

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



EFFECTO DE ENCALADO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) VAR. IMILLA NEGRA EN UN SUELO
ÁCIDO DEL CIP. CAMACANI - PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

CHRISTIAM RUDY ASQUI SARAZA

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2018



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

EFFECTO DE ENCALADO EN LA PRODUCCIÓN DE PAPA
(*Solanum tuberosum* L.) VAR. IMILLA NEGRA EN UN SUELO
ÁCIDO DEL CIP. CAMACANI - PUNO

TESIS PRESENTADA POR:
CHRISTIAM RUDY ASQUI SARAZA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :
Ing. GABRIEL INCACARI SANCHO

PRIMER MIEMBRO :
Dr. ERNESTO JAVIER CHURA YUPANQUI

SEGUNDO MIEMBRO :
Ing. M.Sc. FREDY GRIMALDO CALIZAYA LLATASI

DIRECTOR DE TESIS :
Ing. M.Sc. DANIEL CANAZA MAMANI

TEMA: Manejo Agronómico de Cultivos
ÁREA: Ciencias Agrícolas

FECHA DE SUSTENTACIÓN 19 DE DICIEMBRE DEL 2018

DEDICATORIA

Con profundo cariño; a mis queridos padres Alfonso Asqui Tapia y Alicia Saraza Nina, y a mi querido hermano William Rosel Asqui Saraza. A ellos por darme una entera confianza apoyo incondicional alegría y comprensión para seguir adelante y lograr siempre todas mis metas con fe y perseverancia humildad y satisfacción y felicidad.

Con inmenso cariño a mis tíos: Nancy Vilma y Rolando por darme buenos consejos y apoyo y a mis primos por impartir alegría en la familia.

A Elizabeth Arocutipa Escobar, Frank Maquera Candro y Amigos y Amigas de ahora y siempre les tengo mucho aprecio, por demostrar siempre los buenos valores, de la amistad.

Atte. Christiam Rudy Asqui Saraza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida y dirigir mi camino.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias en ella especialmente la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica y a sus docentes quienes inculcaron con sus sabias enseñanzas en mi formación profesional.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Estación Experimental Illpa Anexo - Salcedo en especial al laboratorio de suelos y agua. Al jefe del laboratorio Ing. Jorge Canihua Rojas e Ing. Selima Salcedo Mayta por su profesionalidad, su buen hacer y por el trato que me ha dispensado en estos años, y ahí nació el interés por la ciencia del suelo, agradezco por haberme ayudado y facilitado las cosas en este tiempo, sin vuestra colaboración este proyecto no habría sido posible.

Especialmente quiero agradecer al Ing. M.Sc. Daniel Canaza Mamani, como director de la presente investigación y que ha hecho posible la realización del presente trabajo de tesis. Gracias por su ayuda brindada, paciencia, enseñanza, amistad y confianza depositada en mí persona.

Agradezco al presidente de tesis al Ing. Gabriel Incacari Sancho, por la acertada orientación, el soporte y discusión crítica que me permitió un buen aprovechamiento en el trabajo realizado, y que esta tesis llegara a buen término.

A los miembros del jurado: Dr. Ernesto Chura Yupanqui y Ing. Fredy Grimaldo Calizaya Llatasi, por su rigurosidad y comprensión en la evaluación durante la elaboración del presente proyecto.

A los Docentes Dr. Ali Canaza, Ing. M.Sc. Julio Choque Lazaro y Mg. Ag. Marilú Chanini Quispe, gracias por su infinita paciencia, enseñanza, apoyo, por su gran labor y su inestimable ayuda en estos años.

A mis amigos que de una u otra forma participaron en este proyecto, Ing. Denis Edmundo Rojas Huarachi, Ing. Jean Franco Bustinza Dueñas, Felipe Frank Maquera Candro, Roger Husca, Over Pari, Dennis Escobar, Betsy Ticona, Marisol Ponce, Jean Ronal Vilcapaza y Liz Ramos. A mis amigos que me enseñaron a disfrutar de la vida y con los que he compartido tantos buenos momentos. GRACIAS.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.3.1. Hipótesis General	19
1.3.2. Hipótesis Específico	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.5.1. Objetivo General	20
1.5.1. Objetivos Específicos	20
CAPÍTULO II: REVISION DE LITERATURA	21
2.1. MARCO TEORICO	21
2.1.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PAPA	21
2.1.2. Importancia del cultivo	21
2.1.3. Descripción botánica.	21
2.1.4. Fenología del cultivo	22
2.1.5. Requerimientos climáticos y edáficos	23
2.1.6. Fertilización	25
2.2. ACIDEZ DEL SUELO	26
2.2.1. Definición	26
2.2.2. Acidificación del suelo	26
2.2.3. Procesos naturales de acidificación de los suelos	26
2.2.4. Causas de la acidificación de los suelos	27
2.2.5. Fuentes de acidez en los suelos	28
2.2.6. Características de los suelos ácidos	29
2.2.7. Formas de presentación de la acidez del suelo	30
2.3. REACCION DEL SUELO	31
2.4. PROBLEMAS AGRONOMICAS DE LOS SUELOS ACIDOS	33
2.4.1. Efecto de la acidez en el desarrollo de los cultivos	33

2.4.2. Influencia del pH del suelo sobre la asimilación de los elementos	34
2.5. ROCA TRAVERTINO	37
2.5.1. Origen y naturaleza	37
2.5.2. Composición química	38
2.6. ENCALADO DE LOS SUELOS	39
2.6.1. Fuentes de materiales de encalado	39
2.7. COSTOS	40
2.7.1. Ingreso bruto	40
2.7.2. Ingreso Neto	40
2.7.3. Rentabilidad.....	40
2.7.4. Relación beneficio costo	40
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	41
2.2.1. Experiencia en el uso de enmiendas calcáreas	41
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICO DEL ESTUDIO	43
3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO	43
3.3. CONDICIONES METEOROLOGICAS	43
3.3.1. Temperatura	44
3.3.2. Precipitación pluvial.....	45
3.4. CARACTERISTICAS DEL SUELO	46
3.4.1. Análisis de caracterización	46
3.5. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LA ROCA TRAVERTINO	48
3.6. MATERIALES Y EQUIPOS.....	48
3.6.1. En fase de campo.....	48
3.6.2. En fase de laboratorio.	49
3.7. PROCEDENCIA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL	50
3.7.1. Variedad ensayada.....	50
3.7.2. Roca travertino.....	50
3.7.3. Estiércol de ovino descompuesto	50
3.7.4. Superfosfato triple de calcio	50
3.7.5. Urea	51
3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL	51
3.9. FACTORES EN ESTUDIO	52
3.9.1. Fuente de encalado del suelo	52
3.10. PROCEDIMIENTO DE LA CONDUCCION DEL EXPERIMENTO	54

3.10.1. Muestreo de suelo.....	54
3.10.2. Preparación del suelo y regulación de la surcadora	54
3.10.3. Marcado del área experimental.....	54
3.10.4. Aplicación de la fuente encalante de la roca travertino al suelo	54
3.10.5. Siembra.....	55
3.10.6. Labores culturales.....	55
3.10.7. Evaluaciones y cosecha.....	56
3.11. VARIABLES.....	56
3.11.1. pH del suelo (1:1)	56
3.11.2. Conductividad eléctrica	56
3.11.3. Carbonato de calcio (Ca CO ₃)	56
3.11.4. Materia orgánica.....	56
3.11.5. Nitrógeno total.....	57
3.11.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	57
3.11.7. Fosforo disponible.....	57
3.11.8. Potasio disponible	57
3.11.9. Aluminio Al ⁺³	57
3.11.10. Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺ cambiables.....	57
3.11.11. Textura	57
3.11.12. Densidad aparente	57
3.11.13. Color	57
3.11.14. Número de tubérculos por planta	57
3.11.15. Rendimiento (Kg/20m ²)	57
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1. EFECTO DE LA ROCA TRAVERTINO SOBRE LAS CARACTERISTICAS QUIMICAS Y FISICAS DEL SUELO	59
4.1.1. Efectos sobre el Nitrógeno total (N).....	59
4.1.2. Efectos sobre el fosforo disponible (P).....	62
4.1.3. Efectos sobre el potasio disponible (K ppm).....	65
4.1.4. Efectos sobre la materia orgánica (M.O)	67
4.1.5. Efectos sobre la reacción del suelo (pH).....	70
4.1.6. Efectos sobre la conductividad eléctrica (C.E).....	73
4.1.7. Efectos sobre el aluminio (Al)	75
4.1.8. Efectos sobre el manganeso (Mn).....	78
4.1.9. Efectos sobre el Hierro (Fe).....	80

4.1.10. Efectos sobre el calcio cambiabile	82
4.1.11. Efectos sobre el magnesio cambiabile (Mg)	85
4.1.12. Efectos sobre el sodio cambiabile (Na)	87
4.1.13. Efectos sobre el potasio cambiabile (K)	88
4.1.14. Efectos sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC)	90
4.1.15. Efectos sobre el carbonato de calcio (CO₃Ca)	93
4.1.16. Efectos de la textura del suelo (arena, arcilla y limo)	94
4.1.17. Efectos de la densidad aparente del suelo	97
4.2. EFECTO DE DOSIS DE ENCLADO CON LA ROCA TRAVERTINO EN EL RENDIMIENTO Y POR CATEGORIAS DEL CULTIVO DE PAPA VAR. IMILLA NEGRA	99
4.2.1. Efectos de las dosis de enclado, sobre el rendimiento total Kg/ha del cultivo de papa	99
4.2.2. Efectos sobre el rendimiento de la papa kg/ha en categoría (Extra)	101
4.2.3. Efecto sobre el rendimiento de la papa en categoría (Primera)	102
4.2.4. Efecto sobre el rendimiento de la papa en categoría (Segunda)	103
4.2.5. Efectos sobre el rendimiento de la papa en categoría (Tercera)	105
4.2.6. Efectos sobre el rendimiento de la papa en categoría (Cuarta)	105
4.2.7. Efecto por número de tubérculos por planta	106
4.3. COSTOS DE PRODUCCION A LA APLICACIÓN DE LA ROCA TRAVERTINO EN CULTIVO DE PAPA VAR. IMILLA NEGRA	108
CAPITULO V: CONCLUSIONES	110
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	111
CAPITULO VII: REFERENCIAS	112
ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Distribución porcentual de las formas de aluminio Al en una solución de acuerdo al pH.....	33
FIGURA 2. Diagrama de Trough: solubilidad o disponibilidad de los nutrientes en función del pH.....	36
FIGURA 3. Variación de temperaturas máximas, media y mínima de la campaña agrícola 2017-2018.....	44
FIGURA 4. Variación de la precipitación pluvial, campaña agrícola 2017-2018.	45
FIGURA 5. Análisis del Nitrógeno después del encalado.....	61
FIGURA 6. Análisis de fósforo disponible (P) después del encalado.	63
FIGURA 7. Análisis de potasio disponible (K) después del encalado.....	66
FIGURA 8. Análisis de la Materia orgánica (M.O) después del encalado.	69
FIGURA 9. Análisis de la reacción del suelo (pH) después del encalado.	71
FIGURA 10. Análisis de la conductividad eléctrica (CE) después del encalado.	74
FIGURA 11. Análisis del aluminio (Al) después del encalado.	76
FIGURA 12. Análisis del manganeso (Mn) después del encalado.	79
FIGURA 13. Análisis del Hierro (Fe) después del encalado.....	82
FIGURA 14. Análisis del Calcio (Ca) después del encalado.	84
FIGURA 15. Análisis del Magnesio (Mg) después del encalado.	86
FIGURA 16. Análisis del sodio (Na) después del encalado.....	88
FIGURA 17. Análisis de Potasio Cambiable después del encalado.6	90
FIGURA 18. Análisis de capacidad de intercambio catiónico (CIC) después del encalado.	92
FIGURA 19. Análisis de Carbonato de calcio (CO ₃ Ca) después del encalado.	94
FIGURA 20. Análisis de la textura del suelo (Arena, Arcilla y Limo) después del encalado.	97
FIGURA 21. Determinación de la densidad aparente del suelo después del encalado. .	98
FIGURA 22. Rendimiento total en Kg/ha del cultivo de papa variedad imilla negra a diferentes dosis de calcio.	100
FIGURA 23. Clasificación por categorías de la papa variedad imilla negra kg/ha.	106
FIGURA 24. Conteo del número de tubérculos por planta.	107
FIGURA 25. Apertura de una calicata y muestreo de suelo del área total para el análisis inicial de caracterización en laboratorio de suelos y aguas. 16/10/17	138
FIGURA 26. Roturación y preparación del área experimental. 17/10/17	138
FIGURA 27. Marcado del terreno para tratamientos en estudio. 28/10/17.....	138
FIGURA 28. Apertura de surcos para la siembra y tapado de la papa. 01/11/17	139
FIGURA 29. Aplicación de la fuente encalante la roca travertino molido por tratamientos o dosis. 01/11/17	139
FIGURA 30. Siembra del cultivo de papa variedad imilla negra. 01/11/17.....	139
FIGURA 31. Después de la aplicación de la fuente encalante por tratamientos o dosis y la siembra de la papa. 01/11/17.....	140
FIGURA 32. Deshierbo y aporque del cultivo de la papa. 09/01/18	140
FIGURA 33. Control fitosanitario de la papa. 25/02/18	140

FIGURA 34. Muestran deficiencias nutricionales de fosforo en los bordes de las hojas en los testigos. 30/01/18	141
FIGURA 35. Evaluación del desarrollo de la papa en la fase fenológica de la floración. 03/03/18.....	141
FIGURA 36. Cosecha de la papa variedad imilla negra. 21/04/18.....	141
FIGURA 37. Clasificación de tubérculo de papa por su tamaño para consumo y fresco o procesamiento en estudio. 12/05/18	142
FIGURA 38. Evaluación el número de tubérculos por planta. 21/04/18	142
FIGURA 39. Recolección de muestras para el análisis de caracterización después de la cosecha de la papa. 22/04/18	142
FIGURA 40. Secado de muestras de suelo después del encalado para el análisis de caracterización. 09/07/18.....	143
FIGURA 41. Pesado de muestras para el análisis der caracterización del suelo después del encalado. 18/07/18.....	143
FIGURA 42. Análisis pH del suelo después del encalado. 18/07/18.....	143
FIGURA 43. Análisis de la C.E mmhos/cm del suelo después del encalado. 18/07/18	144
FIGURA 44. Lectura del Fosforo Disponible del suelo después del encalado. 19/07/18	144
FIGURA 45. Preparación de muestras para el análisis de capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio cambiabile, sodio cambiabile, hierro y aluminio del suelo después del encalado. 19/07/18.....	144
FIGURA 46. Análisis de carbonato de calcio del suelo después del encalado. 01/08/18	145
FIGURA 47. Determinación del porcentaje de la textura del suelo (arena, arcilla y limo) después del encalado. 01/08/18	145
FIGURA 48. Determinación de la densidad aparente del suelo después del encalado. 07/08/18.....	145
FIGURA 49. Certificado de Análisis de la Roca travertino. Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.....	146
FIGURA 50. Certificado de análisis de caracterización de suelo antes de la siembra. (Datos iniciales). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.....	147
FIGURA 51. Certificado de análisis de caracterización de los suelos después del encalado (Bloque I y II). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.....	148
FIGURA 52. Certificado de análisis de caracterización de los suelos después del encalado (Bloque III y IV). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.....	149
FIGURA 53. Distribución y disposición de tratamientos para diferentes Dosis de encalado de suelo acido con travertino molido en cultivo de papa.....	150
FIGURA 54. Mapa de ubicación del área experimental CIP- Camacani.	151

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1. Caracterización de suelos para el cultivo de papa.....	24
TABLA 2. Abonamiento y fertilización para el cultivo de papa.....	25
TABLA 3. Composición química de la Roca travertino.....	38
TABLA 4. Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (Noviembre 2017 - Abril 2018).	43
TABLA 5. Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento.	47
TABLA 6. Características químicas de la roca travertino.	48
TABLA 7. ANOVA (Análisis de varianza).	52
TABLA 8. Dosis de la roca travertino molido, urea, superfosfato triple de calcio y estiércol de ovino por parcela de 20m ²	53
TABLA 9. Dosis de la roca travertino molido, urea, superfosfato triple de calcio y estiércol de ovino por hectárea.....	53
TABLA 10. Clasificación de tubérculos de papa por su tamaño para consumo en fresco o procesamiento.	58
TABLA 11. Análisis de varianza para porcentaje de Nitrógeno total, con datos transformados a valores angulares.	59
TABLA 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para datos transformados a valores angulares de porcentaje de Nitrógeno total.....	60
TABLA 13. Análisis de varianza para el fosforo después del encalado.....	62
TABLA 14. Análisis de varianza para el Potasio disponible (K ppm) después del encalado.	65
TABLA 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para potasio disponible (k ppm) en el suelo. ...	66
TABLA 16. Análisis de varianza para porcentaje de materia orgánica total con transformaciones a datos angulares.	68
TABLA 17. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para datos transformados a valores angulares de porcentaje de materia orgánica.	68
TABLA 18. Análisis de varianza para el efecto sobre la reacción del suelo (pH).	70
TABLA 19. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre la reacción del suelo (pH).	71
TABLA 20. Análisis de varianza sobre la conductividad eléctrica transformado de \sqrt{x} (C.E).	74
TABLA 21. Análisis de varianza para el efecto sobre el aluminio (Al).	75
TABLA 22. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el Aluminio (Al).	76
TABLA 23. Análisis de varianza para el efecto sobre el manganeso transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$	78
TABLA 24. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el efecto sobre el Manganeso (Mn) transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$	78
TABLA 25. Análisis de varianza para el efecto sobre el Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$	81
TABLA 26. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$	81
TABLA 27. Análisis de varianza para el efecto sobre el calcio cambiante.	83
TABLA 28. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el calcio cambiante	83
TABLA 29. Análisis de varianza para el efecto sobre el magnesio cambiante (Mg).....	85
TABLA 30. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el magnesio cambiante.....	85

TABLA 31. Análisis de varianza para el efecto sobre el sodio cambiante transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$	87
TABLA 32. Análisis de varianza para el efecto sobre el potasio cambiante (K).....	89
TABLA 33. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el potasio cambiante (K).	89
TABLA 34. Análisis de varianza para el efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	91
TABLA 35. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre la capacidad de intercambio catiónico.	91
TABLA 36. Análisis de varianza para el porcentaje de carbonato de calcio transformados a datos angulares.	93
TABLA 37. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con transformación a datos angulares de carbonato de calcio.....	93
TABLA 38. Análisis de varianza para porcentaje de arena con transformaciones a datos angulares.....	95
TABLA 39. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para porcentaje de arena con transformaciones a datos angulares.	95
TABLA 40. Análisis de varianza para porcentaje de arcilla con transformaciones a datos angulares.....	96
TABLA 41. Análisis de varianza para porcentaje de limo con transformaciones a datos angulares.....	96
TABLA 42. Análisis de varianza para la densidad aparente.....	98
TABLA 43. Análisis de varianza para el rendimiento total de papa kg/ha.....	99
TABLA 44. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento total de papa kg/ha.	100
TABLA 45. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Extra).....	101
TABLA 46. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Extra).	102
TABLA 47. Análisis de varianza para rendimiento categoría (primera).	102
TABLA 48. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Primera).....	103
TABLA 49. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Segunda).....	104
TABLA 50. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Segunda).....	104
TABLA 51. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Tercera).	105
TABLA 52. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Cuarta).....	106
TABLA 53. Análisis de varianza para número de tubérculos por planta con transformaciones a datos angulares.....	107
TABLA 54. Análisis económico de la producción a la aplicación de la roca travertino en el cultivo de la papa.	109
TABLA 55. Datos iniciales de análisis de suelos de las características químicas antes de la siembra.....	119
TABLA 56. Datos iniciales de análisis de suelos de las características físicas antes de la siembra.....	119
TABLA 57. Datos de análisis de suelos de las características químicas después del encalado del suelo en estudio.....	120
TABLA 58. Datos transformados para reducir el coeficiente de variabilidad (CV) de las características químicas después del encalado del suelo en estudio.	121
TABLA 59. Datos transformados a valores angulares de las características químicas después del encalado del suelo.....	122
TABLA 60. Datos de análisis de suelos de las características físicas después del encalado del suelo en estudio.....	123

TABLA 61. Datos transformados a valores angulares de las características físicas después del encalado del suelo en estudio.	124
TABLA 62. Datos del rendimiento total Kg/20m ² convertido a kg/ha del cultivo de la papa variedad imilla negra en estudio.	125
TABLA 63. Datos de la clasificación de tubérculos de papa por su tamaño para consumo y fresco o procesamiento kg/20m ² convertido a kg/ha.	126
TABLA 64. Datos del número de tubérculos por planta en estudio.	127
TABLA 65. Datos transformados a valores angulares el número de tubérculos por planta en estudio.	127
TABLA 66. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con primera dosis de (0.0 meq Ca ⁺⁺ /100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.	128
TABLA 67. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con segunda dosis de (0.5 meq Ca ⁺⁺ /100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.	130
TABLA 68. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con tercera dosis de (1.5 meq Ca ⁺⁺ /100gr. en la variedad imilla negra.	132
TABLA 69. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con cuarta dosis de (2.5 meq Ca ⁺⁺ /100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra. ...	134
TABLA 70. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con quinta dosis de (4.5 meq Ca ⁺⁺ /100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra. ...	136

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CIP: Centro de Investigación y Producción

CV: Coeficiente de variación

C.M: Cuadrados medios

F.V.: Fuente de variabilidad

Fc: F calculada

Ft: F tabular

Pr: Probabilidad

n.s.: No significativo

S.C: Suma de cuadrados

NPK: Nitrógeno, Fosforo y Potasio

M.O: Materia orgánica

C.E: Conductividad eléctrica

Al, Mn, Fe: Aluminio, Manganeso y Hierro

Ca, Mg, Na: Calcio, magnesio y sodio

C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico

CO₃Ca: Carbonato de calcio.

Papa: *Solanum tuberosum* L.

Var.: Variedad.

Ppm: Partes por millón

Kg: kilogramos

S/./ha: Soles por hectárea

%: Porcentaje

*: Es significativo

** : Es altamente significativo

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el CIP- Camacani de la UNA – Puno, jurisdicción del distrito de Platería, provincia y departamento de Puno, durante la campaña agrícola 2017-2018, en un suelo ácido producto de la meteorización de rocas ácidas y el excesivo abonamiento orgánico durante muchas décadas atrás. Como consecuencia estos suelos presentan alto contenido de Aluminio, Hierro y Manganeso y bajos en elementos de Calcio y Magnesio. El análisis físico y químico del suelo experimental se realizó al inicio y final de la investigación. Los objetivos fueron: determinar el efecto de la roca travertino sobre las características físicas-químicas del suelo, rendimiento del cultivo y evaluar los costos de producción en el cultivo de papa Var. Imilla Negra. Para el análisis estadístico se utilizó el diseño bloque completamente al azar, con cinco dosis y cuatro repeticiones; las dosis fueron 0.0, 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr suelo, utilizándose como fuente encalante la roca travertino, además se aplicaron a todas las parcelas estiércol de ovino a razón de 2 tn/há. Los resultados obtenidos fueron alentadores en las características químicas y físicas del suelo, el mayor porcentaje de nitrógeno total del suelo se logró con la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo con 0.0957%. El mayor cantidad de potasio disponible se logró con la dosis de 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo con 674.44 ppm. La reacción del suelo (pH), se incrementó con la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo a 7.80. El contenido de aluminio y hierro, disminuyeron estadísticamente a la aplicación de la roca travertinos con la dosis de 4.5, 2.5, 1.5 y 0.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo, llegando hasta 0.00 meq $\text{Al}^{+++}/100$ g de suelo, y el contenido de hierro disminuyó hasta 0.0025, 0.0025, 0.0100 y 0.0125 ppm respectivamente a las dosis decrecientes del encalado. El mayor efecto sobre el Calcio cambiante se logra en la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo, incrementándose a 9.95 meq $\text{Ca}^{++}/100$ g de suelo. En fósforo disponible, conductividad eléctrica, y porcentajes de arcilla y limo, no se encontraron diferencia estadística significativa. El mayor rendimiento total de papa kg/ha, se logró con la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ g de suelo con 41700.50 kg/ha. En el análisis económico del cultivo de papa por hectárea, con la aplicación de roca travertino a la dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo con un costo total S/.10683.84 obtuvo mayor rentabilidad de 284.69% y un beneficio/ costo de 3.85, que superaron a las demás tratamientos.

Palabras claves: Suelo ácido, Encalado, Roca travertino, *Solanum tuberosum* L.

ABSTRACT

This research was conducted in the CIP - Camacani of UNA - Puno, jurisdiction of the district of silverware, province and department of Puno, during the agricultural season 2017-2018, in an acid soil product of the weathering of acid rocks and excessive organic composting for many decades ago. As a result these soils are high in aluminum, iron and manganese and low in elements of Calcium and Magnesium. The physical and chemical analysis of the experimental soil was made at the beginning and end of the research. The objectives were: to determine the effect of travertine rock on the physical characteristics-chemical soil, crop yield and assess the costs of production in the cultivation of potato Var. Black Imilla. For the statistical analysis used the block design completely at random, with five doses and four repetitions; the doses were 0.0, 0.5, 1.5, 2.5 and 4.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100$ gr ground, to be used as a source encalante travertine rock, as well as were applied to all the plots of sheep manure at the rate of 2 tn/ha. The results were encouraging in the chemical and physical characteristics of the soil, the largest percentage of total nitrogen from the soil was achieved with the dose 4.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ of soil with 0.0957%. The greatest amount of potassium available was achieved with the dose of 2.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++} /100\text{g}$ of soil with 674.44 ppm. The reaction of the soil (pH), increased with the dose of 4.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ from floor to 7.80. The content of aluminum and iron, decreased statistically to the implementation of the rock travertines with a dose of 4.5, 2.5, 1.5 and 0.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ of soil, reaching up to 0.00 meq $\text{Al}^{+++}/100\text{g}$ of soil, and the iron content decreased to 0.0025, 0.0025, 0.0100 and 0.0125 ppm respectively to the decreasing doses of liming. The greater effect on calcium changeable is achieved in the dose 4.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ of soil, rising to 9.95 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ of soil. In available phosphorus, electrical conductivity, and percentages of clay and silt, no significant statistical differences were found. The largest total performance of pope kg/ha, was achieved with the dose 4.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ of soil with 41700.50 kg/ha. In the economic analysis of the potato crop per hectare, with the application of travertine rock at the dose 1.5 milliequivalent $\text{Ca}^{++} /100\text{g}$ of soil with a total cost S/.10683.84 obtained greater profitability of 284.69% and a benefit/ cost of 3.85, which outperformed the other treatments.

Keywords: acid soil, whitewashed travertine rock, *Solanum tuberosum* L.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos ácidos inciden directamente en la baja productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Var. Imilla Negra en el CIP - Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Sector Chimahui K'ucho.

La acidez del suelo, unida a la poca disponibilidad de nutrientes, es una de las mayores limitantes que pueden inducir la baja productividad de suelos ácidos. Aunque la acidificación es un proceso natural, la agricultura, la población y otras actividades humanas aceleran este proceso. Debido al aumento de áreas acidificadas en el país y en el mundo y a la necesidad de producir más alimentos, es fundamental entender la acidez del suelo, con el fin de desarrollar prácticas de manejo.

El empleo del encalado es una de las practicas más antiguas que data desde antes de la era cristiana y fue hasta el siglo XIX cuando se llevó a la práctica para el cuidado de los suelos. Por lo tanto, su aplicación es una operación fertilizadora y mejoradora que los agricultores de varias regiones creen conocer perfectamente, aun sin embargo el efecto posterior a su aplicación es cuestión poco conocida. Por lo tanto una muestra de suelo laborable es muy importante determinar el porcentaje de CaCO_3 carbonato de calcio, para saber si no se afectan los suelos al agregar mejoradores calizos o fertilizantes que no puedan ponerse a disposición de las plantas por exceso de cal, por lo tanto su escases en el suelo provoca una deficiencia de éste elemento en las plantas y una acidez en el suelo o baja en el pH y como consecuencia de esta acidez surgirán otros fenómenos que redundaran en la baja producción de los cultivos. (Bernardo, 1992).

La cal es generalmente aplicada como CaCO_3 , normalmente la meta es elevar el pH a un valor determinado, pero muchas veces en los trópicos húmedos, la meta es el reducir el porcentaje de saturación de aluminio a un valor satisfactorio dependiendo de la tolerancia al aluminio de cada cultivo. (Sánchez, 1976).

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na) y una acumulación de cationes ácidos (aluminio (Al) e hidrógeno (H)). El encalado consiste en agregar al suelo cualquier

compuesto de calcio o de calcio y magnesio que sea capaz de reducir la acidez e incrementar el pH. El objetivo central de las enmiendas calcáreas es desplazar el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo. Los mecanismos de la reacción de los materiales encalantes permiten la neutralización de la acidez al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo. Los iones hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) liberados a la solución de suelo por el intercambio con Ca, reaccionan con los iones bicarbonato (HCO_3^-) provenientes de la hidrólisis de la cal, formando agua y precipitando el aluminio, con liberación de anhídrido carbónico (CO_2) que se disipa como gas. De esta manera, el aluminio tóxico de la solución de suelo queda neutralizado y químicamente inerte. (Ricardo, 2014).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son los factores que inciden en el rendimiento de producción del cultivo de papa variedad Imilla Negra en el CIP- Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno?

¿Será posible que el pH, nitrógeno, fósforo y potasio del suelo incrementen y los iones Aluminio, Hierro y Manganeso disminuyan para mejorar la producción de cultivo de papa variedad Imilla Negra en el CIP- Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno?

Uno de los principales problemas en la producción del cultivo de papa, es que los agricultores desconocen la aplicación y dosificación de la roca travertino en suelos ácidos para una apropiada producción, ya que las mismas tienden a incrementar los niveles de pH, nitrógeno, fósforo y potasio, asimismo precipitando a los iones Aluminio, Hierro y Manganeso muy rápido por lo que es necesario la aplicación de la roca travertino que estas fuentes calcáreas mejoren el suelo y así incrementen la producción del cultivo de papa.

1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

En el efecto de aplicación de los diferentes tratamientos o dosis de la roca travertino molido tiene un efecto distinto sobre las características químicas-físicas del suelo, rendimiento y costos de producción en el cultivo de la papa Var. Imilla Negra.

1.3.2. Hipótesis Específico

1. La aplicación de diferentes tratamientos de la roca travertino molido tiene un efecto distinto sobre las características químicas y físicas del suelo.
2. La aplicación de diferentes tratamientos de la roca travertino molido tiene un efecto diferente en el rendimiento de la papa Var. Imilla Negra.
3. La aplicación de diferentes tratamientos de la roca travertino molido influye en los costos de producción.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el CIP- Camacani presentan suelos ácidos por el uso indiscriminado de estiércol de ovino, vacuno y fertilizantes desde tiempos inmemoriales, donde se llevó a cabo la presente investigación. Estos suelos presentan bajo contenido de calcio y magnesio, estos elementos son nutrimentos esenciales para las plantas superiores, es decir se requiere que existan cantidades suficientes de cada uno de ellos para asegurar que los cultivos se desarrollen y produzcan abundantes cosechas, en muchos casos es tan grande la pérdida aun cuando el Al^{+3} , Fe^{+2} y Mn^{+2} abundan ampliamente en la naturaleza, que se agotan en ciertos suelos.

Por lo anterior expuesto el encalado constituye una de las prácticas más apropiadas y económicas para corregir los problemas de acidez, para mejorar el rendimiento de los cultivos con la finalidad de obtener un beneficio económico alto. Además se puede considerar también la necesidad de adicionar otros elementos durante el encalado, tales como magnesio. Una de las opciones para realizar lo anterior es emplear fuentes encalantes como la roca travertino molido, roca fosfórica, cal y entre otras fuentes calcáreas, además cada una de ellos tienen la alta propiedad de neutralizar la acidez del

suelo. Estos materiales son de gran importancia, principalmente como fuente de Ca y Mg que como neutralizador de acidez y debido a la situación actual de los suelos ácidos del CIP- Camacani, además de la importancia de la producción de papa y socioeconómica de la actividad agrícola, se consideró importante y necesario realizar el estudio de encalado con la roca travertino molida con el objetivo general determinar el efecto de la roca travertino molido sobre las características físicas - químicas del suelo, rendimiento y costo de producción del cultivo de papa Var. Imilla Negra.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo General

Determinar el efecto de la roca travertino molido sobre las características físicas – químicas del suelo, rendimiento y costo de producción del cultivo de papa Variedad Imilla Negra.

1.5.1. Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de diferentes tratamientos de la roca travertino sobre las características químicas y físicas del suelo.
2. Determinar el efecto de diferentes tratamientos de la roca travertino en el rendimiento del cultivo de papa Var. Imilla negra.
3. Determinar el costo de producción a la aplicación de la roca travertino en el cultivo de papa Var. Imilla Negra.

CAPÍTULO II

REVISION DE LITERATURA

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE PAPA

2.1.1.1. Origen de la variedad Nativa “Imilla Negra”

Las variedades Nativa “Imilla Negra” corresponden a cultivares locales que han sido sometidos a un proceso de selección empírica no solo a través de cientos, sino miles de años por parte de los agricultores y presión de la naturaleza (Por ejemplo: clima, plagas y enfermedades). Algunas variedades Nativa “Imilla Negra” se siembra individualmente para comercialización por ser de muy buena calidad culinaria (harinosos). Se siembran en la Sierra Peruana especialmente en las comunidades campesinas localizadas a partir de los 3000m.s.n.m. (Montaldo, 1984).

2.1.1.2. Importancia del cultivo

La papa es uno de los alimentos más importantes para el hombre en términos de tonelaje total de la producción mundial, la papa se encuentra en el cuarto lugar después del trigo, arroz, y maíz a nivel mundial. En el Perú se cultivan entre 220,000 a 260,000 Has. De papa dependiendo de las condiciones climatológicas y la disponibilidad de precio conveniente al productor, al área cultivada se distribuye bajo condiciones ecológicas y tecnológicas muy variables e incluye alrededor de 10 especies y un número elevado de variedades mejoradas y nativas. La papa tiene una gran capacidad de adaptación a diferentes medios ecológicos, se cultiva desde el nivel del mar (costa) hasta los 4200 m.s.n.m. en los andes altos. (Zanabria y Benegas, 1997).

2.1.1.3. Descripción botánica.

La papa pertenece a la familia de las solanáceas. Las especies cultivadas son las Tetraploides ($2n=48$) que pertenecen a las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum*. La *Solanum tuberosum* es la papa que fue llevada a Europa por los españoles y domesticada en esos países, generalmente es de días y ciclo cortos; (90 a 100 días) de forma alargada, piel lisa, ojos superficiales, el color de la pulpa es crema a

amarilla y la piel rosada, roja o beige, y tiene estolones cortos. (Román y Hurtado, 2002).

Mencionan (Aldabe y Santiago, 2006), en una planta de papa por encima del suelo encontramos los siguientes órganos:

- Tallos y hojas: Que constituyen los órganos de fotosíntesis de la planta. De su tamaño y actividad depende la capacidad de la planta para la producción diaria y de su duración del tiempo durante el cual están creciendo los tubérculos.
- Flores y frutos: Que solo tiene importancia en el mejoramiento genético para la creación de nuevas variedades, pues en variedades comerciales se utiliza tubérculos medianos o trozos de tubérculos más grandes como semilla.

Y también mencionan (Aldabe y Santiago, 2006), que por debajo del suelo tenemos:

- Estolones: Que son tallos laterales que se forman en los nudos que crecen debajo del suelo, con crecimiento diageotropico, entrenudos largos y cuya punta termina en un gancho. Cuando se desarrollan los tubérculos, lo hacen desde la región subapical del estolón.
- Tubérculos: Que son tallos modificados para el almacenamiento de reservas, principalmente almidón. Tienen entrenudos muy cortos y hojas escasamente desarrolladas. Los entrenudos son mucho más grandes en diámetro que en largo. El “ojo” del tubérculo es la ceja sosteniendo una yema lateral cuyos entrenudos no se han desarrollado.
- Sistema radicular: Que son raíces adventicias, fasciculadas, que nacen desde la base de los brotes y a nivel de los nudos subterráneos, responsable de la absorción del agua y nutrientes desde el suelo y del anclaje de la planta.

2.1.1.4. Fenología del cultivo

Menciona (Lescano, 1994), que para fines de determinar las fases fenológicas es necesario considerar el inicio y la intensidad de brotamiento del tubérculo semilla, lo cual ocurre en condiciones de Perú entre los meses de agosto a octubre dependiendo de la variedad, manejo de la semilla, las fases son las siguientes:

Emergencia: Es cuando la planta ha germinado del suelo y ocurre normalmente entre los 25 a 35 días de la siembra. En esta fase la planta se convierte en muy susceptible al ataque de epitrix gusano de tierra por la falta de humedad en el suelo. (Lescano, 1994).

Inicio de formación de estolones: Se considera cuando las yemas de la parte subterránea de los tallos inician su crecimiento horizontal en forma de ramificaciones, esto ocurre a los 15 a 20 días de la emergencia. (Lescano, 1994).

Inicio de tuberización: Esta fase se caracteriza por el agrandamiento del extremo distal de los primeros estolones formados y ocurre entre los 35 a 40 días de la emergencia, la producción de las plantas dependerá de la fecha de inicio de la tuberización como llenado de tubérculo. (Lescano, 1994).

Inicio de floración: Se considera cuando la corola de la flor de la inflorescencia, se abre completamente esto ocurre entre los 20 a 25 días. (Lescano, 1994).

Final de la floración: Se considera que la última flor de la planta inicie su marchitamiento y secado. Esto ocurre aproximadamente entre los 55 a 85 días de la emergencia. (Lescano, 1994).

Final de tuberización. Es cuando en último estolón de la planta inicie su engrosamiento en su extremo distal. Madurez fisiológica. Ocurre aproximadamente de los 135 a 145 días después de la emergencia de la planta, se caracteriza por el cambio de color de las hojas. (Lescano, 1994).

2.1.1.5. Requerimientos climáticos y edáficos

La papa se adapta fácilmente a una gran diversidad de climas y suelos, desarrollándose mejor en zonas templadas y frías, se cultiva desde pocos metros sobre el nivel del mar hasta en alturas que sobrepasan los 4000 m. s. n. m., tal como ocurre con las papas oriundo del altiplano puneño. (Cahuana y Arcos, 1993).

Menciona (Parson, 1989), que la papa crece en casi todos los tipos de suelo, excluyendo suelos húmedos por que la semilla se pudre. El suelo debe proveer de agua, nutrientes y oxígeno de las raíces. Además, la estructura del suelo debe facilitar las labores de preparación de la tierra, del manejo del cultivo y de la cosecha. Las condiciones del suelo que se prefiere para el cultivo de papa son las siguientes:

- a. **La profundidad** de la capa de tierra cultivable debe ser, por lo menos, de 35 cm. Para que las raíces y los tubérculos puedan desarrollarse adecuadamente.
- b. **La granulación** debe ser relativamente fácil. La cama de semillas debe tener una estructura granulada para ayudar a la filtración del agua hacia las raíces. Además, la tierra granulada facilita la cosecha de los tubérculos

- c. **La humedad** debe ser adecuada. La papa requiere un suelo húmedo y a la vez una buena aireación. Un ambiente húmedo hace que la papa se pudra, y un ambiente seco detiene el crecimiento.
- d. **La cantidad de sales** debe ser bajo.
- e. **La cantidad de materia orgánica** debe ser superior a 2% como mínimo, para que el suelo no forme costras.
- f. **La acidez del suelo o pH** debe estar entre 5.5 - 7

La papa requiere suelos profundos, de textura franco arenoso, de buen nivel de fertilidad, con pH de 5.6 a 6.5 ligeramente ácido y prospera inclusive a pH de 4.5 a 8.5. (Naranjo, H. 1991).

TABLA 1. Caracterización de suelos para el cultivo de papa.

Propiedades físicas	Rango óptimo
Textura	Franca
Profundidad efectiva	> 50 cm
Densidad aparente	1.20/cm ³
Color	Oscuro
Contenido de materia orgánica	> 3.5%
Capacidad de retención de agua	Buena a capacidad de campo
Topografía	Plana y semi plana
Propiedades químicas	Rango óptimo
pH	5.5 – 6
N	Variable
P	> 28 mg kg ⁻¹
K	> 5 %
Ca ⁺⁺	65 %
Mg ⁺⁺	18 %
Acidez total	< 10 %
Conductividad eléctrica	< 4 dsm ⁻¹
Propiedades biológicas	
Presencia de microorganismos beneficiosos a la fertilidad del suelo	Muy alta

Fuente: (Román, M y Hurtado, G 2002).

2.1.1.6. Fertilización

La incorporación de los abonos orgánicos se debe efectuar en su debida oportunidad, 2 a 3 meses antes de la siembra para conseguir la descomposición de la materia orgánica y una adecuada liberación de los nutrientes. Esta incorporación se realiza antes de la siembra para favorecer la humificación y evitar la toxicidad por el efecto de la fermentación. (Naranjo, 1991).

El abonamiento y la fertilización son llamados así a toda sustancia que contienen elementos útiles para la alimentación, crecimiento y fructificación de las plantas, al ser aplicados al suelo restituyan la fertilidad. (Rodríguez, 2000).

Se recomienda la siguiente Formulación:

TABLA 2. Abonamiento y fertilización para el cultivo de papa.

Item.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Costa:	120 – 130	100-200	80-200
Sierra:	120 - 200	80-200	90-120
Puno:	150	120	80

Fuente: (Rodríguez, 2000).

Los requerimientos nutricionales de la papa son: 150 kg. N, 120 kg. P₂O₅ y 90 kg K₂O. Además requiere cantidades moderadas de Mg, S y algún micro elementos como: B, Ca, Mo, Mn, Fe, Cu, y Zn. Cuando se aplican cantidades de nitrógeno muy altas, en relación con la disponibilidad de los otros elementos, se induce a la producción de papas extra grandes, pero se reduce su contenido de almidones. Además aumenta la susceptibilidad de las plantas a las plagas, especialmente a las enfermedades causadas por hongos y bacterias. El P₂O₅ y el K₂O deben aplicarse en su totalidad al momento de la siembra; como fuente de nitrógeno se puede usar la Urea 46%, Nitrato de Amonio 33%; como fuente de P₂O₅ el triple superfosfato 46% y fosfato simple 20% y como K₂O Muriato de Potasio 0 – 0 - 60, Sulfato de Potasio (formula 0 – 50 - 17), o bien fórmulas completas como la 15 - 15 - 15 ó 18 – 46 - 0, 12 – 24 - 12. (Christiansen, 1967).

2.1.2. ACIDEZ DEL SUELO

2.1.2.1. Definición

En muchas áreas del mundo, la acidez del suelo limita la producción agrícola. El bajo contenido de bases cambiabiles, especialmente calcio; y la toxicidad de aluminio, afectan el crecimiento radicular y la absorción de agua y nutrientes por las plantas, causando una reducción en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos. (Sumner et al., 1986).

2.1.2.2. Acidificación del suelo

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis. Durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e incremento concomitante de cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. Simultáneamente, ocurre una salida de silicio del suelo en forma de $Si(OH)_4$, durante el proceso. Esta hidrólisis produce en el suelo un pH de hasta 4.2. Valores más bajos de pH se pueden alcanzar naturalmente cuando se drenan suelos que contienen formas reducidas de azufre o cuando se descomponen restos orgánicos y producen ácidos orgánicos de cadena corta. Igualmente, los suelos se pueden acidificar cuando reciben ácidos provenientes de procesos antrópicos como lluvia ácida, por la fertilización con materiales que dejan residuos ácidos y por lixiviación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ en zonas de alta precipitación, entre otros. (Zapata, 2004).

2.1.2.3. Procesos naturales de acidificación de los suelos

Los minerales que constituyen las rocas dejan de ser estables cuando quedan sometidas, en la corteza terrestre, a condiciones distintas a aquellas en las cuales se forman. Los iones que conforman los minerales, al encontrarse en la superficie, cambian lentamente a estados químicos más estables. (Zapata, 2004).

La meteorización transforma las rocas de sólidos densos y duros, a materiales livianos y porosos, que en su conjunto forman la saprolita, las pequeñas partículas que se forman con la frecuencia, difieren notablemente de la composición química y mineralógico del material original. Los cambios que ocasiona la meteorización en las rocas sedimentarias son menos evidentes. (Gaines et al., 1997).

Los minerales de las rocas pueden ser disgregadas por procesos físicos, pero los cambios mayores la ocasionaran las nuevas condiciones químicas como la exposición al agua, al oxígeno, al bióxido de carbono y a compuestos orgánicos. Las estructuras cristalinas de estos son inestables a estas condiciones. (Zapata, 2004).

2.1.2.4. Causas de la acidificación de los suelos

La acidificación, en amplio sentido, puede considerarse como la sumatoria de los procesos naturales y antropogénicos que disminuyen el pH de un suelo. (Aguirre, 2001), en su revisión bibliográfica citando a varios autores divide las causas de acidificación en dos grandes grupos, procesos naturales y procesos antropogénicos, (causados por el hombre) donde destacan en cada uno de ellos los siguientes factores. Los procesos naturales incluyen factores edáficos, climáticos y biológicos. El efecto acumulativo de estos sobre la acidificación del suelo generalmente llega a ser importante luego de un período largo de tiempo. Dentro de los procesos antropogénicos destaca el manejo agrícola que se refiere básicamente al uso de fertilizantes acidificantes, agricultura extractiva en término de bases de intercambio, laboreo y cambio de uso del suelo.

A continuación, se muestra un resumen de las causas de acidificación de los suelos según la división hecha por, y son las siguientes:

Según (Aguirre, 2001), las causas de acidificación por procesos naturales:

- a. **Factores edáficos:** están determinados por el material parental que origina al suelo.
- b. **Factores climáticos:** se refiere al proceso de lixiviación causado por las precipitaciones pluviales, que producen el lavado de bases a través del tiempo.
- c. **Factores biológicos:** están determinados por la acción de microorganismos, que a través de sus procesos vitales generan un aumento de la concentración de H^+ .

Según (Aguirre, 2001), las causas de acidificación por Procesos antropogénicos:

- a. **Uso de fertilizantes acidificantes:** dentro de estos destacan como los más usados los amoniacales, que afectan tanto el pH del suelo como la pérdida de cationes básicos.
- b. **Agricultura extractiva:** En los ecosistemas naturales no existe exportación de material vegetal, mientras que en la agricultura intensiva, existe gran cantidad de

exportación de restos vegetales del sistema, con ello se exporta las bases de intercambio; en un proceso natural las pérdidas son sólo por lixiviación.

- c. **Cambio de uso de suelo:** El cambio de una condición anaeróbica del suelo a una condición aeróbica del mismo conlleva a un proceso de acidificación.
- d. **Laboreo intensivo del suelo:** El hecho de dejar el suelo descubierto aumenta las pérdidas por lixiviación, por otro lado, la preparación de suelo provoca un aumento en la tasa de descomposición de la materia orgánica, la que en su descomposición genera iones hidrógeno.
- e. **Lluvia ácida:** precipitación que tiene un pH de 4,0 y 4,5 aunque puede llegar a pH 2,0 y se produce en zonas donde se emiten gases a la atmósfera con contenidos de nitrógeno y azufre por la combustión de carbón, leña, gasolina y otros combustibles fósiles usados por el hombre.

2.1.2.5. Fuentes de acidez en los suelos

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis. Durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Mg^{2+}) e incremento constante de cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. (Zapata, 2004).

La fertilización de cultivos también produce acidez sustancial en el suelo. El uso continuo de fertilizantes de amoníaco puede provocar condiciones ácidas mediante la intervención de los microorganismos que propician la siguiente reacción: $NH_4 + 2O_2 = NO_3^- + 2H^+ + H_2O$. Además, este mismo autor afirma que la acidez se produce por residuos vegetales o desperdicios orgánicos que se descomponen en condiciones un tanto reductoras, propiciando la formación de ácidos orgánicos, los cuales generan en parte la disolución y movimiento del hierro, aluminio y manganeso a través del perfil del suelo, por tanto, la quelación o formación de complejos por las moléculas orgánicos solubles también contribuyen al transporte de metales a través de suelo. (Bohn, 2002).

Menciona (Aguilar, 1994). Que la acidez del suelo es el resultado de 7 causas principales:

- a. Material parental según su relación Al: (Ca + Mg + K).
- b. Lixiviación de bases intercambiables del suelo
- c. Remoción de Ca, Mg y K por los cultivos

- d. Descomposición de la materia orgánica del suelo
- e. Uso de fertilizantes
- f. Acidez generada por las raíces de las plantas
- g. Lluvia ácida.

Además menciona que la acidez de los suelos proviene de diferentes fuentes que pueden ceder protones:

- Grupos ácidos de los minerales arcillosos.
- Grupos ácidos de la materia orgánica.
- Ácidos solubles

Desde la química se puede decir que la acidificación de los suelos resulta de la disminución de la capacidad neutralizante de acidez del suelo, como consecuencia de una transferencia irreversible en un sistema abierto de protones desde la fase líquida hacia la fase sólida, que actúa como sumidero. (Zapata, 2004).

La arcilla puede someterse a hidrólisis (Acidólisis, acidocomplexólisis) que provoca la desestabilización de las 02:01 celosías, lo que resulta en algunos de los cationes Al^{3+} de la capa octaédrica que pasa en posiciones intercambiables. Así los cationes intercambiables de superficie disminuyen gradualmente y el aluminio domina las cargas negativas, el pH del suelo cae hacia 4,0 y fenómenos de disolución no congruente puede ocurrir. (Pasu y Gautheyrou, 2006).

2.1.2.6. Características de los suelos ácidos

Según (Laroche, 1966), los suelos de áreas tropicales húmedas, se encuentran sometidos a altas temperaturas a un exceso de lluvias y meteorización lo que resulta en una acidificación creciente; en término generales estos suelos presentan características:

- a. pH entre 4.0 y 6.0.
- b. CIC entre 5.0 y 40 meq/100gr de suelo.
- c. (PSP) porcentaje de saturación de bases entre 3 y 70%.
- d. Calcio cambiante inferior a 4 meq/100 gr. De suelo.
- e. Magnesio cambiante inferior a 1 meq/100 gr. De suelo.
- f. Potasio cambiante entre 0.2 y 0.8 meq/100gr. De suelo.
- g. Desbalance de cationes cambiables.
- h. Acidez cambiante entre 3 y 30 meq/100gr. De suelo.
- i. Deficiencia de fosforo a pesar del contenido generalmente alto de fosforo total.

j. Reducida actividad de los microorganismos.

2.1.2.7. Formas de presentación de la acidez del suelo

Mencionan (Buckman y Brady, 1977), en un suelo ácido están incluidos dos grupos de H⁺ iones: Los de la solución suelo conocidas como:

- Una acidez activa se encuentra, constituida por la concentración de iones hidrogeno disociadas en la solución del suelo y se encuentra en equilibrio con aquellos absorbidos por el complejo coloidal. (Buckman y Brady, 1977).
- Una acidez potencial de cambio constituida por la concentración de iones H⁺ adsorbidos por el complejo coloidal para restablecer el equilibrio, cuando los iones H⁺ activos son removidos y neutralizados. En algunos suelos de textura media la acidez potencial puede ser 50,000 veces mayor que la acidez activa. (Buckman y Brady, 1977).

Por otro lado (Brady, 2008), clasifica a la acidez del suelo de la siguiente manera:

- **Acidez activa.** La acidez activa está definida por la actividad del ion H⁺ en la solución suelo. (Espinoza y Molina, 1999), mencionan que la acidez activa está representado por el H⁺ disociado en la solución del suelo y provenientes de diferentes fuentes. Esta acidez es pequeña comparada con la acidez intercambiable y residual. Se mide por el pH del suelo.
- **Acidez cambiable,** también llamada acidez intercambiable. Es la acidez reemplazable y está asociado al Al⁺³ intercambiable y al ion H⁺ que están presentes en gran cantidad en el suelo ácido. Estos iones cambiables están retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas. (Espinoza y Molina 1999).
- **La acidez intercambiable** como una proporción de la acidez total varía con la naturaleza del suelo y de la saturación de bases por ciento. Entre los minerales de arcilla, la proporción de intercambio acidez/acidez total es mayor para montmorillonita, intermedio para las vermiculitas dioctaédricas, y la más baja de los minerales de caolinita. La relación en algunas vermiculitas trioctaédricas parece ser bastante baja. (Pratt y Bair, 1962).
- **Acidez no intercambiable,** también llamado acidez residual. La acidez activa e intercambiable representan solo una fracción del total de la acidez del suelo. La acidez residual restante es generalmente asociado con los iones hidrógeno y

aluminio; incluyendo iones de hidróxido de aluminio (AlOH^{+2} y AlOH^{2+}) están atados en forma no intercambiable por la materia orgánica y las arcillas. Los iones se encuentran unidos mediante enlaces covalentes en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable. (Brady, 2008).

- **Acidez total**, también llamada acidez potencial o titulable. Es la suma de la acidez intercambiable más la acidez no intercambiable. Para la mayoría de suelos la acidez total es la que se debe superar para elevar el pH de suelo hasta un valor dado, se puede definir como: $\text{Acidez total} = \text{acidez activa} + \text{acidez intercambiable} + \text{acidez residual}$. (Brady, 2008).

2.1.3. REACCION DEL SUELO

En general se le atribuye mucho valor al conocimiento del pH de un suelo ya a veces se trata de inferir demasiado de un dato aislado. Sin restarle importancia, realmente aquel toma sentido cuando se lo relaciona con otros aspectos analíticos y con las particularidades del suelo. Otro aspecto es la reacción del suelo y su relación con la clasificación taxonómica, donde hay en general una correspondencia entre suelos u horizontes lixiviados y en consecuencia una menor saturación con bases, que se corresponde mayormente con la disminución en los valores de pH. Por otro lado, los suelos de permeabilidad y drenaje excesivo con mucha arena, por su pobre saturación con bases, son normalmente muy acidas y con pH bajos. (Norberto, 1986).

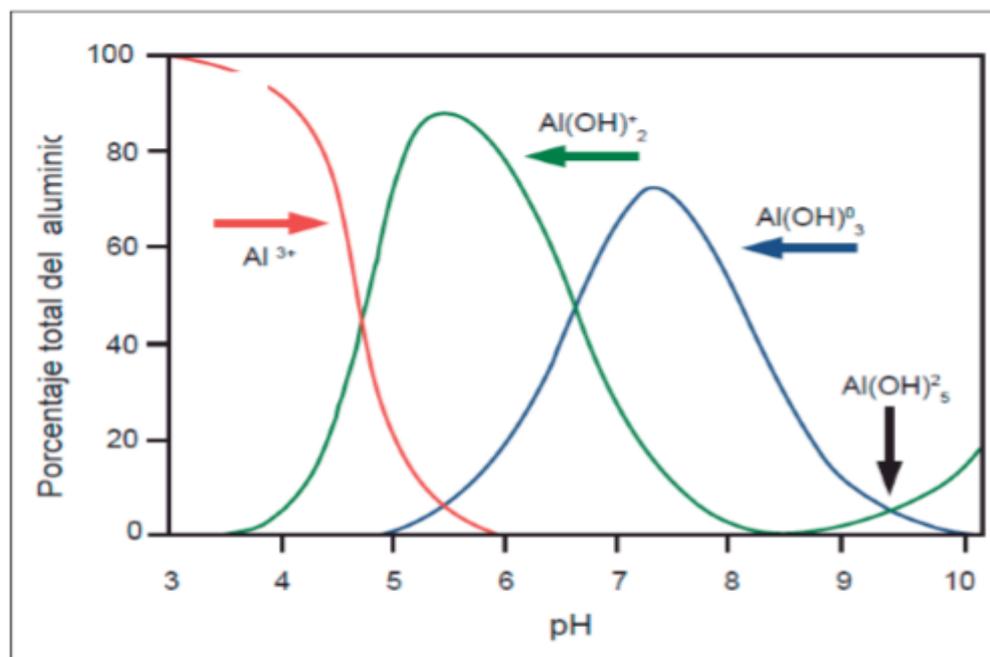
La concentración de iones hidrógeno usualmente se expresa como pH, que es la expresión matemática que tiene por finalidad evitar el uso de exponentes o de cantidades con muchos ceros: $\text{pH} = -\log \text{H}^+$. Esto es, pH es el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. A medida que disminuye la concentración de iones hidrógeno aumenta el pH y viceversa. Esto quiere decir que si el pH de un suelo es bajo, tiene una alta concentración de H^+ y si tiene un pH alto posee una baja concentración de iones H^+ . La reacción del suelo, sea acida o alcalina, es importante porque influye en sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas. (Aguilar et al., 1994).

Rol del aluminio en la acidez del suelo

Cuando los iones H^+ son adsorbidos sobre una superficie de arcilla, por lo general no permanecen como cationes intercambiables por mucho tiempo, pero en vez de atacar la estructura de los minerales, la liberación de los iones de Al en el proceso. Los iones de Aluminio son adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico del coloide. Estos iones Aluminio intercambiables, a su vez, están en equilibrio con Aluminio disuelto en la solución del suelo además, este autor menciona que los iones de aluminio intercambiable y soluble juegan 2 papeles críticos en el proceso de acidificación del suelo. Primero, el aluminio es altamente tóxico para la mayoría de los organismos y es responsable de gran parte del deletéreo de la acidez del suelo sobre las plantas y los animales acuáticos. Segundo, los iones Al^{3+} tienen una gran tendencia a hidrolizar, dividir moléculas de agua en iones H^+ y OH^- . El aluminio se combina con los iones OH^- , dejando al H^+ bajar el pH de la solución suelo. Por esta razón, el Al^{3+} e H^+ son considerados cationes ácidos. Un solo ion de Al^+ puede liberar 3 iones de H^+ . (Brady, 2008).

Mencionan que en condiciones de acidez, iones como Al^{3+} y Mn^{2+} se encuentran en la solución del suelo. Estos elementos aunque estén en bajas concentraciones son tóxicos para la mayoría de los cultivos. La toxicidad del aluminio incluye varios aspectos que afectan el normal desarrollo de las plantas sensibles a la acidez, lo que reduce su crecimiento y desarrollo. La presencia de altas concentraciones de Al en la solución del suelo inhiben también la absorción de calcio y magnesio por las plantas. (Bernier y Alfaro, 2006).

Cada una de estas reacciones libera H^+ y contribuye a la acidez del suelo. En la figura describe el comportamiento de las diferentes formas monoméricas del Al con respecto al pH del suelo de una solución. Se observa que el Al^{+3} aparece en la solución a pH 5.3 y que arriba de este pH se inicia la formación del $Al(OH)_3$ que se precipita, eliminando al Al de la solución. (Espinoza y Molina, 1999).



Fuente: (Espinoza y Molina, 1999).

FIGURA 1. Distribución porcentual de las formas de aluminio Al en una solución de acuerdo al pH.

2.1.4. PROBLEMAS AGRONOMICAS DE LOS SUELOS ACIDOS

2.1.4.1. Efecto de la acidez en el desarrollo de los cultivos

Según (Tamhane, 1978) menciona los diversos efectos que la acidez del suelo ejerce sobre las plantas pueden ser directos o indirectos.

Las influencias directas son:

- Efectos tóxicos de los iones H^+ sobre los tejidos de la raíz.
- Influencia de la acidez del suelo sobre la permeabilidad de las membranas de la planta para los cationes.
- Perturbaciones en el equilibrio entre constituyentes básicos y ácidos a través de las raíces. Sin duda, la acidez del suelo ejerce efectos directos perjudiciales sobre las plantas, en especial porque influye sobre los cambios enzimáticos, ya que las enzimas son particularmente sensibles a los cambios del pH.

Dentro de las indirectas se pueden mencionar:

- Baja disponibilidad de nutrientes: P, K, Mg, Co, Mo, Zn.
- Toxicidad para la planta de Al, Fe, Mn.

- c. Afectación desfavorable de microorganismos benéficos como *Rhizobium*.
- d. Prevalencia de enfermedades de la planta, dado que se favorece el medio para el desarrollo de organismos fungosos.

2.1.4.2. Influencia del pH del suelo sobre la asimilación de los elementos

a. Hidrógeno (H)

El efecto directo del ion hidrógeno sobre las plantas, cuando abunda en el suelo, es competir con los cationes que las plantas requieren para su nutrición, sin embargo, se ha demostrado que cuando, en soluciones nutritivas, se provee a la planta de todos los elementos esenciales en cantidad y forma adecuada, estas pueden desarrollarse satisfactoriamente en valores de pH tan bajos como 4.0. Consecuentemente, los efectos negativos de la acidez del suelo son realmente de carácter indirecto y por lo tanto el pH del suelo sólo indica la posibilidad de que otros factores afecten al desarrollo vegetal. (Aguilar *et al.*, 1994).

b. Aluminio (Al)

No existe la menor duda sobre el efecto tóxico que este elemento tiene sobre el crecimiento de la planta. Esto ha sido probado en soluciones nutritivas en las que la simple adición en cantidades mínimas de este elemento suponía una reducción del desarrollo. El efecto más directo parece ser la inhibición del crecimiento radical. En el desarrollo del ápice de la raíz sometida a concentraciones tóxicas de aluminio, se observan numerosas células binucleadas que no han podido dividirse. Dada la gran afinidad del aluminio por las sustancias pécticas, éste se acumula en las paredes celulares de la corteza de la raíz. De este modo, los brotes laterales se desarrollan bien hasta que emerjan a la corteza de la raíz y se encuentran con concentraciones tóxicas de Aluminio que paraliza su crecimiento de modo irreversible. (Domínguez, 1989).

c. Nitrógeno (N)

La disponibilidad de N depende de la transformación del nitrógeno de formas orgánicas (ej. N-proteico) a inorgánicas ($N-NH_4^+$). Este proceso se denomina mineralización y es llevado a cabo por microorganismos. Cuando el pH es muy ácido la actividad de los microorganismos se reduce, ya sea por la toxicidad del aluminio (pH menor de 5.5) o

por la estabilidad de los residuos orgánicos con el aluminio o coloides del suelo (andisoles). Esto finalmente se traduce en una baja producción de nitrógeno inorgánica aprovechable por las plantas. (Bonh. *et al.*, 1993).

d. Fósforo (P)

Con pH inferiores a 6 disminuye el fósforo disponible, debido a que el hierro y el aluminio se encuentran muy solubilizados y provocan la formación de fosfatos insolubles. En el intervalo comprendido entre 6 y 7.5, ocurre la mejor utilización del fósforo. Con pH superior a 7.5 disminuye la disponibilidad de este elemento, debido a que el calcio provoca la formación de compuestos insolubles. (Fuentes, 1999).

e. Potasio (K)

La solubilidad del potasio es alta en todo el intervalo de pH que pueda presentar el suelo. En suelos ácidos el potasio es deficiente debido a que ha sido lixiviado. Cuando existe mucho calcio (pH superior a 8) se crea un antagonismo iónico entre el calcio y el potasio, en donde el exceso de calcio impide la absorción del potasio. (Fuentes, 1999).

f. Calcio (Ca)

Este elemento es muy asimilable con valores altos de pH. Cuando éste excede de 8.5, es casi segura la presencia de sodio que sustituye al calcio y al magnesio en el complejo de cambio, precipitándose ambos como carbonatos insolubles. (Domínguez, 1989).

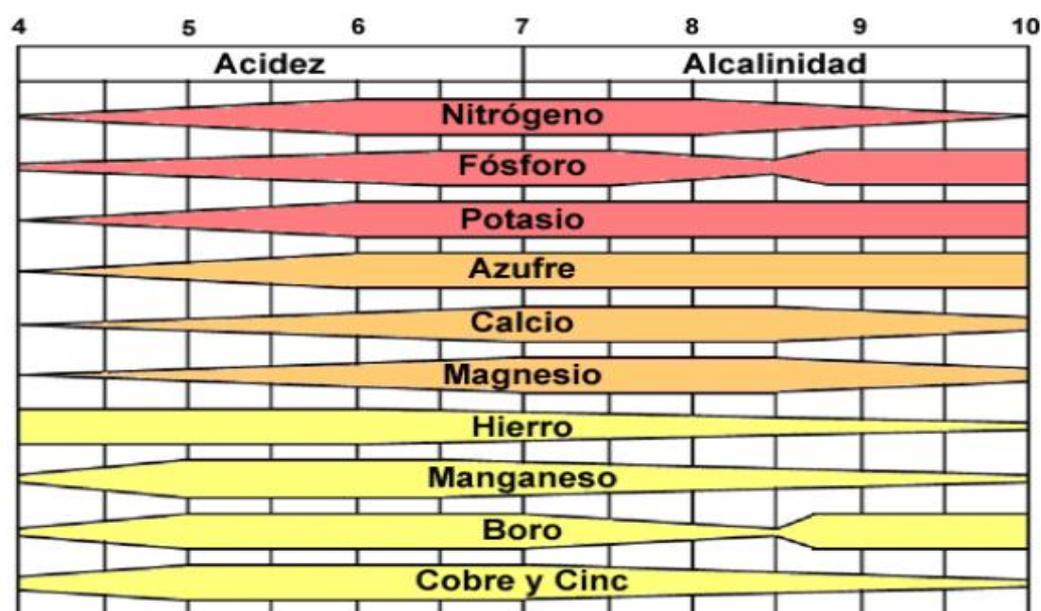
g. Magnesio (Mg)

Teniendo en cuenta, por tanto, el origen en el suelo del magnesio, se deduce fácilmente que la mayor parte del mismo se encuentra bajo formas inutilizables por las plantas, en consecuencia, y bajo el punto de vista de su aprovechamiento por la planta, el magnesio presenta una notable similitud con el potasio, ya que se encuentra distribuido en el suelo como magnesio lentamente asimilable, asimilable y rápidamente asimilable. (Gines, 2003).

h. Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Zinc (Zn)

Estos elementos son muy solubles con pH inferior a 5.5. A medida que aumenta el pH del suelo disminuye su solubilidad, de tal forma que en el suelo alcalino es muy escasa su absorción por las plantas. (Fuentes, 1999).

El diagrama de Troug (así denominado en honor a su autor), presentado en la figura 2, resume las relaciones entre el pH del suelo y la disponibilidad de diferentes elementos nutritivos.



Fuente: (Fuentes, 1999).

FIGURA 2. Diagrama de Troug: solubilidad o disponibilidad de los nutrientes en función del pH.

i. Microorganismos

La capacidad de adaptación de los diversos microorganismos al pH del suelo es, en general, menor que la de las plantas, teniendo por lo tanto una incidencia considerable en los procesos que éstos desarrollan, muchos de los cuales tienen una gran importancia en la nutrición vegetal. El desarrollo de las bacterias del género *Rhizobium*, capaces de suministrar nitrógeno a las leguminosas, obtenido por fijación directa del nitrógeno atmosférico, depende, en gran parte, del pH del suelo. Las especies más resistentes de este género no soportan un pH inferior a 4. (Domínguez, 1989).

2.1.5. ROCA TRAVERTINO

2.1.5.1. Origen y naturaleza

El travertino es una roca de la formación sedimentaria formada por carbonato de calcio más o menos puro, pero generalmente mezclado con otros materiales que impurifican su composición. Por su origen pueden clasificarse en dos grupos: El que debe su formación a causas orgánicas, vegetal casi siempre y el que deriva de causas internas, es decir, formado por la acción de las fuentes termales y de los geiseres. En el primer caso, cuando las aguas de algunas fuentes cargadas de carbono de calcio se depositan y actúan sobre restos orgánicos, dan orden a un proceso químico que recibe el nombre de fosilización por fuentes incrustantes. En virtud de este proceso se transforma la materia orgánica, que es sustituida por el mineral, la que a su vez, en la mayoría de los casos, toma la forma de los seres orgánicos que frecuentaban la fuente incrustante. En el segundo caso, las aguas que corren por las montañas, a causa de los fenómenos eruptivos, se caracterizan por su elevada temperatura y, sobre todo, por contener una gran proporción de anhídrido carbónico, que les permite disolver importantes cantidades de carbonato de calcio al atravesar los macizos calizos. Al quedar en libertad el ácido carbónico, lo que particularmente ocurre al enfriarse las aguas en las cascadas, la caliza se deposita. En cambio el travertino de origen geiseriano debe su formación a la actividad química de las emisiones de los geiseres que ocurren constantemente sustancias rocosas, especialmente de los calizos, aunque también en los de naturaleza silícica se forman travertino de esta composición. Las aguas de los geiseres que atraviesan rocas calcáreas disuelven el carbonato de calcio y la sílice hidratado, sustancias estas que son precipitadas por el álcali, que sirve de disolvente, acción química análoga a la de la soda y la potasa. Cuando las aguas cargadas de ácido carbónico con calcáreo en disolución no llegan a estar en contacto con el aire sino en pequeñas cantidades, los depósitos formados son ligeros; cubren las hierbas, los musgos y los residuos vegetales del suelo y forman lo que se llama toba. Por el contrario, cuando los manantiales cargados de ácido carbónico son abundantes y sobre todo de elevadas temperaturas, el depósito calcáreo forma una roca más compacta y mucho más pesado, llamada travertinos. (Taramasso, 1943).

2.1.5.2. Composición química

Para poder presentar variedades de tonos y textura los componentes del travertino deben encontrarse mezclados e distintas proporciones moleculares, lo cual está confirmado por los análisis químicos realizados, que siempre presentan diferencias apreciables. Un análisis de travertino claro muestra siempre la existencia de un porcentaje determinado de óxido de hierro (Fe_2O_3), mayor proporción de carbonato de calcio (CO_3Ca) y ocasionalmente magnesio en forma de carbonato (CO_3Ca); mientras que un trozo de travertino de color oscuro denota la presencia de una gran proporción de óxido de hierro (Fe_2O_3) y óxido de aluminio (Al_2O_3), que son los elementos determinantes de la distinta tonalidad de color. También varían los porcentajes de sílice que intervienen en la composición de muestras de travertino. Algunos análisis realizados durante los años 1931 y 1932 dieron la siguiente composición química, en términos generales: 95,10 por ciento, que pueden alcanzar a 98,10 por ciento de carbonato de calcio y el resto distribuido entre óxido férrico, óxido de aluminio, sílice y carbonato de magnesio. (Taramasso, 1943).

A continuación, se presenta la composición química de los travertinos de la provincia de San Juan.

TABLA 3. Composición química de la Roca travertino.

		% (1')	% (2')	% (3')	% (4')	% (5')
Anhídrido silíceo	Si O_2	2.32	0.40	1.58	1.42	1.58
Óxido de hierro	Fe_2O_3	0.14	0.02	0.04	0.055	0.04
Oxido de aluminio	Al_2O_3	0.70	0.11	0.22	0.29	0.36
Carbonato de calcio	CO_3Ca	95.10	98.02	98.10	98.2	97.64
Oxido de calcio	CaO	52.30	54.89	54.98	54.9	54.6
Carbonato de Magnesio	CO_3Mg	---	1.48	Vest.	Vest.	Vest.
Oxido de magnesio	MgO	---	0.68	Vest.	Vest.	Vest.

Fuente: Análisis de muestras de travertino obtenidos del folleto instituido geológico and commercial study of the Argentina travercin, del doctor Alejandro Gancedo.

- (1) Análisis realizado el 4 - IV – 1932.
- (2) Análisis realizado el 5 - V – 1932.
- (3) Análisis realizado el 4 - IV – 1932.
- (4) Análisis realizado el 4 - IV – 1932.
- (5) Análisis realizado el 28 - IV – 1932.

2.1.6. ENCALADO DE LOS SUELOS

El encalado consiste en la aplicación de materiales básicos al suelo (enmiendas calcáreas) que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química los productos encalantes presentan una capacidad variable de neutralización. (Bernier y Alfaro, 2006), y los productos encalantes son:

- Óxido de calcio
- Hidróxido de calcio
- Cal agrícola o calcita
- Dolomita
- Magnesita
- Conchas molidas

El encalado según (Fassbender, 1984), trae una serie de efectos directos e indirectos que tienen efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas como son la mejora de la aireación, el movimiento del agua y de la estructura del suelo; la mayor disponibilidad de nutrientes (P, Mo, Ca, Mg, K), el mayor desarrollo de microorganismos y con ello el aumento de los procesos de mineralización, amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno entre otros.

2.1.6.1. Fuentes de materiales de encalado

Nombra (Molina, 1998), las siguientes fuentes de materiales encalantes:

- Cal calcita (CaCO_3)
- Oxido de calcio (CaO)
- Hidróxido de calcio (Ca(OH)_2)
- Cal dolomita ($\text{CaMg(CO}_3)_2$)

- Magnesita($MgCO_3$)
- Oxido de magnesio (MgO)
- Arcillas calcáreas
- Escorias industriales
- Yeso ($Ca(SO_4).2H_2O$)

2.1.7. COSTOS

Los costos son todos los egresos, no solo en efectivo, que se realizan durante el proceso productivo. Estos egresos o costos deben ser registrados cuidadosamente y ser categorizados por propósitos de análisis. En el sistema de contabilidad presentado en este capítulo se explica dos costos básicos: variables y fijos. (Pumisacho y Sherwood, 2002).

2.1.7.1. Ingreso bruto

Es el valor total de la producción y se obtiene de multiplicar la cantidad producida por el precio de venta del producto. (Roque, 2013).

2.1.7.2. Ingreso Neto

Es la diferencia entre el ingreso bruto menos el costo total. (Roque, 2013).

2.1.7.3. Rentabilidad

Es igual al ingreso neto dividida entre el costo total, multiplicado por 100. (Roque, 2013).

2.1.7.4. Relación beneficio costo

Se estima dividiendo el ingreso bruto entre el costo total. Si esta relación es igual a 1, los ingresos son iguales a los costos, y si es menor que 1 hay pérdida y la actividad no es productiva. Estos índices indican las ganancias o pérdidas por cada sol invertido. (Roque, 2013).

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Experiencia en el uso de enmiendas calcáreas

Experiencias sobre el uso de enmiendas calcáreas para el control de acidez de los suelos existen muchísimas ya que es una práctica que se realiza desde hace muchos años.

En experimento sobre control de la toxicidad de aluminio en el cultivo de la papa, trabajando con suelos ácidos de la selva (Pucallpa y San Ramón) en condiciones de invernadero, a los que aplicó diferentes niveles de Al (2, 4, 6 y 8 cmol(+)/kg) y una cal a 2 niveles de aplicación (2 y 4 cmol(+)/g); encontró que la cal influía elevando el pH de los suelos neutralizando el Al con disminución de su saturación en la C.I.C. pero que para los suelos de Pucallpa no hubo respuesta al encalado en cuanto a producción del cultivo, debido a que estos tuvieron muy baja fertilidad (pobres en NPK). (Villagarcía, 1982).

En experimento sobre: Efecto del encalado en un Ultisol de la provincia de Lamas, en el rendimiento de maíz amarillo duro y soya en rotación, trabajando con suelos ácidos del Bajo Mayo (San Martín), a los que aplicó enmienda calciomagnésica comercialmente denominada Magnecal (77% CaCO_3 y 19% MgCO_3) el cual fue aplicado en dosis de: 0; 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 3.5 y 4 t/ha en dos campañas (la primera en maíz y la segunda en soya). Encontró que el encalado del suelo contribuyó a elevar los rendimientos del maíz y la soya, en relación directa al aumento de las dosis de enmiendas aplicadas. (Rengifo, 2003).

Evaluaciones realizadas en el programa de recuperación de suelos ácidos de calzada-Moyobamba, trabajando con Roca Fosfórica de Bayovar y encalado bajo la forma de cal apagada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), se encontró que estos materiales eran eficientes para el control del aluminio y el incremento en el rendimiento de cultivos de arroz, maíz y frijol hasta en un 100%. Al respecto, el uso de 2 t/ha de cal apagada y 200 kg de P_2O_5 /ha como roca fosfórica fueron los más sobresalientes. (Rengifo, C e Hidalgo, E. 1988).

Reportaron que papa y maíz respondieron significativamente a la aplicación de 2 t ha⁻¹ de cal; en este experimento el encalado pudo haber mejorado la disponibilidad de P en el suelo, ya que tuvo una gran respuesta a la aplicación de hasta 70 kg ha⁻¹ de P. (Urquiaga y Boddey 1996).

Reportó en un estudio de encalado con CaCO_3 en un Andosol de Colombia, con 80% de saturación de Aluminio, muy rico en materia orgánica, pobre en fósforo, mediano en potasio y con pH de 4.1. Se utilizó el cultivo de papa como planta indicadora. Las dosis de CaCO_3 estudiadas fueron 0, 4 y 8 t ha^{-1} con rendimientos de tubérculo de papa de 7.7, 18.4 y 22.4 t ha^{-1} . (El Centro Internacional de la Papa 1984).

El excesivo contenido de Al^{+3} intercambiable en el suelo, que provoca fitotoxicidad, puede disminuirse mediante la aplicación de cal agrícola o con cantidades masivas de fertilizante fosfatado, como la roca fosfórica (RF), que actúan como mejoradores de suelos. (Okajima 1980).

En base a la información climatológica disponible y estimada ha logrado determinar tres (03) tipos climáticos en Platería, Políticamente consta 22 comunidades campesinas de las cuales Camacani está ubicado en el Subtipo climático "C": Rinconada, Chicabojita, Camata y Camacani. Los suelos de platería, están agrupados en suelos de zonas frígida y templada y fría. Los suelos de la Zona frígida ubicadas en los subtipos climáticos B, C Y D, tienen pH ácido que van de 5.7 a 6.5, son moderadamente profundos a profundos (de 25cm a 150cm), de textura de gruesa a fina. (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, 1984).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRAFICO DEL ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se realizó en el campo experimental del CIP - Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, comprensión del distrito de Platería, provincia y departamento de Puno, en las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 15° 57' 11.64"
 Longitud Oeste : 69° 51' 27.04"
 Altitud : 3826 m.s.n.m.

3.2. PERIODO DE DURACION DEL ESTUDIO

La presente investigación se realizó, durante la campaña agrícola 2017-2018, siendo la fecha de inicio de estudio a partir del 16 de Octubre del 2017 al 07 de Agosto del 2018.

3.3. CONDICIONES METEOROLOGICAS

La información meteorológica correspondiente al periodo experimental durante la fase fenológica del cultivo de la papa, fue obtenida de la estación meteorológica Rincón de la cruz del distrito de Acora – Puno (tabla N° 4).

TABLA 4. Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (Noviembre 2017 - Abril 2018).

Meses	Temperatura °C			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
Noviembre	18.1	5.5	11.8	28.6
Diciembre	16.7	5.1	10.9	115.3
Enero	15.3	5.0	10.2	116.3
Febrero	14.8	5.3	10.1	178.0
Marzo	14.8	5.4	10.1	106.4
Abril	15.0	3.0	9.0	74.2
Promedio	15.78	4.88	10.35	618.80

Fuente: SENAMI Estación meteorológica “La cruz” del Distrito de Acora-Puno.

Las condiciones de la campaña agrícola fueron favorables para el desarrollo del cultivo de papa. En la campaña agrícola 2017-2018, la temperatura máxima promedio fue 15.88 °C, mínima de 4.88 °C y la media de 10.35 °C en promedio. La precipitación acumulada durante el mes de noviembre fue muy escasa 28.6 mm y en todo el periodo vegetativo fue favorable acumulando 618.80 mm de lámina de agua en todo el periodo vegetativo.

3.3.1. Temperatura

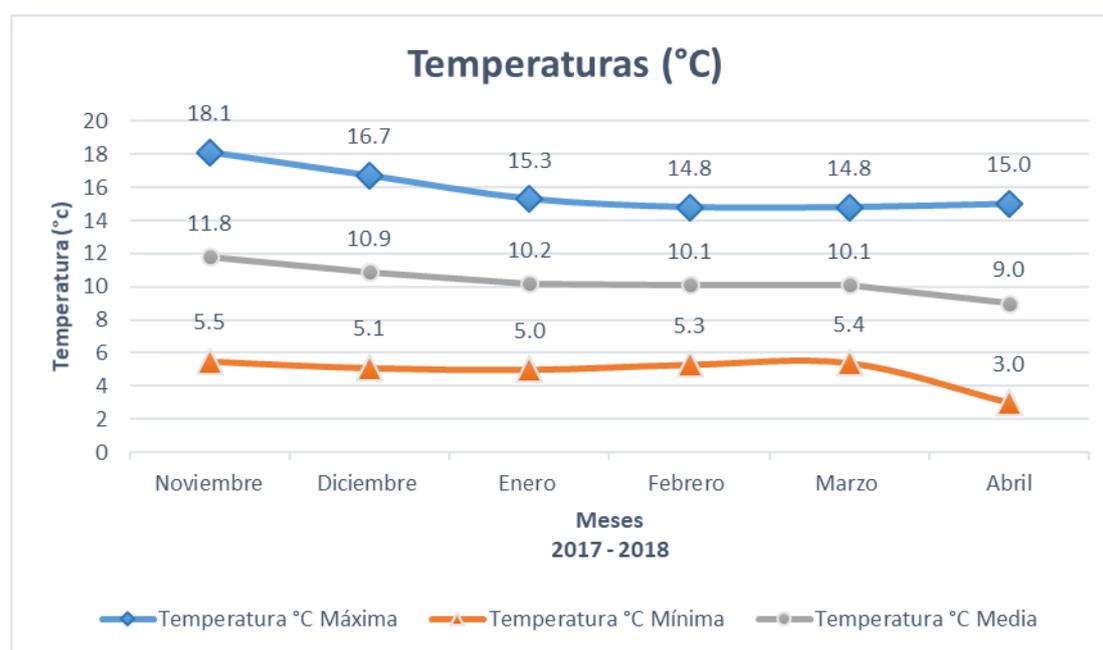


FIGURA 3. Variación de temperaturas máximas, media y mínima de la campaña agrícola 2017-2018.

Los datos de la (tabla 4) y (figura 3), indican durante la campaña agrícola 2017-2018 la temperatura fue variable, estas condiciones afectan positiva o negativamente en los diversos procesos de desarrollo de la planta, al igual que en su producción. En el mes de noviembre en la época de siembra la temperatura máxima alcanzó 18.1 °C, y la temperatura mínima 5.5 °C, en diciembre la temperatura máxima fue 16.7 °C y la mínima 5.1 °C, el cual no dificultó en la emergencia y desarrollo normal del cultivo durante la emergencia del cultivo, sin embargo en los meses de febrero y marzo las temperaturas máximas y mínimas fueron de 14.8 °C y 5.3 °C, las que influyeron en el inicio y fin de la tuberización del cultivo, permitiendo el desarrollo normal de la planta, puesto que en estas fases el cultivo es susceptible a las bajas temperaturas, afectando en

el crecimiento del tubérculo y muchas veces podría detenerse bruscamente este proceso. y el exceso de calor haría que la planta forme un mayor número de ramas vegetativas, abundantes hojas pero menos flores, el cual no permitiría que el tubérculo se desarrolle normalmente. En el mes de abril que coincide con la fase de maduración de la planta las temperaturas máximas y mínimas fueron de 15 °C y 3 °C, lo cual no dificultó en la maduración de la planta.

3.3.2. Precipitación pluvial

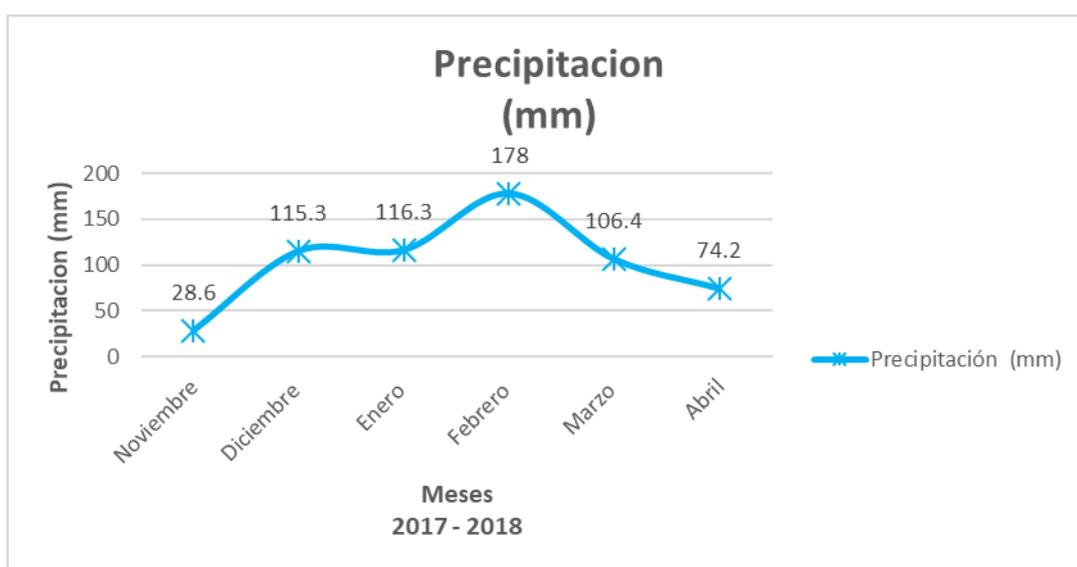


FIGURA 4. Variación de la precipitación pluvial, campaña agrícola 2017-2018.

En la (figura 4), se muestra las variaciones de la precipitación pluvial ocurridas durante la campaña agrícola 2017-2018, las mismas que fueron favorables para el desarrollo óptimo del cultivo de papa, básicamente en los meses de enero, febrero y marzo que acumularon 400.70 mm de lámina de agua, que coincide con la época de floración e inicio de tuberización. La escasa precipitación en el mes de noviembre (28.6 mm) dificultó en la germinación del cultivo. Cabe mencionar que, en el altiplano puneño, en los últimos años las precipitaciones pluviales son inestables debido al cambio climático que afronta nuestro planeta.

3.4. CARACTERISTICAS DEL SUELO

El experimento se realizó sobre un área de 588 m² de terreno ubicado en el sector denominado Chimahui K'ucho del CIP- Camacani. El muestreo se realizó en la capa arable del suelo antes de la siembra a 20 cm. de profundidad, con el uso de un barreno. Primero se tomó seis sub-muestras con las técnicas recomendadas para obtener 1 kilogramo de muestra de suelo que sirvió como base para el análisis inicial de suelo experimental. Por otra parte, se apertura una calicata (perfil representativo) del área experimental a 1.50 metros de profundidad, obteniéndose las respectivas muestras de cada horizonte para su análisis posterior. Los análisis se realizaron en el laboratorio de Aguas y suelos de INIA- ILLPA Anexo-Salcedo.

3.4.1. Análisis de caracterización

Los métodos empleados en el análisis de suelos por el Laboratorio de análisis de suelos y aguas del INIA, fueron:

1. Textura: % de arena, limo y arcilla; por el método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de pasta de saturación.
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o en suspensión suelo: KCl N; relación 1:2.5.
4. Calcáreo total (CaCO₃): método gaso-volumétrico mediante la reacción de HCl.
5. Materia Orgánica: método walkley y Black, oxidación del carbono con dicromato de potasio.
6. Nitrógeno Total: método micro kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método Olsen modificado, extracción con NaHCO₃ 0.5M, pH 8,5. Bray I, Bray II.
8. Potasio disponible: extracción de acetato de amonio (CH₃-COONH₄) N; pH 7.0.
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃-COONH₄) N.
10. Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N; pH 7.0 fotometría de llama y/o absorción atómica Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺EDTA.
11. Al⁺³: método de Yuan. Extracción con KCl, N.

12. Iones solubles: Ca^{+2} , Mg^{+2} EDTA; Na^+ , K^+ fotometría de llama y/o absorción atómica;
13. Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- volumetría y calorimetría, SO_4^{2-} turbidimetría con cloruro de bario.

Los resultados de análisis de la capa arable del suelo (tabla 5), presenta una textura franca con presencia moderada de fragmentos gruesos, de reacción fuertemente ácida; ligeramente salino, no calcáreo, materia orgánica y nitrógeno total bajo. El contenido de fósforo disponible es muy bajo, en tanto que el potasio es escaso, este último puede incidir en el rendimiento del cultivo de la papa. La capacidad de intercambio catiónico del suelo es muy baja, con contenido bajo de calcio, sodio cambiables y magnesio siendo alto; el potasio cambiante es alto.

TABLA 5. Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento.

CARACTERÍSTICAS		VALOR	CLASIFICACIÓN
Arena	(%)	39	
Arcilla	(%)	16	
Limo	(%)	45	
Clase textural	(--)		Franco
Densidad aparente	(gr/cm^3)	1.28	
pH (1:2.5)	(--)	5.32	Fuertemente ácido
C.E (1:2.5)	(mmhos/cm)	0.109	No ligeramente salino
CaCO₃	(%)	0.00	No calcáreo
M.O	(%)	1.53	Bajo
Nitrógeno Total	(%)	0.07	Bajo
Fosforo disponible	(ppm)	6.15	Bajo
Potasio disponible	(ppm)	100.00	Bajo
Mn	(ppm)	0.43	Bajo
Fe	(ppm)	0.28	Bajo
Al	(me/100g)	0.84	Muy alto
Ca	(me/100g)	3.10	Bajo
Mg	(me/100g)	2.00	Alto
Na	(me/100g)	0.10	Muy bajo
K	(me/100g)	0.70	Muy alto
CIC	(me/100g)	8.00	Muy bajo
Suma Cationes	(--)	6.74	Medio

Fuente: Análisis de caracterización del suelo INIA-Laboratorio de análisis de suelos y aguas Estación Experimental: Agraria Illpa – Puno. Anexo Salcedo.

3.5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA ROCA TRAVERTINO

El Travertino una roca química, es resultado de procesos inorgánicos, como la precipitación de sustancias en solución en vertientes y fuentes termales y su posterior litificación (Barredo, 2005). Está compuesto por carbonato de calcio, presenta una estructura bandeada característica y muy porosa.

TABLA 6. Características químicas de la roca travertino.

DETERMINACIONES	RESULTADOS
Humedad	1.25 %
Carbonato de calcio	68.93 %
Carbonato de Magnesio	27.00 %
Sulfato de cal	4.99 %
Fosfato de Manganeso	0.38 %
Sub Fosfato de Alumina	3.75 %
Silice	8.90 %
Calcio	12.00 %
Magnesio	28.00 %
Sodio	0.013 %
Potasio	0.001 %

Fuente: Análisis químico de la ROCA TRAVERTINO. INIA - Laboratorio de análisis de suelos y aguas Estación Experimental: Agraria Illpa – Puno. Anexo Salcedo.

3.6. MATERIALES Y EQUIPOS.

3.6.1. En fase de campo

MEDIOS:

Material genético:

- Papa (*Solanum tuberosum L.*), Var. imilla negra.
- Peso: 61- 80gr/tubérculo.

Insumos:

- Roca travertino molido 68.93% de carbonato de Calcio aplicación según los tratamientos. (Fuente encalante).
- Urea 261 kg/ha.
- Superfosfato triple de calcio 174 kg/ha.
- Estiércol de ovino en 2000 Kg/ha.

RECURSOS:**Materiales de campo:**

- Lápiz.
- Libreta de apuntes.
- Letreros.
- Etiquetas.
- Agua destilada.
- Wincha métrica.
- Metro.
- Yeso (marcador).
- Cordel.
- Costal.
- Rafia.

Herramientas:

- Palas.
- Picos.
- Botas de jebe.
- Barretas.
- Muestreador de suelo (barreno).

Logística:

- Camioneta, motocicleta.

3.6.2. En fase de laboratorio.

- pH metro.
- Conductividad eléctrica.
- Sensor de temperatura del suelo.
- Probetas.
- Vasos precipitados.
- Pipetas.
- Balón Erlenmeyer.
- Agua destilada.
- Reactivos químicos.
- Computadora.

- Cámara fotográfica.
- Balanza analítica.
- Balanza de precisión digital.
- Bolsa de papel.
- Bandeja plástica.
- Cuaderno de apuntes y lápiz.
- Calculadora.
- Computadora con Microsoft Office.
- Dispositivo de almacenamiento masivo USB.
- Material de escritorio.
- Tamiz de 2 mm de diámetro.

3.7. PROCEDENCIA DEL MATERIAL EXPERIMENTAL

3.7.1. Variedad ensayada

Para la prueba biológica del presente trabajo, se emplearon plantas de la papa (*Solanum tuberosum* L. Var. Imilla negra.). La semilla fue comprado del INIA Anexo Salcedo – Puno.

3.7.2. Roca travertino

La roca travertinos es proveniente de los yacimientos de la comunidad de Caritamaya, sector Polonia del distrito de Acora. Para su aplicación eficaz de esta enmienda en la presente investigación, esta roca se ha sometido al proceso de molienda, la misma que se ha realizado en la ciudad de Juliaca.

3.7.3. Estiércol de ovino descompuesto

Fue obtenido de la misma comunidad de Camacani de una familia que cría ovinos. Esta enmienda es abundante en la zona por la presencia de criadores de ovino, y es frecuentemente empleada en el abonamiento de cultivos.

3.7.4. Superfosfato triple de calcio

El superfosfato triple de calcio se hizo la compra de un centro agro veterinario de la ciudad de Juliaca, con un contenido declarado de 46% de P_2O_5 .

3.7.5. Urea

La urea se hizo la compra de un centro agro veterinarios de la ciudad de Puno, con un contenido declarado de 46% de N.

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis de la información se estableció el experimento utilizando un Diseño Bloque Completo al Azar con 4 repeticiones, Siendo solo una fuente encalante la roca travertino molida y los 5 Tratamiento o dosis de calcio son: (0.0, 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr.suelo}$), siendo un total de 20 unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

i: 1,2,..., t (t = tratamientos)

J: 1,2,..., r (r = bloques)

Donde:

Y_{ij} : Variable de respuesta observada en la unidad experimental ubicada en el j-ésimo bloque que recibe el tratamiento "i".

μ : Constante para toda observación, es la media de la población.

τ_i : Es el efecto del tratamiento "i", el cual es igual a $(\mu_i - \mu)$, es decir, a diferencia entre el promedio poblacional del tratamiento y a la media poblacional μ .

β_j : Es el efecto de bloque "j", el cual es igual a $(\mu_j - \mu)$, es decir a diferencia entre el promedio poblacional del bloque y la media poblacional μ .

ε_{ij} : Termina que representa el error de su respectiva Y_{ij} se considera variable aleatoria distribuida en forma normal e independiente con media cero y variancia constante.

Prueba de hipótesis:

Inferencia estadística sobre τ_i y β_j

H₀ = Hipótesis nula.

$$\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_i \quad (\text{El factor no tiene efecto})$$

$$\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j \quad (\text{El bloque no tiene efecto})$$

H_a = Hipótesis alterna.

$$\tau_1 \neq \tau_2 = \dots = \tau_i \quad (\text{El factor tiene efecto})$$

$$\beta_1 \neq \beta_2 = \dots = \beta_j \quad (\text{El bloque tiene efecto})$$

TABLA 7. ANOVA (Análisis de varianza).

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F
Bloq	r-1	SCbloq	CMbloq	$CMtrat \div CMerror$
Trat	t-1	SCtrat	CMtrat	
Error	(r-1)(t-1)	SCerror	CMerror	
Total	rt-1	$\sum\sum(y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$		

3.9. FACTORES EN ESTUDIO**3.9.1. Fuente de encalado del suelo**

La fuente primordial del encalado fue la roca travertino molido con una pureza de 68.93% de CaCO₃. Fueron directamente aplicados a las parcelas experimentales. Un tratamiento testigo sin aplicación de travertino. También se adiciono insumos como urea, superfosfato triple de calcio y estiércol de ovino por igual a todos los tratamientos con una formulación de 120 – 80 – 00 kg/ha, de N - P₂O₅ - K₂O, cuyas fuentes son: Urea 46% N, Superfosfato triple de calcio 46% P₂O₅ respectivamente, más la adición de estiércol de ovino a razón de 2tn/ha. Los agricultores de la zona aplican a lo normal las tres fuentes ya mencionados.

3.9.2. Encalado del suelo

Los tratamientos o dosis fueron cinco, considerando cuatro dosis de encalado y un testigo para cada bloque, cuya distribución se realizó al azar.

La tabla N° 8 y 9 se detallan los niveles de aplicaciones de la roca travertino molido en las parcelas de 20m² y por una hectárea.

TABLA 8. Dosis de la roca travertino molido, urea, superfosfato triple de calcio y estiércol de ovino por parcela de 20m².

Trat.	meq Ca ⁺⁺ / 100gr.suelo	Cantidad de Ca gr.	Roca Travertino Pureza (68.93% CaCO ₃) Kg.	Urea gr.	Superfosfat o triple de calcio gr.	Estiércol de ovino kg.
1	0.0	0.0	0.0	522	348	4
2	0.5	0.501	2	522	348	4
3	1.5	1.503	5	522	348	4
4	2.5	2.505	9	522	348	4
5	4.5	4.509	16	522	348	4

TABLA 9. Dosis de la roca travertino molido, urea, superfosfato triple de calcio y estiércol de ovino por hectárea.

Trat.	meq Ca ⁺⁺ / 100gr.suelo	Cantidad de Ca gr.	Roca Travertino Pureza (68.93% CaCO ₃) Kg.	Urea kg.	Superfosfato triple de calcio kg.	Estiércol de ovino kg
1	0.0	0.0	0.0	261	174	2000
2	0.5	250.49	908	261	174	2000
3	1.5	751.47	2723	261	174	2000
4	2.5	1252.45	4538	261	174	2000
5	4.5	2254.41	8168	261	174	2000

3.10. PROCEDIMIENTO DE LA CONDUCCION DEL EXPERIMENTO

3.10.1. Muestreo de suelo

Esta labor se realizó el 16 de octubre de 2017, esta operación se realizó en dos formas:

a). Muestreo de la capa arable del suelo, para ello se tomó 6 sub muestras de 1kg cada uno, luego de juntar y homogenizar se separó 1kg de suelo representativa del área total para el análisis inicial de sus propiedades físicas y químicas del suelo.

b). Muestreo de suelo a nivel de perfil (figura 25), para lo cual se aperturo una calicata con medidas de 2 metros de largo y 1 metro de ancho y una profundidad de 1.50 metros, luego se tomó las muestras de cada Horizonte.

3.10.2. Preparación del suelo y regulación de la surcadora

El suelo del área experimental agrícola, una vez realizado la roturación del suelo con un tractor agrícola de arado de discos (figura 26), a una profundidad de 0.30 cm. Luego se aplicó la rastra pesada en forma cruzada hasta dejar el suelo suelto y mullido, para obtener un buen crecimiento de raíces, estolones y tubérculos, y exista una buena aireación en el suelo. Para la apertura de surcos para la siembra se utilizó un tractor agrícola con implemento la surcadora (figura 28), se graduó las rejas a 1 metro y a una profundidad de 25 cm para el cultivo de la papa.

Naranjo (1991), indica que la aradura se debe realizar a una profundidad de 25 a 30 cm. Haciendo uso de maquinaria agrícola en zonas donde la topografía y la extensión del terreno son accesibles.

3.10.3. Marcado del área experimental

Mediante un croquis y distribución de las parcelas en el campo (figura 53), se marcó utilizando yeso, cordel y estacas, en cuanto a las características del ensayo siendo la medida del área total 28 metros de largo y 21 metros de ancho siendo 588 m² (figura 27) y la unidad experimental con medidas 5 metros de largo y 4 metros de ancho siendo 20 m².

3.10.4. Aplicación de la fuente encalante de la roca travertino al suelo

Una vez que se apertura los surcos de las parcelas experimentales fue aplicado la fuente encalante por tratamiento o dosis (Figura 29), la roca travertino molido con un

porcentaje de 68.93% de Carbonato de calcio (CaCO_3), fueron agregados a cada tratamiento para subir el pH del suelo, con estas cinco dosis (0.0, 0.5, 1.5, 2.5 Y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr.suelo}$) dejando un testigo sin encalado del suelo. Siendo las siguientes proporciones de roca travertino molido (0.0, 1.815, 5.445, 9.075, 16.335 kg/parcela de 20m^2).

A todos los tratamientos o dosis incluido el testigo se adicionara por igual con una fertilización de formulación 120 - 80 - 00 kg/ha, de N - P_2O_5 - K_2O , cuyas fuentes son: urea 46% N y superfosfato triple de calcio 46% P_2O_5 respectivamente, más la adición de estiércol de ovino a razón de 2tn/ha y las cantidades adicionadas son para (Urea 522gr/parcela y se aplicó en forma fraccionaria 50% a la siembra y 50% al primer aporque), (superfosfato triple de calcio 348 gr/parcela) y estiércol de ovino (4 kg/parcela).

3.10.5. Siembra

La variedad “imilla negra” fueron plantados a una distancia de 50 cm entre cada una, y de las cuales por surco se depositó 9 semillas de tubérculo de papa (figura 30) y siendo 45 plantas en total por unidad de parcela y al final se cubrió con el mismo sustrato.

3.10.6. Labores culturales

Deshierbo. El deshierbo se realizó manualmente, antes del primer aporque, con la ayuda de un pico con la finalidad de eliminar las malas hierbas y de esta manera evitar la competencia de luz, agua espacio y nutrientes entre el cultivo y las malas hierbas.

Durante el periodo de crecimiento y desarrollo del cultivo se presentaron algunas especies de malezas las que fueron eliminadas manualmente. Entre ellos podemos mencionar la K´ora (*Malvastrum* sp), nabo silvestre (*Brassica campestris*) y auja auja (*Erodium cicutarium*).

Primer aporque. Se realizó 09 de enero del 2018, cuando la planta alcanzo los 20 cm de altura (Figura 32), la labor fue realizada manualmente con la ayuda de un pico, colocando una capa de tierra hasta el cuello de la planta a fin de favorecer la formación de estolones y evitar el ingreso de algunas plagas.

Segundo aporque. Se realizó el 17 de febrero del 2018, cuando la planta alcanzó los 50 cm de altura, la labor se realizó manualmente con la ayuda de un pico, cubriendo con tierra los tallos aéreos.

3.10.7. Evaluaciones y cosecha

En base a muestreos de suelos después de la cosecha de papa, con el fin de evaluar las propiedades químicas y físicas en estudio: reacción del suelo (pH), la disponibilidad de fósforo, capacidad de intercambio catiónico, N total, K disponible, conductividad eléctrica (C.E), Materia orgánica, Aluminio, Manganeso y Hierro.

La evaluación de la emergencia de la papa fue realizada a los 49 días después de la siembra, la cosecha se realizó manualmente (figura 36) a los 172 días, cuando el follaje de la planta llegó a su totalidad a su madurez fisiológica, utilizando un piquillo con mucho cuidado para no dañar los tubérculos, luego se expusieron al sol por un par de horas para luego pesarlo, obteniendo de esta manera el rendimiento en kg/20 m² y Kg/ha. Y por otra parte se clasificó por categorías (figura 37), por su tamaño para consumo en fresco o procesamiento (extra, primera, segunda, tercera y cuarta)

3.11. VARIABLES

Características químicas del suelo

3.11.1. pH del suelo (1:1)

Muestras de suelo de cada tratamiento fueron secadas al aire por 48 horas, molidas y tamizadas en un tamiz de 10 mm de diámetro para obtener la muestra de suelo. El pH del suelo fue determinado medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o en suspensión suelo: KCL N; relación 1:2.5.

3.11.2. Conductividad eléctrica

Las suspensiones de suelo anteriores fueron filtradas y fue leída la conductividad eléctrica (mmhos/cm) de los extractos obtenidos, fue medida en un conductivímetro digital, del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 o en el extracto de pasta de saturación.

3.11.3. Carbonato de calcio (Ca CO₃)

De igual manera se pesó 1gr de suelo seco y luego se usó el método gaso - volumétrico mediante la reacción de HCL.

3.11.4. Materia orgánica

Método walkley y Black, oxidación del carbono con dicromato de potasio.

3.11.5. Nitrógeno total

Método del micro – kjeldahl.

3.11.6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Saturación con acetato de amonio amonio ($\text{CH}_3\text{-COONH}_4$) N.

3.11.7. Fosforo disponible

Método de Olsen modificado, extracción con $\text{NaHCO}_3 = 0.5\text{M}$, pH 8.5. Bray I, Bray II.

3.11.8. Potasio disponible

Extracción de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{-COONH}_4$) N; pH 7.0.

3.11.9. Aluminio Al^{+3}

Método de Yuan. Extracción con KCl, N.

3.11.10. Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ cambiables

Reemplazamiento con acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{-COONH}_4$) N; pH 7.0 fotometría de llama y/o absorción atómica Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ EDTA.

Características físicas del suelo**3.11.11. Textura**

De arena %, limo% y arcilla%; por el método del hidrómetro.

3.11.12. Densidad aparente

Se pesó 100gr de suelo seco de las cuales se vertió en un tubo de ensayo de 100 ml. Y luego de las cuales se golpeó 25 veces la base de la probeta y luego 5 veces de cada lado.

3.11.13. Color

Se utilizó la tabla de Munsell.

En la planta de la papa**3.11.14. Número de tubérculos por planta**

En la fase final de la floración se contó el número de tubérculos por planta de cada tratamiento.

3.11.15. Rendimiento ($\text{Kg}/20\text{m}^2$)

La cosecha se realizó a la madurez fisiológica, la de esta variable se efectuó la clasificación de tubérculos por su tamaño para consumo en fresco o procesamiento.

TABLA 10. Clasificación de tubérculos de papa por su tamaño para consumo en fresco o procesamiento.

Categoría	Tamaño de tubérculo de papa	Destino
Extra	Tubérculos mayores de 121 gr.	Mercado
Primera	Tubérculos entre 91 – 120 gr.	Mercado
Segunda	Tubérculos entre 61 – 90 gr.	Consumo y procesamiento
Tercera	Tubérculos entre 31 – 60 gr.	Consumo y procesamiento
Cuarta	Tubérculos menores de 30 gr.	Transformación

Fuente: Rodolfo Cahuana, 2011.

Luego de la selección de los tubérculos, se procedió a pesar por categorías en kg/parcela y posteriormente se transformó a tn/ha.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFECTO DE LA ROCA TRAVERTINO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DEL SUELO

4.1.1. Efectos sobre el Nitrógeno total (N)

El análisis de varianza para el nitrógeno total (tabla 11), muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, revela que no hubo diferencia entre bloques o repeticiones. Para las diferentes dosis de encalado con roca travertino si existe diferencia estadística altamente significativa, lo cual demuestra que la aplicación diferentes dosis de encalado con roca travertino influye en el contenido de Nitrógeno total del suelo, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna. El coeficiente de variación (CV) igual al 2.76 % indica que los datos evaluados son confiables (Vázquez, V. 1990).

TABLA 11. Análisis de varianza para porcentaje de Nitrógeno total, con datos transformados a valores angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
BLOQ	3	0.0086	0.003	1.32	3.49	5.95	ns	0.312
DOSIS	4	0.167	0.042	19.3	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.0259	0.002					
Total	19	0.2015						

CV: 2.76 Media: 1.68

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de Nitrógeno total del suelo (tabla 12), muestran que a la aplicación de la dosis alta de encalado (4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo), presenta mayor porcentaje de Nitrógeno total con 0.0975 %, seguido por las dosis 0.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, para ambas con 0.0900 % de Nitrógeno total en suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente las tres dosis, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, y el menor porcentaje de nitrógeno en el suelo se mostró con la dosis testigo (sin encalar).

TABLA 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para datos transformados a valores angulares de porcentaje de Nitrógeno total.

Orden de merito	DOSIS	N (%)	Media Transformado	Tukey Agrupamiento
1	4.5	0.0975	1.789	a
2	0.5	0.0900	1.719	ab
3	1.5	0.0900	1.718	ab
4	2.5	0.0850	1.670	b
5	0.0	0.0700	1.516	c

Estos resultados son revalidados en la (figura 5), que al aplicar el encalado con la roca travertino en diferentes dosis, existe un ligero incremento en el contenido de nitrógeno total del suelo, cuando se aplicaron dosis por debajo de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, a la dosis alta de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo el contenido de nitrógeno se incrementó significativamente a 0.0975 % N, con referencia al testigo (0.0700 % de N).

Canihua, (1996), señala que aplicación de Oxido de Calcio a los suelos produce una restitución gradual de la disponibilidad y movilización del nitrógeno total, del suelo lográndose regular la presencia de este elemento, que se traducirá en una actividad equilibrado del proceso de nitrificación y amonificación de los compuestos nitrogenados orgánicos solubles presentes en el suelo, la que se manifiesta en una mayor asimilación, vigor de plantas, mayor densidad cloroflica y síntesis de productos orgánicos. También esto quiere decir que al incremento de la dosis hace que exista mayor actividad de microorganismos y de las cuales favorece la mineralización de la materia orgánica favoreciendo la nitrificación de nitrógeno orgánico. Y de las cuales también en cuanto el aluminio disponible desciende y así mismo favoreciendo a los microorganismos.

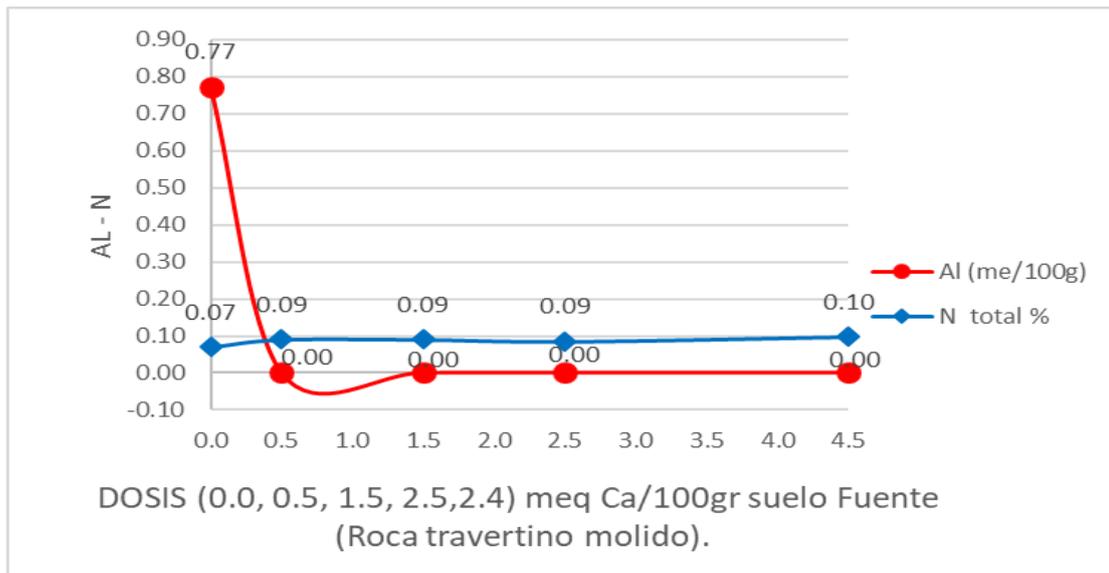


FIGURA 5. Análisis del Nitrógeno después del encalado.

En el trabajo realizado por (Canihua, 1996), sobre encalado de un suelo ácido en Tahuaco – INIA, utilizando CaO, encontró que a la aplicación de este insumo incremento el contenido de nitrógeno. Por ello menciona que la influencia de las dosis de cal 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 meq/100gr. de suelo, en Nitrógeno con 1.10, 1.10, 1.05, 1.00 (g kg^{-1}), Por otro lado, en la presente investigación se utilizó la roca travertino para el encalado, para lo cual el dicho autor ya mencionado utilizó la CaO, la diferencia se debe a la fuente de calcio para el encalado, que son diferentes.

Con respecto a la mejora del nitrógeno Bernier y Alfaro (2006). Señalan que la acidez restringe la actividad de la mayoría de los microorganismos del suelo. Por el encalado se mejora las condiciones para un adecuado desarrollo de la actividad microbiana. La fijación biológica de N es uno de los procesos que se ven favorecidos por el encalado. En forma paralela al mejorar las condiciones de acidez del suelo se favorece toda la actividad de las bacterias responsables de la mineralización de la materia orgánica favoreciendo la nitrificación de N orgánico y la mineralización de las formas orgánicas de azufre (S) a formas minerales de ser absorbidas por las raíces de las plantas.

(Espinoza y Molina, 1999) revelan, en general, la acidez del suelo restringe la actividad de la mayoría de los microorganismos del suelo. El encalado mejora apreciablemente las condiciones del suelo y permite un adecuado desenvolvimiento de la actividad microbiana como se observa en el ejemplo del efecto del encalado en la población microbiana de suelos ácidos del cerrado brasileño. Dentro de la actividad microbiana, el proceso de fijación de N atmosférico es favorecido por el encalado. La actividad de las

especies de *Rhizobium* en las leguminosas se restringe a pH bajo. El encalado permite un mayor crecimiento de las leguminosas debido a que estas pueden fijar una cantidad mayor de N gracias a las adecuadas condiciones para el desarrollo de la bacteria.

4.1.2. Efectos sobre el fósforo disponible (P)

El análisis de Varianza para el Fósforo disponible después del encalado (tabla 13), muestra que los bloques, no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques y en las dosis de igual forma no existe diferencia estadística significativa, esto nos da a entender que las dosis aplicadas con roca travertino en el encalado, no influyen en el Fósforo disponible en el suelo. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 17.51 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 13. Análisis de varianza para el fósforo después del encalado.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	16.246	5.415	1.69	3.49	5.95	ns	0.2224
Dosis	4	32.569	8.142	2.54	3.26	5.41	ns	0.0948
Error	12	38.502	3.208					
Total correcto	19	87.317						
CV: 17.51		Media: 10.23						

Los resultados se observan en la (figura 6), que al aplicar la roca travertino (diferentes dosis de estudio) hace que incremento suficientemente el fósforo disponible, en la cual su mayor incremento fue con la dosis de 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 11.86 ppm de fósforo disponible en el suelo. Sin embargo, el aluminio desciende progresivamente así mismo favoreciendo al cultivo de la papa.

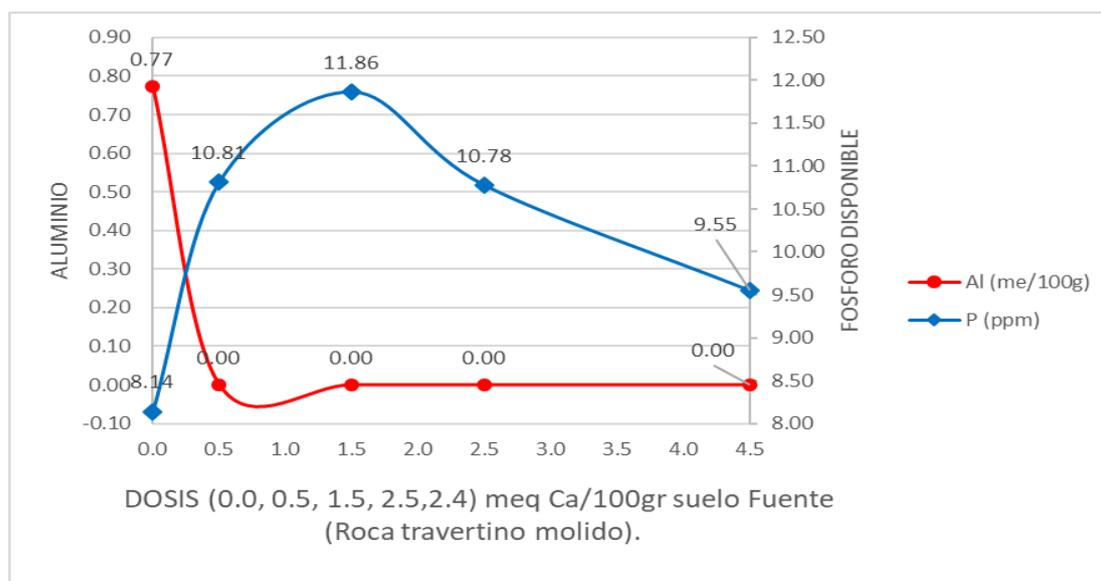


FIGURA 6. Análisis de fósforo disponible (P) después del encalado.

Con respecto al incremento del Fósforo disponible (Canihua, 1996), menciona que la mayor absorción de estos fosfatos en sus formas asimilables (monobásicos y bibásicos), para las plantas ha sido regulado, su presencia en el suelo al bajar la toxicidad de aluminio, manganeso y el hidrogeno en el PSB lográndose una mayor capacidad de solubilización por parte de las raíces en sus funciones metabólicas, permitiendo un sistema radicular desarrollado, traducido en una mayor extracción de nutrientes y/o capacidad de absorción, la influencia de las diferentes dosis de cal 2.5, 2.0, 1.5, 1.0gr de suelo, son similares en la disponibilidad del potasio disponible con, 20.50, 21.25, 22.00, 21.00 (mg kg^{-1}).

(Bernier y Alfaro 2006), mencionan que la aplicación de cal no produce liberación de fósforo (P) de formas retenidas o fijadas en el suelo, o de formas insolubles. Sin embargo, favorece la disponibilidad del fósforo aplicado después del encalado ya que la cal bloquea algunos sitios reactivos del complejo coloidal, impidiendo que estos atraigan los iones fosfato que están en la solución del suelo y los retengan o fijen. De este modo queda más fósforo disponible para ser absorbido por las plantas.

Los resultados pueden estar asociados al efecto del encalado excesivo del suelo como lo menciona (Fuentes, 1999), con pH inferiores a 6 disminuye el fósforo disponible, debido a que el hierro y el aluminio se encuentran muy solubilizados y provocan la formación de fosfatos insolubles. En el intervalo comprendido entre 6 y 7.5, ocurre la

mejor utilización del fósforo. Con pH superior a 7.5 disminuye la disponibilidad de este elemento, debido a que el calcio provoca la formación de compuestos insolubles

Según (Sanchez y Salinas, 2008). El encalamiento tiene poco o ningún efecto en la disminución de la fijación de fósforo en valores de pH de 5-6. Aunque siguen siendo ácidos, estos suelos presentan niveles de saturación de aluminio inferior al 45%. Además, el encalamiento a valores de pH cercanos o por encima de 7.0 puede aumentar en vez de disminuir la fijación de fosfatos de calcio relativamente insolubles. En consecuencia, el efecto de la cal en la fijación de fósforo depende de los niveles de pH. Además, los resultados son respaldados por (Kamprath, 1970) indica que el encalamiento ayuda a disminuir la capacidad de fijación de fósforo de suelos ácidos mediante la aplicación de enmiendas tales como cal y silicatos. Varios estudios con suelos ácidos en América tropical mostraron que al neutralizar el aluminio intercambiable mediante el encalamiento, disminuyó la fijación de fósforo.

Según (Villar, 2000) en su investigación para el elemento fósforo en condiciones de invernadero, en ambas localidades la mejor dosis fue la de 60 kg/ha con incrementos de 0,655 y 0,190 g/maceta para Villacorzo y Santa Rita, respectivamente. Por su parte, en condiciones de campo, sólo en Argentina se encontró respuesta a la aplicación de fósforo, siendo la mejor dosis la de 120 kg/ha. Esta situación se relaciona con el contenido nativo de fósforo en el suelo, ya que se observó que cuando existió un menor contenido de fósforo en el suelo, la respuesta del cultivo fue más clara y consistente.

Castro y Munevar, (2013), mencionan que en cuanto a la acción del encalamiento sobre la dinámica del fósforo, se comprobó que en los suelos de carácter óxico los contenidos de fósforo aumentaron respecto a su estado inicial ($3,4\text{mg kg}^{-1}$), a medida que se incrementó el pH, con el uso de materiales encalantes combinados. Merece atención que en los tratamientos donde no se aplicó fosfosilicatos de calcio (escorias Thomas), es decir, donde se empleó solamente CaCO_3 puro, el fósforo se mantuvo constante. Se registra una mayor respuesta cuando se asociaron los materiales orgánicos (gallinaza) con materiales encalantes portadores de fósforo; en este caso, se incrementó en el horizonte óxico el contenido, hasta 21mg kg^{-1} de fósforo, a dosis de 2t ha^{-1} de CaCO_3 . En los SSAI, se pasa de concentraciones iniciales de 12mg kg^{-1} a 23mg kg^{-1} de fósforo, con dosis de 4t ha^{-1} de CaCO_3 , suministradas por la relación 50:40:10 + gallinaza. Estos

niveles de fósforo (23mg kg^{-1}), se lograron igualmente cuando se empleó 6t ha^{-1} de la relación 50:40:10 y con la aplicación de 16t ha^{-1} de CaCO_3 puro.

4.1.3. Efectos sobre el potasio disponible (K ppm)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 14), del potasio disponible en el suelo, muestran que para los bloques existe una diferencia estadística altamente significativa, indica que hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino influyen en el potasio disponible en el suelo. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 7.90 % indica que los datos evaluados son confiables (Vasquez, 1990).

TABLA 14. Análisis de varianza para el Potasio disponible (K ppm) después del encalado.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	37663.73	12554.6	9.34	3.49	5.95	**	0.0018
Dosis	4	374132.75	93533.2	69.59	3.26	5.41	**	0.0001
Error	12	16128.731	1344.06					
Total correcto	19	427925.211						
CV: 7.90		Media: 464.29						

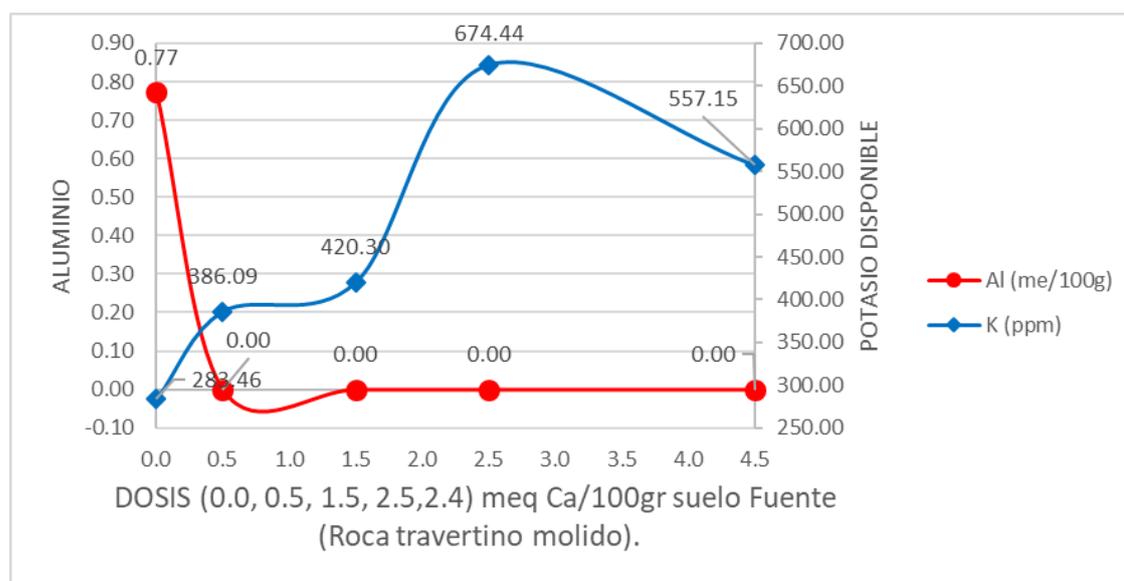
La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el potasio disponible (tabla 15), muestran que la dosis de 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor potasio disponible en el suelo con 674.44 ppm, seguido por las dosis 4.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 557.15 y 420.31 ppm de potasio disponible respectivamente, estas tres dosis no son similares estadísticamente con el tratamiento 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que hay diferencia significativa entre estas dosis, y el menor contenido de potasio disponible en el suelo fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 283.46 ppm.

TABLA 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para potasio disponible (k ppm) en el suelo.

Orden de merito	Dosis	Potasio Disponible (ppm)	Tukey
1	2.5	674.44	a
2	4.5	557.15	b
3	1.5	420.31	c
4	0.5	386.09	c
5	0.0	283.46	d

Los resultados se observan en la (figura 7), que al aplicar la roca travertino (diferentes dosis de estudio) hace que incremento suficientemente el potasio disponible, en la cual su mayor incremento fue con la dosis de cal 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 674.44 ppm con la aplicación de la roca travertino. Asimismo, el aluminio disponible desciende por el encalado y esto favorece a la disponibilidad de potasio.

Sin embargo, es notorio observar un efecto sobre la disponibilidad de potasio en el suelo, en relación al testigo, esto debido a la mejor retención del potasio del complejo adsorbente, una constante renovación y desplazamiento del potasio retenido hacia la solución del suelo; permitiendo así una mejor absorción del sistema radicular de las plantas y evita pérdidas de lixiviaciones y lavado, que ocurría cuando el suelo es ácido.

**FIGURA 7.** Análisis de potasio disponible (K) después del encalado.

En base a un estudio efectuado en el INIA – Tahuaco (Canihua, 1996), según a sus resultados, la influencia de las dosis de cal 2.5, 2.0, 1.5, 1.0 me/100g de suelo, son similares en la disponibilidad de Potasio disponible en el complejo coloidal; para la planta, de las cuales sin embargo se puede decir que el presente trabajo se muestran que la dosis de 2.5 meq Ca^{++} /100gr de suelo tubo mayor potasio disponible en el suelo con 11.863 ppm. Y de las cuales si existe diferencia en comparación al antecedente.

Por otro lado, los resultados de la presente investigación concuerdan con respecto a los datos de potasio (Fuentes, 1999). La solubilidad del potasio es alta en todo el intervalo de pH que pueda presentar el suelo. En suelos ácidos el potasio es deficiente debido a que ha sido lixiviado. Cuando existe mucho calcio (pH superior a 8) se crea un antagonismo iónico entre el calcio y el potasio, en donde el exceso de calcio impide la absorción del potasio.

Menciona (Meza, 2006). Se encuentran los rendimientos promedio de grano y paja del trigo por efecto del MAGNOCALCIO, cuando se maneja una fertilización suficiente de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y calcio. Bajo estas condiciones se tiene el mayor rendimiento de grano (5.30 g/planta) de todo el experimento, cuando se adiciona MAGNOCALCIO (1.0 t/ha) (Figura 6), mientras que el testigo sin MAGNOCALCIO produce 1.56 g/planta, siendo este incremento (239%) estadísticamente significativo. De igual forma en el rendimiento de paja se observa un impacto estadísticamente significativo cuando se maneja la dosis de 1.0 t/ha de MAGNOCALCIO, lográndose un incremento (43%) estadísticamente significativo en relación con el testigo. Este comportamiento es similar al observado en el cuadro 21, es decir cuando no se adiciona magnesio con la fertilización. Lo anterior indica que el MAGNOCALCIO ejerce su efecto, no solo por el magnesio que proporciona, sino por el calcio que adiciona y por la acción neutralizante de la acidez que ejerce.

4.1.4. Efectos sobre la materia orgánica (M.O)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 16), con datos transformados a valores angulares de porcentaje de materia orgánica, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el porcentaje de materia orgánica en el suelo. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es

altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 3.01 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 16. Análisis de varianza para porcentaje de materia orgánica total con transformaciones a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.12280647	0.04094	0.57	3.49	5.95	ns	0.6456
Dosis	4	2.68501607	0.67125	9.34	3.26	5.41	**	0.0011
Error	12	0.86245345	0.07187					
Total correcto	19	3.67027598						
CV: 3.01		Media: 8.898						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de materia orgánica en el suelo con datos transformados a valores angulares (tabla 17), muestran que la dosis de 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor porcentaje de materia orgánica con 9.399 %, seguido por las dosis 4.5 y 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 9.0403 y 8.9841 % de materia orgánica en suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, y el menor porcentaje de materia orgánica en el suelo fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 8.2813 %.

TABLA 17. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para datos transformados a valores angulares de porcentaje de materia orgánica.

Orden de merito	Dosis	M.O (%)	Media transformado.	Tukey
1	1.5	2.6675	9.399	a
2	4.5	2.47	9.0403	ab
3	2.5	2.4425	8.9841	ab
4	0.5	2.335	8.7873	bc
5	0.0	2.075	8.2813	c

En la (figura 8), se observa que al aplicar la roca travertino (diferentes dosis de estudio) hace que incremento la materia orgánica, se hizo evaluaciones y se encontró una cantidad de microorganismos en las dosis de 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$. de suelo, esto quiere decir que al incremento de la dosis hace que exista mayor actividad de microorganismos y de las cuales favorece la mineralización de la materia orgánica. Con la aplicación de una dosis de 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo aumentara el porcentaje de materia orgánica, y al comparar con la tendencia del aluminio, esta baja su contenido en

el suelo cuando se incrementa el encalado. Así podemos afirmar que a mayor contenido de materia orgánica, baja el contenido de aluminio en el suelo.

Según los resultados nos permite demostrar que con la aplicación de la Roca travertino molido, la materia orgánica incorporado sufrió un activo proceso de descomposición, transformación y resíntesis en relación al suelo testigo, evitándose de esta manera la acumulación de la materia orgánica parcialmente descompuesta, esto explica que se tuvo activa participación de la actividad bacteriana y macroflora presente en el suelo, activando el proceso de mineralización y humificación de la materia orgánica. Además, al reducirse notablemente la presencia del aluminio cambiabile logramos eliminar el efecto estabilizante sobre los complejos órgano-minerales.

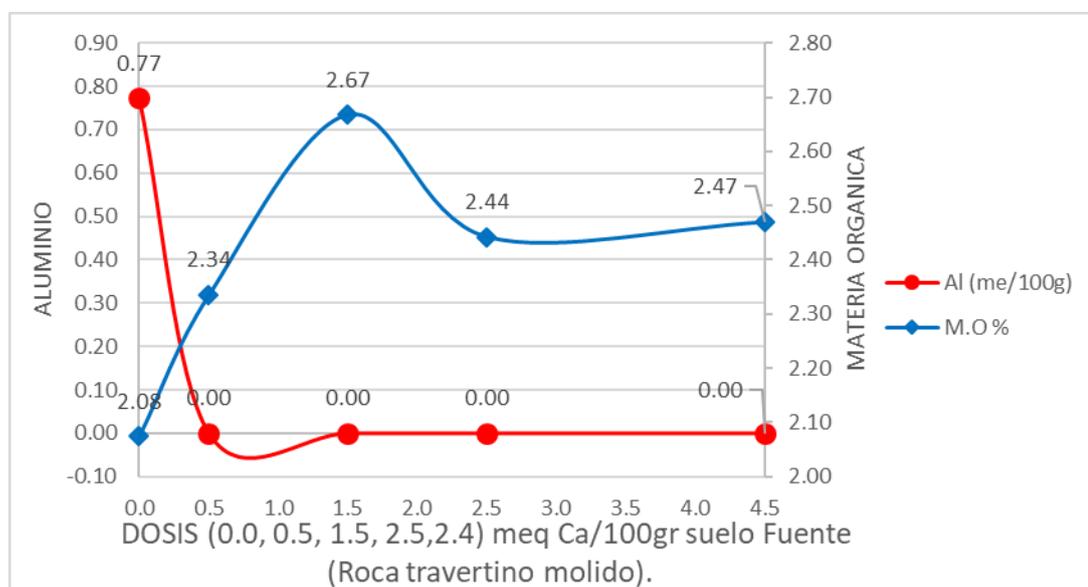


FIGURA 8. Análisis de la Materia orgánica (M.O) después del encalado.

En base a un estudio realizado por (Canihua, 1996), en sus tratamientos de aplicación de las dosis de 2.5 y 2.0 me/100g de CaO con 42.90 y 40.65 (g kg^{-1}) respectivamente, no tuvo efectos positivos, comportándose en forma similar a las parcelas sin aplicación de enmienda cálcica. En comparación a los resultados obtenidos del presente trabajo si existe una alta diferencia estadísticamente, entre las dosis aplicadas y en donde se nota la incrementación de la materia orgánica en comparación al testigo. Según las conclusiones llegados del anterior autor ya mencionado, con la aplicación de Oxido de calcio CaO, en suelos ácidos, se consigue condiciones favorables para la mineralización de la materia orgánica presente en el suelo.

Menciona (Parson, 1989), la cantidad de materia orgánica para el cultivo de la papa, debe ser superior a 2% como mínimo, para que el suelo no forme costras, de las cuales corroborando los resultados obtenidos superan más del 2%.

Los resultados de la presente investigación concuerdan con los resultados de (Lopez, 1980), analizando la respuesta al encalado de suelos con contenidos de materia orgánica inferiores al 5%, los que tuvieron fuertes aumentos del pH para las dosis de carbonato de calcio aplicadas.

4.1.5. Efectos sobre la reacción del suelo (pH)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 18), para el efecto sobre la reacción del suelo (pH), muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el efecto sobre la reacción del suelo (pH). Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 2.15 % indica que los datos evaluados son confiables (Vasquez, 1990).

TABLA 18. Análisis de varianza para el efecto sobre la reacción del suelo (pH).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.14	0.047	2.04	3.49	5.95	ns	0.1625
Dosis	4	14.191	3.548	155.08	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.275	0.023					
Total correcto	19	14.605						
CV: 2.15		Media: 7.05						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre la reacción del suelo (pH) (tabla 19), muestran que la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor valor de pH con 7.80 de pH, seguido por las dosis 2.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 7.58 y 7.49 de pH en suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, para el efecto sobre la reacción del suelo (pH) en menor pH fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 5.47.

TABLA 19. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre la reacción del suelo (pH).

Orden de merito	Dosis	pH	Tukey
1	4.5	7.80	a
2	2.5	7.58	a
3	1.5	7.49	a
4	0.5	6.92	b
5	0.0	5.47	c

En la (figura 9), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo aumento progresivamente el valor del pH, y al comparar con la tendencia del aluminio, esta baja su contenido en el suelo cuando se incrementa la dosis de encalado.

El aluminio aumenta conforme cuando el pH es menor de 5.5 en la solución del suelo. En vista de que las plantas absorben los elementos de la solución del suelo, puede entenderse que este valor de pH (5.5) se tome como valor crítico para decidir si un suelo requiere la aplicación de cal (Aguilar et al., 1994).

El objeto resulta de elevar progresivamente la reacción de suelo a pH superiores al suelo problema al adicionar el material de enmienda resulto una liberación de Ca y Mg que desplazo al Al^{+++} , Mn^{++} y Fe^{++} dominante.

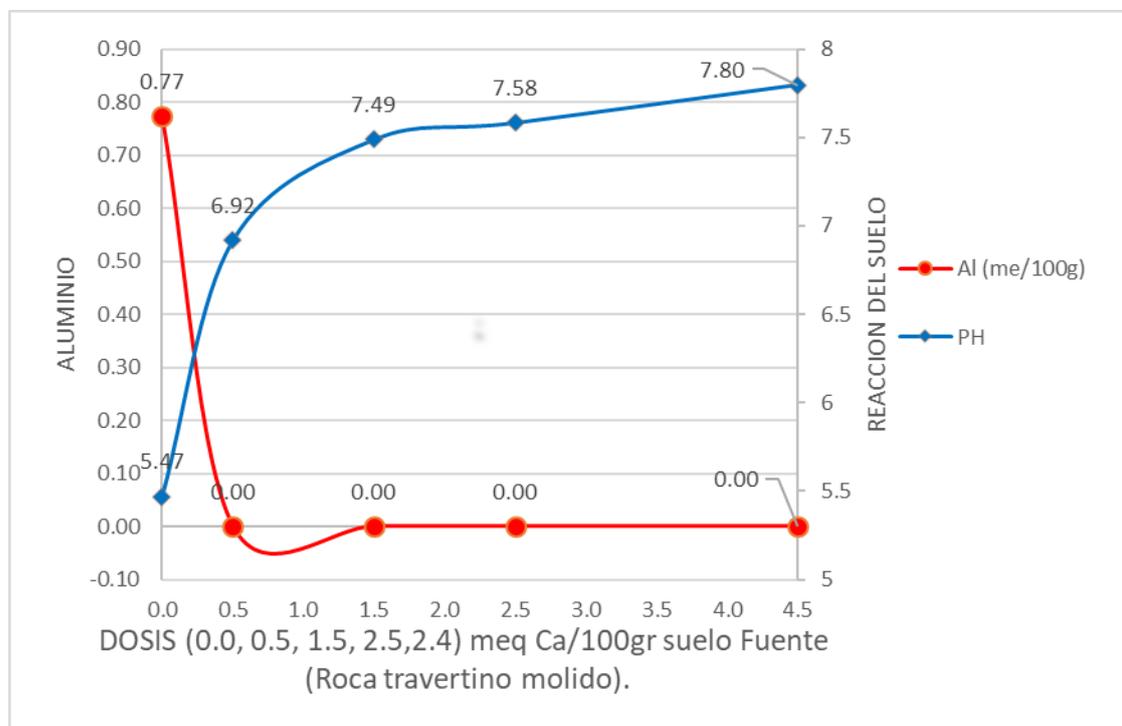


FIGURA 9. Análisis de la reacción del suelo (pH) después del encalado.

Menciona (Naranjo, H. 1991). La papa requiere suelos profundos, de textura franco arenoso, de buen nivel de fertilidad, con pH de 5.6 a 6.5 ligeramente ácido y prospera inclusive a pH de 4.5 a 8.5, corroborando con los resultados obtenidos del pH en donde están dentro del rango recomendado de las cuales el máximo pH se obtuvo con la dosis de 4.5 meq Ca^{++} /100gr de suelo con 7.80 de pH en el suelo.

Por otro lado, los resultados de la presente investigación superan a los resultados de (Canihua, J.1996), de sus resultados obtenidos explica que se consiguió, compensar en el complejo de cambio en exceso los cationes dominantes de la acidez Al^{+++} , Mn^{++} , Fe^{+++} , H^+ . Con bases de cambio Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ y Na^{++} y disminuyendo los problemas de toxicidad al precipitarse el exceso de aluminio en forma de hidróxido muy insoluble. Y se obtuvo mejor respuesta en el aumento progresivo de la reacción del suelo, aplicando la dosis de 2.5 meq/100gr de CaO. Las otras dosis en estudio (2.0, 1.5 y 1.0 meq/100g de CaO con 6.46, 6.21 y 6.09 pH en el suelo, respondieron en forma similar, son mayores a los resultados obtenidos del presente trabajo, la diferencia se debe a la fuente de calcio para el encalado que son diferentes.

Este resultado coincide con lo expuesto por (Encina, 2017), los promedios de pH al término de las pruebas, los cuales son resultantes de la aplicación de las enmiendas probadas, no muestran ser diferentes entre ellas (caliza=4.443, escoria=4.390); sin embargo, en ambos casos se obtuvo una superioridad con respecto al testigo (3.915). Estos promedios de pH para cada una de las enmiendas probadas, representan un incremento porcentual de 13.23% y 12.34% respectivamente. Sin embargo, como se observa, los tratamientos 2 y 3 presentan valores menores al testigo, esa resistencia a elevar su pH puede deberse a la presencia de la acidez residual del suelo, asociado a iones atados en forma no intercambiable a la materia orgánica y arcilla del suelo. Además se observa que los mayores incrementos del pH corresponden a las aplicaciones de 2, 2.5 y 3 meq/100g de cualquiera de las enmiendas, sin haber superioridad entre ellas. Dosis de enmiendas menores a 2 meq/100g, mostraron incrementos de pH, pero sin ser estadísticamente diferentes al tratamiento “testigo”. Por otro lado se debe tomar en cuenta que el pH del suelo al inicio de la prueba fue de 4.04, por tanto se observó una disminución del pH en el tratamiento testigo.

Vega, (2014), menciona que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin la aplicación de encalado se obtengan resultados diferentes en el pH del suelo al término de la campaña tanto si no se usa ninguna de las fuentes orgánicas estudiadas, estiércol de cuy y compost. El pH inicial de 4.30 del suelo es llevado a 6.89 por el proceso de encalado haciendo significativa la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3). Los tratamientos de suelo a los que se adicionó estiércol de cuy, sin encalado fueron de este lleva a un pH 5.95 a 7.22, al adicionarle carbonato de calcio. Para el compost, la interacción de su ceniza y su descomposición llevó el pH del suelo a 5.27, mientras que su parte encalada a 6.90. No existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin encalado se obtengan resultados diferentes en el pH del suelo al término de la campaña cuando se usa bokashi, el pH llevado por las cenizas del bokashi y por su descomposición llevan al pH del suelo a 6.40 y su parte encalada a 7.11.

Según (Calva, 2016). Los cambios de pH con las diferentes enmiendas (Carbonato de Calcio, Carbonato de Magnesio, Dolomita Óxido de Magnesio) se pueden evidenciar en las curvas de las diferentes enmiendas utilizadas. De nuevo, la representación gráfica de las líneas de tendencia explica mejor el efecto de las dosis de las enmiendas sobre el pH antes que las regresiones. En ellas se puede apreciar que luego de 45 días de la incubación la reactividad de las enmiendas tuvo similares comportamientos con respecto incremento de pH. Se considera que el suelo estudiado es de carga variable y en condiciones normales no se esperaría incrementos tan marcados en el pH como los encontrados en este estudio. Esto probablemente se debe a que las dosis altas de las enmiendas lograron sobreponerse sobre la capacidad tampón del suelo. Como se vio anteriormente, el comportamiento de la respuesta a las enmiendas en términos de acumulación de biomasa indicaba claramente que las dosis para lograr el mayor rendimiento se encontraban entre 1.0 y 1.5 t ha⁻¹ de enmienda, dosis que serían suficientes para elevar el pH a valores que permitan eliminar los problemas de acidez y precipitar el Al^{+3} tóxico.

4.1.6. Efectos sobre la conductividad eléctrica (C.E)

Realizado el análisis de variancia para la conductividad eléctrica (C.E), se muestra en la (tabla 20), se encontró que tanto los bloques como para las dosis no existe diferencia estadísticamente significativa, esto implica que específicamente que no hay diferencia

entre los bloque, de igual manera las dosis en la conductividad eléctrica no presentaron diferencia significativa entre ellos, es decir, entre todos las dosis de aplicación no hay diferencia en la aplicación de encalado en el suelo para la conductibilidad eléctrica. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente.

Con el objeto de reducir el C.V se ha efectuado una transformación de \sqrt{x} , el mismo que finalmente tiene un valor de 19.92% considerado aceptable.

TABLA 20. Análisis de varianza sobre la conductividad eléctrica transformado de \sqrt{x} (C.E).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.01426	0.00475	0.44	3.49	5.95	ns	0.7265
Dosis	4	0.13416	0.03354	3.13	3.26	5.41	ns	0.056
Error	12	0.12877	0.01073					
Total correcto	19	0.2772						

CV: 19.92 Media: 0.52

En la (figura 10), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo aumentara la conductibilidad eléctrica del suelo. Sin embargo podemos afirmar que cuando aumenta la conductibilidad del suelo, baja el contenido de aluminio en el suelo.

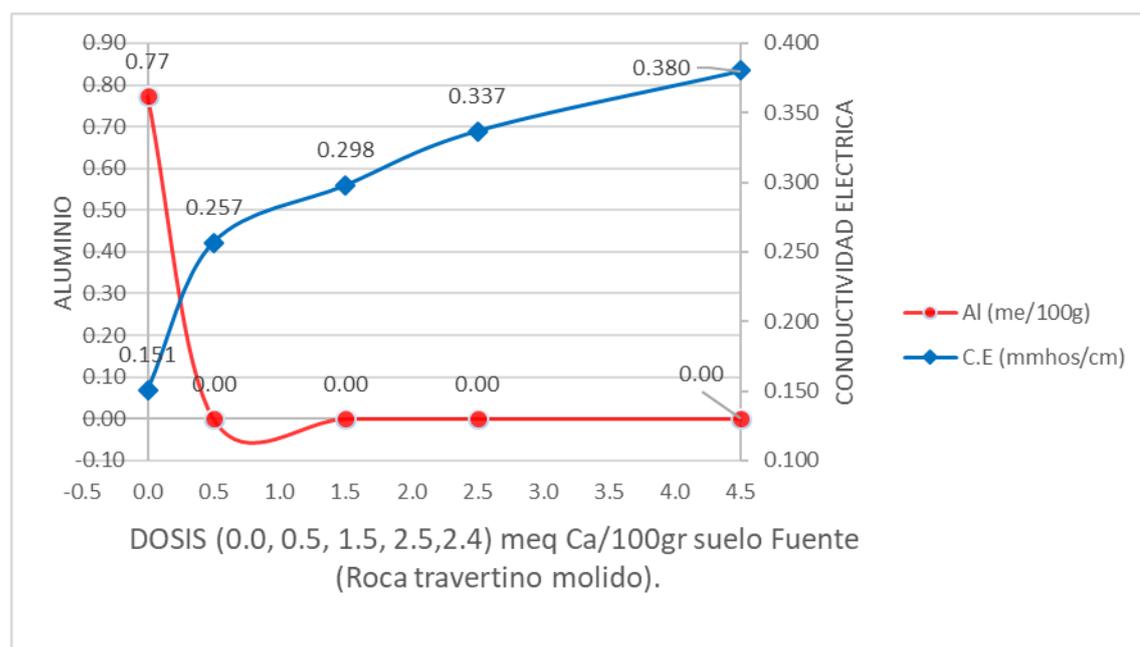


FIGURA 10. Análisis de la conductividad eléctrica (CE) después del encalado.

Menciona (Canihua, 1996), menciona que las cantidades de sales disueltas especialmente cloruros, nitratos, sulfatos presentes en la solución del suelo se movilizan para reemplazar parcialmente al aluminio, manganeso e hidrogeno en el complejo coloidal, y logramos establecer equilibrio de intercambio a su vez, incrementar progresivamente la reacción del suelo, mejorándose de esta forma el PSB. Indica que la dosis 2.5, 2.0 y 1.5 meq/100gr con 0.0125, 0.012 y 0.0112 Sm⁻¹. De CaO tuvieron comportamientos similares y superiores de la parcela testigo sin la aplicación de cal. Corroborando con los resultados del trabajo en la cual la conductividad eléctrica incrementa notablemente. Con la dosis de 4.5 meq Ca⁺⁺/100g de suelo con 0.380mmhos/cm.

4.1.7. Efectos sobre el aluminio (Al)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 21), para el efecto sobre el Aluminio (Al), muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el efecto sobre el Aluminio (Al). Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente.

El coeficiente de variación (CV) igual al 14.45 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 21. Análisis de varianza para el efecto sobre el aluminio (Al).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.001	0.000	1	3.49	5.95	ns	0.4262
Dosis	4	1.91	0.477	958	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.006	0.000					
Total correcto	19	1.917						

CV: 14.45 Media: 1.03

La prueba de Tukey (P ≤0.05) para el efecto sobre el Aluminio (Al) (tabla 22), muestran que la dosis de 4.5, 2.5, 1.5 y 0.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo tubo mayor el efecto sobre el Aluminio (Al), con 0.00 me/100gr de aluminio en el suelo respectivamente para todos, siendo similares estadísticamente las cuatro dosis, esto indica que no hay

diferencia significativa entre estas dosis, en menor efecto sobre el Aluminio (Al) fue obtenido, por la dosis 0.0 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 0.77 de aluminio que se encontró en el suelo.

TABLA 22. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el Aluminio (Al).

Orden de merito	Dosis	Al (me/100gr)	Tukey
1	4.5	0.00	a
2	2.5	0.00	a
3	1.5	0.00	a
4	0.5	0.00	a
5	0.0	0.77	b

En la (figura 11), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo disminuyó el aluminio disponible en el suelo, prácticamente disminuye a cero en la disponibilidad del aluminio en el suelo, así favoreciendo la disponibilidad de otros nutrientes para los cultivos.

Los resultados del análisis, nos permite confirmar que con la aplicación de la Roca travertino molido se reduce notablemente las concentraciones excesivas de Al⁺⁺⁺, Mn⁺⁺ de la cubierta iónica del complejo de cambio, paralelamente desplazó al Al⁺⁺⁺ del complejo de intercambio; por lo que, el Ca⁺⁺ y el Mg⁺⁺ cambiante se ajustó a su dosificación, al implementar esta práctica. La actividad iónica de Fe⁺⁺⁺, disminuyó en forma similar el Al⁺⁺⁺, solo el potasio K⁺ permaneció aun alteración alguna.

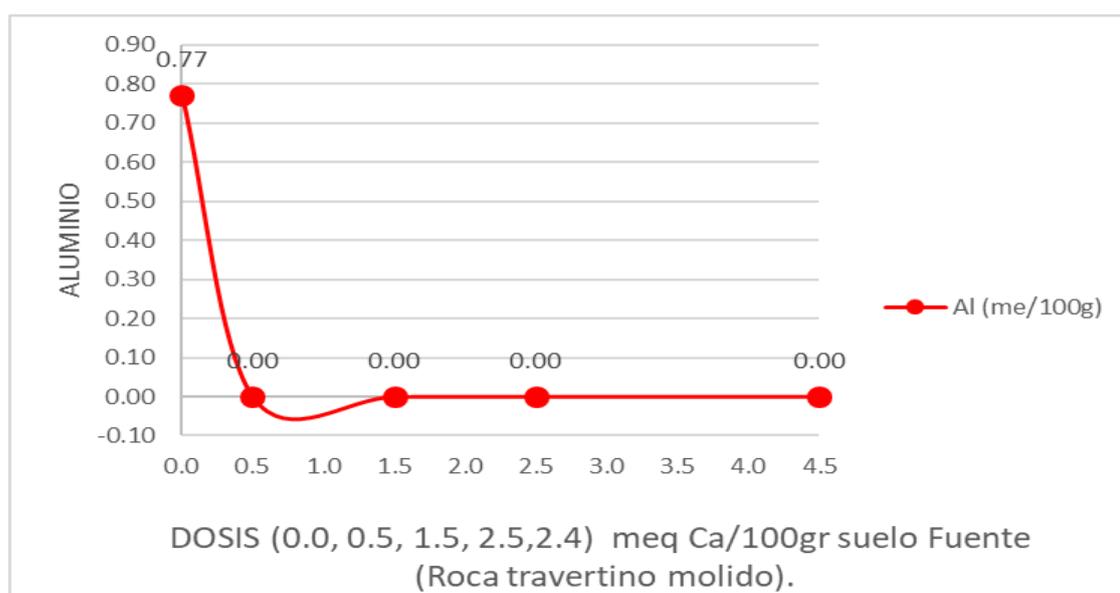


FIGURA 11. Análisis del aluminio (Al) después del encalado.

Menciona (Aguilar et al., 1994). El aluminio aumenta conforme el pH es menor de 5.5 en la solución del suelo. En vista de que las plantas absorben los elementos de la solución del suelo, puede entenderse que este valor de pH (5.5) se tome como valor crítico para decidir si un suelo requiere la aplicación de cal.

Por otro lado los resultados de la presente investigación tienen una similitud con los resultados de (Canihua, 1996), indica que aplicando la dosis de 2.5 meq/ 100gr de CaO con 0.052 Cmol kg⁻¹, se logró una mayor precipitación del aluminio seguido por los tratamientos 2.0, 1.5 y 1.0 meq/100g de CaO con 0.062, 0.095 y 0.14 Cmol kg⁻¹. En tanto que el suelo problema (testigo) sin la aplicación de CaO mantuvo la acidez inicial con 1.00 de aluminio. En comparación a los resultados obtenidos del trabajo en mayor efecto de la roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo disminuirá el aluminio disponible en el suelo, prácticamente disminuye a 0.00 me/100g en la disponibilidad del aluminio en el suelo, y de las cuales se mantiene en el testigo con 0.77 me/100g de Aluminio.

Menciona (Domínguez, 1989), no existe la menor duda sobre el efecto tóxico que este elemento tiene sobre el crecimiento de la planta. Esto ha sido probado en soluciones nutritivas en las que la simple adición en cantidades mínimas de este elemento suponía una reducción del desarrollo. El efecto más directo parece ser la inhibición del crecimiento radical. En el desarrollo del ápice de la raíz sometida a concentraciones tóxicas de aluminio, se observan numerosas células binucleadas que no han podido dividirse. Dada la gran afinidad del aluminio por las sustancias pécticas, éste se acumula en las paredes celulares de la corteza de la raíz. De este modo, los brotes laterales se desarrollan bien hasta que emerjan a la corteza de la raíz y se encuentran con concentraciones tóxicas de Al que paraliza su crecimiento de modo irreversible.

Este resultado coincide con lo expuesto por (Encinas, 2017). En cuanto al aluminio cambiante, no se muestra diferencias significativas en los promedios de los tratamientos de ambas enmiendas aplicadas (caliza=0.722, escoria=0.711). Estos promedios representan una disminución porcentual de la acidez cambiante de 27.8% y 35.6% respectivamente con respecto al tratamiento testigo; esto nos lleva a la conclusión de que ambos materiales encalantes tienen similar efecto en cuando a la reducción de la acidez cambiante. Sin embargo los tratamientos 2 (1.6meq) y 8 (1.467meq) que corresponden a la dosis de 0.5 meq de ambas enmiendas resultaron ser mayores sin ser

superiores estadísticamente al tratamiento testigo, este resultado contradice a la teoría de que al realizar el proceso de encalado en un suelo ácido libera iones OH^- el cual reacciona con el aluminio, reduciendo la concentración del mismo por tanto eleva el pH del suelo.

4.1.8. Efectos sobre el manganeso (Mn)

Procesado el análisis de variancia para el contenido de manganeso transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$, (tabla 23). Se halló que para los bloques no hay una diferencia significativa, esto quiere decir, que no hay diferencia entre bloque. En cuanto a las dosis se encuentra que existe una diferencia altamente significativa entre las dosis, con respecto a su contenido de manganeso (Mn) ppm, esto nos indica que las dosis aplicadas del encalado al suelo fueron diferentes. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. Para reducir el C.V. que con sus datos originales se obtiene un valor mayor al 60%, se ha transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$, cuyo valor final es de 2.94 % considerando como muy eficiente.

TABLA 23. Análisis de varianza para el efecto sobre el manganeso transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.00084	0.00028	1.01	3.49	5.95	ns	0.4204
Dosis	4	0.0399	0.00997	35.99	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.00333	0.00028					
Total correcto	19	0.04407						
CV: 1.62		Media: 1.03						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre el manganeso transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$, (tabla 24), muestran que la dosis de 4.5, 1.5, 2.5 y 0.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor el efecto sobre el manganeso con 0.003, 0.008, 0.010 y 0.010 ppm de manganeso en el suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente estas cuatro dosis, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, en menor el efecto sobre el manganeso fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.245 ppm de manganeso que se encontró en el suelo.

TABLA 24. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el efecto sobre el Manganeso (Mn) transformado con la forma $\sqrt{(X+1)}$.

Orden de merito	Dosis	Mn ppm	Media transformado	Tukey
1	4.5	0.003	1.0013	a
2	1.5	0.008	1.0037	a
3	2.5	0.010	1.0050	a
4	0.5	0.010	1.0050	a
5	0.0	0.245	1.1153	b

En la (figura 12), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 0.5, 1.5 y 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo disminuyo el manganeso disponible en el suelo, y prácticamente con la dosis de 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo disminuye cerca a cero en la disponibilidad del manganeso en el suelo, así favoreciendo la disponibilidad de otros nutrientes para los cultivos.

El comportamiento de este elemento en el suelo tiene cierta similitud con el aluminio. Al igual que éste, su concentración aumenta a pH inferiores a 5.5 y puede transformarse en tóxico.

Los resultados del análisis, nos permite confirmar que con la aplicación de la Roca travertino molido se reduce notablemente las concentraciones excesivas de, Mn⁺⁺ de la cubierta iónica del complejo de cambio, paralelamente desplazo al Mn⁺⁺ del complejo de intercambio; por lo que, el Ca⁺⁺ y el Mg⁺⁺ cambiabile se ajustó a su dosificación, al implementar esta práctica.

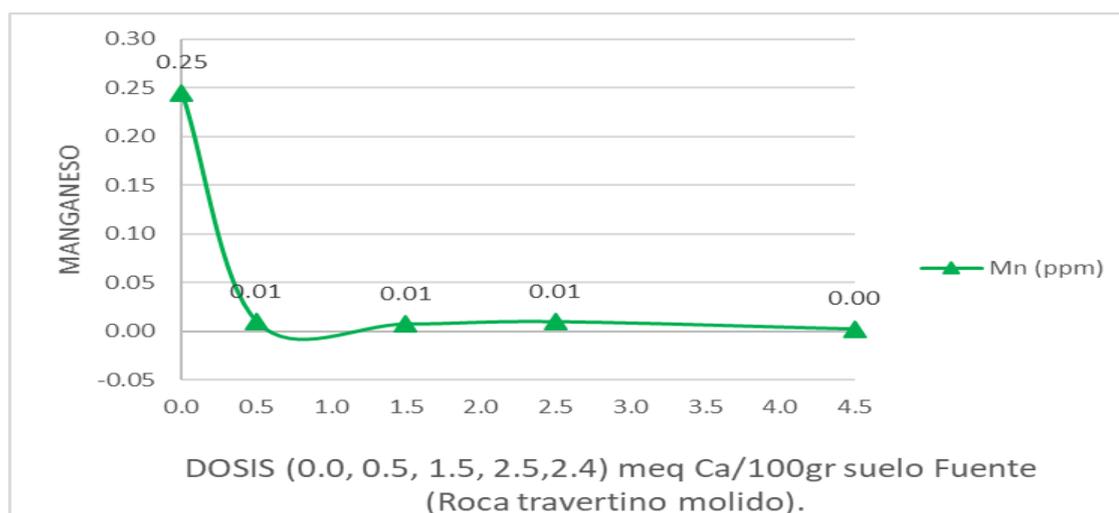


FIGURA 12. Análisis del manganeso (Mn) después del encalado.

Menciona (Gines, 2003). Las alteraciones por exceso de manganeso pueden presentarse en suelos ácidos, donde la disponibilidad de este elemento está al máximo. Se conocen casos de toxicidad, por ejemplo, en cebada, alfalfa, tabaco, soja y algodón. Los síntomas, que son siempre visibles en las plantas jóvenes, aunque difieren entre especies, se manifiestan frecuentemente como manchas marrones en las hojas. Debido al antagonismo Fe/Mn, a veces el exceso del primero puede producir simultáneamente a una deficiencia del segundo. En general puede sospecharse una toxicidad de manganeso cuando en la materia seca de la planta se encuentra valores superiores a la 1000 mgkg^{-1} . Algunos investigadores consideran que la toxicidad puede ser una expresión de una deficiencia auxínica, causada por una alta actividad del enzima oxidasa del AIA, la cual paraliza la expansión celular.

Este resultado coincide con lo expuesto por (Canihua, 1996). Al elevar progresivamente la reacción de suelo a pH superiores al suelo problema al adicionar el material de enmienda resulta una liberación de Ca y Mg que desplazo al Al^{+++} , Mn^{++} y Fe^{++} dominante.

4.1.9. Efectos sobre el Hierro (Fe)

Realizando el análisis de variancia para el contenido de Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$, (tabla 25), se observa que los bloques, no representaron diferencias significativas, es decir que, no hay diferencia entre bloques. Referente a las dosis se obtuvo una diferencia altamente significativa, por lo que las dosis entre si presenta diferencias y que si hicieron efecto sobre el contenido de hierro, para lo cual se tendrá que aplicar un aprueba de comparación múltiple, y determinar la mejor dosis. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente.

Se ha tenido en este caso efectuar una transformación de $\sqrt{(x+0.5)}$ esto debido a las características particulares de la base de datos originales y como una forma de reducir el C.V., que finalmente fue de 1.57 % que es aceptable.

TABLA 25. Análisis de varianza para el efecto sobre el Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.00023	0.00008	0.56	3.49	5.95	ns	0.651
Dosis	4	0.0578	0.01427	105.91	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.00162	0.00013					
Total correcto	19	0.05893						
CV: 1.57		Media: 0.74						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre el Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$. (Tabla 26), muestran que la dosis de 4.5, 2.5, 1.5 y 0.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor el efecto sobre el hierro con 0.0025, 0.0025, 0.0100 y 0.0125 ppm de manganeso en el suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente estas cuatro dosis, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, en menor el efecto sobre el hierro fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.2150 ppm de hierro que se encontró en el suelo.

TABLA 26. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el Hierro transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$.

Orden de merito	Dosis	Fe ppm	Media transformado	Tukey
1	4.5	0.0025	0.7089	a
2	2.5	0.0025	0.7089	b
3	1.5	0.0100	0.7143	b
4	0.5	0.0125	0.7159	b
5	0.0	0.2150	0.8453	b

En la Figura 13, se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo disminuyo el hierro disponible en el suelo, prácticamente con el incremento del encalado de roca travertino en el suelo disminuye la disponibilidad del hierro en el suelo, así favoreciendo la no toxicidad de los cultivos.

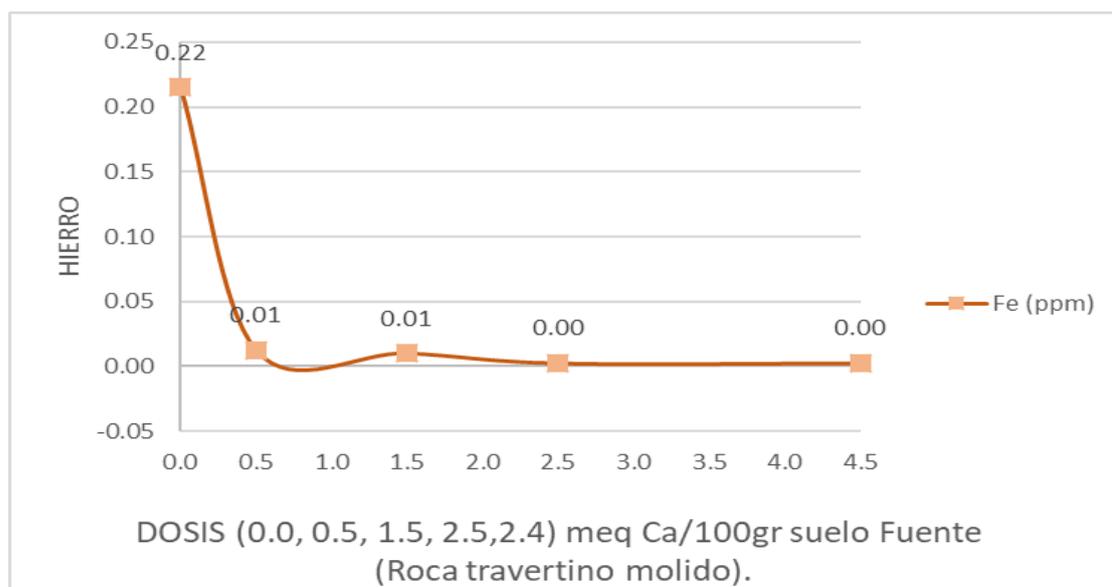


FIGURA 13. Análisis del Hierro (Fe) después del encalado.

Menciona (Fuentes, 1999), estos elementos son muy solubles con pH inferior a 5.5. A medida que aumenta el pH del suelo disminuye su solubilidad, de tal forma que en el suelo alcalino es muy escasa su absorción por las plantas. Considerando en conjunto el comportamiento de todos los elementos nutritivos se puede decir que el intervalo de pH comprendido entre 6 y 7 es el más adecuado para la absorción de nutrientes.

Confirma a la aplicación de CaO hace que incremente la capacidad de intercambio catiónico (Canihua, 1996), como resultado de que las bases cambiables llegan a saturarse el complejo de intercambio en una proporción mayor a la de la acidez cambiante, como consecuencia de que el Fe^{+++} , Al^{+++} , Mn^{++} e H^+ en exceso es precipitado por la aplicación de Oxido de calcio. En cuanto los resultados obtenidos el mayor efecto en reducir el Manganeseo en las dosis de 4.5, 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.00ppm en las dosis mencionadas. Y en la parcela problema (testigo) se mantiene con 0.22ppm.

4.1.10. Efectos sobre el calcio cambiante.

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 27), para el efecto sobre el calcio cambiante, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el efecto sobre el calcio cambiante. Asimismo se acepta la

hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 9.43 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 27. Análisis de varianza para el efecto sobre el calcio cambiabile.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	1.036	0.345	0.66	3.49	5.95	ns	0.5944
Dosis	4	84.702	21.175	40.22	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	6.317	0.526					
Total correcto	19	92.055						
CV: 9.43		Media: 7.70						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre el calcio cambiabile (tabla 28), se observa que la dosis de 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo tubo mayor efecto en el calcio cambiabile con 9.95, seguido por la dosis 2.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 9.75 de calcio cambiabile en el suelo, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dos dosis, para el efecto sobre el calcio cambiabile en el suelo, el menor efecto sobre el calcio cambiabile fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 4.50.

TABLA 28. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el calcio cambiabile

Orden de merito	Dosis	Ca (me/100g)	Tukey
1	4.5	9.95	a
2	2.5	9.75	a
3	1.5	7.86	b
4	0.5	6.43	b
5	0.0	4.50	c

En la (figura 14), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo aumento el calcio cambiabile en el suelo, y al comparar con la tendencia del aluminio, el aluminio baja su contenido en el suelo cuando se incrementa el encalado. Así podemos afirmar que cuando aumenta el encalado, baja el contenido de aluminio en el suelo y aumenta el calcio cambiabile en el suelo.

De los resultados obtenidos se deduce que la presencia de calcio como una base cambiante en la cubierta iónica del complejo coloidal del suelo aumento la saturación de este micro elemento representada solo como una fracción dentro del calcio total por lo que su presencia tuvo una predominancia marcada en el complejo de intercambio en relación a las otras bases del suelo.

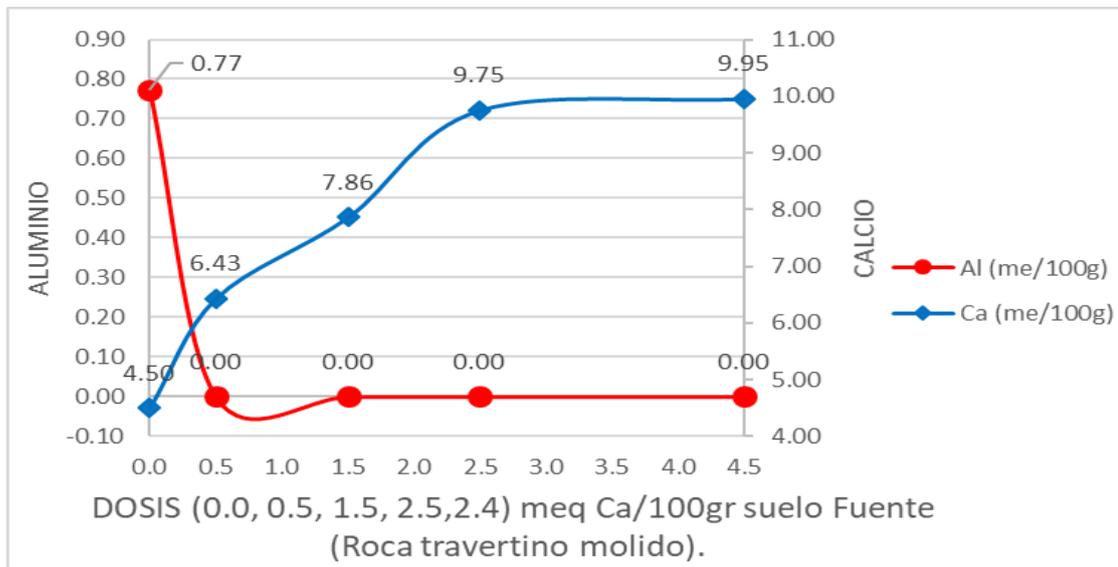


FIGURA 14. Análisis del Calcio (Ca) después del encalado.

Este resultado coincide con lo expuesto por (Domínguez, 1989). Este elemento es muy asimilable con valores altos de pH. Cuando éste excede de 8.5, es casi segura la presencia de sodio que sustituye al calcio y al magnesio en el complejo de cambio, precipitándose ambos como carbonatos insolubles.

En el estudio realizado por (Canihua, 1996), indica que la mejor dosis respuesta en el aumento de calcio en el complejo coloidal del suelo, se consigue con la dosis 2.5 y 2.0 meq/100 de CaO con 7.50 y 7.25 Cmol kg⁻¹. Las dosis 1.5 y 1.0 meq/100 gr de CaO con 6.25 y 5.60 Cmol kg⁻¹ tuvieron un efecto muy bajo en comparación al testigo. Comparando con los resultados del trabajo la mejor dosis es de 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo tubo mayor efecto en el calcio cambiante con 9.95, seguido por la dosis 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 9.75 de calcio cambiante en el suelo y superando al testigo.

4.1.11. Efectos sobre el magnesio cambiabile (Mg)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 29), para el efecto sobre el magnesio cambiabile, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el efecto sobre el magnesio cambiabile. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 3.95 % indica que los datos evaluados son confiables.

TABLA 29. Análisis de varianza para el efecto sobre el magnesio cambiabile (Mg).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.158	0.053	1.63	3.49	5.95	ns	0.2338
Dosis	4	12.752	3.188	99.08	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.386	0.032					
Total correcto	19	13.296						
CV: 3.95		Media: 4.55						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre el magnesio cambiabile (tabla 30), se observa que la dosis de 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor efecto en el magnesio cambiabile con 5.91, siendo diferente estadísticamente comparado a las demás dosis de encalado, seguido por las dosis 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 4.82 y 4.50 de magnesio cambiabile en el suelo, estas dos dosis son similares estadísticamente, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dos dosis, para el efecto sobre el magnesio cambiabile en el suelo, el menor efecto sobre el magnesio cambiabile fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 3.37.

TABLA 30. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el magnesio cambiabile

Orden de merito	Dosis	Mg (me/100g)	Tukey
1	1.5	5.91	a
2	2.5	4.82	b
3	4.5	4.50	b
4	0.5	3.78	c
5	0.0	3.73	c

En la (figura 15), se observa que con la aplicación de roca travertino con una dosis 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo aumento notablemente el magnesio cambiabile en el suelo, y al comparar con la tendencia del aluminio, baja su contenido en el suelo.

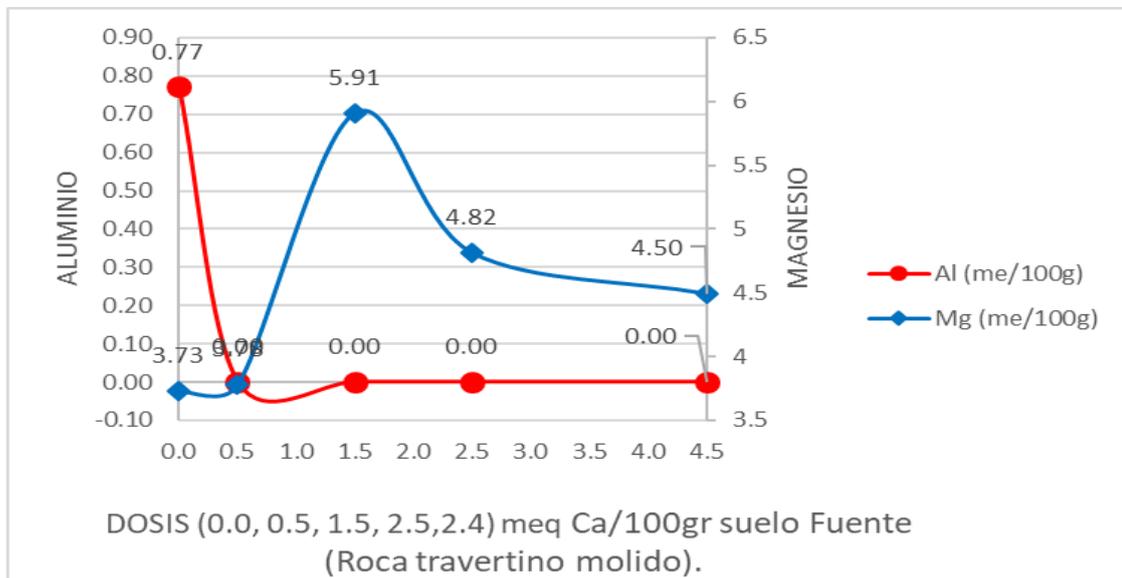


FIGURA 15. Análisis del Magnesio (Mg) después del encalado.

Menciona (Gines, 2003). En este último aspecto, la aplicación de altas proporciones de fertilizantes potásicos puede provocar una relación potasio cambiabile/magnesio cambiabile muy alta, debido al desplazamiento del poco magnesio adsorbido en el complejo coloidal por el potasio. Las plantas que crecen en estos suelos tendrán una fuerte tendencia fisiológica a absorber más potasio que magnesio (antagonismo K/Mg), y en ellos suelen aparecer síntomas claros de deficiencia de magnesio. Las pérdidas por lixiviación son importantes. Admitiendo que el agua de lluvia puede disolver 40 mg/l de óxido magnésico, para una pluviométrica de 500-1000 mm/ año las pérdidas de magnesio pueden alcanzar 50-100 kg/ha/año, como óxido magnésico. Para el calcio en las mismas condiciones pluviométricas, las pérdidas son dos o tres veces superiores.

En el estudio realizado por (Canihua, 1996), obtuvo mejor respuesta con las dosis de 2.5 y 2.0 meq/100 gr de CaO con 1.175 y 0.850 Cmol kg⁻¹; mientras que las dosis 1.5 y 1.0 meq/100 gr de CaO con 0.700 y 0.375 Cmol gr⁻¹, obtuvieron un efecto muy bajo en relación al suelo problema (testigo). Comparando con los resultados del trabajo la mejor dosis es de 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo tubo mayor efecto en el magnesio cambiabile con 3.91 me/100gr, seguido por la dosis 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 4.82 de magnesio cambiabile en el suelo y superan al testigo. Debido a que las fuentes encalantes son diferentes.

4.1.12. Efectos sobre el sodio cambiante (Na)

Efectuado análisis de varianza para el contenido de sodio (Na) transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$. con el fin de reducir el coeficiente de variabilidad, (tabla 31), se determinó que para los bloques no existe diferencia significativa, es decir que, no hay diferencia entre los bloques. Así mismo entre las dosis tampoco se encontró diferencias significativas lo cual quiere decir que entre las dosis no presentaron diferencias en el contenido de sodio (Na) me/100g. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente.

Se ha tenido en este caso efectuar una transformación de $\sqrt{(x+0.5)}$ esto debido a las características particulares de la base de datos originales y como una forma de reducir el C.V., que finalmente fue de 18.60 % que es aceptable.

TABLA 31. Análisis de varianza para el efecto sobre el sodio cambiante transformado con la forma $\sqrt{(x+0.5)}$.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.66381	0.22127	2.7	3.49	5.95	ns	0.0927
Dosis	4	0.05121	0.01280	0.16	3.26	5.41	ns	0.9565
Error	12	0.98428	0.08202					
Total correcto	19	1.6993						
CV: 18.60		Media: 1.54						

En la (figura 16), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo aumento el sodio cambiante en el suelo, y al comparar con la tendencia del aluminio, baja su contenido en el suelo.

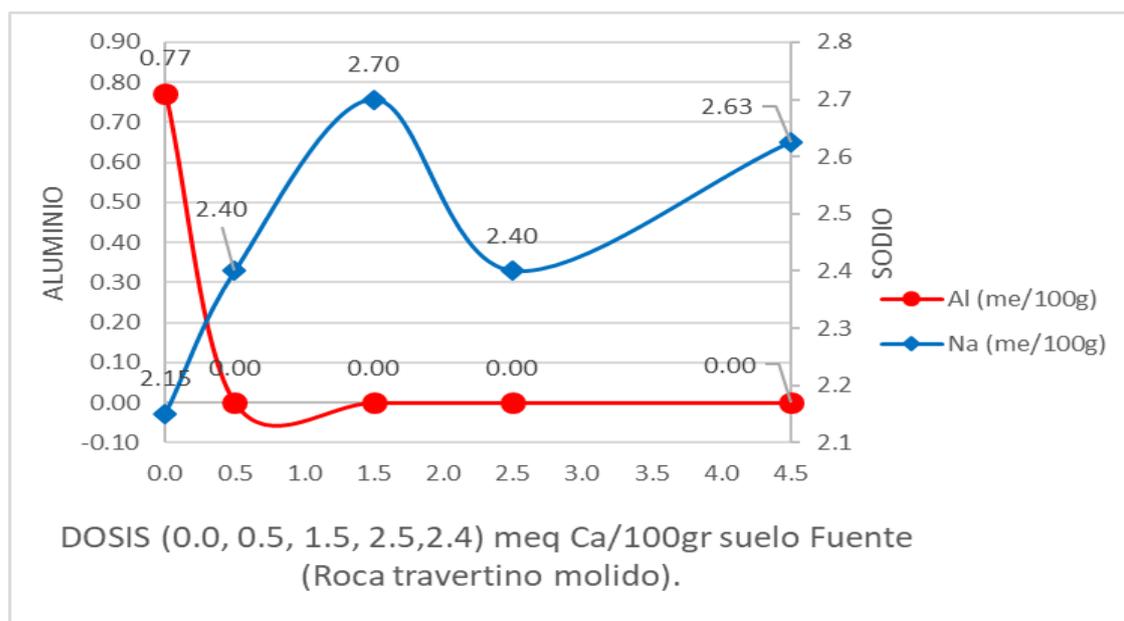


FIGURA 16. Análisis del sodio (Na) después del encalado.

Menciona (Canihua, 1996), según sus resultados, se logró buena respuesta con los tratamientos 2.5 y 2.0 meq/ 100gr de CaO con 0.0400 y 0.0325 Cmol kg^{-1} , las dosis 1.5 y 1.0 meq/100gr de CaO con 0.00250 y 0.0175 Cmol kg^{-1} , mostraron un efecto no significativo. En comparación al presente estudio en donde el mejor tratamiento es 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo con 2.70 de Sodio en el suelo, seguidamente el tratamiento 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100$ gr de suelo con 2.63, de las cuales superan al trabajo realizado por el autor ya mencionado. Debido a que la fuente de encalado es diferente. También menciona que estos resultados explican que el porcentaje de sodio como base cambiante, constituyo solo una fracción muy pequeña en relación a las demás cationes alcalina y cationes alcalino y alcalino terreos absorbidos calcio, magnesio, potasio, hierro. El sodio aumento la concentraciones iones OH^- y por ende el pH, disminuyendo la concentración de hidrogeno de la solución por el equilibrio logrados entre el complejo de cambio y la solución del suelo.

4.1.13. Efectos sobre el potasio cambiante (K).

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 32), para el efecto sobre el potasio cambiante, muestran que para los bloques existe diferencia estadística significativa, indica que hay diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el efecto sobre el potasio cambiante. Por este motivo se acepta la

hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 7.20 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 32. Análisis de varianza para el efecto sobre el potasio cambiante (K).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.112	0.037	5.74	3.49	5.95	*	0.0113
Dosis	4	0.562	0.141	21.62	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	0.078	0.007					
Total correcto	19	0.752						
CV: 7.20		Media: 1.12						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el efecto sobre el potasio cambiante (tabla 33), se observa que la dosis de 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor efecto en el potasio cambiante con 1.375, seguido por la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 1.200 de potasio cambiante en el suelo, siendo similares estadísticamente con las dosis 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, para el efecto sobre el potasio cambiante en el suelo, el menor efecto sobre el potasio cambiante fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.875.

TABLA 33. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el potasio cambiante (K).

Orden de merito	Dosis	Potasio cambiante (me/100g)	Tukey
1	2.5	1.375	a
2	4.5	1.200	ab
3	1.5	1.125	b
4	0.5	1.025	bc
5	0.0	0.875	c

En la (figura 17), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo aumento el potasio cambiante en el suelo, y al comparar con la tendencia del aluminio, bajo su contenido en el suelo.

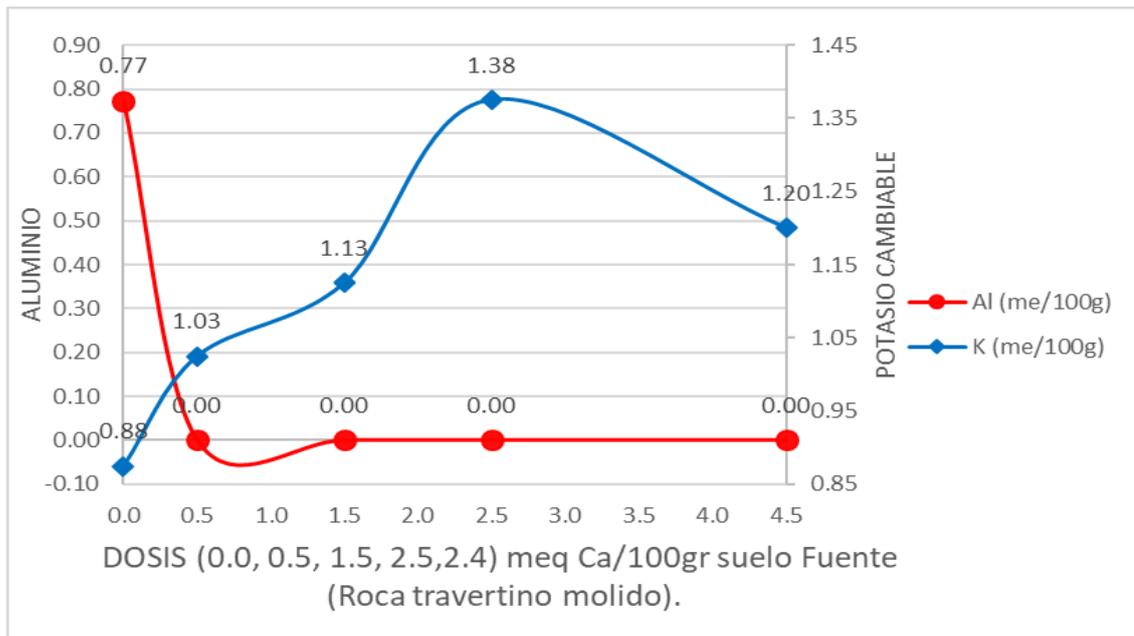


FIGURA 17. Análisis de Potasio Cambiable después del encalado.6

Menciona (Canihua, 1996), que la presencia de las bases cambiables Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+2} y K^{+} del suelo, incrementa su proporción en relación a la acidez cambiabile, aumentando el porcentaje de saturación de bases (PSB). Según el estudio realizado por el autor ya mencionado, encontró mejor respuesta con la aplicación de 2.5 meq/100 gr de CaO con $1.025 \text{ Cmol kg}^{-1}$. Mientras que las dosis 2.0, 1.5, y 1.0 meq/100gr de CaO con 0.897, 0.847 y $0.802 \text{ Cmol kg}^{-1}$, tuvieron un comportamiento similar y de efecto intermedio en relación al suelo problema (testigo). En comparación a los resultados del presente trabajo la mejor dosis es de 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor efecto en el potasio cambiabile con 1.375, seguido por la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 1.200 de potasio cambiabile en el suelo. En donde el contenido de potasio cambiabile es superior a los resultados de este autor, debido a que las fuentes encalantes son diferentes.

4.1.14. Efectos sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 34), para el efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen sobre la capacidad de intercambio catiónico. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente

significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 7.67 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 34. Análisis de varianza para el efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	2.138	0.713	0.48	3.49	5.95	ns	0.7003
Dosis	4	131.563	32.891	22.29	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	17.705	1.475					
Total correcto	19	151.406						
CV: 7.67		Media: 15.84						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre la capacidad de intercambio catiónico (tabla 35), se observa que la dosis de 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo tubo mayor efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico con 18.825, seguido por las dosis 2.5 y 1.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 17.975 y 16.675 de capacidad de intercambio catiónico en el suelo, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, el menor efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 12.200.

TABLA 35. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre la capacidad de intercambio catiónico.

Orden de merito	Dosis	CIC (me/100g)	Tukey
1	4.5	18.825	a
2	2.5	17.975	a
3	1.5	16.675	a
4	0.5	13.500	b
5	0.0	12.200	b

En la (figura 18), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo aumento la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, y al comparar con la tendencia del aluminio, bajo su contenido en el suelo cuando se incrementa el encalado.

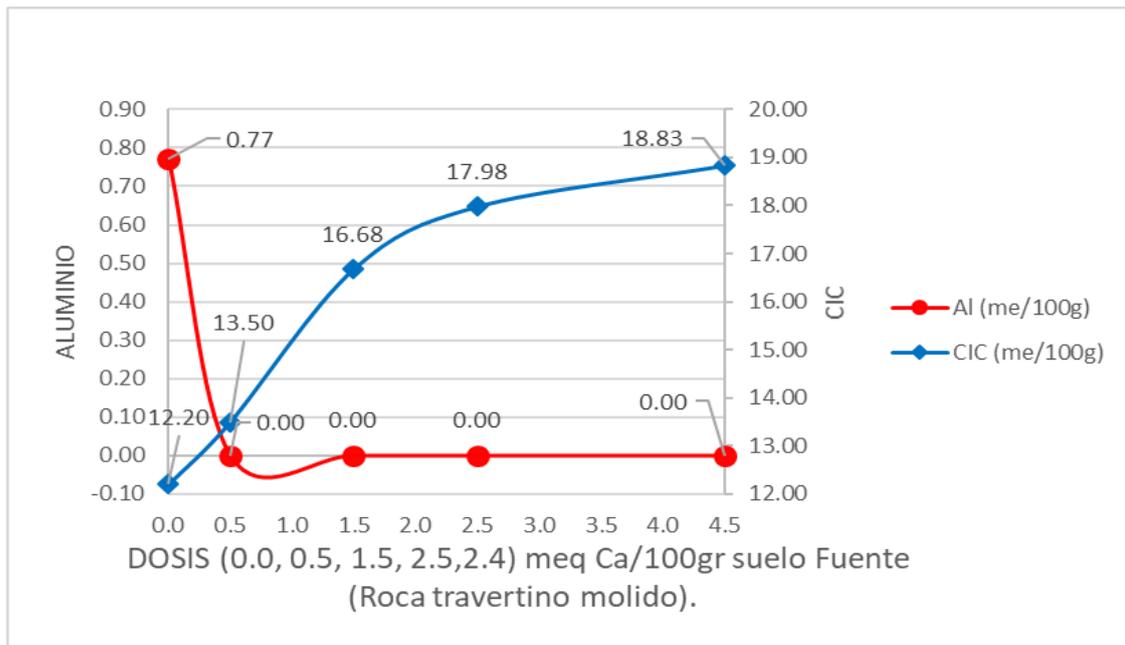


FIGURA 18. Análisis de capacidad de intercambio catiónico (CIC) después del encalado.

Los resultados del presente investigación son similares con los resultados de (Canihua, 1996). Indica que los tratamientos 2.5, 2.0 y 1.5 meq/100gr de CaO con 11.16, 10.83 y 10.18 Cmol kg^{-1} , mostraron resultados en el aumento progresivo de CIC. En cambio el tratamiento 1.0 meq/100gr de CaO con 9.26 Cmol kg^{-1} mostro un efecto muy bajo en relación al suelo problema (testigo). En comparación a los resultados del presente trabajo de investigación la mejor dosis es de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico con 18.825, seguido por las dosis 2.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 17.975 y 16.675 de capacidad de intercambio catiónico en el suelo, en donde superan a los resultados del dicho autor, debido a que las fuentes de encalado son diferentes.

Según (Canihua, 1996). La capacidad de intercambio catiónico aumenta progresivamente, como resultado de que las bases cambiables llegan a saturar el complejo de intercambio en una proporción mayor a la de la acidez cambiabile, como consecuencia de que el aluminio, manganeso, fierro e hidrogeno en exceso es precipitado por la aplicación de óxido de calcio (Cal); esto permite que se establezca mayores lugares de intercambio en el complejo coloidal del suelo, mejorando así las relaciones suelo – planta.

4.1.15. Efectos sobre el carbonato de calcio (CO_3Ca).

El análisis de varianza transformado a datos angulares que se muestra en la (tabla 36), para el efecto sobre el carbonato de calcio (CO_3Ca), muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen sobre el carbonato de calcio (CO_3Ca). Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 15.07 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 36. Análisis de varianza para el porcentaje de carbonato de calcio transformados a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.44281	0.14760	0.49	3.49	5.95	ns	0.6972
Dosis	4	95.28838	23.82209	78.72	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	3.63145	0.30262					
Total correcto	19	99.36264						

CV: 15.07 Media: 3.65

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) sobre el carbonato de calcio transformados a datos angulares (tabla 37), se observa que la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor porcentaje sobre el carbonato de calcio con 1.180 %, seguido por la dosis 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.860 % de carbonato de calcio en el suelo, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas dosis, sobre el carbonato de calcio en el suelo, el menor efecto sobre el carbonato de calcio fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 0.00 %.

TABLA 37. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con transformación a datos angulares de carbonato de calcio.

Orden de merito	Dosis	CO_3Ca (%)	Media transformado.	Tukey
1	4.5	1.180	6.219	a
2	2.5	0.860	5.299	ab
3	1.5	0.518	4.079	b
4	0.5	0.220	2.653	c
5	0.0	0.000	0.000	d

En la (figura 19), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo incremento el carbonato de calcio en el suelo, se ve la línea de tendencia que asciende notablemente el aluminio en el suelo.

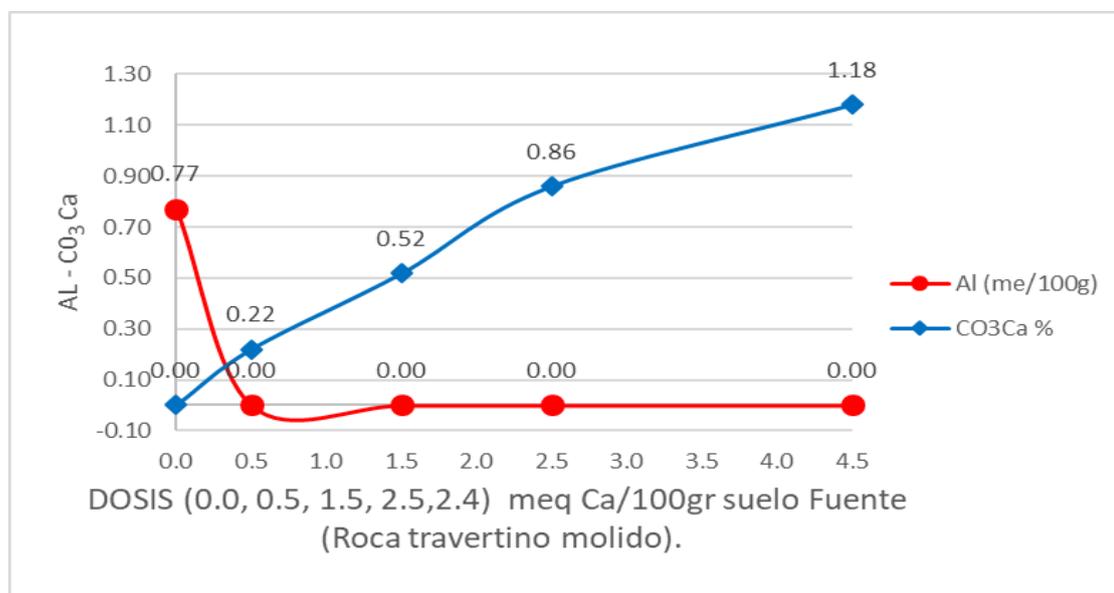


FIGURA 19. Análisis de Carbonato de calcio (CO_3Ca) después del encalado.

Este resultado coincide con lo expuesto por (Bohn, 2002), quien menciona que los iones hidroxilo aportados por el carbonato de calcio, neutralizan la acidez del suelo, y también con lo mencionado por (Espinoza, 1995), quien afirma que los silicatos liberan iones SiO_3^{2-} que también cumple con la misma función. Además presenta relación con los resultados de la experiencia realizada por (Villagarcía 1982), en donde concluyó que la aplicación de cal agrícola logró un incremento del pH para los suelos de San Ramón.

4.1.16. Efectos de la textura del suelo (arena, arcilla y limo)

a. Porcentaje de la arena

El análisis de varianza transformado a datos angulares que se muestra en la (tabla 38), para el porcentaje de arena en el suelo, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino y por la remoción constante de suelos durante la campaña agrícola influyen en el porcentaje de arena. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 3.25 % indica que los datos evaluados son confiables (Vázquez, 1990).

TABLA 38. Análisis de varianza para porcentaje de arena con transformaciones a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	12.13581687	4.045	2.30	3.49	5.95	ns	0.1292
Dosis	4	28.47029761	7.118	4.05	3.26	5.41	*	0.0265
Error	12	21.10229842	1.759					
Total correcto	19	61.70841291						
CV: 3.25		Media: 40.85						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de arena en el suelo con transformaciones a datos angulares (tabla 39), se observa que la dosis de 2.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo tubo mayor porcentaje de arena con 46 %, seguido por la dosis 4.5 y 1.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 44 y 43 % de arena en el suelo respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 2.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre el porcentaje de arena en el suelo, el menor porcentaje de arena fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo con 41 %.

TABLA 39. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para porcentaje de arena con transformaciones a datos angulares.

Orden de merito	Dosis	Arena (%)	Media transformado.	Tukey
1	2.5	46	43	a
2	4.5	44	42	ab
3	1.5	43	41	ab
4	0.0	41	40	b
5	0.5	41	40	b

b. Porcentaje de la arcilla

El análisis de varianza transformado a datos angulares que se muestra en la (tabla 40), para el porcentaje de arcilla en el suelo, muestran que para los bloques existe diferencia estadística significativa, indica que hay diferencia entre bloques, para las dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en el porcentaje de arcilla. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 6.70 % indica que los datos evaluados son confiables (Vázquez, 1990).

TABLA 40. Análisis de varianza para porcentaje de arcilla con transformaciones a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	37.50372025	12.501	5.13	3.49	5.95	*	0.0163
Dosis	4	9.59577182	2.399	0.98	3.26	5.41	ns	0.4520
Error	12	29.22718568	2.436					
Total correcto	19	76.32667775						
CV: 6.70		Media: 23.28						

c. Porcentaje de limo

El análisis de varianza transformado a datos angulares que se muestra en la (tabla 41), para el porcentaje de limo en el suelo, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en el porcentaje de limo. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 4.02 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 41. Análisis de varianza para porcentaje de limo con transformaciones a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	15.9880274	5.329	2.05	3.49	5.95	ns	0.1609
Dosis	4	24.48727984	6.122	2.35	3.26	5.41	ns	0.1128
Error	12	31.22829205	2.602					
Total correcto	19	71.70359928						
CV: 4.02		Media: 40.095						

En la (figura 20), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo aumentara el porcentaje de arena en el suelo y por otro lado por la remoción permanente del suelo durante la campaña agrícola, y es el único que varía en cuanto a la textura del suelo por efecto del encalado con roca travertino. En cuanto al porcentaje de limo y arcilla en el suelo hay una leve variación en el porcentaje de limo y arcilla.

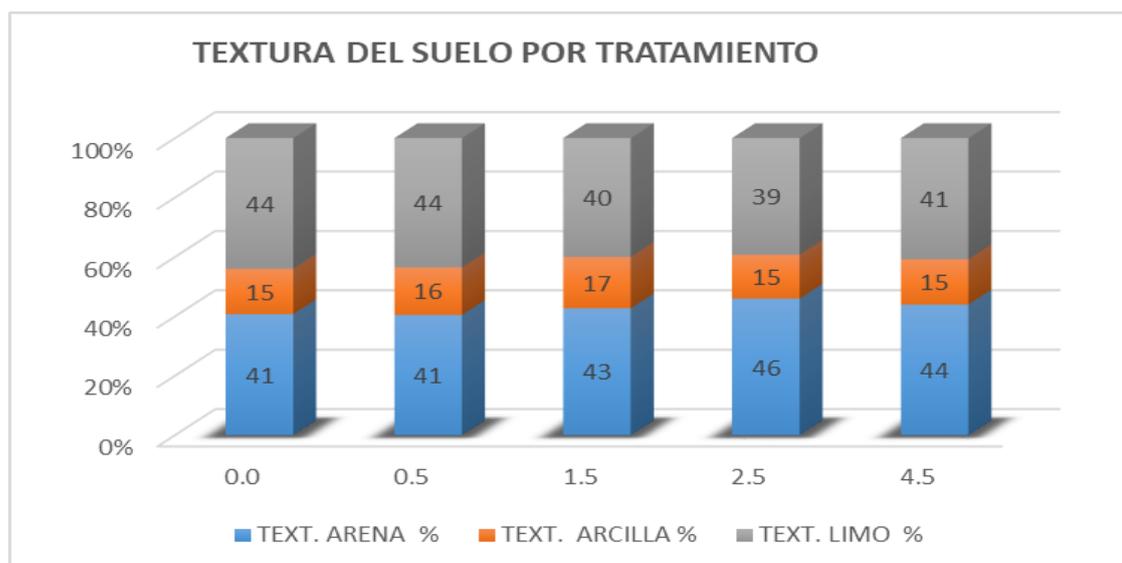


FIGURA 20. Análisis de la textura del suelo (Arena, Arcilla y Limo) después del encalado.

Según (Haynes y Naidu, 1998). Se ha demostrado que el encalado incrementa la población, el tamaño y la actividad de las lombrices de tierra que son muy sensitivas a condiciones acidas del suelo. El aumento en la actividad y población de las lombrices tiene un efecto significativo en la estructura del suelo y la acción barrenadora de las lombrices incrementan los macroporos. Todo esto mejora las condiciones físicas del suelo. Por otro lado, las aplicaciones de cal también mejoran la estabilidad de los agregados del suelo por mecanismo indirectos. Está demostrando que el encalado incrementa el rendimiento del cultivo.

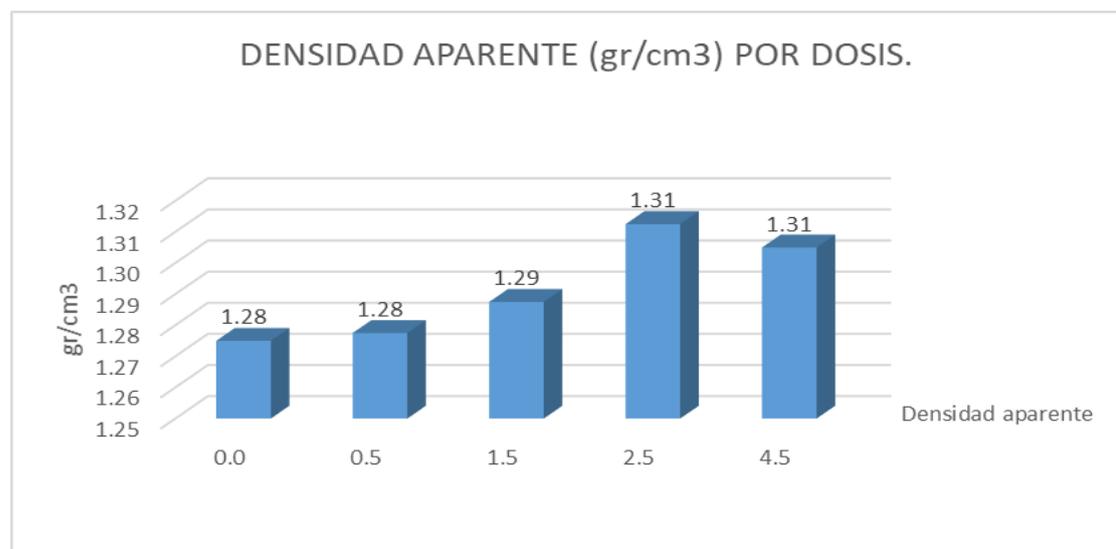
4.1.17. Efectos de la densidad aparente del suelo

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 42), para la densidad aparente del suelo en el suelo, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en la densidad aparente del suelo. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 1.63 % se debe a que los resultados de cada tratamiento y repeticiones no se alejan al promedio general.

TABLA 42. Análisis de varianza para la densidad aparente.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	0.003	0.001	1.92	3.49	5.95	ns	0.1807
Dosis	4	0.004	0.001	2.51	3.26	5.41	ns	0.0970
Error	12	0.005	0.000					
Total correcto	19	0.012						
CV: 1.63		Media: 1.29						

En la (figura 21), se observa que la densidad aparente del suelo incremento con el encalado del suelo con roca travertino con una dosis de 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, pero a diferencia de las de más dosis de aplicación de roca travertino no hay mucha variación es decir que el encalado no afecto en la densidad aparente del suelo.

**FIGURA 21.** Determinación de la densidad aparente del suelo después del encalado.

La densidad aparente del suelo (DA) se define como la masa de suelo seco en una determinada unidad de volumen edáfico (sólidos + poros) (Blake y Hartge, 1986) y su valor se relaciona con la proporción de poros existente en dicho volumen de suelo. Las alteraciones de la densidad aparente a través del tiempo pueden ser debidas al laboreo, al tránsito de implementos, al pisoteo animal, al crecimiento de las raíces y/o al movimiento de la fauna en su interior. Aumentos en la densidad aparente se asocian a ambientes edáficos más pobres para el crecimiento de las raíces, debido a la reducción de la aireación y al aumento de la resistencia a la penetración, y a la generación de cambios no deseados en las funciones hidrológicas, tales como la infiltración y la percolación (Hamza y Anderson, 2005).

4.2. EFECTO DE DOSIS DE ENCLADO CON LA ROCA TRAVERTINO EN EL RENDIMIENTO Y POR CATEGORIAS DEL CULTIVO DE PAPA VAR. IMILLA NEGRA

4.2.1. Efectos de las dosis de enclado, sobre el rendimiento total Kg/ha del cultivo de papa

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 43), para el rendimiento de papa, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de enclado de roca travertino, influyen en el rendimiento de papa. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 3.81 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 43. Análisis de varianza para el rendimiento total de papa kg/ha.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	16497375.0	5499125.0	2.52	3.49	5.95	ns	0.1075
Dosis	4	218825500.0	54706375.0	25.06	3.26	5.41	**	<.0001
Error	12	26199500.0	2183291.7					
Total correcto	19	261522375.0						
CV: 3.81		Media: 38777.50						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento total de papa (tabla 44), se observa que la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor rendimiento total de papa con 41700.50 kg/ha, seguido por la dosis 2.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 41425.00 y 41100.00 kg/ha de rendimiento total de papa respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre el rendimiento total de papa, el menor rendimiento total de papa fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 33688.00 kg/ha.

TABLA 44. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento total de papa kg/ha.

Orden de merito	Dosis	Media Rendimiento total kg/ha	Tukey
1	4.5	41700.50	a
2	2.5	41425.00	a
3	1.5	41100.00	a
4	0.5	35975.00	b
5	0.0	33688.00	b

En la (figura 22), se observa con la aplicación de la roca travertino para el encalado de suelos acido con una dosis de 4.5 meq Ca^{++} /100gr de suelo, se obtuvo mayor rendimiento total de papa, se observa la línea de tendencia ascendente según el incremento de la dosis de encalado y al comparar con la tendencia del aluminio, el rendimiento de papa aumenta cuando el aluminio es bajo en su contenido del suelo.

Estos resultados nos indican que los mayores rendimientos se obtuvieron en las parcelas encaladas, como consecuencias de que los demás elementos nutritivos (macro, micro) del suelo se regularon en sus formas asimilables por la planta: NO_3^- , NH_4^+ , HPO_4^{+4} , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , So_4^- , Fe^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} , Zn^{++} , B^4O_7 , $H_2B_{O_3}$, BO_3^- , MoO_4^- , Cl^- ; por lo tanto los rendimientos se incrementaron en un 50% frente a los parcelas sin aplicación de la Roca travertino.

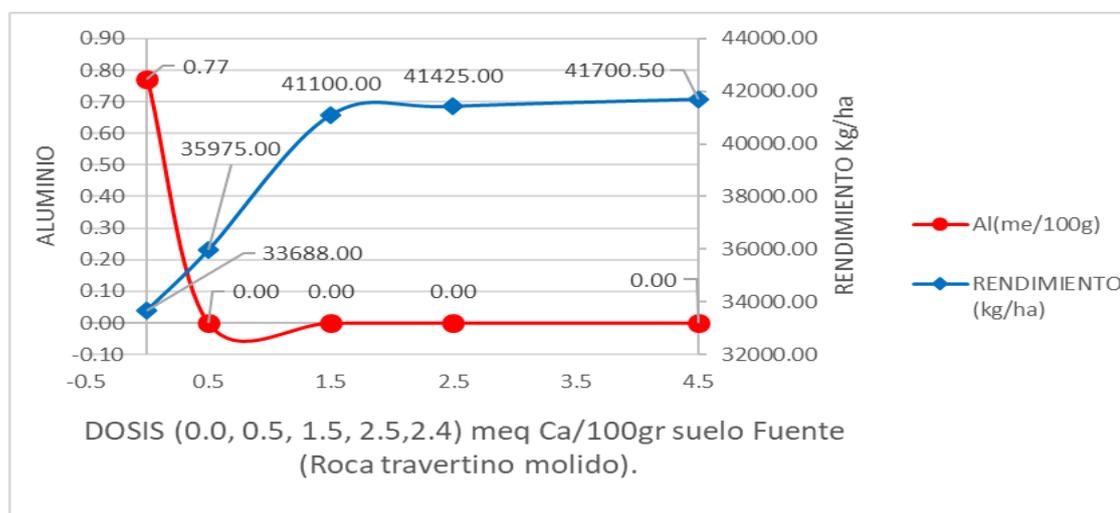


FIGURA 22. Rendimiento total en Kg/ha del cultivo de papa variedad imilla negra a diferentes dosis de calcio.

Según el estudio de (Canihua, 1996), indica que los mejores resultados se lograron con la aplicación de CaO a la dosis de 2.5 meq/ 100gr de suelo con un rendimiento de 91.05 kg/ 20m²; seguido de la dosis de 2.0 meq/100 gr., con un rendimiento de 74. 6kg / 20m². Estos rendimientos en Kg/ha para las dosis de 2.5 y 2.0 meq/100 gr de CaO es de

45,525 y 37,300 kg/ha, respectivamente. En comparación con los resultados obtenidos del presente estudio la mejor dosis es de 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo tubo mayor rendimiento total de papa con 41,701 kg/ha, seguido por la dosis 2.5 y 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 41,425 y 41,100 kg/ha de rendimiento total de papa respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, en donde no supera a los rendimientos del trabajo realizado por Canihua, J. Debido que en la aplicación de encalado son diferentes fuentes de calcio, y se trabajó con otra variedad de papa.

4.2.2. Efectos sobre el rendimiento de la papa kg/ha en categoría (Extra)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 45), para el rendimiento de papa extra, muestran que, para los bloques, existe diferencia estadística significativa, indica que, si hay diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística altamente significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el rendimiento de papa extra. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es altamente significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 13.69 % indica que los datos evaluados son confiables (Vázquez, 1990).

TABLA 45. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Extra).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	54776500.0	18258833.3	5.92	3.49	5.95	*	0.0102
Dosis	4	172041750.0	43010437.5	13.94	3.26	5.41	**	0.0002
Error	12	37022250.0	3085187.5					
Total correcto	19	263840500.0						
CV: 13.69		CV: 12835.00						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento de papa extra (tabla 46), se observa que la dosis de 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo tubo mayor rendimiento de papa extra con 16375.00 kg/ha, seguido por la dosis 2.5 y 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 15062.50 y 13962.50 kg/ha de rendimiento de papa extra respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre el rendimiento de papa extra, el menor el rendimiento de papa extra fue obtenido, por la dosis 0.0 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo con 8900.00 kg/ha.

TABLA 46. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Extra).

Orden de merito	Dosis	Categoría Extra kg/ha.	Tukey
1	4.5	16375.00	a
2	2.5	15062.50	a
3	1.5	13962.50	a
4	0.5	9875.00	b
5	0.0	8900.00	b

En la (figura 23), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo, aumenta el rendimiento de papa extra, se ve las barras en tendencia ascendente según se incrementa el encalado aumenta el rendimiento de papa extra y al comparar con don la dosis 0.0 meq $Ca^{++}/100gr$ de suelo se puede observar una diferencia alta.

(Canihua, 1996), indica que para los rendimientos categorizados se obtuvieron los siguientes resultados, que la categoría gruesa los mejores rendimientos se obtuvieron con las dosis 2.0 y 2.5 meq/100gr de aplicación de enmienda con 10.02 y 9.82 kg/20 m². Estos rendimientos en kg/ha 5,010 y 4,910 kg/ha, respectivamente.

4.2.3. Efecto sobre el rendimiento de la papa en categoría (Primera)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 47), para el rendimiento de papa de primera, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el rendimiento de papa de primera. Por este motivo se acepta la hipótesis alterna ya que es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 12.49 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 47. Análisis de varianza para rendimiento categoría (primera).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	5340375.00	1780125.00	1.90	3.49	5.95	ns	0.1831
Dosis	4	17590750.00	4397687.50	4.70	3.26	5.41	*	0.0163
Error	12	11230250.00	935854.17					
Total correcto	19	34161375.00						
CV: 12.49		Media: 7742.500						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento de papa de primera (tabla 48), se observa que la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor rendimiento de papa de primera con 8712.50 kg/ha, seguido por la dosis 1.5 y 0.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 8687.50 y 7650.00 kg/ha de rendimiento de papa de primera respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre el rendimiento de papa de primera, el menor el rendimiento de papa primera fue obtenido, por la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 6162.50 kg/ha.

TABLA 48. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Primera)

Orden de merito	Dosis	Categoría	Tukey
		Primera kg/ha.	
1	4.5	8712.50	a
2	1.5	8687.50	a
3	0.5	7650.00	ab
4	2.5	7500.00	ab
5	0.0	6162.50	b

En la (figura 23), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 4.5 y 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, aumenta el rendimiento de papa de primer, se ve las barras en tendencia ascendente según se incrementa el encalado aumenta el rendimiento de papa de primera y al comparar con la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo se puede observar una diferencia.

Según (Canihua, 1996), para categoría primera (81 - 100 gr tubérculo), los mejores rendimientos se obtuvieron con las dosis 2.5 y 2.0 meq/100gr de aplicación de enmienda con 33.80 y 43.92 kg/20m² y los rendimientos intermedios de papa se obtuvieron con la aplicación de las dosis 1.5 y 1.0 me/100 gr. de CaO con 35.22 y 29.40 kg/20m².

4.2.4. Efecto sobre el rendimiento de la papa en categoría (Segunda)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 49), para el rendimiento de papa segunda, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, influyen en el rendimiento de papa segunda. Por este motivo se acepta la hipótesis

alterna ya que es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 21.82 % indica que los datos evaluados son confiables (Vázquez, 1990).

TABLA 49. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Segunda)

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	2209375.00	736458.33	0.47	3.49	5.95	ns	0.712
Dosis	4	26105750.00	6526437.50	4.12	3.26	5.41	*	0.0250
Error	12	19001250.00	1583437.50					
Total correcto	19	47316375.00						
CV: 21.82		Media: 5767.500						

La prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento de papa primera (tabla 50), se observa que la dosis de 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo tubo mayor rendimiento de papa segunda con 7162.50 kg/ha, seguido por la dosis 4.5 y 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 6837.50 y 5887.50 kg de rendimiento de papa segunda respectivamente, siendo similares estadísticamente con las dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, esto indica que no hay diferencia significativa entre estas tres dosis, sobre el rendimiento de papa segunda, el menor el rendimiento de papa segunda fue obtenido, por la dosis 0.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con 4275.00 kg/ha.

TABLA 50. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el rendimiento categoría (Segunda)

Orden de merito	Dosis	Categoría Segunda kg/ha.	Tukey
1	1.5	7162.50	a
2	4.5	6837.50	ab
3	2.5	5887.50	ab
4	0.0	4675.00	ab
5	0.5	4275.00	b

En la (figura 23), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, aumenta el rendimiento de papa de segunda, se ve las barras en tendencia ascendente según se incrementa el encalado aumenta el rendimiento de papa de segunda y al comparar con la dosis 0.0 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo se puede observar una diferencia.

Según (Canihua, 1996), para la categoría segunda (tubérculos 61 - 80 gr), los mejores rendimientos se obtuvieron con las dosis 2.5 y 2.0 meq/100gr de aplicación de enmienda con 27.67 y 20.70 kg/20m² y los rendimientos intermedios de papa se

obtuvieron con la aplicación de las dosis 1.5 y 1.0 me/100 gr. de CaO con 16.05 y 12.57kg/20m²

4.2.5. Efectos sobre el rendimiento de la papa en categoría (Tercera)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 51), para el rendimiento de papa tercera, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en el rendimiento de papa tercera. Asimismo, se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 18.73 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 51. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Tercera).

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	14694375.00	4898125.00	3.07	3.49	5.95	ns	0.0690
Dosis	4	14709250.00	3677312.50	2.30	3.26	5.41	ns	0.1182
Error	12	19158750.00	1596562.50					
Total correcto	19	48562375.00						
CV: 18.73		Media: 6747.500						

En la (figura 23), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con las dosis 1.5, 2.5 y 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, baja el rendimiento de papa tercera, se ve las barras en tendencia ascendente según se incrementa el encalado aumenta el rendimiento de papa de tercera y al comparar con la dosis 0.0 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo se puede observar que no hay mucha variación.

4.2.6. Efectos sobre el rendimiento de la papa en categoría (Cuarta)

El análisis de varianza que se muestra en la (tabla 52), para el rendimiento de papa cuarta muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en el rendimiento de papa cuarta. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 24.43 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 52. Análisis de varianza para rendimiento categoría (Cuarta)

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	6390500.00	2130166.67	1.10	3.49	5.95	ns	0.3853
Dosis	4	22046750.00	5511687.50	2.86	3.26	5.41	ns	0.0709
Error	12	23143250.00	1928604.17					
Total correcto	19	51580500.00						
CV: 24.43			Media: 5685.000					

En la (figura 23), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 1.5, 2.5 y 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, baja el rendimiento de papa cuarta, se ve las barras en tendencia ascendente según se incrementa el encalado aumenta el rendimiento de papa tercera y al comparar con la dosis 0.0 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo se puede observar que hay leve diferencia.

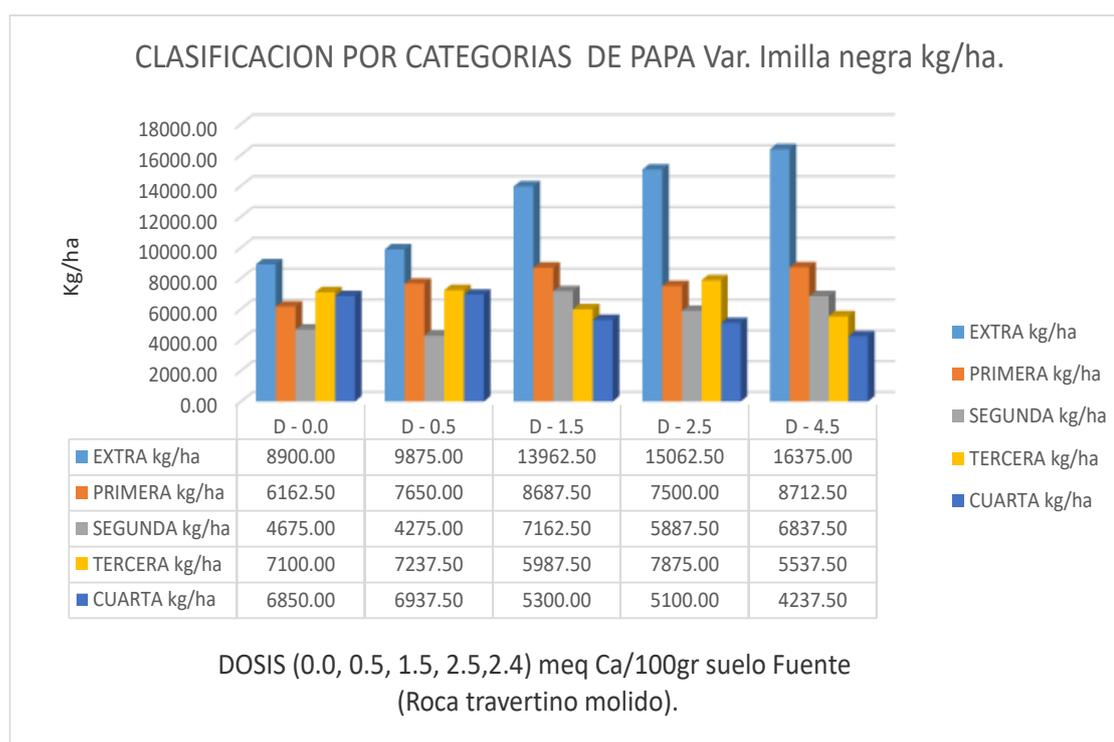


FIGURA 23. Clasificación por categorías de la papa variedad imilla negra kg/ha.

4.2.7. Efecto por número de tubérculos por planta

El análisis de varianza transformado a datos angulares que se muestra en la (tabla 53), para el número de tubérculos por planta, muestran que para los bloques no existe diferencia estadística significativa, indica que no hubo diferencia entre bloques, para las

dosis no existen diferencia estadística significativa, lo cual indica que entre las diferentes dosis de encalado de roca travertino, no influyen en el número de tubérculos por planta. Asimismo se acepta la hipótesis nula ya que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) igual al 8.89 % indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 1990).

TABLA 53. Análisis de varianza para número de tubérculos por planta con transformaciones a datos angulares.

Fuente	G. L.	S. C.	C. M.	FC	0.05	0.01	SIG.	Pr > F
Bloque	3	18.435	6.145	0.62	3.49	5.95	ns	0.6165
Dosis	4	67.986	16.997	1.71	3.26	5.41	ns	0.2124
Error	12	119.317	9.943					
Total correcto	19	205.739						
CV: 8.89		Media: 35.48						

En la (figura 24), se observa que con la aplicación de roca travertino para el encalado de suelos con una dosis 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr de suelo, aumenta el número de tubérculos por planta, se observa la línea de tendencia ascendente según el incremento de las dosis de encalado y al comparar con la tendencia del aluminio, el número de tubérculos por planta aumenta más cuando el aluminio es bajo en su contenido en el suelo.

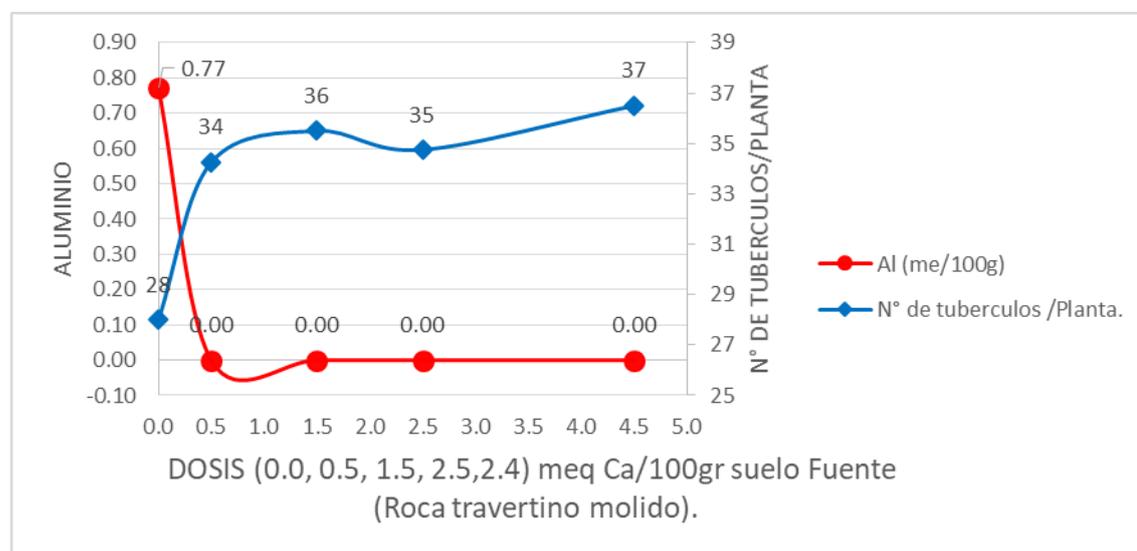


FIGURA 24. Conteo del número de tubérculos por planta.

Los resultados de la presente investigación superan a los resultados de (Canihua, 1996), indica para el número de tubérculos se obtuvieron los siguientes resultados, la mejor cantidad de tubérculos por planta se obtuvieron con las dosis 2.5 y 2.0 meq/100gr de aplicación de enmienda con 19.75 y 15.00 tubérculos/planta.

Según sus resultados (Torres, 2005) menciona, al probar épocas de siembra en la campaña 2001 – 2002 usando estiércol y semilla de categoría certificada y en condiciones de secano obtuvo 12, 13 y 15 tubérculos por planta para la época 1 (siembra de septiembre) y 9, 18 y 9 tubérculos por planta en la época 3 (siembra de noviembre) para las variedades mejoradas Gendarme, Sani imilla y Waycha, respectivamente.

Por otra parte también (Khuno, 2014) obtuvo de 7 a 10 tubérculos por planta en la variedad mejorada Waycha.

Según sus resultados de (Bautista et al., 2018), obtuvo para los tratamientos Imilla Negra sin corte floral e Imilla Negra con corte floral el promedio de tubérculos por planta fue 25 y 25.

4.3. COSTOS DE PRODUCCION A LA APLICACIÓN DE LA ROCA TRAVERTINO EN CULTIVO DE PAPA VAR. IMILLA NEGRA

En la (tabla 54), se observa en el análisis económico en la variedad Imilla Negra con mejor relación beneficio/costo siendo el primero en la dosis 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr suelo con 3.85, con una rentabilidad del 284.69 %, bajo un costo total de S/. 10683.84. La menor relación beneficio/costo fue de 2.50 con la dosis de 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr suelo, que tuvo una rentabilidad del 150.03%. El costo total de la producción fue de S/. 16678.11.

Todas las Dosis de Aplicación de la roca travertino en la papa variedad imilla negra, tienen una relación beneficio costo mayor a uno, indicando que cada sol invertido se ha recuperado su diferencia. Tal es el caso de la dosis donde señala una relación beneficio/costo de 3.85, lo cual indica que se ha ganado 2.85 soles.

TABLA 54. Análisis económico de la producción a la aplicación de la roca travertino en el cultivo de la papa.

INDICADORES	DOSIS (0.0)	DOSIS (0.5)	DOSIS (1.5)	DOSIS (2.5)	DOSIS (4.5)
1. Producción total (Kg)	33688.00	35975.00	41100.00	41425.00	41700.50
2. Costo total (S/.)	9444.40	10510.94	10683.84	12681.93	16678.11
3. Precio venta	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4. Ingreso total (S/.) (V.B.P)	33688.00	35975.00	41100.00	41425.00	41700.50
5. Ingreso Neto	24243.60	25464.06	30416.16	28743.07	25022.39
6. Rentabilidad (%)	256.70	242.26	284.69	226.65	150.03
7. Relación Beneficio/costo.	3.57	3.42	3.85	3.27	2.50

Los resultados obtenidos en relación beneficio costo obtenidos en la variedad de papa nativa Imilla Negra son diferentes y superiores a lo reportado por Roque (2013), quien señala que la relación beneficio costo en papa común (papa blanca, rosada y negra) es de 1.65 esta diferencia puede ser atribuida a los costos elaborados para esta campaña.

Por otro lado los resultados de la presente investigación superan en cuanto en relación beneficio costo a los resultados de (Rojas, 2016). En la variedad “Imilla Negra” el sistema de cosecha con mejor relación beneficio costo es la cosecha Semi mecanizado con 1.76, con una rentabilidad del 75.55%, bajo un costo total de S/. 5 905.41. El sistema de cosecha Mecanizado tuvo menor relación beneficio costo con 0.61, con una rentabilidad del -39.43%, bajo un costo total de S/. 15 271.38. Mientras que la cosecha Tradicional tuvo una relación beneficio costo de 1.11, con una rentabilidad del 11.31%. El costo total de producción fue de S/. 8 684.74. En los sistemas de cosecha Semi mecanizado y tradicional tienen una relación beneficio costo mayor a uno, indicando que por cada sol invertido se ha recuperado su diferencia. Tal es el caso del sistema tradicional donde señala una relación beneficio costo de 1.11, lo cual indica que se ha ganado 0.63 soles. Mientras que en el sistema mecanizado se ha perdido 0.39 soles.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

El encalado del suelo con roca travertino con las diferentes dosis 0.0, 0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ suelo, aumentó la disponibilidad de nitrógeno y potasio, y la restitución del fósforo en el complejo coloidal. El mayor porcentaje de nitrógeno total se obtuvo con la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ suelo con 0.0957%. Mayor potasio disponible se logró con la dosis 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ suelo con 674.44 ppm. En Fosforo disponible no se encontró diferencia estadísticamente porque no hay diferencia en los tratamientos. La reacción del suelo (pH) se incrementó progresivamente a 7.80 con la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo.

La toxicidad de aluminio y hierro, disminuyeron notablemente, con la aplicación de la roca travertino, teniendo mejores resultados con la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo, llegando hasta 0.00 meq $\text{Al}^{+++}/100\text{g}$ de suelo y 0.0025 ppm de Hierro. De igual manera el manganeso disminuye a 0.03 ppm con la aplicación de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo. En cuanto a las bases cambiables, el mayor efecto en calcio se logra en la dosis de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo incrementándose a 9.95 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ de suelo. En cuanto magnesio, el mayor efecto se logra que la dosis de 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$. de suelo, incrementándose el contenido de magnesio a 5.91 meq $\text{Mg}^{++}/100\text{gr}$. suelo. Asimismo, incrementa progresivamente el porcentaje de carbonato de calcio y la concentración de iones de calcio, con la aplicación de 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$. suelo con 1.180%. En las características físicas del suelo se mejoró con la dosis 2.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ de suelo con 46%, y también por la remoción de suelos durante la campaña agrícola.

El mayor rendimiento total de tubérculos de la variedad Imilla Negra fue 41,701 kg/ha, se logró con la dosis 4.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{g}$ de suelo, que supera en 19% al tratamiento testigo que solo se logra 33,688 kg/ha.

En la estimación de costo de producción del cultivo de papa variedad Imilla Negra por hectárea, con la aplicación de roca travertino molido, la dosis 1.5 meq $\text{Ca}^{++}/100\text{gr}$ de suelo con un costo total de S/. 10683.84 obtuvo mayor rentabilidad económica con 284.69% con una relación beneficio/costo de 3.85, este resultado indica que, por cada sol invertido se ganara S/. 2.85.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

Hacer extensivo los resultados obtenidos en el presente estudio para un buen manejo y conservación racional de los suelos con problema de acidez, aplicando las dosis óptimas de cal a fin de optimizar la producción y productividad, mejorando de esta manera la relación suelo – planta. Se sugiere el uso de la roca travertino molida a la dosis de 1.5 y 2.5 meq Ca^{++} /100gr de suelo como enmienda en suelos con problemas de acidez que tienen pH 4.5 a 5.5 a fin de reducir notablemente la toxicidad de aluminio, manganeso y hierro del suelo.

En suelos con problemas de acidez, aplicar la dosis requerida, evitando el sobreencalado, que no es beneficioso para el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. Se recomienda profundizar el estudio de la Roca travertino molida como fuente encalante en otras variedades de papa y otros cultivos de pan llevar que justifique su aplicación.

Realizar estudios en otras campañas agrícolas en cultivo de la papa utilizando como fuente encalante la roca travertino molido, para su menor costo recomienda aplicar la dosis de 1.5 y 0.5 meq Ca^{++} /100gr de suelo, que resultó mejor relación beneficio/costo 3.85 y 3.42 y una rentabilidad económica del 284.69 y 242.26 %.

CAPITULO VII

REFERENCIAS

- Aguilar, A; Alcantara, G y Etchevers, J. (1994). Acidez del suelo y encalado en México. Ed. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México, D. F, pp. 56.
- Aguirre, J. (2001). Estudio de la adición de aluminio a los suelos de la Zona Sur de Chile para modificar su contenido de aluminio intercambiable y aluminio en solución. Tesis Lic. Agr. Valdivia. Universidad Austral, Facultad de Agronomía, pp. 92.
- Aldabe, L. y Santiago, D. (2006). Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. Universidad de la República - Facultad de Agronomía, Uruguay, pp. 16.
- Barredo, S. (2005). Rocas sedimentarias. pp. 43.
<http://introgeo.gl.fcen.uba.ar/Introduccion/Tprocasyeestrucsedim/TProcyestrucsediment.PDF>.
- Bernardo, M. (1992). Programa de encalado de suelos para la corrección del pH en la agricultura de temporal en la localidad de agua zarca del municipio de Totatiche, Jalisco. Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo. Universidad de Guadalajara – Jalisco, pp. 71.
- Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efecto del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Osorno, Chile, pp. 46.
- Blake, GR & KH Hartge. (1986). Bulk Density. *In*: A Klute (*ed*). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, USA, pp. 363-375.
- Bonh, L. H., B. L. McNeal, and G. A. O'Connor. (1993). Química del suelo. Ed. Limusa. México D.F, pp. 370.
- Bohn, H. (2002). Química de suelo. Grupo Noriega Editores. México, pp. 155 – 165.
- Brady, N.C. (2008). The nature and properties of soils, 14th edition. Barcelona, España, pp. 975.

- Buckman, O. H., Brady C.N. (1977). Naturaleza y propiedades de los suelos Edit. Montaner y Simons S.A. Barcelona, España, pp. 590.
- Cahuana, R. y Arcos J. (1993). Variedades de Papa más importantes en Puno y lineamientos para su caracterización. Del programa interinstitucional de waru waru PIWA/PELT/INADE – IC/COTESU Puno, Perú, pp. 52.
- Cahuana, Q. R., Condori, M.T y Flores P.M. (2011). Cosecha, Selección y clasificación de tubérculos de papa. Revista visión agraria año III – Edición N° 11. Puno – Perú.
- Canihua, J. (1996). Efecto del encalado sobre algunas características químicas de un suelo ácido en el cultivo de papa. Tesis: para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo, Puno - Peru, pp. 112.
- Calva, C. (2016). Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo ácido de Loreto, Orellana. Universidad central del Ecuador facultad de Ciencias Agrícolas carrera de Ingeniería Agronómica. Quito – Perú, pp. 59.
- Centro Internacional de la papa. (1984). Informe Anual del Centro Internacional de la Papa, 1983. Lima, Perú. Pg.78.
- Christiansen, J. (1967). El cultivo de la papa en Perú Ed Jurica S.A. Lima, Perú, pp. 351.
- Castro, H y Munever, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales. Tunja, Boyacá, Colombia, pp. 409 - 416.
- Cumming, J.R. y L.H. weinstein. (1990). Aluminum-mycorrhizal interactions in the physiology of pitch pine seedlings. Plant Soil 125, 7-18.
- Domínguez V. A. (1989). Tratado de fertilización. 2ª. Edición. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España, pp. 601.
- Encina, K. (2017). Escoria básica y carbonato de calcio en la recuperación de un suelo ácido de tingo maría, en maíz (*Zea mays*) pm 213 en invernadero”. Universidad Nacional Agraria la Molina Facultad de Agronomía. Lima – Perú, pp. 65.

- Espinoza, J. (1995). Acidez y encalado de los suelos. *Informaciones Agronómicas (INPOFOS)* 20:6-14.
- Espinoza, J y Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute*. Primera edición, pp. 42.
- Fassbender, H. (1984). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. IICA. Turrialba, pp.398.
- Fuentes, Y. J. L. (1999). *El suelo y los fertilizantes*. 5ª. Edición Ed. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Mundi – Prensa. Madrid, España.
- Gaines, R.V., H.C.W. Skinner, E.E. Foord, B. Masen, A. Rosenzweig, V.T. King and E. Dowty. (1997). *Dana's New Mineralogy, Eighth Edition*, New York, John Wiley & Sons.
- Gines N. G. y B. S. Navarro. (2003). *Química Agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- Haynes, R.J, and R. Naidu. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient cycling in agroecosystems* 51: 123 – 137.
- Hernández, R.; Fernández, C, Y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta edición. México, pp. 634.
- Bautista, F; Mita, V; Reynoso, F. (2018). Efecto de la decapitación floral en el rendimiento de tres variedades de papa nativas (Saq´ampaya, Qhati señorita e Imilla Negra) en el altiplano norte Boliviano. *Revista de investigación Agropecuaria y Recursos Naturales*, La Paz – Bolivia, pp.47-58.
- Kamprath, E. (1970). Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34: 252- 254.
- Khuno, B. (2014). Efecto de biol y abonofol en la tolerancia a heladas para la producción de semillas de papa (*Solanum tuberosum*) en la Estación

- Experimental de Choquenaira. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia.
Universidad de San Andrés, Facultad de Agronomía, pp. 130.
- Laroche, F. A. (1966). Calagem en solos tropicaes de clima úmido. *Fitotecnia Latinoamericana* 3 (1-2): 83-97.
- Lescano, R. J. (1994). Genética y Mejoramiento de cultivos alto andinos, Convenio PELT – INADE- COTESU, pp.85.
- Lopez, I. (1980). Respuesta al encalado en suelos oxisoles y ultisoles de Venezuela.
http://www.redpav-fpolar.info.ve/agrotrop/v31_16/v3116a004.html.
- Meza, A. (2006). Evaluación de un mejorador natural (magnocalcio) en el crecimiento de frijol, trigo y lechuga en suelos ácidos. Chapingo – México, pp. 89.
- Montaldo, A. (1984). “Cultivo y mejoramiento de la Papa”. Editorial IICA. San José-Costa Rica”. 301-308p.
- Naranjo, H. (1991). Aspectos de tecnología del cultivo de papa. Ecuador de la fundación para el desarrollo agropecuario de papa Quito, Ecuador, pp 124.
- Norberto, H (1986). Reacción del suelo. Estación experimental agropecuaria Rafaela (INTA). República Argentina, pp19.
http://rafaela.inta.gov.ar/info/miscelaneas/inta_rafaela_miscelanea_041.pdf
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos naturales (ONERN). (1984), Inventario, Evaluación e Integración de los recursos naturales de la micro región de puno (reconocimiento). cap. I climatología. Cap. II: ecología, cap. III: geología cap. IV: hidología, cap. V: suelos. Edit. Onern. Lima- Perú
- Okajima, H. (1980). Habilidad y mejoramiento de suelos derivados de cenizas volcánicas. México. Pg.88.
- Pansu, M. y Gautheyrou, J. (2006). *Handbook of Soil Analysis*, pp. 995.
- Parson, D. (1989). *Manuales para educación agropecuaria papa*. 1º ed. Editorial trillas México, pp. 141.
- Pratt, P. F., and F. L. Bair, (1962). Cation-exchange properties of some acid soils of California. *Hilgardia*, pp. 33.

- Pumisacho, M. y Sherwood, S. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Primera edición. Quito, Ecuador, pp. 231. Recuperado de web: <http://nfxms1019hx1xmtstxk3k9sko.wpengine.netdna-cdn.com/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Rengifo C. e Hidalgo E, (1988). Programa de Recuperación de Suelos Ácidos. Servicio de Extensión Alto Mayo. Moyobamba, Perú, pp. 4.
- Rengifo, Carlos. (2003). Efecto del encalado en un ultisol de la provincia de Lamas, en el rendimiento de maíz amarillo duro y soya en rotación.
- Ricardo Campillo R, (2014). Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcareas en la región de la Araucania. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura. Temuco – Chile.
- Rodríguez, P. M. (2000). Obtención de nuevas variedades rendidoras de papa mediante selección recurrente en Puno. Tesis Maestría en Cultivos andinos. Universidad Nacional del Altiplano – Puno, Perú, pp. 120.
- Rojas, B. (2016). Sistemas de cosecha en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el CIP Illpa – Puno. Universidad Nacional del Altiplano Puno – Perú, pp. 70.
- Román, M y Hurtado, G (2002). Guía técnica de la papa. Del centro de tecnología agropecuaria y forestal (CENTA). Ciudad Arce, El salvador, pp. 36.
- Roque, R. (2013). Manual de costos de producción agropecuaria. 1ra edición. Puno, Perú, pp. 131.
- (Sánchez, 1976). Sanchez, P.A. (1976) Properties and management of soils in the tropics. John Wiley and Sons, New York [http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=498640](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=498640)
- Sanchez P. Salinas J. (2008). Suelos ácidos. Estrategias para su manejo con bajos insumos en América tropical. Sociedad Colombiana de las Ciencias del suelo. pp. 41-45.

- Sumner, M.E.; Shahandeh, H.; Bouton, J.; Hammel, J. (1986). Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil/ Sci. Soc. Am. J.* 50, 1254-1258.
- Tamhane R., V. (1978). *Suelos: Su química y su fertilidad en zonas tropicales*. Editorial Diana. México. D. F.
- Taramasso, Esteban. (1943). *EL travertino*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas. Buenos Aires. pp. 124.
- Torres, S. (2005). *Epocas de siembra y variedades de papas nativas (Solanum tuberosum)*. En la provincia Tomina –Chuquisaca. Tesis de licenciatura. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andres, Facultad de Agronomía, pp. 75.
- Urquiaga, S. (1996), *crop production in deleterious soils with special emphasis on acid soils*. Rio de Janeiro- Brasil. Pg.123.
- Vasquez, V. (1990). *Experimentos agrícolas*. Amaru editores. 1ra ed. Lima, peru.
- Vega, M. (2014). *Efecto de la materia orgánica y encalado del suelo en cebada (Hordeum vulgare L.) variedad una 96 cultivado en invernadero*. Universidad Nacional Agraria la Molina facultad de Agronomía. Lima – Perú, pp. 75.
- Villagarcía, M. (1982). *Control de la toxicidad de aluminio en el cultivo de papa (Solanum tuberosum)*. Tesis Ing. Agr. UNA “La Molina”. pp. 94.
- Villar, B. (2000). *Estrategias para el manejo de suelos ácidos en frejol (Phaseolus vulgaris L.) en el estado de Chiapas, México* *Agronomía Mesoamericana*, Universidad de Costa Rica Alajuela, Costa Rica. Vol. 11, pp. 155 - 158.
- Zanabria, E. y Benegas, M. (1997). *Entomología Económica sostenible*. 1° ed. Aquarium Impresiones Puno, Perú. pp.168.
- Zapata H., R.D. (2004). *La química de la acidez del suelo*. Colombia - Medellín. pp.25

ANEXOS

Anexo 1. Datos de los análisis de caracterización del suelo.

TABLA 55. Datos iniciales de análisis de suelos de las características químicas antes de la siembra.

HORIZONTES Y AREA TOTAL	pH	CE.mm uh/cm	Nutrientes disponibles		Cationes cambiabiles					CIC me/100gr.	C ₀₃ Ca %	MAT. ORG. %	N TOTAL. %		
			P (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g					Na me/100g	K me/100g
H1 0-9	5.34	0.105	6.19	90.00	0.30	0.19	0.86	3.12	2.15	0.10	0.70	7.00	0.00	1.48	0.06
H2 9-31	5.71	0.112	4.60	80.00	0.30	0.22	T	3.20	2.17	1.20	0.90	8.00	0.00	1.00	0.04
H3 31-58	5.89	0.018	1.00	90.00	0.18	0.18	T	3.88	3.10	1.40	0.80	10.00	0.00	0.38	0.01
H4 58-86	6.55	0.119	0.70	70.00	0.00	0.00	0.00	0.70	9.20	1.10	0.10	12.00	0.00	0.30	0.01
H5 86-127	6.75	0.078	0.45	90.00	0.00	0.00	0.00	9.10	8.70	0.90	0.40	18.00	0.00	0.20	0.007
H6 127-150	6.77	0.015	0.35	40.00	0.00	0.00	0.00	3.40	4.80	1.40	0.10	10.00	0.00	0.20	0.007
AREA TOTAL	5.32	0.109	6.15	100.00	0.43	0.28	0.84	3.10	2.00	0.10	0.70	8.00	0.00	1.53	0.07

TABLA 56. Datos iniciales de análisis de suelos de las características físicas antes de la siembra.

HORIZONTES Y CAPA ARABLE	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	TEXTURA	DENSIDAD APARENTE gr/cm ³	CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO DESPUES DEL ENCALADO					
H1 0-9	43	10	47	F	1.27						
H2 9-31	41	16	43	F	1.30						
H3 31-58	49	8	43	F	1.25						
H4 58-86	53	8	39	FA	1.38						
H5 86-127	23	28	49	FAR	1.41						
H6 127-150	51	12	37	F	1.25						
CAPA ARABLE	39	16	45	F	1.28						

TABLA 57. Datos de análisis de suelos de las características químicas después del encalado del suelo en estudio.

BLOQUE	DOSIS	pH	CE:mm uh/cm	Nutrientes disponibles			Cationes cambiables				CIC me/100gr.	CO ₃ Ca %	MAT ORG. %	N TOTAL. %		
				P (ppm)	K (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g					Na me/100g	K me/100g
1	0.0	5.48	0.295	7.70	273.69	0.17	0.21	0.80	5.00	3.90	2.90	0.80	14.00	0.00	2.00	0.07
2	0.0	5.47	0.095	9.25	312.78	0.18	0.18	0.70	3.88	3.60	1.50	0.90	10.80	0.00	2.03	0.07
3	0.0	5.43	0.084	7.40	254.14	0.30	0.20	0.81	5.10	3.88	1.60	1.00	12.00	0.00	2.14	0.07
4	0.0	5.50	0.128	8.20	293.24	0.33	0.27	0.78	4.00	3.54	2.60	0.80	12.00	0.00	2.13	0.07
1	0.5	6.55	0.308	10.45	332.33	0.01	0.02	0.00	5.82	3.92	2.10	0.90	12.00	0.26	2.48	0.09
2	0.5	7.03	0.340	13.45	449.63	0.01	0.00	0.00	6.78	3.62	1.80	1.00	14.00	0.31	2.23	0.09
3	0.5	6.77	0.173	9.75	312.78	0.01	0.02	0.00	6.88	3.92	3.10	1.10	14.00	0.18	2.23	0.09
4	0.5	7.32	0.206	9.60	449.63	0.01	0.01	0.00	6.24	3.66	2.60	1.10	14.00	0.13	2.40	0.09
1	1.5	7.48	0.220	11.20	351.88	0.01	0.00	0.00	6.70	5.72	1.90	1.00	16.00	0.35	2.77	0.08
2	1.5	7.46	0.236	14.60	449.63	0.00	0.02	0.00	9.78	6.10	1.30	1.20	17.00	0.75	2.60	0.09
3	1.5	7.50	0.531	10.10	390.98	0.00	0.01	0.00	7.42	5.84	3.70	1.10	17.00	0.57	2.71	0.09
4	1.5	7.51	0.204	11.55	488.73	0.02	0.01	0.00	7.54	5.98	3.90	1.20	16.70	0.40	2.59	0.10
1	2.5	7.41	0.226	8.30	586.47	0.02	0.01	0.00	9.88	5.12	3.20	1.20	20.00	0.84	2.60	0.09
2	2.5	7.51	0.440	11.15	742.86	0.00	0.00	0.00	9.80	4.90	2.60	1.30	18.00	0.84	2.30	0.08
3	2.5	7.72	0.344	15.20	664.67	0.01	0.00	0.00	9.60	4.72	1.40	1.60	15.90	0.66	2.20	0.08
4	2.5	7.69	0.337	8.45	703.76	0.01	0.00	0.00	9.72	4.52	2.40	1.40	18.00	1.10	2.67	0.09
1	4.5	7.81	0.472	9.55	508.27	0.00	0.00	0.00	9.96	4.70	3.40	1.10	18.80	0.97	2.35	0.10
2	4.5	7.72	0.433	9.40	527.82	0.01	0.01	0.00	9.90	4.30	1.10	1.20	18.00	1.06	2.54	0.10
3	4.5	7.78	0.318	10.20	547.37	0.00	0.00	0.00	9.94	4.52	1.70	1.20	18.40	1.41	2.60	0.09
4	4.5	7.88	0.297	9.05	645.12	0.00	0.00	0.00	10.00	4.46	4.30	1.30	20.10	1.28	2.39	0.10

TABLA 58. Datos transformados para reducir el coeficiente de variabilidad (CV) de las características químicas después del encalado del suelo en estudio.

BLOQUE	DOSIS	CE mmhos/cm.	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Na me/100g.
1	0.0	0.543	0.8426	1.08	1.7029
2	0.0	0.308	0.8246	1.09	1.2247
3	0.0	0.290	0.8367	1.14	1.2649
4	0.0	0.358	0.8775	1.15	1.6125
1	0.5	0.555	0.7211	1.00	1.4491
2	0.5	0.583	0.7071	1.00	1.3416
3	0.5	0.416	0.7211	1.00	1.7607
4	0.5	0.454	0.7141	1.00	1.6125
1	1.5	0.469	0.7078	1.00	1.3784
2	1.5	0.486	0.7211	1.00	1.1402
3	1.5	0.729	0.7141	1.00	1.9235
4	1.5	0.452	0.7141	1.01	1.9748
1	2.5	0.475	0.7141	1.01	1.7889
2	2.5	0.663	0.7071	1.00	1.6125
3	2.5	0.587	0.7071	1.00	1.1832
4	2.5	0.581	0.7071	1.00	1.5492
1	4.5	0.687	0.7071	1.00	1.8439
2	4.5	0.658	0.7141	1.00	1.0488
3	4.5	0.564	0.7071	1.00	1.3038
4	4.5	0.545	0.7071	1.00	2.0736

TABLA 59. Datos transformados a valores angulares de las características químicas después del encalado del suelo.

BLOQUE	DOSIS	N total %	M.O %	Carbonatos CO₃Ca
1	0.0	1.5161	8.1301	0.0000
2	0.0	1.5161	8.1913	0.0000
3	0.0	1.5161	8.4118	0.0000
4	0.0	1.5161	8.3920	0.0000
1	0.5	1.7191	9.0607	2.9228
2	0.5	1.7191	8.5882	3.1917
3	0.5	1.7191	8.5882	2.4316
4	0.5	1.7191	8.9121	2.0663
1	1.5	1.6208	9.5805	3.3916
2	1.5	1.7191	9.2792	4.9682
3	1.5	1.7191	9.4752	4.3299
4	1.5	1.8122	9.2612	3.6261
1	2.5	1.7191	9.2792	5.2586
2	2.5	1.6208	8.7230	5.2586
3	2.5	1.6208	8.5298	4.6599
4	2.5	1.7191	9.4044	6.0203
1	4.5	1.8122	8.8180	5.6521
2	4.5	1.8122	9.1705	5.9094
3	4.5	1.7191	9.2792	6.8196
4	4.5	1.8122	8.8934	6.4962

TABLA 60. Datos de análisis de suelos de las características físicas después del encalado del suelo en estudio.

CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO DESPUES DEL ENCALADO						
BLOQUE	DOSIS	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	TEXTURA	DENSIDAD APARENTE gr/cm ³
1	0.0	37	16	47	F	1.28
2	0.0	39	14	47	F	1.27
3	0.0	45	17	38	F	1.30
4	0.0	42	14	44	F	1.25
1	0.5	38	19	43	F	1.30
2	0.5	41	16	43	F	1.26
3	0.5	43	15	42	F	1.25
4	0.5	40	14	46	F	1.30
1	1.5	42	17	41	F	1.31
2	1.5	45	19	36	F	1.25
3	1.5	39	19	42	F	1.29
4	1.5	45	14	41	F	1.30
1	2.5	43	16	41	F	1.30
2	2.5	47	17	36	F	1.31
3	2.5	46	14	40	F	1.30
4	2.5	48	12	40	F	1.34
1	4.5	43	14	43	F	1.30
2	4.5	45	19	36	F	1.28
3	4.5	42	18	40	F	1.31
4	4.5	46	10	44	F	1.33

TABLA 61. Datos transformados a valores angulares de las características físicas después del encalado del suelo en estudio.

BLOQUE	DOSIS	Carbonatos CO ₃ Ca	Arena %	Arcilla %	Limo %	TEXTURA
1	0.0	0.0000	37	24	43	F
2	0.0	0.0000	39	22	43	F
3	0.0	0.0000	42	24	38	F
4	0.0	0.0000	40	22	42	F
1	0.5	2.9228	38	26	41	F
2	0.5	3.1917	40	24	41	F
3	0.5	2.4316	41	23	40	F
4	0.5	2.0663	39	22	43	F
1	1.5	3.3916	40	24	40	F
2	1.5	4.9682	42	26	37	F
3	1.5	4.3299	39	26	40	F
4	1.5	3.6261	42	22	40	F
1	2.5	5.2586	41	24	40	F
2	2.5	5.2586	43	24	37	F
3	2.5	4.6599	43	22	39	F
4	2.5	6.0203	44	20	39	F
1	4.5	5.6521	41	22	41	F
2	4.5	5.9094	42	26	37	F
3	4.5	6.8196	40	25	39	F
4	4.5	6.4962	43	18	42	F

Anexo 2. Datos del rendimiento de la papa variedad Imilla Negra.**TABLA 62.** Datos del rendimiento total Kg/20m² convertido a kg/ha del cultivo de la papa variedad imilla negra en estudio.

BLOQUE	DOSIS	RENDIMIENTO TOTAL kg/20m².	RENDIMIENTO TOTAL kg/ha.
1	0.0	68.40	34200.00
2	0.0	72.90	36450.00
3	0.0	61.10	30550.00
4	0.0	67.10	33550.00
1	0.5	69.10	34550.00
2	0.5	75.30	37650.00
3	0.5	74.10	37050.00
4	0.5	69.30	34650.00
1	1.5	83.10	41550.00
2	1.5	82.40	41200.00
3	1.5	81.20	40600.00
4	1.5	82.10	41050.00
1	2.5	84.60	42300.00
2	2.5	85.70	42850.00
3	2.5	76.40	38200.00
4	2.5	84.70	42350.00
1	4.5	85.10	42550.00
2	4.5	82.80	41400.00
3	4.5	81.00	40500.00
4	4.5	84.70	42350.00

TABLA 63. Datos de la clasificación de tubérculos de papa por su tamaño para consumo y fresco o procesamiento kg/20m² convertido a kg/ha.

BLOQUE	DOSIS	EXTRA		PRIMERA		SEGUNDA		TERCERA		CUARTA	
		Kg/20m ²	Kg/ha	Kg/20m ²	Kg/ha	Kg/20m ²	Kg/ha	Kg/20m ²	Kg/ha	Kg/20m ²	Kg/ha
1	0.0	16.20	8100.00	12.10	6050.00	12.00	6000.00	14.80	7400.00	13.30	6650.00
2	0.0	27.50	13750.00	15.00	7500.00	10.40	5200.00	10.00	5000.00	10.00	5000.00
3	0.0	14.00	7000.00	7.10	3550.00	7.00	3500.00	14.50	7250.00	18.50	9250.00
4	0.0	13.50	6750.00	15.10	7550.00	8.00	4000.00	17.50	8750.00	13.00	6500.00
1	0.5	25.00	12500.00	16.50	8250.00	7.10	3550.00	9.50	4750.00	11.00	5500.00
2	0.5	23.50	11750.00	16.30	8150.00	10.50	5250.00	12.50	6250.00	12.50	6250.00
3	0.5	14.50	7250.00	14.20	7100.00	13.00	6500.00	20.40	10200.00	12.00	6000.00
4	0.5	16.00	8000.00	14.20	7100.00	3.60	1800.00	15.50	7750.00	20.00	10000.00
1	1.5	25.20	12600.00	17.10	8550.00	14.00	7000.00	12.50	6250.00	14.30	7150.00
2	1.5	35.00	17500.00	16.50	8250.00	12.00	6000.00	10.50	5250.00	8.40	4200.00
3	1.5	25.00	12500.00	18.60	9300.00	15.70	7850.00	11.50	5750.00	10.40	5200.00
4	1.5	26.50	13250.00	17.30	8650.00	15.60	7800.00	13.40	6700.00	9.30	4650.00
1	2.5	28.50	14250.00	15.50	7750.00	12.50	6250.00	18.00	9000.00	10.10	5050.00
2	2.5	36.00	18000.00	15.50	7750.00	13.10	6550.00	12.00	6000.00	9.10	4550.00
3	2.5	26.00	13000.00	14.50	7250.00	10.50	5250.00	15.00	7500.00	10.40	5200.00
4	2.5	30.00	15000.00	14.50	7250.00	11.00	5500.00	18.00	9000.00	11.20	5600.00
1	4.5	37.50	18750.00	17.50	8750.00	15.30	7650.00	8.50	4250.00	6.30	3150.00
2	4.5	31.30	15650.00	20.50	10250.00	12.00	6000.00	10.50	5250.00	8.50	4250.00
3	4.5	30.10	15050.00	15.00	7500.00	13.40	6700.00	13.00	6500.00	9.50	4750.00
4	4.5	32.10	16050.00	16.70	8350.00	14	7000.00	12.3	6150.00	9.60	4800.00

TABLA 64. Datos del número de tubérculos por planta en estudio.

BLOQUE	DOSIS	NUMERO DE TUBERCULOS/PLANTA
1	0.0	25
2	0.0	26
3	0.0	29
4	0.0	32
1	0.5	29
2	0.5	40
3	0.5	27
4	0.5	41
1	1.5	44
2	1.5	29
3	1.5	36
4	1.5	33
1	2.5	37
2	2.5	35
3	2.5	29
4	2.5	38
1	4.5	39
2	4.5	34
3	4.5	38
4	4.5	35

TABLA 65. Datos transformados a valores angulares el número de tubérculos por planta en estudio.

BLOQUE	DOSIS	NUMERO DE TUBERCULOS/PLANTA
1	0.0	30
2	0.0	31
3	0.0	33
4	0.0	34
1	0.5	33
2	0.5	39
3	0.5	31
4	0.5	40
1	1.5	42
2	1.5	33
3	1.5	37
4	1.5	35
1	2.5	37
2	2.5	36
3	2.5	33
4	2.5	38
1	4.5	39
2	4.5	36
3	4.5	38
4	4.5	36

Anexo 3. Costos de Producción.

TABLA 66. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con primera dosis de (0.0 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.

CULTIVO: Papa *Solanum tuberosum* Var. Imilla Negra.

DOSIS: 0.0 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo

AREA: 1 ha.

LOCALIDAD: CIP – CAMACANI – UNA - PUNO.

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha).	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Insumos				2729.71
1.1 Semilla imilla negra	Kg	1300	1.40	1820.00
1.2 Abonamiento y fertilización				
1.2.1 Abonos.				
Estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240.00
1.2.2 Fertilizantes				
Urea	Kg	261	1.50	391.31
Superfosfato triple de calcio	Kg	174	1.60	278.40
2. Maquinas o instrumentos agrícolas				960.00
2.1 Preparación del terreno				
Arado /roturado (tractor)	Hrs/Maq	6	50.00	300.00
Rastra cruzada (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
Surcado (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.2. siembra				
Tapado de semillas (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.3 Cosecha				
Cosechadora (Desenterrador de tubérculo)	Hrs/Maq	3	70.00	210.00
3. Mano de obras.				2970.00
3.1 Preparación del terreno				
Nivelado manual	Jornal	4	35.00	140.00
Limpieza	Jornal	3	35.00	105.00
3.2 siembra				
Desinfección de semilla	Jornal	3	35.00	105.00
Colocación de la semilla	Jornal	5	35.00	175.00

Primer abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
3.3 Labores culturales				
Deshierbo	Jornal	10	35.00	350.00
Aporque	Jornal	15	35.00	525.00
Segundo abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
Control fitosanitario	Jornal	5	35.00	175.00
3.4 Cosecha				
Recojo a mano	Jornal	7	30.00	210.00
Traslado y amontonado	Jornal	8	30.00	240.00
Selección y clasificación	Jornal	10	35.00	350.00
Ensayado, pesado y almacenado.	Jornal	7	35.00	245.00
4. Otros materiales e insumos				1030.00
Sacos de polipropileno	Unidad	130	1.00	130.00
Cohetes de arranque	Docena	3	20.00	60.00
Picos	Unidad	12	25.00	300
Palas	Unidad	4	35.00	140.00
Carretilla	Unidad	2	200.00	400.00
5. Transporte				777.33
Insumos	S/Kg	1300	0.06	78.00
Producto cosechado	S/kg	17483.33	0.04	699.33
A. SUBTOTAL C. DIRECTO				8467.04
B. COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler del terreno	Ha	1	150.00	150.00
Análisis de caracterización de suelos	Muestra	1	150.00	150.00
Gastos Administrativos	%	8	8467.04	677.363
B.SUBTOTAL C. INDIRECTO				977.36
III.COSTO TOTAL (A+B)				9444.40

TABLA 67. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con segunda dosis de (0.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.

CULTIVO: Papa *Solanum tuberosum* Var. Imilla Negra.

DOSIS: 0.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo

AREA: 1 ha.

LOCALIDAD: CIP – CAMACANI – UNA - PUNO.

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha).	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Insumos				3637.25
1.1 Semilla imilla negra	Kg	1300	1.40	1820.00
1.2 Abonamiento y fertilización				
1.2.1 Abonos.				
Estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240.00
1.2.2 Fertilizantes				
Urea	Kg	261	1.50	391.31
Superfosfato triple de calcio	Kg	174	1.60	278.40
1.3 Fuente encalante				
Roca travertino molido	Kg	907.54	1.00	907.54
2. Maquinas o instrumentos agrícolas				960.00
2.1 Preparación del terreno				
Arado /roturado (tractor)	Hrs/Maq	6	50.00	300.00
Rastra cruzada (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
Surcado (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.2. siembra				
Tapado de semillas (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.3 Cosecha				
Cosechadora (Desenterrador de tubérculo)	Hrs/Maq	3	70.00	210.00
3. Mano de obras.				3050.00
3.1 Preparación del terreno				
Nivelado manual	Jornal	4	35.00	140.00
Limpieza	Jornal	3	35.00	105.00
3.2 siembra				
Desinfección de semilla	Jornal	3	35.00	105.00
Colocación de la	Jornal	5	35.00	175.00

semilla				
Aplicación de las fuente encalante	Jornal	4	35.00	140.00
Primer abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
3.3 Labores culturales				
Deshierbo	Jornal	10	35.00	350.00
Aporque	Jornal	15	35.00	525.00
Segundo abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
Control fitosanitario	Jornal	5	35.00	175.00
3.4 Cosecha				
Recojo a mano	Jornal	5	30.00	150.00
Traslado y amontonado	Jornal	8	30.00	240.00
Selección y clasificación	Jornal	10	35.00	350.00
Ensayado, pesado y almacenado.	Jornal	7	35.00	245.00
4. Otros materiales e insumos				1030.00
Sacos de polipropileno	Unidad	130	1.00	130.00
Cohetes de arranque	Docena	3	20.00	60.00
Picos	Unidad	12	25.00	300
Palas	Unidad	4	35.00	140.00
Carretilla	Unidad	2	200.00	400.00
5. Transporte				777.33
Insumos	S/Kg	1300	0.06	78.00
Producto cosechado	S/kg	17483.33	0.04	699.33
A. SUBTOTAL C. DIRECTO				9454.58
B. COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler del terreno	Ha	1	150.00	150.00
Análisis de caracterización de suelos	Muestra	1	150.00	150.00
Gastos Administrativos	%	8	9454.58	756.366
B.SUBTOTAL C. INDIRECTO				1056.37
III.COSTO TOTAL (A+B)				10510.94

TABLA 68. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con tercera dosis de (1.5 meq Ca⁺⁺/100gr. en la variedad imilla negra.

CULTIVO: Papa *Solanum tuberosum* Var. Imilla Negra.

DOSIS: 1.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo

AREA: 1 ha.

LOCALIDAD: CIP – CAMACANI – UNA - PUNO.

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha).	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Insumos				3632.34
1.1 Semilla imilla negra	Kg	1300	1.40	1820.00
1.2 Abonamiento y fertilización				
1.2.1 Abonos.				
Estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240.00
1.2.2 Fertilizantes				
Urea	Kg	261	1.50	391.31
Superfosfato triple de calcio	Kg	174	1.60	278.40
1.3 Fuente encalante				
Roca travertino molido	Kg	2722.63	1.00	2722.63
2. Maquinas o instrumentos agrícolas				960.00
2.1 Preparación del terreno				
Arado /roturado (tractor)	Hrs/Maq	6	50.00	300.00
Rastra cruzada (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
Surcado (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.2. siembra				
Tapado de semillas (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.3 Cosecha				
Cosechadora (Desenterrador de tubérculo)	Hrs/Maq	3	70.00	210.00
3. Mano de obras.				3215.00
3.1 Preparación del terreno				
Nivelado manual	Jornal	4	35.00	140.00
Limpieza	Jornal	3	35.00	105.00
3.2 siembra				
Desinfección de semilla	Jornal	3	35.00	105.00
Colocación de la semilla	Jornal	5	35.00	175.00

Aplicación de las fuente encalante	Jornal	7	35.00	245.00
Primer abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
3.3 Labores culturales				
Deshierbo	Jornal	10	35.00	350.00
Aporque	Jornal	15	35.00	525.00
Segundo abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
Control fitosanitario	Jornal	5	35.00	175.00
3.4 Cosecha				
Recojo a mano	Jornal	7	30.00	210.00
Traslado y amontonado	Jornal	8	30.00	240.00
Selección y clasificación	Jornal	10	35.00	350.00
Ensayado, pesado y almacenado.	Jornal	7	35.00	245.00
4. Otros materiales e insumos				1030.00
Sacos de polipropileno	Unidad	130	1.00	130.00
Cohetes de arranque	Docena	3	20.00	60.00
Picos	Unidad	12	25.00	300
Palas	Unidad	4	35.00	140.00
Carretilla	Unidad	2	200.00	400.00
5. Transporte				777.33
Insumos	S/Kg	1300	0.06	78.00
Producto cosechado	S/kg	17483.33	0.04	699.33
A. SUBTOTAL C. DIRECTO				9614.67
B. COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler del terreno	Ha	1	150.00	150.00
Análisis de caracterización de suelos	Muestra	1	150.00	150.00
Gastos Administrativos	%	8	9614.67	769.173
B.SUBTOTAL C. INDIRECTO				1069.17
III.COSTO TOTAL (A+B)				10683.84

TABLA 69. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con cuarta dosis de (2.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.

CULTIVO: Papa *Solanum tuberosum* Var. Imilla Negra.

DOSIS: 2.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo

AREA: 1 ha.

LOCALIDAD: CIP – CAMACANI – UNA - PUNO.

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha).	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Insumos				5447.42
1.1 Semilla imilla negra	Kg	1300	1.40	1820.00
1.2 Abonamiento y fertilización				
1.2.1 Abonos.				
Estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240.00
1.2.2 Fertilizantes				
Urea	Kg	261	1.50	391.31
Superfosfato triple de calcio	Kg	174	1.60	278.40
1.3 Fuente encalante				
Roca travertino molido	Kg	4537.71	1.00	4537.71
2. Maquinas o instrumentos agrícolas				960.00
2.1 Preparación del terreno				
Arado /roturado (tractor)	Hrs/Maq	6	50.00	300.00
Rastra cruzada (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
Surcado (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.2. siembra				
Tapado de semillas (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.3 Cosecha				
Cosechadora (Desenterrador de tubérculo)	Hrs/Maq	3	70.00	210.00
3. Mano de obras.				3250.00
3.1 Preparación del terreno				
Nivelado manual	Jornal	4	35.00	140.00
Limpieza	Jornal	3	35.00	105.00
3.2 siembra				
Desinfección de semilla	Jornal	3	35.00	105.00
Colocación de la	Jornal	5	35.00	175.00

semilla				
Aplicación de las fuente encalante	Jornal	8	35.00	280.00
Primer abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
3.3 Labores culturales				
Deshierbo	Jornal	10	35.00	350.00
Aporque	Jornal	15	35.00	525.00
Segundo abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
Control fitosanitario	Jornal	5	35.00	175.00
3.4 Cosecha				
Recojo a mano	Jornal	7	30.00	210.00
Traslado y amontonado	Jornal	8	30.00	240.00
Selección y clasificación	Jornal	10	35.00	350.00
Ensayado, pesado y almacenado.	Jornal	7	35.00	245.00
4. Otros materiales e insumos				1030.00
Sacos de polipropileno	Unidad	130	1.00	130.00
Cohetes de arranque	Docena	3	20.00	60.00
Picos	Unidad	12	25.00	300.00
Palas	Unidad	4	35.00	140.00
Carretilla	Unidad	2	200.00	400.00
5. Transporte				777.33
Insumos	S/Kg	1300	0.06	78.00
Producto cosechado	S/kg	17483.33	0.04	699.33
A. SUBTOTAL C. DIRECTO				11464.75
B. COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler del terreno	Ha	1	150.00	150.00
Análisis de caracterización de suelos	Muestra	1	150.00	150.00
Gastos Administrativos	%	8	11464.75	917.180
B.SUBTOTAL C. INDIRECTO				1217.18
III.COSTO TOTAL (A+B)				12681.93

TABLA 70. Costos de producción a la aplicación de la roca travertino con quinta dosis de (4.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo) en el cultivo de la papa en la variedad imilla negra.

CULTIVO: Papa *Solanum tuberosum* Var. Imilla Negra.

DOSIS: 4.5 meq Ca⁺⁺/100gr.suelo

AREA: 1 ha.

LOCALIDAD: CIP – CAMACANI – UNA - PUNO.

COSTOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD (Ha).	COSTO UNITARIO (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
A. COSTOS DIRECTOS				
1. Insumos				9077.58
1.1 Semilla imilla negra	Kg	1300	1.40	1820.00
1.2 Abonamiento y fertilización				
1.2.1 Abonos.				
Estiércol de ovino	Kg	2000	0.12	240.00
1.2.2 Fertilizantes				
Urea	Kg	261	1.50	391.31
Superfosfato triple de calcio	Kg	174	1.60	278.40
1.3 Fuente encalante				
Roca travertino molido	Kg	8168	1.00	8167.88
2. Maquinas o instrumentos agrícolas				960.00
2.1 Preparación del terreno				
Arado /roturado (tractor)	Hrs/Maq	6	50.00	300.00
Rastra cruzada (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
Surcado (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.2. siembra				
Tapado de semillas (tractor)	Hrs/Maq	3	50.00	150.00
2.3 Cosecha				
Cosechadora (Desenterrador de tubérculo)	Hrs/Maq	3	70.00	210.00
3. Mano de obras.				3320.00
3.1 Preparación del terreno				
Nivelado manual	Jornal	4	35.00	140.00
Limpieza	Jornal	3	35.00	105.00
3.2 siembra				
Desinfección de semilla	Jornal	3	35.00	105.00
Colocación de la	Jornal	5	35.00	175.00

semilla				
Aplicación de las fuente encalante	Jornal	10	35.00	350.00
Primer abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
3.3 Labores culturales				
Deshierbo	Jornal	10	35.00	350.00
Aporque	Jornal	15	35.00	525.00
Segundo abonamiento y fertilización	Jornal	5	35.00	175.00
Control fitosanitario	Jornal	5	35.00	175.00
3.4 Cosecha				
Recojo a mano	Jornal	7	30.00	210.00
Traslado y amontonado	Jornal	8	30.00	240.00
Selección y clasificación	Jornal	10	35.00	350.00
Ensayado, pesado y almacenado.	Jornal	7	35.00	245.00
4. Otros materiales e insumos				1030.00
Sacos de polipropileno	Unidad	130	1.00	130.00
Cohetes de arranque	Docena	3	20.00	60.00
Picos	Unidad	12	25.00	300
Palas	Unidad	4	35.00	140.00
Carretilla	Unidad	2	200.00	400.00
5. Transporte				777.33
Insumos	S/Kg	1300	0.06	78.00
Producto cosechado	S/kg	17483.33	0.04	699.33
A. SUBTOTAL C. DIRECTO				15164.92
B. COSTOS INDIRECTOS				
Alquiler del terreno	Ha	1	150.00	150.00
Análisis de caracterización de suelos	Muestra	1	150.00	150.00
Gastos Administrativos	%	8	15164.92	1213.193
B.SUBTOTAL C. INDIRECTO				1513.19
III.COSTO TOTAL (A+B)				16678.11

PANEL FOTOGRAFICO

FIGURA 25. Apertura de una calicata y muestreo de suelo del área total para el análisis inicial de caracterización en laboratorio de suelos y aguas. 16/10/17



FIGURA 26. Roturación y preparación del área experimental. 17/10/17



FIGURA 27. Marcado del terreno para tratamientos en estudio. 28/10/17



FIGURA 28. Apertura de surcos para la siembra y tapado de la papa. 01/11/17



FIGURA 29. Aplicación de la fuente encalante la roca travertino molido por tratamientos o dosis. 01/11/17



FIGURA 30. Siembra del cultivo de papa variedad imilla negra. 01/11/17



FIGURA 31. Después de la aplicación de la fuente encalante por tratamientos o dosis y la siembra de la papa. 01/11/17



FIGURA 32. Deshierbo y aporque del cultivo de la papa. 09/01/18



FIGURA 33. Control fitosanitario de la papa. 25/02/18



FIGURA 34. Muestran deficiencias nutricionales de fósforo en los bordes de las hojas en los testigos. 30/01/18



FIGURA 35. Evaluación del desarrollo de la papa en la fase fenológica de la floración. 03/03/18



FIGURA 36. Cosecha de la papa variedad imilla negra. 21/04/18



FIGURA 37. Clasificación de tubérculo de papa por su tamaño para consumo y fresco o procesamiento en estudio. 12/05/18



FIGURA 38. Evaluación el número de tubérculos por planta. 21/04/18



FIGURA 39. Recolección de muestras para el análisis de caracterización después de la cosecha de la papa. 22/04/18



FIGURA 40. Secado de muestras de suelo después del encalado para el análisis de caracterización. 09/07/18



FIGURA 41. Pesado de muestras para el análisis de caracterización del suelo después del encalado. 18/07/18



FIGURA 42. Análisis pH del suelo después del encalado. 18/07/18



FIGURA 43. Análisis de la C.E mmhos/cm del suelo después del encalado. 18/07/18



FIGURA 44. Lectura del Fosforo Disponible del suelo después del encalado. 19/07/18



FIGURA 45. Preparación de muestras para el análisis de capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio cambiante, sodio cambiante, hierro y aluminio del suelo después del encalado. 19/07/18



FIGURA 46. Análisis de carbonato de calcio del suelo después del encalado. 01/08/18



FIGURA 47. Determinación del porcentaje de la textura del suelo (arena, arcilla y limo) después del encalado. 01/08/18

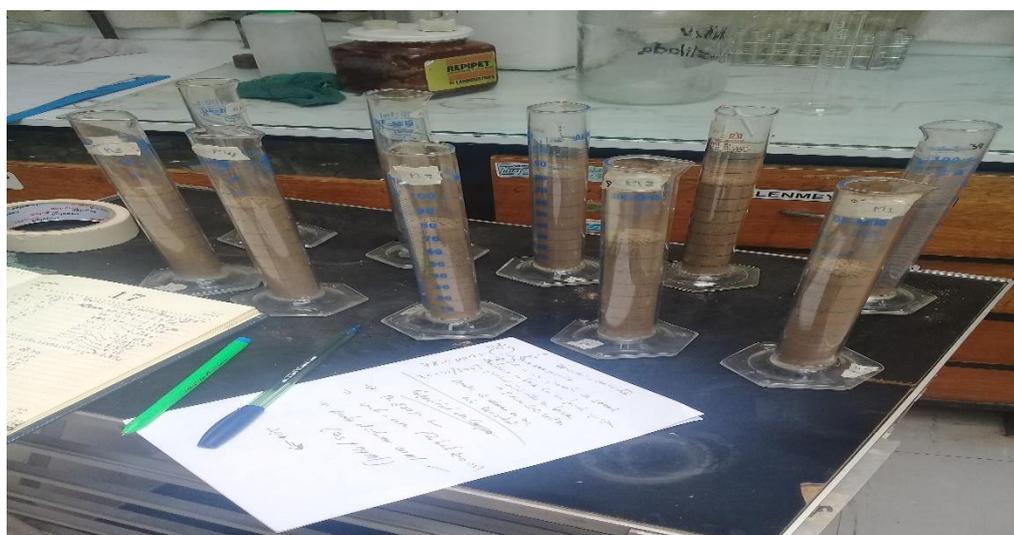


FIGURA 48. Determinación de la densidad aparente del suelo después del encalado. 07/08/18



FIGURA 49. Certificado de Análisis de la Roca travertino. Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 SERVICIO NACIONAL DE LABORATORIOS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av. La Molina 1981 - La Molina Lima



ANALISIS DE CARACTERIZACION

Nombre: Christiam Rudy Asqui Saraza.
 Procedencia: CIP Camacani - Plateria.
 Fecha de Recepción: 26 de Octubre del 2017. Fecha de Certificación: 06 de Noviembre del 2017
 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	306A4	H1 0-9	43	10	47	F	0,00		1,48	0,06
2	306A5	H2 9-31	41	16	43	F	0,00		1,00	0,04
3	306B1	H3 31-58	49	8	43	F	0,00		0,38	0,01
4	306B2	H4 58-86	53	8	39	FA	0,00		0,30	0,01
5	306B3	H5 86-127	23	28	49	FAt	0,00		0,20	0,007
6	306B4	H6 127-150	51	12	37	F	0,00		0,20	0,007
7	306B5	Area total	39	16	45	F	0,00		1,53	0,07

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)	Fe (ppm)		Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g	Na me/100g	K me/100g		
1	5,34	0,105	6,19	90,00	0,30	0,19		0,86	3,12	2,15	0,10	0,70	7,00	6,93
2	5,71	0,112	4,60	80,00	0,30	0,22		T	3,20	2,17	1,20	0,90	8,00	7,47
3	5,89	0,018	1,00	90,00	0,18	0,18		T	3,88	3,10	1,40	0,80	10,00	9,18
4	6,55	0,119	0,70	70,00	0,00	0,00		0,00	0,70	9,20	1,10	0,10	12,00	11,10
5	6,75	0,078	0,45	90,00	0,00	0,00		0,00	9,10	8,70	0,90	0,40	18,00	19,10
6	6,77	0,015	0,35	40,00	0,00	0,00		0,00	3,40	4,80	1,40	0,10	10,00	9,70
7	5,32	0,109	6,15	100,00	0,43	0,28		0,84	3,10	2,00	0,10	0,70	8,00	6,74

Referencias:

Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División of Agricultural Sciences E.U.A. Sexta reimpresión, 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.



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

Los resultados son aplicables a estas muestras.

www.inia.gob.pe

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

FIGURA 50. Certificado de análisis de caracterización de suelo antes de la siembra. (Datos iniciales). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 SERVICIO NACIONAL DE LABORATORIOS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av. La Molina 1981 - La Molina Lima



ANALISIS DE CARACTERIZACION

Nombre: Christiam Rudy Asqui Saraza.
 Procedencia: CIP Camacani - Plateria.
 Fecha de Recepción: 13 de Junio del 2018. Fecha de Certificación: 10 de Agosto del 2018
 Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

N°	Cod. Lab.	MARCAS	ANALISIS MECANICO				CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arcilla	Limo	Textura				
			%	%	%					
1	308D5	BI-T1	37	16	47	F	0,00		2,00	0,07
2	308E1	BI-T2	38	19	43	F	0,26		2,48	0,09
3	308E2	BI-T3	42	17	41	F	0,35		2,77	0,08
4	308E3	BI-T4	43	16	41	F	0,84		2,60	0,09
5	308E4	BI-T5	43	14	43	F	0,97		2,35	0,10
6	308E5	BII-T1	39	14	47	F	0,00		2,03	0,07
7	308F1	BII-T2	41	16	43	F	0,31		2,23	0,09
8	308F2	BII-T3	45	19	36	F	0,75		2,60	0,09
9	308F3	BII-T4	47	17	36	F	0,84		2,30	0,08
10	308F4	BII-T5	45	19	36	F	1,06		2,54	0,10

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

N°	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)	Fe (ppm)		Al (me/100g)	Ca (me/100g)	Mg (me/100g)	Na (me/100g)	K (me/100g)		
	1	5,48	0,295	7,70	273,69	0,17		0,21		0,80	5,00	3,90		
2	6,55	0,308	10,45	332,33	0,01	0,02		0,00	5,82	3,92	2,10	0,90	12,00	12,74
3	7,48	0,220	11,20	351,88	0,01	0,00		0,00	6,70	5,72	1,90	1,00	16,00	15,32
4	7,41	0,226	8,30	586,47	0,02	0,01		0,00	9,88	5,12	3,20	1,20	20,00	19,40
5	7,81	0,472	9,55	508,27	0,00	0,00		0,00	9,96	4,70	3,40	1,10	18,80	19,16
6	5,47	0,095	9,25	312,78	0,18	0,18		0,70	3,88	3,60	1,50	0,90	10,80	10,58
7	7,03	0,340	13,45	449,63	0,01	0,00		0,00	6,78	3,62	1,80	1,00	14,00	13,20
8	7,46	0,236	14,60	449,63	0,00	0,02		0,00	9,78	6,10	1,30	1,20	17,00	18,38
9	7,51	0,440	11,15	742,86	0,00	0,00		0,00	9,80	4,90	2,60	1,30	18,00	18,60
10	7,72	0,433	9,40	527,82	0,01	0,01		0,00	9,90	4,30	1,10	1,20	18,00	16,50

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 estas muestras.



INIA
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 Ing° JORGE CANIHUA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

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

www.inia.gob.pe

FIGURA 51. Certificado de análisis de caracterización de los suelos después del encalado (Bloque I y II). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno



MINISTERIO DE AGRICULTURA
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA
 SERVICIO NACIONAL DE LABORATORIOS
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO
 ANEXO SALCEDO
 Of. Principal: Av. J. La Molina 1981 - La Molina Lima



ANALISIS DE CARACTERIZACION

Nombre: Christiam Rudy Asqui Saraza.
 Procedencia: CIP Camacani - Plateria.
 Fecha de Recepción: 13 de Junio del 2018. Fecha de Certificación: 10 de Agosto del 2018.
 Caracterización de propiedades relativamente permanente del suelo.

N°	Cod. Lab.	MARCAS	ANALISIS MECANICO				CO ₂ Ca %	Yeso me/100g	Mat. Org. %	N. TOTAL %
			Arena	Arcilla	Limo	Textura				
			%	%	%					
1	308F5	BIII-T1	45	17	38	F	0,00	2,14	0,07	
2	308G1	BIII-T2	43	15	42	F	0,18	2,23	0,09	
3	308G2	BIII-T3	39	19	42	F	0,57	2,71	0,09	
4	308G3	BIII-T4	46	14	40	F	0,66	2,20	0,08	
5	308G4	BIII-T5	42	18	40	F	1,41	2,60	0,09	
6	308G5	BIV-T1	42	14	44	F	0,00	2,13	0,07	
7	308H1	BIV-T2	40	14	46	F	0,13	2,40	0,09	
8	308H2	BIV-T3	45	14	41	F	0,40	2,59	0,10	
9	308H3	BIV-T4	48	12	40	F	1,10	2,67	0,09	
10	308H4	BIV-T5	46	10	44	F	1,28	2,39	0,10	

Caracterización del Estado de fertilidad y condiciones alterables del suelo.

N°	Suelo: Agua 1:2,5		NUTRIENTES DISPONIBLES				Boro	CATIONES CAMBIABLES					CIC	Suma Cationes
	pH	C.E. mmhos/cm	P	K	Mn	Fe	Soluble	Al	Ca	Mg	Na	K		
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g	me/100g		
1	5,43	0,084	7,40	254,14	0,30	0,20		0,81	5,10	3,88	1,60	1,00	12,00	12,39
2	6,77	0,173	9,75	312,78	0,01	0,02		0,00	6,88	3,92	3,10	1,10	14,00	15,00
3	7,50	0,531	10,10	390,98	0,00	0,01		0,00	7,42	5,84	3,70	1,10	17,00	18,06
4	7,72	0,344	15,20	664,67	0,01	0,00		0,00	9,60	4,72	1,40	1,60	15,90	17,32
5	7,78	0,318	10,20	547,37	0,00	0,00		0,00	9,94	4,52	1,70	1,20	18,40	17,36
6	5,50	0,128	8,20	293,24	0,33	0,27		0,78	4,00	3,54	2,60	0,80	12,00	11,72
7	7,32	0,206	9,60	449,63	0,01	0,01		0,00	6,24	3,66	2,60	1,10	14,00	13,60
8	7,51	0,204	11,55	448,73	0,02	0,01		0,00	7,54	5,98	3,90	1,20	16,70	18,62
9	7,69	0,377	8,45	703,76	0,01	0,00		0,00	9,72	4,52	2,40	1,40	18,00	18,04
10	7,88	0,297	9,05	645,12	0,01	0,00		0,00	10,00	4,46	4,30	1,30	20,10	20,06

Referencias:
 Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, División 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 estas muestras.



ING. JORGE CANHUJA ROJAS
 Jefe Laboratorio Análisis
 SALCEDO

www.inia.gob.pe

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

FIGURA 52. Certificado de análisis de caracterización de los suelos después del encalado (Bloque III y IV). Laboratorio de suelos y aguas del INIA- ILLPA- Anexo. Salcedo. Puno.

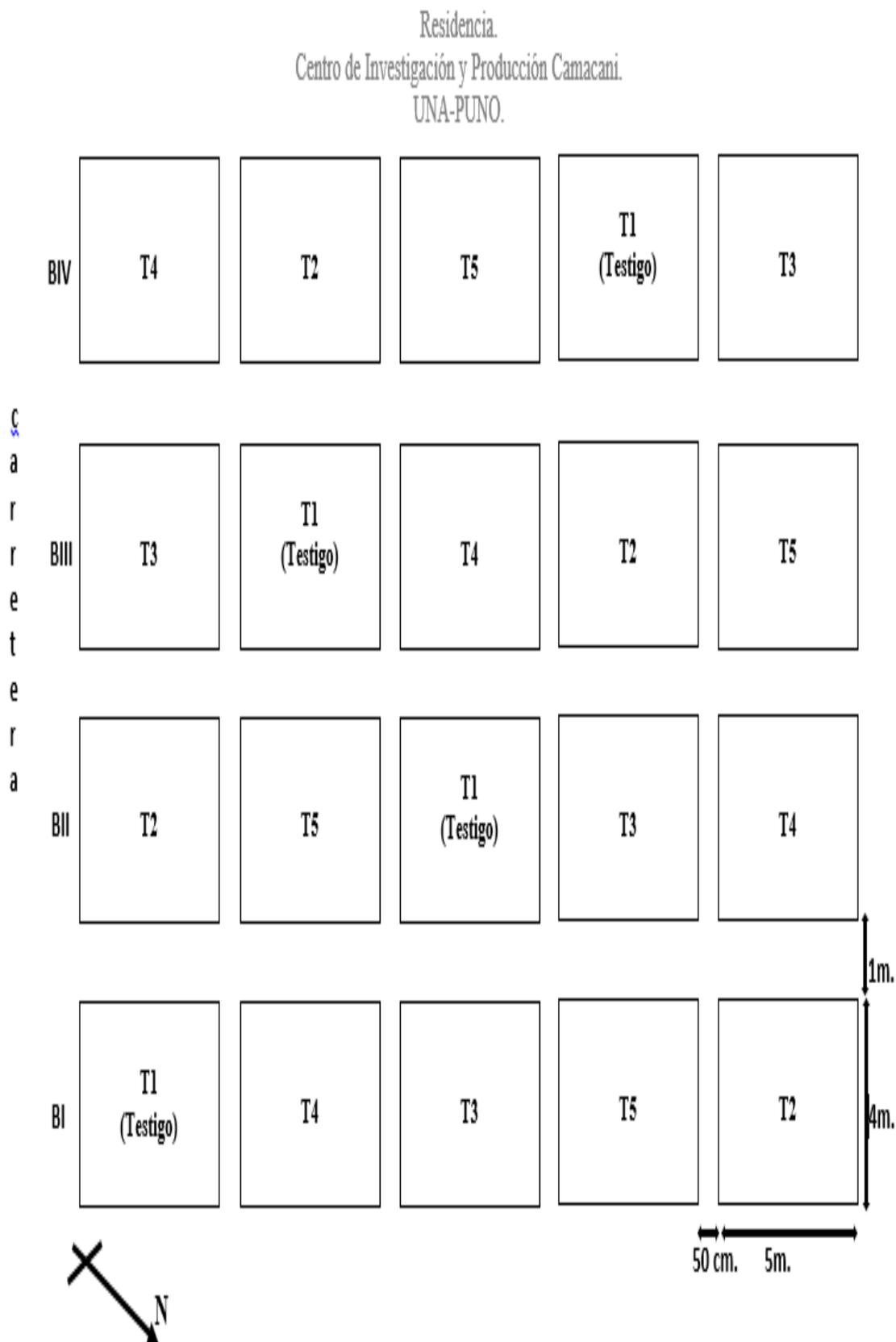


FIGURA 53. Distribución y disposición de tratamientos para diferentes Dosis de encalado de suelo acido con travertino molido en cultivo de papa.



FIGURA 54. Mapa de ubicación del área experimental CIP- Camacani.