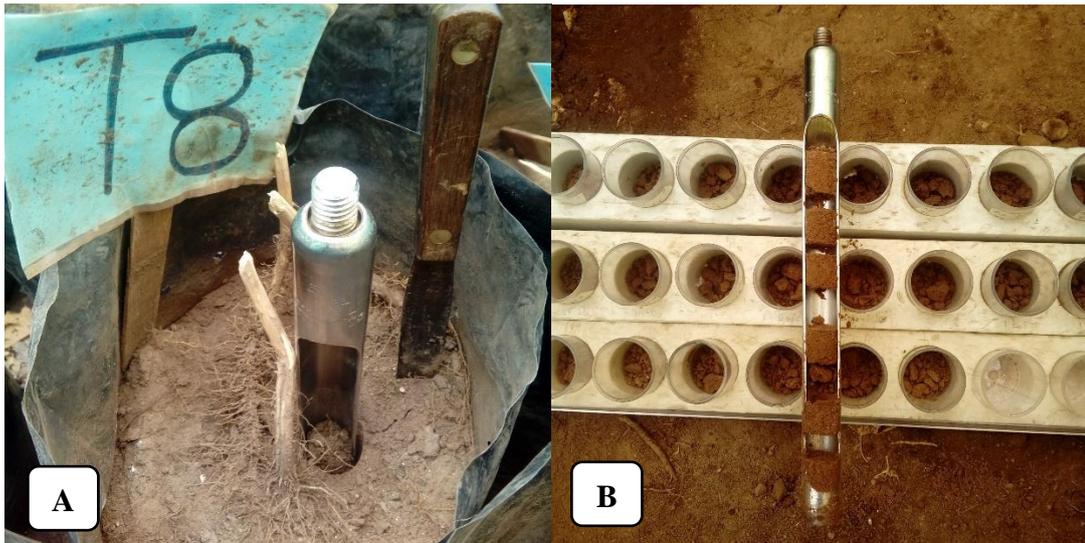


Figura 46. A y B: muestreo de los suelos salinos-sódicos en estudio.



Figura 47. A y B: lectura de pH del suelo; **A y C:** lectura de la CE 1:25 del suelo.

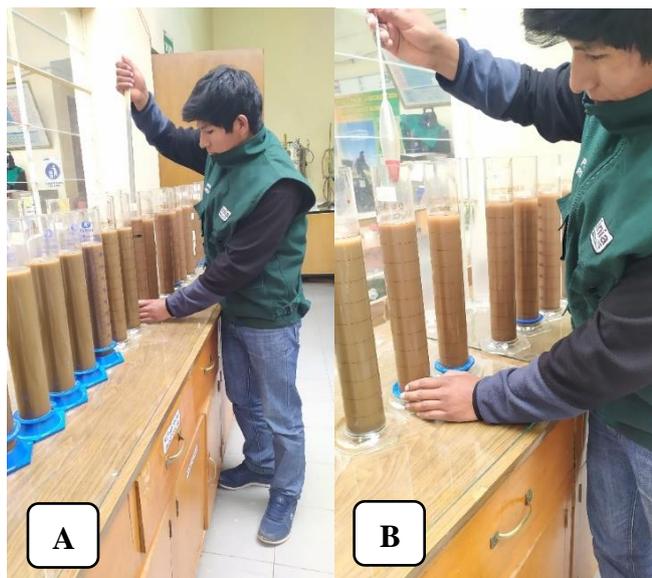


Figura 48. A: determinación de la textura del suelo, **B:** lectura con hidrómetro.



Figura 49. A: preparación de pasta de saturación, B: filtro del extracto de pasta de saturación en bomba de vacío.



Figura 50. Determinación de carbonato de calcio CaCO_3 .

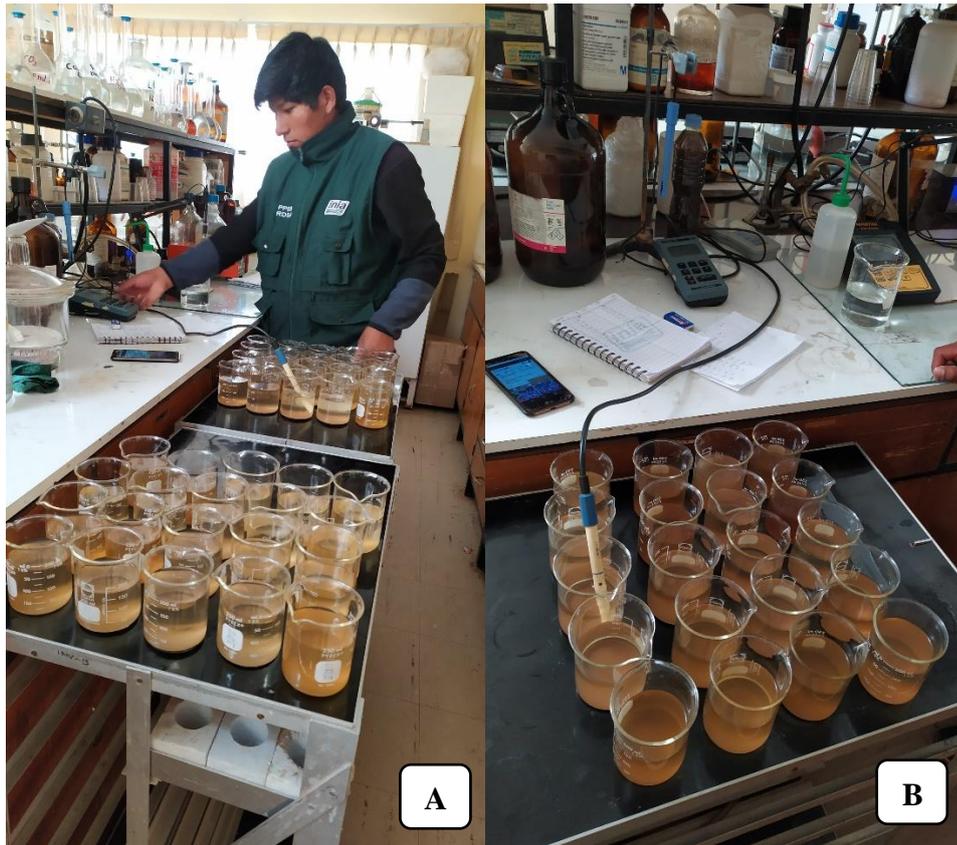


Figura 51. A y B: lectura de la CE extracto de pasta de saturación.



Figura 52. A: titulación de Ca^{++} más Mg^{++} , **B:** titulación de Ca^{++} .



Figura 53. A y B: titulación de HCO_3^- .



Figura 54. A: preparación de SO_4^{2-} , B: lectura de SO_4^{2-} en espectrofotómetro.

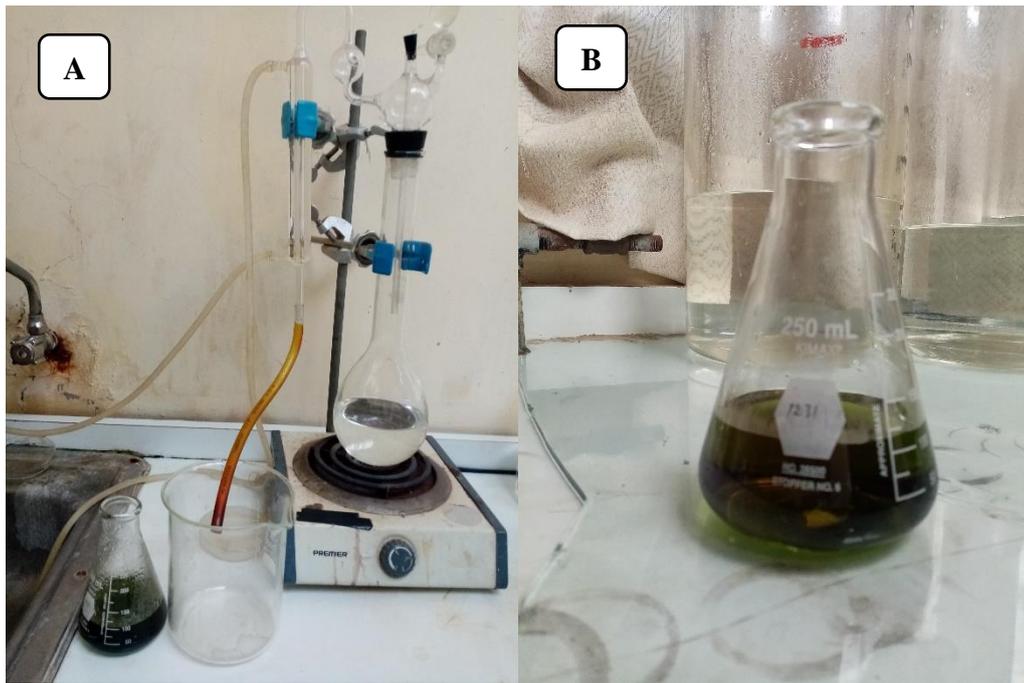


Figura 55. A: determinación de NO_3^- en Micro Kjeldahl, **B:** preparación para la lectura NO_3^- .



Figura 56. A: lectura de Na^+ y K^+ , **B:** fotometría de llama.

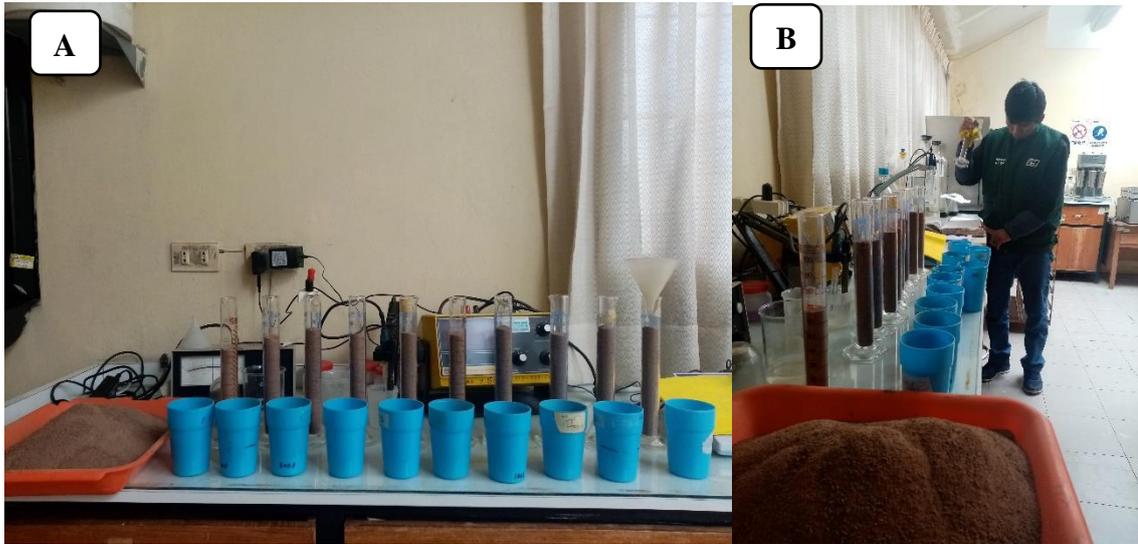


Figura 57. A: preparación de la D_{ap} método probeta, B: determinación de la D_{ap} .



Figura 58. Color de los suelos salinos-sódicos en estudio con Tabla Munsell.

Juli: 7.5 YR-4/4 “pardo oscuro”; **Tiquillaca:** 10 YR-3/3 “marrón oscuro”.

Anexo 08. Mapas de ubicación puntos de muestreo

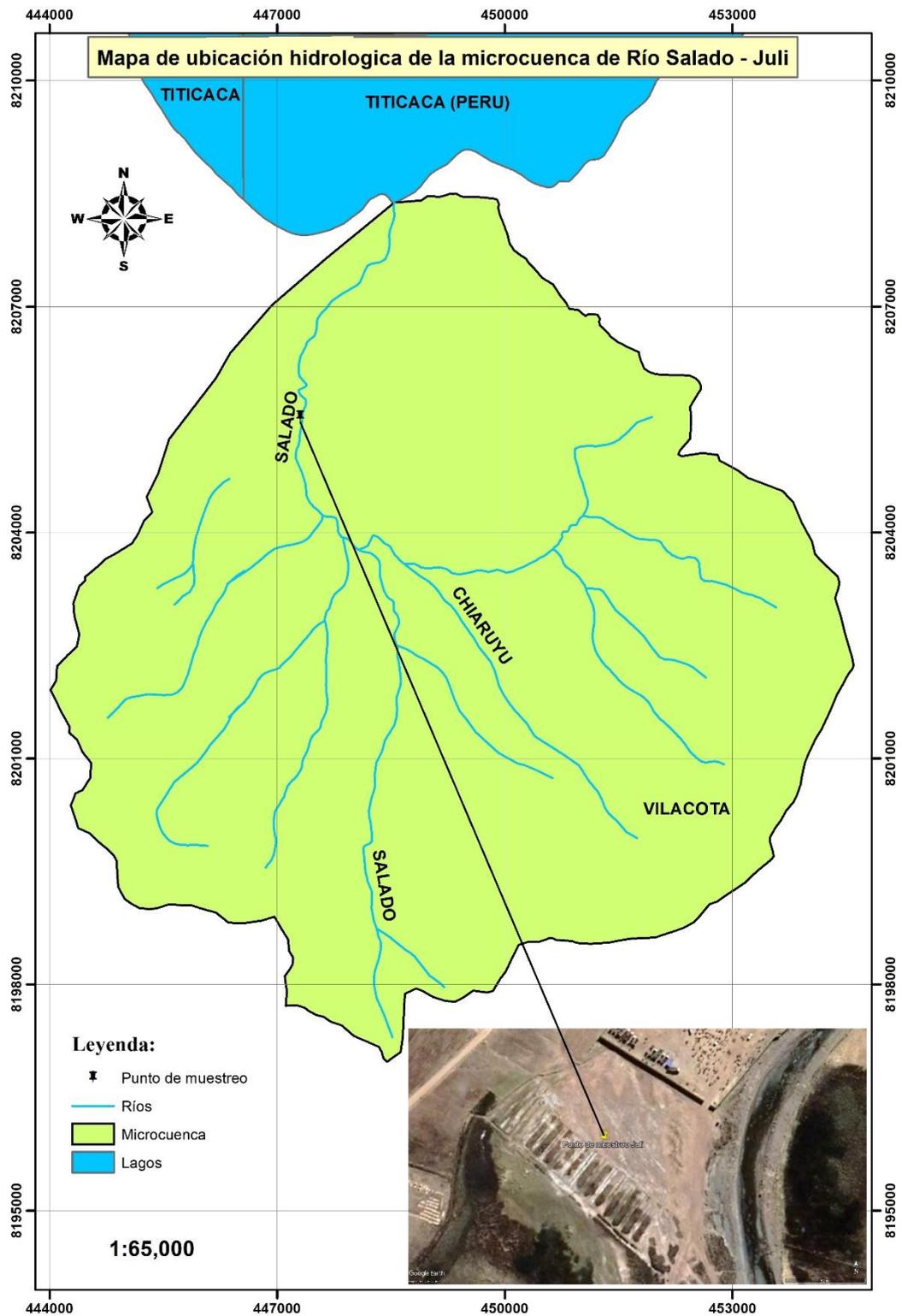


Figura 59. Mapa de la microcuenca del Río Salado, Juli - Puno - Perú.

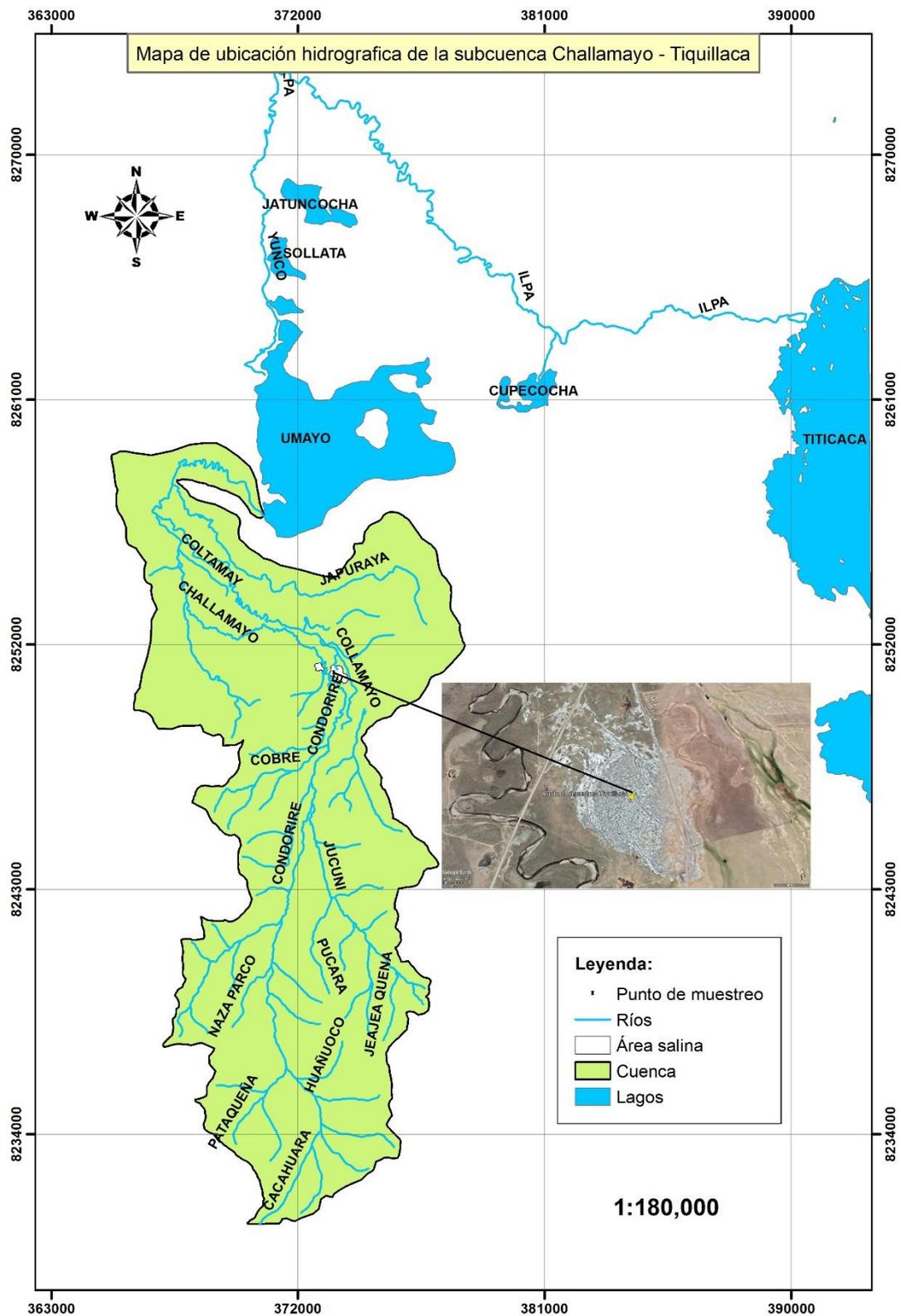


Figura 60. Mapa de la subcuenca Challamayo, Tiquillaca - Puno - Perú.