

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS:

**Dolomita y ceniza en la reacción del suelo y rendimiento
de materia seca de pastos cultivados en Añaycancha,
Ayacucho - 2018**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

PRESENTADO POR:

Bach. Fidel SALVATIERRA AYALA

ASESOR:

M.Sc. Alex Lázaro TINEO BERMÚDEZ

AYACUCHO - PERÚ

2024

A mis amados padres: Máximo y Miguelina.

A mi hermano Rosmel.

A mis familiares y amigos.

AGRADECIMIENTO

Mi profunda gratitud a la tricentenaria Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por haberme cobijado en sus ambientes, para realizar mis estudios profesionales.

A la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, y a su plana docente por haberme compartido sus sabios conocimientos, para mi instrucción personal y profesional.

Al Ing. Álex Lázaro Tineo Bermúdez, por su apoyo como asesor de este trabajo de investigación.

Al área de investigación en suelos y al laboratorio de suelos, plantas, agua y fertilizantes, del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la UNSCH.

A todos mis amigos, por su incondicional apoyo durante mi estadía estudiantil en la Facultad de Ciencias Agrarias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de anexos.....	ix
Resumen.....	x
Introducción	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Del suelo.....	3
1.1.1. Características físicas	3
1.1.2. Características químicas	4
1.1.3. Características biológicas.....	5
1.2. Reacción del suelo.....	5
1.2.1. pH del suelo.....	5
1.2.2. Acidez de suelos.....	6
1.2.3. Clasificación de la acidez del suelo	6
1.2.4. Medición de la reacción el suelo.....	7
1.2.5. Efectos de la acidez	8
1.3. Encalado	11
1.3.1. Aspectos generales	11
1.3.2. Efectos del encalado	11
1.3.3. Estimación de las necesidades de encalado en los suelos ácidos	14
1.3.4. Época y método de aplicación de enmiendas calcáreas	15
1.3.5. Calidad de enmiendas calcáreas.....	16
1.3.6. Problemas de sobreencalado	16
1.4. Enmiendas en el encalado de suelos.....	17
1.4.1. Dolomita	17
1.4.2. Cenizas de leñas	18
1.5. Pastos y pasturas.....	21
1.5.1. Clasificación de las pasturas en el Perú	22

1.5.2.	<i>Rendimiento y valor nutritivo de pastos</i>	23
1.5.3.	<i>Factores que afectan el crecimiento de pasturas</i>	24
1.5.4.	<i>Asociación de pasturas</i>	24
1.5.5.	<i>Fenología de pasturas</i>	26
1.6.	<i>Especies forrajeras en estudio</i>	27
1.6.1.	<i>Dactylo (Dactylis glomerata)</i>	27
1.6.2.	<i>Rye grass italiano (Lolium multiflorum)</i>	28
1.6.3.	<i>Trébol rojo (Trifolium pratense)</i>	29
1.6.4.	<i>Alfalfa (Medicago sativa)</i>	31
1.7.	<i>Manejo de pasturas</i>	33
1.7.1.	<i>Instalación de pasturas</i>	33
1.7.2.	<i>Fertilización</i>	33
1.7.3.	<i>Manejo de plagas y enfermedades</i>	35
1.7.4.	<i>Riego</i>	35
1.7.5.	<i>Corte y/o cosecha</i>	36
 CAPÍTULO II		
METODOLOGÍA		37
2.1.	<i>Medio experimental</i>	37
2.1.1.	<i>Ubicación del experimento</i>	37
2.1.2.	<i>Características climáticas</i>	37
2.1.3.	<i>Características fisiográficas</i>	38
2.1.4.	<i>Historial del campo experimental</i>	39
2.2.	<i>Materiales</i>	39
2.2.1.	<i>Materiales y equipos en general</i>	39
2.2.2.	<i>Insumos</i>	39
2.2.3.	<i>Características de la ceniza de leña</i>	40
2.2.4.	<i>Características de la dolomita</i>	41
2.3.	<i>Tratamientos y diseño experimental</i>	41
2.3.1.	<i>Diseño experimental</i>	42
2.3.2.	<i>Análisis estadístico</i>	42
2.4.	<i>Método procedimental</i>	43
2.4.1.	<i>Instalación del experimento</i>	43
2.4.2.	<i>Conducción del experimento</i>	46
2.5.	<i>Caracterización del suelo</i>	48

2.6. Variables evaluadas	49
2.6.1. <i>Peso húmedo</i>	49
2.6.2. <i>Peso seco</i>	50
2.6.3. <i>Rendimiento de materia seca</i>	50
2.6.4. <i>Reacción del suelo</i>	50
2.6.5. <i>Valoración económica y rentabilidad</i>	51
CAPÍTULO III	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1. De la reacción del suelo.....	52
3.2. Del rendimiento del forraje en peso fresco	59
3.3. Del análisis de materia seca.....	62
3.3.1. <i>Materia seca y composición de gramíneas</i>	62
3.3.2. <i>Materia seca y composición de leguminosas</i>	65
3.4. Del rendimiento de forraje en materia seca	67
3.5. De los costos estimados de producción	72
3.5.1. <i>Costos directos</i>	72
3.5.2. <i>Costos indirectos</i>	72
3.5.3. <i>Costo de producción</i>	72
3.6. Del mérito económico	73
3.6.1. <i>Ingreso total (venta) y utilidad</i>	73
3.6.2. <i>Rentabilidad y beneficio económico</i>	73
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. <i>Valores de pH óptimos para los cultivos forrajeros de importancia</i>	8
Tabla 1.2. <i>Rango de pH óptimos para la disponibilidad de los nutrientes esenciales</i>	9
Tabla 1.3. <i>Efecto de la incorporación de cal sobre el rendimiento total</i>	13
Tabla 1.4. <i>Valores de poder de neutralización de materiales encalantes en su forma pura</i>	16
Tabla 1.5. <i>Composición química de cenizas de Pinus radiata</i>	18
Tabla 1.6. <i>Requerimientos de macronutrientes en especies forrajeras</i>	34
Tabla 1.7. <i>Requerimientos de micronutrientes en especies forrajeras</i>	35
Tabla 2.1. <i>Resultados del análisis de ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m. ..</i>	40
Tabla 2.2. <i>Niveles de dolomita y ceniza de leña utilizados</i>	41
Tabla 2.3. <i>Contrastes ortogonales planteados para el análisis de datos</i>	43
Tabla 2.4. <i>Análisis de semillas de las especies forrajeras</i>	44
Tabla 2.5. <i>Resumen del cálculo de la densidad de siembra</i>	45
Tabla 2.6. <i>Resultados del análisis de caracterización de suelo. Añaycancha, 3530 m s.n.m.</i>	48
Tabla 3.1. <i>Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del pH del suelo</i>	55
Tabla 3.2. <i>Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de forraje verde</i>	59
Tabla 3.3. <i>Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de materia seca de pastos cultivados</i>	69
Tabla 3.4. <i>Análisis de la rentabilidad económica en la producción de pastos asociados, Añaycancha 3530 m s.n.m.</i>	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. <i>Balance hídrico de la campaña agrícola 2018. Sachabamba, Ayacucho, 3544 m s.n.m.</i>	38
Figura 2.2. <i>Croquis del campo experimental y randomización de los tratamientos</i>	42
Figura 3.1. <i>Cambios en la reacción del suelo por aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.....</i>	52
Figura 3.2. <i>Efecto de niveles de dolomita en el pH del suelo</i>	56
Figura 3.3. <i>Efecto de niveles de ceniza de leña en el pH del suelo.....</i>	57
Figura 3.4. <i>Cambios en la conductividad eléctrica por la aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.</i>	58
Figura 3.5. <i>Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de forraje verde</i>	61
Figura 3.6. <i>Efecto de niveles de ceniza en el rendimiento de forraje verde.....</i>	62
Figura 3.7. <i>Evolución de la composición de materia seca en gramíneas por corte</i>	63
Figura 3.8. <i>Cambios en la composición porcentual de materia seca en leguminosas</i>	65
Figura 3.9. <i>Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de materia seca de pastos asociados</i>	67
Figura 3.10. <i>Efecto de niveles de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados</i>	68
Figura 3.11. <i>Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de materia seca de pastos asociados</i>	71
Figura 3.12. <i>Efecto de niveles de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados</i>	71

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. <i>Resultados del rendimiento de forraje verde (kg.ha⁻¹) entre cortes</i>	86
Anexo 2. <i>Análisis funcional de varianza del rendimiento en peso fresco</i>	87
Anexo 3. <i>Resultados de análisis de materia seca del forraje al primer corte</i>	88
Anexo 4. <i>Resultados de análisis de materia seca del forraje al segundo corte ...</i>	89
Anexo 5. <i>Resultados de análisis de materia seca del forraje al tercer corte</i>	90
Anexo 6. <i>Resultados del rendimiento de materia seca (kg.ha⁻¹) entre cortes</i>	91
Anexo 7. <i>Análisis funcional de varianza del rendimiento de materia seca.....</i>	92
Anexo 8. <i>Comportamiento del rendimiento total de materia a tres cortes, Añaycancha-Ayacucho, 2018</i>	93
Anexo 9. <i>Resultados del pH del suelo, Añaycancha-Ayacucho, 2018</i>	94
Anexo 10. <i>Efecto de las enmiendas en la conductividad eléctrica del suelo, Añaycancha-Ayacucho, 2018</i>	95
Anexo 11. <i>Efecto de la reacción del suelo en el rendimiento de MS con nivel alto de material encalante, Añaycancha-Ayacucho, 2018</i>	96
Anexo 12. <i>Comportamiento del porcentaje promedio de materia seca de pastos asociados, Añaycancha-Ayacucho, 2018</i>	97
Anexo 13. <i>Comportamiento promedio de la composición botánica del pasto frente a la enmienda calcárea</i>	98
Anexo 14. <i>Estimado de costos de producción</i>	99
Anexo 15. <i>Panel fotográfico.....</i>	106
Anexo 16. <i>Análisis de caracterización del suelo.....</i>	109
Anexo 17. <i>Características culturales de las semillas de pasto cultivado</i>	109
Anexo 18. <i>Datos meteorológicos de la estación meteorológica Sachabamba-Ayacucho</i>	110
Anexo 19. <i>Resultados del balance hídrico de la campaña agrícola 2018. Sachabamba-Ayacucho, 3544 m s.n.m.</i>	111
Anexo 20. <i>Plano de ubicación y localización del experimento.....</i>	112

RESUMEN

En la cuenca altoandina de Ayacucho, la acidez de los suelos conjuga un problema de importancia en el aprovechamiento de forrajes; en tales condiciones, se desarrolló el presente experimento en la localidad de Añaycancha (pH; 4,93), con el objetivo de evaluar la influencia de la dolomita y ceniza de leña en los cambios del pH del suelo y el rendimiento de materia seca de una asociación de pastos cultivados. Se probaron tres niveles de material encalante (dolomita: 1840, 3680 y 5520 kg.ha⁻¹; ceniza de leña: 1880, 3760 y 5640 kg.ha⁻¹) y un testigo, en una asociación de pastos (70 % de gramíneas: *Dactylis glomerata*, *Lolium multiflorum*; 30 % de leguminosas: *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*), durante 284 días, que comprendió 3 cortes. La acidez activa se determinó por el método potenciométrico y la materia seca por secado en estufa a 65°C por 48 horas. El diseño estadístico corresponde al diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2M*3N más un testigo. Los niveles ascendentes de material encalante, expresaron mejoras en la reacción del suelo, y de manera similar en el crecimiento y desarrollo de la asociación de pastos. La aplicación de cada meq de material encalante por 100 g de suelo, resulta en un incremento del pH en 0,166 y 0,182 unidades, para dolomita y ceniza de leña, respectivamente; asimismo, cada t.ha⁻¹ de material encalante, se traduce en incrementos de materia seca de: 427, 708 y 603 kg.ha⁻¹ (dolomita) y 671, 985 y 818 kg.ha⁻¹ (ceniza de leña), en el corte primero, segundo y tercero, respectivamente. Se obtiene una rentabilidad de 123,11% y un B/C de 2,23 por la aplicación de un nivel alto de ceniza de leña, reflejando la posibilidad de la utilización de esta enmienda en la disminución de la acidez de suelos.

Palabras clave: Dolomita, ceniza, reacción, suelo, materia seca, pasto.

INTRODUCCIÓN

La mayor limitante que induce a una baja productividad de los suelos altoandinos, posiblemente es la acidez del suelo ligada con la limitada disponibilidad de nutrientes. Esta acidez ejerce sobre las características físico-químicas del suelo, manifestándose en forma general por la reducción del crecimiento y desarrollo de las plantas, siendo la disponibilidad de los nutrientes determinados por la reacción del pH del suelo. Por otro lado, la práctica del encalado es ampliamente estudiada y utilizada por diversos investigadores; sin embargo, no existe recomendaciones y referencias concretas para determinar los niveles de un alcalinizante en suelos característicos de nuestra región para la instalación de pasturas asociadas y su comportamiento de la misma.

Se sabe que la sierra constituye una región natural importante para desarrollar actividades agrícolas y pecuarias, las tierras altoandinas son aprovechadas mediante la instalación de pastos para la ganadería donde las prácticas agrícolas son muy limitadas. Los pastos cultivados de la región alto andina tienen un bajo rendimiento, el rendimiento promedio para Allpachaka es de 4,67 t/ha/corte de materia seca (PLCA, 2011), debido a la deficiente nutrición y absorción de elementos disponibles en el suelo a causa de su acidez. Una manera de enmendar esta acidez es por la aplicación de materiales alcalinizantes como la dolomita o ceniza de leña; ya que en niveles apropiados permite disminuir los efectos perjudiciales de la acidez de los suelos (Espinosa y Molina, 1999). Existen diversos materiales empleados para la modificación de la acidez del suelo, pero tienen un costo elevado y la adquisición está regulada bajo normas estrictas. Sin embargo, las prácticas de encalado y la utilización de cenizas provenientes de las cocinas familiares, disponibles en la zona son casi nulas debido a diversos factores como el desconocimiento y la falta de cultura de recolección. Diversos autores citan que la utilización de materiales resultantes de la combustión de madera es una alternativa para corregir las características físico-químicas de los suelos ácidos e incrementar su productividad (Solla-Gullón et al., 2001). Para Omil (2007), la aplicación de cenizas de leña resultó en moderados cambios

sobre las características del suelo, el horizonte orgánico evidenció ligeros incrementos del pH, así como principales cationes (K, Ca, Mg y P), favoreciendo el crecimiento de especies herbáceas. Por lo mencionado, la capacidad de contrarrestar la acidez del suelo por los diversos materiales fue ampliamente estudiados, sin embargo, los estudios se realizaron en condiciones diferentes a la nuestra. Ibáñez et al, (1982), demostraron que el resultado de la aplicación de cal sobre el suelo es evidente; el aumento prudencial de las dosis del encalado, disminuye la acidez de cambio y al mismo tiempo lo hace más productivo. Por otro lado, Tineo et al. (2016), realizaron un estudio similar en condiciones controladas, encontrando respuestas significativas para la alfalfa con dosis ascendentes de ceniza y dolomita.

Evalutando el comportamiento de la dolomita y ceniza de leña en la reacción del suelo se podrá tomar decisiones para la instalación de pastos cultivados. Asimismo, la investigación servirá de referencia para la población dedicada a la producción agropecuaria de Añaycancha y alrededores como también a investigaciones posteriores a realizarse.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas y las informaciones recopiladas en este trabajo de investigación, se propone alcanzar los objetivos siguientes:

Objetivo general

Evaluar la influencia de dolomita y ceniza de leña en la reacción del suelo y rendimiento de materia seca de una asociación de pastos cultivados en Añaycancha, Ayacucho. 2018.

Objetivos específicos

1. Evaluar la influencia de la dolomita y ceniza de leña en la reacción del suelo de Añaycancha.
2. Evaluar la influencia de la dolomita y ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de una asociación de pastos cultivados del suelo de Añaycancha.
3. Determinar la rentabilidad económica de pastos asociados en un suelo de Añaycancha por la aplicación de dolomita y ceniza de leña

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Del suelo

Garrido (1994), define al suelo como un componente ambiental heterogéneo compuesto por una gran variedad de minerales y biodiversidad, adoptando formas muy diversas, además es considerado como un ente natural organizado, en constante dinamismo cuya formación y evolución depende de factores bióticos como abióticos.

Ramírez (1997), afirma que el suelo está conformado por 3 fases. 1) Una sólida, compuesta por material inerte y orgánica; la inerte o mineral, conformada por fracciones de diversos tamaños (arena, el limo y la arcilla), estas ocupan 45% del total, en volumen mientras la parte orgánica ocupa el 5% del total del volumen. 2) La líquida compuesta por el agua que ocupa los espacios porosos. 3) La gaseosa, ocupa aquellos espacios libres, es decir, los poros que no son ocupados por el agua.

1.1.1. Características físicas

Jordán (2006), detalla las características físicas de los suelos: 1) La densidad aparente; característica que da a conocer las condiciones de porosidad, es decir la disponibilidad de agua y oxígeno. 2) Textura; proporción de partículas edáficas, expresadas en porcentaje (arena, limo y arcilla). 3) Estructura; comprendida como la forma en que se asocian las partículas del suelo, influyente en las relaciones de porosidad, infiltración, humedad y temperatura del suelo. León et al., (2011), consideran además propiedades como la pedregosidad y la permeabilidad. La primera dada por la proporción de piedras gruesas en la superficie del suelo y la segunda como la capacidad de un suelo para permitir que un fluido atravesase a través de él; es importante para la determinación del potencial del suelo, reacción de drenaje del suelo, así como capacidad de riego.

1.1.2. Características químicas

pH; expresa el nivel de acidez de la solución del suelo, mas no la acidez total del suelo; posee influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes, desarrollo de las plantas, fauna edáfica y los procesos de humificación y mineralización (León et al., 2011).

Intercambio iónico; proceso físico-químico complejo donde el complejo de cambio de carga negativa conformado por arcilla y materia orgánica adsorbe cationes dependiendo de factores como tamaño del ión, su carga y la competencia con otros cationes (Jordán, 2006). La capacidad de los coloides del suelo para intercambiar cationes con la solución del suelo y la CIC, es una medida de la fertilidad potencial del suelo y mide la disponibilidad de nutrientes del complejo arcillo húmico (Fassbender y Bornemisza, 1987).

Conductividad eléctrica (C.E.); definido como la valoración de la salinidad-alcalinidad mediante determinación de las sales solubles existentes en el suelo, proporcional a la C.E. del mismo; se denominan sales solubles, a aquellas cuyo índice de solubilidad es superior que la del yeso (Palomino et al., 2012). Una solución conduce la corriente eléctrica tanto mejor y cuanto mayor sea su concentración en sales, ésta varía con la temperatura (Pizarro, 1996).

Porcentaje de saturación de bases; referido a la proporción de cationes o bases cambiables principales respecto al valor de la CIC total, es decir la relación de $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+}$ entre la CIC total, en porcentaje, e indica los sitios para cationes intercambiables existentes del suelo, puesto que el resto hasta el valor de la CIC total será ocupada principalmente por hidrogeniones H^{+} (Garrido, 1994).

Capacidad tampón; está definida por la aptitud de los suelos para tolerar cambios de pH al agregar ácidos o bases a la solución del suelo. Las soluciones tampones agrupan sustancias que reaccionan con ácidos o bases, y mantienen en constante la concentración de iones H^{+} . Prat (1981), menciona que la causa de la resistencia al cambio de pH, se debe a que en el suelo existen sustancias, actuando de amortiguadores (arcilla y el humus) que en su forma de complejo tiene poder de retener los iones H^{+} . Los suelos arenosos con escaso contenido de materia orgánica, serán neutralizados más fácilmente que un suelo arcilloso, debido a que la capacidad amortiguadora de aquel es más débil. La importancia

del poder amortiguador es importante para conocer la cantidad de enmiendas que han de hacerse a un suelo para producir una determinada variación de valores de pH (Fassbender y Bornemisza, 1987).

1.1.3. Características biológicas

Jordán (2006), menciona que la materia orgánica y los microorganismos conforman la propiedad biológica de los suelos; su importancia radica en el enriquecimiento del suelo a través de las actividades como la descomposición de la materia orgánica y transformación de propiedades físicas del suelo como la porosidad, aireación, estructuración y drenaje. Los complejos orgánicos elaborados por los microorganismos mejoran la agregación del suelo al formar complejos con la arcilla, además las raíces y los micelios de los hongos participan en la estabilidad de los agregados; puesto que los compuestos húmicos tienen una alta capacidad aglomerante.

1.2. Reacción del suelo

Fassbender y Bornemisza (1987), afirman que se interpreta como las reacciones existentes entre ácidos y bases del suelo; propiedad que interviene en sus características químicas, físicas y sobre la biota microbiana de este medio. El uso de la expresión de la actividad iónica del hidrógeno, en forma de pH, es universal; valor que se expresa como la acidez activa del suelo, es decir el rango de acidez (H^+ Al^{+3}) ubicada en la suspensión en equilibrio con el suelo.

Alconada (2014), indica que las expresiones de pH y reacción del suelo suelen usarse indistintamente, pero es más adecuado referirse “reacción” puesto que hace alusión a la existencia de un sistema que es la combinación de varios sistemas químicos que interactúan, siendo la medición del pH, un indicador indirecto que se está produciendo una reacción.

1.2.1. pH del suelo

Jordán (2006), definido como el logaritmo decimal negativo de la concentración de protones, $-\log_{10}[H^+]$, este valor proporciona información sobre los efectos nocivos de la acidez, aunque no tiene posibilidad de diagnosticar la causa que lo origina. A medida que el valor disminuye aumenta la dinámica activa del ión H^+ en la solución del suelo (Rodríguez et al., 1993).

1.2.2. Acidez de suelos

Fassbender y Bornemisza (1987), citan a Bronsted y Lowry quienes definen a un ácido como un compuesto con capacidad de donar un protón (H^+); mientras que, de manera complementaria, una sustancia que puede aceptar un protón es una base. Esta propiedad del suelo regula la disponibilidad de nutrientes e inmovilidad de nutrimentos en el suelo alterando el crecimiento de las plantas.

La acidificación de suelos se origina por diversas causas, así se tiene: **1)** Naturaleza de la roca madre; la roca madre sufre transformaciones hasta formar el suelo por acción de diversos factores (Prat, 1981). **2)** Humedad; el agua lixivia a los cationes intercambiables, fundamentalmente a aquellos unidos menos estrechamente a la arcilla (K y Na), dejando espacio para cationes de mayor fuerza iónica como aluminio e hidrógeno (Bernier y Alfaro, 2006). **3)** Absorción de bases; la pérdida de bases se da por una continua extracción por los cultivos, a medida que las plantas se van nutriendo de los elementos minerales, el complejo arcillo-húmico aumenta en iones H^+ (Prat, 1981). **4)** Nutrición y abonado de plantas; la aplicación de fertilizantes tiende a acidificar el suelo; los abonos amoniacales tienen una acción ácida debido a que el nitrógeno, que en el abono se encuentra en forma de ión amonio, se transforma en la forma nítrica para ser asimilado por las plantas (Zapata, 2004). **5)** Respiración de microorganismos; los procesos metabólicos producen dióxido de carbono y ácidos orgánicos solubles que actúan como ácidos libres en el suelo. Espinosa y Molina (1999), afirman que, en la mineralización de materia orgánica, la producción de CO_2 por los microorganismos genera un abastecimiento regular de CO_2 que se convierte en bicarbonato (HCO_3^-), este proceso aporta H^+ y se reduce el pH. **6)** Materia orgánica; para Fassbender y Bornemisza (1987), la materia orgánica edáfica contiene cantidades importantes de grupos carboxílicos y fenólicos que participan en relaciones de intercambio catiónico. La mineralización de la materia orgánica y las actividades para su transformación forman ácidos fúlvicos y humínicos que contribuyen a la acidificación del suelo (Valencia, 1998).

1.2.3. Clasificación de la acidez del suelo

a) Acidez activa

Espinosa y Molina (1999), argumentan que la acidez activa lo conforma el hidrógeno como protón libre en la solución del suelo, es fundamental considerar porque mide la capacidad real del ión H^+ en la solución del suelo; es un indicador crucial del

medio en el que se encuentran expuestos los microorganismos y las raíces de las plantas. Cabe destacar que la acidez activa es inferior a la acidez intercambiable y la acidez residual.

b) intercambiable (reemplazable por una sal)

Bernier y Alfaro (2006), exponen que está conformado por el hidrógeno y el aluminio intercambiable (H^+ y Al^{+3}) inmovilizado por fuerzas electrostáticas en los coloides del suelo; es decir ocupan las posiciones de intercambio al pH del suelo. Contenidos de acidez intercambiable superiores a 0,5 cmol(+)/L en el suelo podrían generar serios problemas para las especies cultivadas mientras que la suma de bases inferiores a 5 cmol(+)/L puede influir en el rendimiento de especies vegetales, características propias de los suelos de baja fertilidad (Espinosa y Molina, 1999).

c) Acidez potencial o titulable

Bernier y Alfaro (2006), la acidez potencial es el resultado de la acidez intercambiable unida a con la acidez no intercambiable; entendida como la proporción de base fuerte necesaria para modificar el valor del pH del suelo a un valor determinado. La acidez no intercambiable está comprendida como el ión hidrógeno de enlace covalente situado en la superficie de los minerales de arcilla con carga inestable; esto significa que está formado por cargas que se disocian a medida que aumenta el pH (Espinosa y Molina, 1999).

1.2.4. Medición de la reacción el suelo

Fassbender y Bornemisza (1987), mencionan que los métodos colorimétricos y potenciométricos son utilizados para medir la reacción del suelo, también conocida como acidez activa. En cuanto a la medición del pH del suelo, existen tres enfoques principales que se emplean: 1) Determinación de pH en agua; se emplea una proporción de suelo seco y agua, 1:1 ó 1:2,5; este método produce valores poco alterados. 2) Determinación del pH en suspensión de KCl; para esta medición se usa una proporción de suelo y KCl, 1:2,5; esta medición no se ve afectada por la presencia de abonos y suele arrojar valores de pH más bajos, a excepción de ciertos óxidos. 3) Determinación del pH en una suspensión de $CaCl_2$ 0,01M, se cree que este método refleja de manera más precisa las características de la solución del suelo. La determinación de los índices de pH del suelo, se ven afectados por diversos factores, Espinosa y Molina (1999), enumeran algunos de ellos: Los efectos

de dilución, suspensión suelo-agua, efecto de sales solubles (KCl ó CaCl₂), variaciones estacionales y presión de CO₂.

1.2.5. Efectos de la acidez

a) Sobre la nutrición de las plantas

Bernier y Alfaro (2006), exponen, en general, las plantas requieren un pH específico en el suelo para crecer adecuadamente. Si el pH del suelo se encuentra fuera del rango óptimo, la planta desarrollará su sistema radicular de manera inadecuada, resultando en una reducción de la absorción de agua y nutrientes, lo cual afectará negativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos o praderas. Los valores de pH óptimo y limitante para algunos cultivos forrajeros se presentan en la siguiente tabla,

Tabla 1.1

Valores de pH óptimos para los cultivos forrajeros de importancia

Especie	Óptimo	Rangos de tolerancia para su rendimiento
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	6,5-7,5	6,0-8,0
Trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>)	6,0-7,0	6,50
Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>)	6,0-7,0	6,50
Avena (<i>Avena sativa</i>)	5,5-7,0	4,0-7,5

Fuente: Rodríguez et al. (1993)

La acidez del suelo tiene un impacto negativo en el rendimiento, persistencia y calidad nutritiva de las praderas, este impacto varía dependiendo del tipo de forraje que se trate (gramínea o leguminosa). En general las leguminosas son más sensibles a la acidez del suelo que las gramíneas. Además, cuanto mayor capacidad de producción tenga la especie, mayor es su susceptibilidad a la acidez y mejor será la respuesta a la aplicación de una enmienda calcárea (Jordán, 2006). Osorio (2012), resalta que una mayor actividad del H⁺ en la solución del suelo restringe la nutrición vegetal y la actividad microbiana. Para Rodríguez et al. (1993), el primer efecto de la acidez en las plantas es la disminución o detención del desarrollo radicular, frecuentemente la absorción y traslocación de fósforo dentro de la planta se ve afectada.

b) Sobre la disponibilidad del fósforo

Sanguino (1961), aclara que, dependiendo del tipo de suelo, a medida que aumenta la acidez del suelo, se intensifica la actividad del hierro y aluminio, lo que provoca la

fijación de los fosfatos solubles en forma de compuestos complejos e insolubles. Por ello, al corregirse el problema de acidez en el suelo se incrementa la eficiencia para el abonamiento fosfatado, lo que significa, una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo. Los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas están más disponibles cuando el pH se encuentra en un rango óptimo de 6,0 y 6,5 (Tabla 1.2).

Tabla 1.2

Rango de pH óptimos para la disponibilidad de los nutrientes esenciales

Elemento	Rango de pH óptimo
Nitrógeno (N)	5,5 - 8,0
Fósforo (P)	6,5 - 7,5
Potasio (K)	5,8 - 10
Azufre (S)	5,9 - 10
Calcio (Ca)	6,5 - 9,0
Magnesio (Mg)	6,5 - 9,0
Fierro (Fe)	4,0 - 6,3
Manganeso (Mn)	4,0 - 6,5
Boro (B)	5,0 - 7,0
Cobre (Cu)	5,0 - 6,4
Zinc (Zn)	5,0 - 6,4
Molibdeno (Mo)	6,5 - 10

Fuente: Rodríguez et al. (1993)

Espinosa y Molina (1999), mencionan que la reducción de pH a partir de aproximadamente 6,5; ocasiona una carencia de algunos nutrimentos como Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+} por competir con el Al^{+3} y H^{+} en los lugares de adsorción. Por otro lado, el fósforo aplicado al suelo interactúa con el aluminio y fierro y es precipitado como fosfatos insolubles de aluminio y hierro haciendo que se reduzca la cantidad de P disponible. Sanguino (1961), acota que la fijación del fósforo disminuye al aumentar el pH; sin embargo cuando se usa $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ó CaCO_3 para elevarlo, pueden ocurrir ciertas reacciones que precipitan el fósforo formándose compuestos insolubles.

c) Sobre la dinámica del nitrógeno

Rodríguez et al. (1993), afirman que también el pH influencia sobre la acción microbiana en el suelo, impidiendo en algunos casos la actividad de las bacterias que actúan en la dinámica del nitrógeno, especialmente en el proceso de nitrificación. La

nitrificación es óptima entre 6,6 a 8; inferior a 4,5 decrece progresivamente. La fijación de nitrógeno por las cepas de Rhizobio depende sumamente del pH durante las relaciones del complejo Rhizobium-leguminosa.

Espinosa y Molina (1999), precisan que la acidez del suelo restringe la actividad de especies de Rhizobium, el proceso de fijación de N atmosférico es favorecido por el encalado ya que se mejora apreciablemente las condiciones del suelo y permite un adecuado desenvolvimiento de la actividad microbiana, favoreciendo el crecimiento de los nódulos y consecuente mayor fijación de nitrógeno. La cantidad de nitrógeno fijado por las bacterias varía de acuerdo con la especie de leguminosa, la eficacia de la bacteria, las condiciones del suelo y la presencia de nutrientes necesarios; el trébol ladino fija 224 kg/ha/año, alfalfa 208 kg/ha/año, trébol rojo 148 kg/ha/año, arveja 92 kg/ha/año y maní 47 kg/ha/año (Palomino et al., 2012).

d) Sobre las propiedades físicas del suelo

Jordán (2006), menciona que los suelos fuertemente ácidos suelen tener una estructura poco desarrollada, lo que origina consecuencias como la baja permeabilidad, mayor grado de erodabilidad del suelo, bajo desarrollo radicular en las plantas, etc. Estos efectos se deben a la falta de cationes Ca^{2+} , responsable de la floculación de las arcillas, así como a la mala calidad de la materia orgánica humificada. Los suelos ácidos presentan menor grado de agregación, lo que determina una disminución en la aireación del suelo (Magra, 2015).

e) Sobre la actividad biológica del suelo

Jordán (2006), indica que en los suelos ácidos se observa una deficiencia de la actividad biológica. La acidez del suelo afecta negativamente a la distribución de la fauna edáfica o la biomasa bacteriana, procesos microbianos como la nitrificación o la fijación de nitrógeno atmosférico son inapreciables por debajo de pH 4,5 y muestran una velocidad óptima a pH 6,0 - 6,5. En suelos neutros o ligeramente básicos, la cantidad de microorganismos es superior, siendo más activos cuando aumenta la caliza activa del suelo y la mineralización se lleva a cabo correctamente. Por el contrario, si el pH del suelo es demasiado elevado, de nuevo los procesos microbianos se ven afectados. Así, la nitrificación es prácticamente inexistente a pH 9,0.

1.3. Encalado

1.3.1. Aspectos generales

Espinosa y Molina (1999), definen al encalado como la incorporación de materiales al suelo (enmiendas calcáreas) que neutralizan la acidez, debido a su diversa naturaleza química, los productos encalantes presentan una capacidad variable de neutralización. Durante el periodo de incubación se producen varias reacciones, el carbonato de calcio se hidroliza en presencia de agua disociándose en iones calcio, ión bicarbonato e iones oxidrilos. Los mecanismos de reacción de los materiales de encalado permiten la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo por medio de iones OH^- producidos al entrar la cal en contacto con el agua del suelo. Por esta razón la cal es efectiva solamente cuando existe humedad en el suelo.

El ion Ca^{+2} proveniente de la disolución del $CaCO_3$ no interviene en las reacciones de incremento del pH, este catión pasa a ocupar sitios de intercambio en la superficie de los coloides del suelo y servirá como nutriente de las plantas. El ión CO_3^{-2} es el que realmente eleva el pH al hidrolizarse y producir iones OH^- , además es importante indicar que el ion CO_3^{-2} se disipa como CO_2 después de las reacciones de hidrólisis. Esta es la razón por la cual el efecto de la cal se limita al lugar de aplicación, es decir la aplicación superficial de cal no afecta el pH de capas inferiores del suelo debido a que la cal no migra a través del perfil sino más bien se disipa como CO_2 en el sitio de aplicación, este es un aspecto importante en el manejo del encalado. La fuerte afinidad entre los iones bicarbonatos y los iones hidrógeno hace que éstos sean atraídos desde el complejo coloidal (arcillas) formando ácido carbónico (H_2CO_3) inestable que rápidamente disocia en anhídrido carbónico y agua.

1.3.2. Efectos del encalado

a) Disponibilidad de elementos

Bernier y Alfaro (2006), afirman que la aplicación de cal no produce liberación de elementos en formas retenidas o fijadas en el suelo, o de formas insolubles; sin embargo, favorece la disponibilidad de los elementos aplicados después del encalado ya que la cal bloquea y ocupa algunos sitios reactivos del complejo coloidal que servirá como nutriente de las plantas.

Zapata (2004), afirma que la disponibilidad de nutrientes para las plantas está

altamente determinada con el pH del suelo, cuando el pH es menor de 5.5 el suelo tiene problemas asociadas a toxicidad de aluminio, acidez activa, fijación de fósforo, deficiencia de calcio y magnesio, etc. El aumento de pH por efecto del encalado hace más disponible los nutrientes mediante procesos de reacción hidrolítica que permiten la neutralización y disminución de los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones oxidrilo producidos al entrar la enmienda en contacto con el agua del suelo; así los óxidos al reaccionar se transforman en hidróxidos y neutralizan la acidez.

Serpa y González (1979), mencionan que, al incrementar los niveles de cal, ocurre un aumento en la capacidad de intercambio catiónico. Asimismo, encontraron que el porcentaje de saturación de bases (%SB) aumentó conforme se aumentaron las cantidades de cal, incrementos que ocurren en relación a la disminución del porcentaje de saturación del aluminio.

b) Absorción de nutrientes

Espinosa y Molina (1999), indican que el exceso de algunos elementos tóxicos interfiere en la división celular de las raíces de la planta y ésta es la razón por la cual el sistema radicular de plantas en crecimiento en suelos ácidos es atrofiado y pobremente desarrollado. Asimismo, la presencia de altas concentraciones de aluminio en la solución del suelo inhibe la absorción de Ca y Mg por las plantas. La respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos se optimiza por la mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo, acondicionando un mejor ambiente para el desarrollo radicular, mejor exploración y absorción de nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo, así incrementando los rendimientos del cultivo.

c) Producción de materia seca

Serpa y González (1979), en pruebas para determinar necesidades de encalado, encontraron que existen diferencias altamente significativas entre la materia seca producida y los niveles de encalado; sin embargo, no solamente se puede considerar a la acidez únicamente como factor limitante del crecimiento, no considerar otras causas.

Bernier y Alfaro (2006), indican que el efecto de la incorporación de cal sobre el suelo influye en el rendimiento total de las especies forrajeras (kg.MS/ ha/año); así se muestra la siguiente tabla.

Tabla 1.3*Efecto de la incorporación de cal sobre el rendimiento total*

Especie forrajera	Rendimiento total (kg MS/ha/año)	
	Sin Cal	Con Cal
Trébol blanco	6464	7127
Trébol rosado	10498	12272
Alfalfa	2470	3890
Lotus	8202	9451

Fuente: Bernier y Alfaro (2006), promedio de 3 años % Sat. Al= 36.3%, pH al agua 5,0, 3 t de cal/ ha.

d) Propiedades físicas y biológicas del suelo

Bernier y Alfaro (2006), afirman que el encalado de suelos ácidos tiene un efecto positivo en la estructura del suelo debido a la fracción floculante de la cal; mejora las condiciones para un desarrollo adecuado de la actividad microbiana, asimismo promueve un incremento de la población, tamaño y la actividad de las lombrices de tierra que son muy sensibles a condiciones ácidas del suelo; el aumento en la actividad y la población de las lombrices tiene un efecto significativo en la estructura del suelo ya que la acción barrenadora incrementa los macroporos. El encalado también favorece las actividades de las bacterias responsables de la mineralización de la materia orgánica optimizando la nitrificación del N orgánico y mejorando la fijación biológica de nitrógeno.

e) Fisiología de la planta

La aplicación de enmiendas calcáreas influye en el comportamiento fisiológico de la planta, valores de pH inferiores al neutro, característicos de los suelos ácidos determinan la disponibilidad de nutrientes y la planta tendrá problemas de crecimiento por ausencia de elementos minerales esenciales necesarios para las reacciones fotoquímicas y fisiológicas. Juárez (2016), en una investigación realizada por la aplicación de dolomita y cal agrícola a una especie forrajera, encontró que el tamaño de las hojas, número de macollos y el diámetro de macollos fueron superiores al tratamiento testigo por lo que concluye que existe una influencia relativa en el incremento del rendimiento tanto de forraje verde como materia seca con las dosis más altas aplicadas. Rincon (2007), concluye que un suelo con deficiencia de nitrógeno contribuye a la clorosis y escaso vigor del pasto, al realizar el encalado se mejora las condiciones de disponibilidad de elementos primarios como el nitrógeno asimismo contribuye directamente a la asimilación de otros elementos esenciales para su óptimo crecimiento y

desarrollo, mejorando las condiciones fisiológicas de las pasturas.

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto refleja el estado nutricional de la planta. Se sabe que el nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de la molécula está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. (Potash and Phosphate Institute, 1997; Salisbury y Ross, 1992). El Ca tiene una función estructural fundamental como componente de la lámina media, participa en otras actividades fisiológicas de las plantas como la modificación de la permeabilidad de las membranas mientras que el Mg es la base estructural de la clorofila y por ello esencial en el proceso de la fotosíntesis y la fijación de CO₂ como coenzima y es esencial en todos los procesos de fosforilación de la planta, promoviendo la transferencia, conversión y acumulación de la energía (Zeas, 2015).

El crecimiento vegetal, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, y de ella dependerá el comportamiento agronómico como el rendimiento del pasto, el crecimiento es estimado mediante mediciones directas (altura, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, materia seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, asimismo el crecimiento está ligado a factores ambientales (Salisbury y Ross, 1992).

La fisiología de la planta se verá afectada por la aplicación de enmiendas calcáreas, puesto que las enmiendas calcáreas además de neutralizar la acidez del suelo mejoran las condiciones edáficas, haciendo que se mejore algunos procesos fisiológicos como la fijación de nitrógeno y la fotosíntesis. En aquellos casos donde la fijación de N es muy pobre o inexistente, se observan los típicos síntomas de deficiencia de N: la planta detiene su crecimiento y se produce amarillamiento de hojas, sobre todo las basales y bajo condiciones de inadecuada nodulación por efectos de la acidez, las leguminosas se ven afectadas en la competencia con las gramíneas reduciendo todo el sistema forrajero su productividad (García et al, 2002).

1.3.3. Estimación de las necesidades de encalado en los suelos ácidos

Magra (2015), menciona que existen varios métodos que se utilizan para calcular la necesidad de correctivo a emplear para lograr la rehabilitación de suelos ácidos, desde métodos sencillos hasta complejos. La cantidad, tipo de material encalante y la textura

del suelo son aspectos determinantes para alterar el pH del suelo, así se tiene que para lograr elevar el pH de 5,0 a 6,5 en un suelo franco se requiere 5,2 t de cal/ha.

Bernier y Alfaro (2006), mencionan que los Andisoles son suelos de carga variable y tienen alta capacidad tampón; dependiendo de la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, los suelos difieren en su capacidad tampón. Esta capacidad de los andisoles se debe a que las arcillas resultantes de la meteorización de las cenizas volcánicas (alofana, imoglita y complejos humus – Al) tienen una superficie muy reactiva, la resistencia a la modificación de pH de los suelos de carga variable obliga a utilizar cantidades muy altas de la cal para llegar a pH cercano al neutro.

Espinosa y molina (1999), recomiendan que para de determinar los requerimientos de cal en suelos Andisoles, es necesario conducir experimentos prácticos que determinan exactamente las necesidades de cal de un sitio específico. Osorio (2012), recomienda métodos por incubación de cal, basado en la adición de cantidades crecientes de cal a muestras de un suelo, manteniendo húmedo a las muestras, después de incubar durante 2 - 3 semanas, se mide el pH (agua, 1:1), obteniendo el modelo de regresión.

1.3.4. Época y método de aplicación de enmiendas calcáreas

Chaves (1986), afirma que las aplicaciones de cal se pueden realizar en cualquier momento del año, pero lo ideal es hacerlo al inicio de las lluvias cuando el suelo se disponga de humedad, dejando de 4 a 6 semanas antes de la siembra para favorecer la reacción de la cal en el suelo.

Espinosa y Molina (1999), mencionan que las reacciones de neutralización de la cal ocurren en presencia de agua. Debido a la baja solubilidad de las enmiendas calcáreas, el tiempo que debe transcurrir (incubación), para que la enmienda reaccione con las partículas de suelo y ejerza su acción neutralizante se debe esperar un tiempo mínimo de 1- 2 meses, asimismo el contacto directo de la cal con fertilizantes nitrogenados, amoniacales y fosfatados en la superficie del suelo favorece la formación de carbonato de amonio y fosfatos de calcio, haciéndose insolubles. El movimiento de la cal en el suelo es muy bajo debido a que el ion CO_3^{2-} se disipa como CO_2 . Para que la cal sea efectiva y tenga efecto es necesario mezclar completamente el material en los primeros 15 – 20 cm de suelo y en presencia de humedad (Osorio, 2012).

1.3.5. Calidad de enmiendas calcáreas

Bernier y Alfaro (2006), indican que los procesos de disolución de los minerales son directamente dependientes del área de exposición o contacto con la solución del suelo; a menor tamaño de partícula hay mayor superficie de contacto con el suelo; esto refiere a la superficie específica. La calidad de una enmienda calcárea está determinada por factores como la pureza del material, valor neutralizante y la capacidad de neutralización. La pureza de la enmienda se expresa como equivalente químico (EQ) o valor neutralizante (VN). El VN está definida como la capacidad de la enmienda para neutralizar la acidez del suelo comparado con el poder de neutralización del CaCO_3 químicamente puro.

Magra (2015), acota que los materiales finos por tener una mayor superficie específica, reaccionan con mayor velocidad y de forma más completa, mientras que los materiales de granulometría gruesa si bien son más fáciles de aplicar, son de acción muy lenta e incluso prácticamente nula.

Tabla 1.4

Valores de poder de neutralización de materiales encalantes en su forma pura

Material	Equivalente químico (eq)	Composición promedio	% de Ca y Mg
Carbonato de calcio	100	85-95% CaCO_3	40
Dolomita	108	42% MgCO_3	12
		52% CaCO_3	21
Óxido de calcio	179	85% CaO	71
Hidróxido de calcio	138	65% Ca(OH)_2	54
Óxido de magnesio	248	60-90% MgO	60

Fuente: Magra, (2015).

1.3.6. Problemas de sobreencalado

Espinosa y Molina (1999), indican que el sobre encalado a valores de pH cercanos a 7,0 puede deprimir seriamente el rendimiento de un cultivo al causar deterioro de la estructura del suelo e inducir deficiencias de Zn, B y Mn. El sobre encalado promueve dispersión de agregados del suelo debido a la predominancia de las fuerzas de repulsión entre partículas, esto altera las condiciones físicas del suelo haciendo que aparezcan costras en la superficie y se taponen los poros del suelo dando a lugar una lenta infiltración, además ocasiona una disminución de la disponibilidad de fósforo debido a la formación de complejos fosfato de calcio insolubles (Chaves, 1986).

1.4. Enmiendas en el encalado de suelos

El encalado se puede hacer utilizando varios compuestos, normalmente la neutralización del suelo se hace con carbonatos de calcio. Espinosa y Molina (1999), mencionan que se puede utilizar: 1). *Óxido de calcio* (cal viva o cal quemada); es un óxido y tiene una reacción rápida cuando se aplica a un suelo ácido, similar al hidróxido de calcio, en estado puro contiene 71% de Calcio. 2). *Cal apagada o hidratada* ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); polvo blanco con alto grado de solubilidad y de rápida reacción en el suelo, material que reacciona rápidamente con el agua, en estado puro contiene 56% de calcio. 3). *Cal agrícola* (CaCO_3); se obtiene a partir de piedra caliza, contiene 40 % de Ca, compuesto en su mayoría por carbonatos de calcio con muy poco magnesio. 4). *Magnesita* (MgCO_3); en su forma pura contiene aproximadamente un 28% de Mg. 5). *Óxido de magnesio* (MgO); contiene solo Mg en una concentración de 60%, tiene una gran capacidad de neutralización, tiene baja solubilidad en agua. 6). *Yeso agrícola o sulfato de calcio dihidratado* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); proviene del subproducto de la industria del ácido fosfórico, la roca fosfórica es atacada con ácido sulfúrico para producir ácido fosfórico y yeso, también es obtenido de yacimientos o depósitos naturales de evaporita sedimentaria, contiene de 17 a 20% Ca y de 14 a 18% de S.

1.4.1. Dolomita

El carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) es un material semiduro, no muy pesada, infusible, ya que se descompone en todos los carbonatos, el origen de ésta es principalmente sedimentario o hidrotermal en filones minerales, también posiblemente a la transformación de las calizas bajo las soluciones magnesianas (Espinosa y Molina, 1999). Contiene aproximadamente 22% de Ca y un 13% de Mg, reacciona más lentamente que la calcita en el suelo (Bernier y Alfaro, 2006). La dolomita tiene la ventaja de corregir la acidez y suministrar Ca y Mg al cultivo, elemento con frecuencia deficiente en suelos ácidos. Su valor de neutralización relativa va desde 95 a 108. Los fertilizantes portadores de Mg son eficaces para corregir deficiencias, pero, por lo general, no dejan un efecto residual prolongado en el suelo por ser sales minerales de alta solubilidad y susceptible a perderse por lixiviación. Por ser una enmienda que reacciona lentamente en el suelo, la dolomita mantiene un efecto residual prolongado (Espinosa y Molina, 1999).

1.4.2. Cenizas de leñas

a) Características generales de las cenizas

Etiégni y Campbell (1991), mencionan que la generalización sobre las características físico-químicas de las cenizas es complicada porque presentan gran variabilidad en la concentración de macronutrientes cuya composición varía dependiendo de múltiples factores como la temperatura, condiciones de combustión, la aplicación de pretratamientos, y a las diversas fracciones de cenizas. Algunos de los elementos presentes en las cenizas, se encuentran óxidos, hidróxidos y carbonatos, por lo que el material presenta un fuerte carácter alcalino. Las temperaturas de combustión incrementan la volatilización y pérdida de K y S; el potasio se volatiliza a temperaturas de 800-900°C y el azufre a 1000-1200°C resultando pérdidas de 63-90% de K y 7-55% de S, también altas temperaturas pueden reducir la concentración de Boro y Cobre. Por lo contrario, el Mg, P, Mn, Al, Fe no cambian con la temperatura.

Solla-Gullón et al. (2001), afirman que las cenizas de madera presentan contenidos significativos de diferentes nutrientes como K, P, Mg y Ca, los cuales se encuentran en formas relativamente solubles.

Tabla 1.5

Composición química de cenizas de Pinus radiata

	Totales	Asimilables
Humedad (%)	11,5	
pH (H ₂ O)	10,4	
pH (KCl)	10,9	
Materia orgánica (%)	56,1	
C (g kg ⁻¹)	505	
N (g kg ⁻¹)	5,56	
S (g kg ⁻¹)	0,32	
P (g kg ⁻¹)	2,6	0,4 (15%)
Ca (g kg ⁻¹)	25,0	13,8 (55%)
Mg (g kg ⁻¹)	6,0	1,5 (25%)
Na (g kg ⁻¹)	2,4	1,2 (50%)
K (g kg ⁻¹)	11,1	5,0 (45%)
Al (g kg ⁻¹)	16,2	n.d.
Cd (mg kg ⁻¹)	1,8	1,1 (59%)
Cr (mg kg ⁻¹)	23,7	3,7 (15%)
Cu (mg kg ⁻¹)	32,9	4,5 (14%)
Fe (mg kg ⁻¹)	1390	380 (27%)
Mn (mg kg ⁻¹)	1470	354 (24%)
Ni (mg kg ⁻¹)	14,0	8,1 (58%)
Pb (mg kg ⁻¹)	47,0	14,0 (30%)
Zn (mg kg ⁻¹)	1700	44,0 (2,6%)

Fuente: SOLLA-GULLÓN et al. (2001).

Hakkila (1989), analizando la composición de las cenizas en función de las distintas partes del árbol concluyó que las ramas y raíces, por lo general, son más ricas en algunos elementos como el P, K y Mg que el tronco, la corteza y las acículas. Sin embargo, los mayores valores de Ca, Mn, Al y S fueron las que provenían de las cenizas de corteza. Además, entre especies de pinos existe una gran variabilidad en la composición química de sus cenizas en elementos como el Fe, Na y K; mientras la combustión de eucalipto genera cenizas muy ricas en Ca. La fracción de biomasa que se emplee (corteza, madera, ramas), sistema de combustión y tipo de especie forestal usado en la combustión determinan un material muy heterogéneo (González-Arias et al., 2013).

b) Consideraciones ambientales

González-Arias et al. (2013), mencionan que actualmente la aplicación de las cenizas sobre los suelos puede suponer un retorno o revalorización de gran parte de los nutrientes extraídos durante la cosecha que ayudarán a cerrar el ciclo de extracción; se considera por lo tanto una práctica sostenible. González et al. (2008), sostienen que la cantidad de CO₂ que se emite en el proceso de combustión de la madera es prácticamente la misma y además se devuelve al suelo parte de los nutrientes anteriormente extraídos por la planta durante todo su ciclo vegetativo, pero también las plantas que crecen capturan el CO₂ de la atmosfera, de esta manera si se utiliza la biomasa de forma sostenible, en términos netos, no se agrega CO₂ a la atmósfera.

Someshwar (1996) y Solla-Gullón et al. (2001), evidenciaron que las cenizas de combustión industrial presentan, en general, concentraciones muy bajas de metales pesados, si bien las extraídas con electrofiltros pueden presentar concentraciones más elevadas de metales tóxicos, estas concentraciones pueden variar en función del tipo de caldera empleada y del tipo de ceniza, algunas calderas producen mayores niveles de Cr, Cu, Ni y Pb que otras.

Guillén (2013), acota que la utilización de la biomasa forestal para la producción de energía por la combustión se engloba dentro de una de las estrategias de la iniciativa “20-20-20” de la Unión Europea en el 2020, utilizando la ceniza como fuente renovable, la emisión de carbono es neutra. Europa 2020 es la estrategia de crecimiento de la UE para la próxima década y tiene tres objetivos en materia de crecimiento sostenible, establecen que antes del 2020 se tenía que: 1). Reducir las emisiones de gases de efecto

invernadero (GEH) respecto a los niveles de 1990. 2). Aumentar hasta el 20% el uso de energías renovables en el consumo final de energía. 3). Aumentar un 20% la eficiencia energética.

MINAGRI (2016), hace referencia a las estadísticas del país, donde el combustible mayormente empleado por los productores agropecuarios para cocinar es la leña. El 76,4 % de productores a nivel nacional utiliza leña como combustible para cocinar. El porcentaje es mayor en la selva, alcanza al 92,4 % seguido de la sierra con 76,4 % y la costa con 57,6%.

c) Las cenizas como fertilizante

González-Arias et al. (2013), mencionan que las cenizas de madera poseen un poder fertilizante y encalante debido a sus características alcalinas, contienen altas concentraciones de Ca, Mg, K y en menor medida de P. El efecto fertilizante de la ceniza es ampliamente estudiado como demuestran investigaciones realizadas por muchos autores, quienes demostraron que existe un efecto positivo por la adición de cenizas de madera sobre la nutrición de plantas en cuanto a magnesio y calcio. Etiégni y Campbell (1991), encontraron que la adición de cenizas en suelos ácidos tiene efectos positivos sobre la acidez y el nivel de diferentes nutrientes del suelo que limitan la producción agrícola, se atribuye a la abundancia de óxidos, hidróxidos y carbonatos, principalmente de Ca, Mg y K, que confieren a este material un fuerte carácter alcalino. El potencial encalante de la ceniza de leña expresado en términos equivalentes de CaCO_3 , varía entre el 25 y el 100%.

Solla-Gullón et al. (2001), recomiendan que las cenizas se pueden emplear en suelos ácidos puesto que cantidades moderadas de estas cenizas devuelven al sistema buena parte de los nutrientes extraídos durante el aprovechamiento del suelo. Los aportes de cantidades equivalentes a los 10 y 30 t.ha^{-1} de ceniza aumentan el valor de pH del suelo en 0,9 y 1,7 unidades, incrementando así la concentración y la disponibilidad del Ca, Mg y K en el suelo. González et al. (2008), muestran que el aporte de cenizas permite devolver las concentraciones de P, Ca y Mg como formas asimilables a la fracción sólida del suelo, además su aporte al suelo es necesario para una buena estructuración del suelo al flocular el complejo arcillo húmico y aumentar el pH del suelo.

Méndez (1977), citado por Viadé (2005), aclara que la quema de suelos, práctica previa a la instalación de un cultivo tiene diversos efectos en la estructura del suelo, así como en su pH. Los efectos de esta práctica han sido estudiados ampliamente y puede concluirse que, si bien mediante el quemado se consigue una subida de pH y fertilidad del suelo, ello se realiza a costa de reducir drásticamente su contenido de materia orgánica, con la disminución consiguiente de su capacidad de cambio y la destrucción de los agregados del suelo. Se demostró también que, con el paso del tiempo, se produce un mayor lavado de bases en el suelo y la acidificación es más intensa. Un incendio de baja temperatura (200 - 300 °C) puede disminuir el pH del suelo, mientras que si la temperatura y la intensidad es elevada (700 - 900 °C) el pH del suelo aumenta considerablemente en un primer momento, disminuyendo después de 2 años.

Erich y Ohno (1992) mencionan que la disponibilidad de K depende de la cantidad de ceniza aportada al suelo y el pH, ya que solo una proporción del K aportado con las cenizas de madera estará disponible para las plantas como resultado de la inmovilización, en algunos casos puede llegar de 18 - 35%. El P de las cenizas no se encuentra en formas solubles en agua y la cantidad aportada con las cenizas de madera también es baja.

1.5. Pastos y pasturas

Ruiz y Tapia (1987) mencionado por Pantoja (2001), señalan que el pasto es el producto que se obtiene al transformarse en la vegetación la energía solar y elementos como el hidrógeno y oxígeno en energía química, por medio de la fotosíntesis y es utilizado como alimento para el ganado. Cadenillas (1999), menciona que la pastura es el conjunto de plantas herbáceas que se producen en condiciones naturales como cultivadas y que se destinan a la alimentación animal pastoreando sobre el mismo terreno o segada. Gonzáles (2009), conceptúa al forraje como todos los alimentos vegetales y de lastre o secos, como la paja; es decir comprenden los pastos, el heno, el ensilaje y alimentos verdes.

Dancé y Sáenz (2013), informan que los pastos son la base del desarrollo ganadero nacional, constituyen uno de los recursos más importantes del país. Existen 5000 comunidades campesinas que dependen del pastoreo extensivo de 12 000 000 ha, con participación activa de la mujer e hijos. Los resultados del Censo Nacional Agropecuario 2012, indican que la superficie agropecuaria nacional corresponde a 38 742 465 has

(30%). La Sierra representa el 57,5% de la superficie agropecuaria total (CENAGRO, 2012).

1.5.1. Clasificación de las pasturas en el Perú

a) Pastizales naturales permanentes

Cadenillas (1999), denomina pastizal a la vegetación herbácea espontánea, que crece en condiciones naturales, poco densa y poco desarrollada. Por su parte Dancé y Sáenz (2013), considera como pastizal natural a todas las tierras no cultivadas, estas incluyen también las sábanas, los campos bajos y húmedos, así como ciertas asociaciones de arbustos, hierbas y chaparrales; es decir aquellas especies que no han sufrido la perturbación del hombre. La superficie del país cubierta por pastos naturales está distribuida en la costa (3,3%), en la sierra (94,5%) y en la selva (2,2%).

Las estadísticas en cuanto a la superficie agrícola representan el 18,5% y la superficie no agrícola cubre el 81,5 %; la superficie agrícola bajo cultivos alcanza las 415 678 hectáreas, el restante se encuentra en barbecho. La superficie no agrícola está compuesta por pastos naturales (18 018 795 has) cubre el 57% y el restante por bosques y montes. La estructura de la superficie no agrícola en la sierra representa el 60%, selva con 31,3% y la costa tiene 8,7%. Ayacucho tiene una superficie de 1 608 354 hectáreas de pastos naturales (CENAGRO, 2012).

b) Pasturas cultivadas permanentes o semipermanentes

Cadenillas (1999), menciona que estas pasturas tienen una duración de 2, 3, 10 ó más años y están representadas fundamentalmente por gramíneas y leguminosas, ocupan áreas pequeñas, se caracterizan por su alta productividad y se utilizan para el pastoreo. Después de un periodo de varios años de explotación, son eliminados para renovarlos o sembrar otros cultivos no forrajeros.

Según el Censo Agropecuario Nacional 2012, la superficie cultivada de pastos a nivel nacional corresponde a una superficie de 778 061,85 hectáreas mientras que la región Ayacucho representa 17 596.20 hectáreas, comprendidas entre las especies sembradas como alfalfa, heno, dactilys, pasto elefante, grama azul, falaris, festuca, kikuyo, grama chilena, cebadilla, entre otros (CENAGRO, 2012).

c) Pastos cultivados temporales

Cadenillas (1999), indica que los pastos cultivados temporales también están representados por gramíneas y leguminosas, que se siembran en rotación de cultivos en el curso del año, tienen alta productividad, exigen una importante inversión y un buen manejo, sirven en épocas en que otros forrajes permanentes bajan en su producción.

1.5.2. Rendimiento y valor nutritivo de pastos

a) Rendimiento y materia seca

Demagnet (2013), conceptúa al rendimiento como la cantidad de producto obtenido en una determinada superficie, se puede evaluar mediante métodos directos (extracción de una superficie conocida y analizada en laboratorio) o indirectos como la medición de la altura, capacitancia electrónica, etc. Los forrajes están compuestos de dos fracciones, agua y materia seca, esta última a su vez por dos fracciones: Orgánica (hidratos de carbono, lípidos, vitaminas, ácidos orgánicos, etc.) e Inorgánica compuesta por elementos minerales. El proceso de extracción de agua, se realiza en laboratorio sometiendo al forraje por 48 horas a un proceso de deshidratación en horno de ventilación a 65 °C, la obtención de un peso constante de la muestra indica que el proceso ha finalizado. La materia seca se define como la materia verde sin agua en su composición; el porcentaje promedio de materia seca en forrajes o pastos debe ser del 20%, mientras exista mayor porcentaje de materia seca, mayor será la cantidad de nutrientes que queda para los animales (Arenas, 2011). El contenido de materia seca medidos en términos porcentuales es un indicador de la calidad del forraje cosechado (Demagnet, 2013).

b) Evaluación del valor nutritivo de pastos

González (2009), afirma que los forrajes durante la formación de la flor llegan a su máxima en material digestible; al pasar el tiempo, la planta forma semillas y tendrá mayor proporción de material no digerible. La planta contiene de 7 a 11% de proteína cuando está formando semillas y cuando las semillas están maduras contiene de 4 a 8%. Las gramíneas son ricas en hidratos de carbono solubles (4 - 13%) que las leguminosas (2 - 10%), finalmente, el valor nutritivo de los pastos y forrajes varía con la composición botánica, el estadio vegetativo y el abonamiento.

Duran et al. (1987), aclaran que la palatabilidad de las leguminosas estimula un mayor consumo por parte del ganado, asimismo, las leguminosas no solamente tienen un

mayor contenido de proteína que las gramíneas, sino que tienen mayores contenidos de nutrientes minerales como el calcio y el fósforo.

Cadenillas (1999), menciona que el valor alimenticio de los pastos está determinado por el contenido de sustancias alimenticias presentes en la masa verde o seca del follaje, y su digestibilidad; siendo, la relación entre la cantidad de proteínas y la cantidad de celulosa, el principal índice del valor alimenticio. El valor alimenticio del forraje es mayor, cuanto menor sea su contenido de celulosa y mayor el de proteína hasta ciertos límites. Las leguminosas tienen un alto contenido de proteínas, mientras que las gramíneas contienen más celulosa. Existen diferencias en la composición química de los diferentes órganos de la planta; las hojas contienen más proteína, carotina, fósforo y menos celulosa y lignina, que los tallos y ramas.

1.5.3. Factores que afectan el crecimiento de pasturas

Palomino et al. (2012), indican que el crecimiento de un cultivo depende de los factores inherentes al ecosistema en el cual las plantas crecen, considerando la existencia de un sistema suelo-planta-clima. A continuación, se enumeran algunos de los factores más importantes del sistema suelo-planta-clima: 1). Suelo; comprendida entre la interacción de las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo, éstas influyen de manera directa en el crecimiento vegetal. 2). La carga genética; el genotipo es un factor importante para el crecimiento de las plantas; se expresa en el rendimiento, calidad, resistencia a las enfermedades y resistencia a las condiciones meteorológicas. 3). Factores ambientales; las condiciones externas afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas, asimismo en las funciones absorción de agua, fotosíntesis y respiración. 4). Los factores bióticos; determinado por la interacción con otros organismos por parte de la planta, comprendidos entre las plagas y enfermedades, parásitos, nematodos y malezas. 5). Manejo; la acción modificadora del ser humano ejerce de manera definitiva sobre cada uno de los componentes (suelo, planta y clima), afectando fuertemente el funcionamiento del sistema de producción agrícola.

1.5.4. Asociación de pasturas

CARE (2011), conceptúa al pasto asociado como una asociación de gramíneas y leguminosas para proporcionarle al ganado un alimento balanceado, rico en proteínas y carbohidratos. La asociación de pasturas entre diferentes especies produce más forraje

verde que sembrando una especie sola.

a) Elección de una asociación forrajera

García et al. (2002), sostienen que la composición de una pastura incide notablemente en la decisión y manejo de la fertilización. Si el objetivo es maximizar la producción de materia seca (MS), es recomendable utilizar pasturas fertilizadas de gramíneas ya que su potencial de rendimiento es mayor que las leguminosas (excepto en alfalfa). Si se busca calidad (proteína) y la sustentabilidad del sistema, entonces la opción recomendada es la implantación de pasturas consociadas. FONCODES (2014), recomienda que en la elección de especies forrajeras se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones: 1). *El propósito del cultivo*; si es para pastoreo, cultivos como rye grass o trébol blanco, si es para corte se puede considerar alfalfa o avena. 2). *La duración del cultivo*; existen pastos cultivados perennes (rye grass, trébol, alfalfa, dactylis, etc.) y temporales como Avena forrajera, cebada, etc. 3). *La adaptabilidad*; se tienen especies que se adaptan mejor a una zona que otra. 4). *Exigencia de riego*; existen especies con raíces profundas que requieren riegos menos frecuentes y otras con raíces superficiales que demandan riego más frecuente.

b) Importancia y ventajas de las asociaciones forrajeras

FONCODES (2014), afirma que la siembra asociada sirve para mejorar la cantidad y calidad del pasto para la alimentación animal, mejora la fertilidad y estructura del suelo, mayor resistencia del cultivo a los efectos de heladas y granizadas. Una asociación forrajera adecuada aporta carbohidratos, fibra y proteínas en la nutrición animal. Por su parte CARE (2011), enfatiza la importancia de asociar pastos para evitar el timpanismo, incrementar la palatabilidad e incrementar el rendimiento de forraje (30 t/corte/ha) en comparación de alfalfa solo (15 t/corte/ha).

Ruiz y Tapia (1987), señalan también que el objetivo de una asociación forrajera es para lograr una mayor uniformidad en la cobertura vegetal, puesto que las pasturas de un mismo tipo de semilla generalmente no lo cubren debido a su forma de desarrollo. Una mezcla de diferentes especies cubre mejor el suelo y contribuye a controlar la erosión. Las asociaciones resisten mejor la competencia de las malas hierbas.

García et al. (2002), mencionan que la ventaja de incluir leguminosas en la

mezcla de pastos radica en que las especies de esta familia realizan simbiosis con la bacteria del género *Rhizobium* y pueden autoabastecerse de Nitrógeno a la vez aportar este elemento para las gramíneas; La capacidad de fijación del nitrógeno depende la humedad, pH del suelo, intensidad de la radiación solar y del suministro de nitrógeno, una cantidad alta de N en el suelo inhibe la formación de nódulos, reemplazando la fijación por absorción (Duran et al., 1987).

c) Desventajas de las asociaciones forrajeras

García et al. (2002), sostienen que, bajo condiciones de inadecuada asociación, las leguminosas se ven afectadas en la competencia con las gramíneas reduciendo todo el sistema forrajero su productividad. En la competencia por luz, las leguminosas tienen mayores ventajas en campos abiertos, mientras que en campos cerrados las gramíneas, al ser generalmente más altas y tener mayor tasa de crecimiento puede dominar y sombrear a las leguminosas. La competencia por agua y nutrientes está relacionada también por el desarrollo diferente de raíces, las raíces de las gramíneas son más finas y ramificadas que las leguminosas.

1.5.5. Fenología de pasturas

La palabra fenología proviene de “Fenomenología”, cuya ciencia se encarga de estudiar las relaciones entre las condiciones ambientales y los acontecimientos en la vida vegetal, es decir la influencia de los factores externos sobre el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales (Pascale et al, 2011), asimismo la fenología estudia las etapas de crecimiento de las plantas, cambios que influyen sobre la composición química y nutricional de las pasturas (Villalobos, 2019), la importancia nutricional de este concepto se basa en que la edad fenológica es un indicador genérico para la utilización de los pastos, asimismo el comportamiento fenológico de las pasturas depende de las condiciones climáticas (Villalobos y Sánchez, 2010). La aparición y/o transformación de los órganos, señala las etapas de desarrollo en la planta, y se puede clasificar como visibles (floración) y ocultas (germinación) o como vegetativas (brotación) o reproductivas (floración); dependiendo del tiempo transcurrido en las fases fenológicas de las pasturas las exigencias nutricionales y necesidades de la planta son variables (Pascale et al, 2011).

Los fenómenos biológicos y el comportamiento fenológico de las pasturas están influenciado directamente por factores climáticos; este comportamiento es una respuesta

ecofisiológica fundamentada en procesos bioquímicos que responden a cambios edafquímicos (García, 2006). La sucesión de etapas fenológicas, también están determinadas por las características físico-químicas del suelo como el pH del suelo, algunos cultivos son más tolerantes a la acidez del suelo que otros y dependiendo del comportamiento del pH del suelo en cada etapa, evidenciará la respuesta fisiológica de la planta (Lazcano, 2012). La disponibilidad de nutrientes está determinada por varios factores en especial el valor de pH, suelos excesivamente ácidos tienen poca disponibilidad de nutrientes como el P, Ca, Mg, K y Mb, teniendo en cuenta que el sistema radical tome los nutrientes solubles del suelo, la fisiología y la fenología de la planta se verá modificada por la absorción de nutrientes y consecuentemente la evolución de las fases fenológicas obedecen a reacciones bioquímicas impulsadas por los elementos minerales absorbidos (Zeas, 2015). Los cambios de transformación, aparición o desaparición de órganos vegetales se dan en un periodo (Pereira, et al., 2022) y tienen como importancia para la determinación del estado de desarrollo del cultivo, el propósito del conocimiento de la fenología de un cultivo permite aprovechar el valor nutricional de la pastura para su utilización como alimento para el ganado (Villalobos y Sánchez, 2010).

1.6. Especies forrajeras en estudio

1.6.1. *Dactylo (Dactylis glomerata)*

Cadenillas (1999), sostiene que es nativo del oeste y del centro de Europa, así como el norte de África. Se desarrolla adecuadamente en altitudes comprendidas entre los 1,500 y 3,000 m s.n.m.

La planta posee raíces profundas, hojas plegadas en yema, inflorescencia en panícula, tallos erectos de 0,5 – 0,7 cm de grosor que alcanzan alturas de 2 - 3 m entre nudos largos e iguales. Los tallos florales cuando maduran son duros, fibrosos y en la parte basal tienen entrenudos cortos. Los limbos son planos en forma de V, anchos, largos con el ápice puntiagudo, de color verde claro a verde azulado. La inflorescencia es una panícula con numerosos racimos de espiguillas que tienen de 2 a 5 flores cada una.

Es una especie perenne de vida larga y crecimiento vigoroso, en condiciones favorables las plantas forman un césped tupido y uniforme mientras que en condiciones adversas crece formando matojos y produce césped abierto. Después de varios años la población disminuye y solo quedan plantas aisladas, resistente a la sequía y requiere

suelos bien drenados de textura franco arenoso. El establecimiento para el primer año es lento y tiene una duración de pradera de 6 a 8 años según manejo y fertilización. Se puede obtener de 10 a 20 t/ha/corte de forraje verde cada 6-8 semanas (Cadenillas, 1999). Asociada con trébol rojo, puede rendir entre 12 – 14 t de MS/ha/año, resisten al frío extremo, a la escasez de agua, pisoteo y persisten en suelos pobres (Solid OPD, 2010).

CARE (2011), cita algunas variedades de dactilo: 1) Potomac; variedad seleccionada en EE.UU, se adapta desde los 2,300 hasta los 4,300 m s.n.m., tiene baja tolerancia a la sequía y una alta productividad en secano, no se adapta muy bien al pastoreo. 2) Amba; usados principalmente para suelos secos de buen drenaje, apropiado para resiembra en suelo seco, tolerante al pastoreo severo y recomendado para ovinos.

CONABIO (2007), tomado de Cronquist, A. (1981), cita la siguiente clasificación taxonómica de esta especie de la siguiente manera:

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Liliopsida
ORDEN	: Cyperales
FAMILIA	: Poaceae
GÉNERO	: Dactylis
ESPECIE	: <i>Dactylis glomerata</i>
NOMBRE VULGAR	: “Dactylis” o “Pasto ovillo”

1.6.2. Rye grass italiano (*Lolium multiflorum*)

Cadenillas (1999), menciona que es nativo de regiones mediterráneas, sur de Europa, norte de África y Asia Menor, se adapta a zonas comprendidas entre 2,000 y 3,200 m s.n.m; pero prospera mejor entre los 2,200 y 3,000 m s.n.m.

La planta posee tallos que crecen de 50 a 60 cm, firmes y erectas con nudos largos y oscuros. Forma hojas grandes de color verde oscuro, tiene vainas glabras, es decir lampiñas. Posee inflorescencia con espiga de 20 – 40 cm, de largo, delgadas y débiles, con espiguillas que contienen 10 – 20 florecillas.

Es una planta anual, de rápida maduración, con un periodo vegetativo de 70 – 80

días, algunas variedades se prolongan hasta 12 – 18 meses, otras se comportan como perennes. Crecen en matas espesas, en grupos aislados con numerosos macollos. Las plántulas soportan temperaturas de 4 – 5 °C. Es exigente en humedad, aunque soporta hasta ciertos límites la falta de agua. Se caracteriza por un crecimiento rápido después de las siegas o el pastoreo. Es necesario renovarlas cada año ya que decrece la producción, o dejarlas florecer una vez al año. Se logra producciones de 100 – 175 t/ha/año de forraje verde, aproximadamente, cuando está correctamente fertilizada. Su rendimiento se calcula entre 16 – 18 t de MS/ha/año y con 16 a 18% de proteína cruda. La densidad de siembra que se recomienda es de 35 a 40 kg.ha⁻¹. Se recomienda fertilizar a la siembra con 100 a 120 kg de nitrógeno y de 50 a 60 kg de fósforo por hectárea; está listo para cortarse a los 70 - 80 días de sembrado o cuando las plantas tengan una altura mínima de 35 centímetros.

Entre las variedades se tiene: 1) Tama; variedad tetraploide, tiene alto vigor de plántulas que permiten ser el rye grass de más rápido establecimiento de todos los existentes en el mercado mundial, es resistente al virus del enanismo amarillo de la cebada, moderadamente susceptible a la roya y muy susceptible al gorgojo barrenador del tallo (*Listronotus bonariensis*) y se adapta desde los 2,000 a 4,200 m s.n.m. (Chacón, 2014). 2) Otras variedades; “Bestfor”, “Magnum”, “Westerwoldicum”, “Concord”, etc. (Solid OPD, 2010).

CONABIO (2007), tomado de Cronquist, A. (1981), cita la siguiente clasificación taxonómica de esta especie de la siguiente manera:

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Liliopsida
ORDEN	: Cyperales
FAMILIA	: Poaceae
GÉNERO	: <i>Lolium</i>
ESPECIE	: <i>Lolium multiflorum</i>
NOMBRE VULGAR	: “Rye grass italiano, pasto Ballico”

1.6.3. Trébol rojo (*Trifolium pratense*)

Ruiz y Tapia (1987), menciona que el origen del trébol rojo se ubica en Asia

Menor y en el sur este de Europa. Es una especie anual, de alta producción, puede usarse para corte o pastoreo en praderas asociadas. Tiene un alto valor nutritivo y produce predominantemente en épocas de lluvia.

El trébol es una planta herbácea formada por numerosos tallos vellosos, hojas vellosas que nacen en corona con 3 folíolos, generalmente con una mancha clara en el centro de cada folíolo; las flores dispuestas en racimos compactos, su color suele definirse como rosa púrpura o granate. Las vainas son pequeñas y cortas, se abren transversalmente. Posee semillas pequeñas, sistema radical pivotante, con muchas ramificaciones secundarias, las raíces no alcanzan tanta profundidad como la alfalfa porque una gran parte de ellos se concentra a 30 cm de profundidad.

CARE (2011), menciona que esta especie requiere suelos de textura arcillosa y con alto contenido de materia orgánica, se puede adaptar desde los 2,200 a 3,900 m s.n.m., funciona bien en asociación con rye grass. Su persistencia es de 3 a 4 años dependiendo del manejo y fertilización. Posee, además, buena tolerancia a enfermedades foliares pero susceptible al nematodo de la raíz (*Ditylenchus dipsaci*). Se establece y desarrolla bien en los suelos relativamente ácidos como los de Allpachaka (Ayacucho), Asillo (Puno) o Santa Ana (Valle del Mantaro). La implantación es difícil, puede florecer el mismo año que su establecimiento. En alturas sobre los 3,900 m s.n.m., se hace más difícil la floración. En general se requiere menos humedad que el trébol blanco para su establecimiento y no soporta el exceso de humedad.

Las variedades más difundidas son: Kenland, Mattenkleee, Lakeland, Nord castre, Renova, Changins, Mont calme, Seben Burger, Luxemburgerg, Hungarapoly, Chesepeck, entre otras. En nuestro país las variedades más utilizadas son: “Rosada de Quiñequeli”, “Red Queli”, etc.

CONABIO (2007), tomado de Cronquist, A. (1981), cita la siguiente clasificación taxonómica de esta especie de la siguiente manera:

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida
ORDEN	: Fabales

FAMILIA : Fabaceae
GÉNERO : Trifolium
ESPECIE : *Trifolium pratense*
NOMBRE VULGAR : “Trébol rojo”

1.6.4. Alfalfa (*Medicago sativa*)

D’attellis (2005), señala que existe un consenso general de que la *Medicago sativa* se originó en el "Cercano Oriente Central", según la clasificación de Vavilov, zona integrada por Asia Menor, Irán y la región montañosa de Turquía. Irán constituye el centro geográfico que más comúnmente se menciona como originario de la alfalfa. Mientras que Gonzáles (2009), indica que su origen está en el sudoeste de Asia, cultivándose primero en Persia, de allí se llevó a Grecia en el siglo V a.C. y a España en el siglo VIII d.C. Los españoles introdujeron a la alfalfa al norte y sur de América.

La planta posee hojas trifoliadas con márgenes lisos y bordes ligeramente dentados, las primeras hojas son unifoliadas, inflorescencia en forma de racimos de 10 a 20 flores de color morado, raíz principal pivotante profunda (hasta 5 m de longitud) con numerosas raíces secundarias en las cuales forman una simbiosis con las bacterias del género *Rizhobium*, posee una corona que sale del terreno de la cual emergen brotes que dan a lugar a los tallos, las vainas tienen forma espiral y contienen 2 a 5 semillas (Martinez et al. 2015).

La alfalfa se considera como la reina de los forrajes, es una especie perenne por lo general de corte sin embargo puede ser usada en pastoreo en monocultivo o asociado, crece bien en suelos profundos, el periodo de permanencia en el terreno una vez instalada y con un manejo adecuado es de entre 15 a 20 años. Los rendimientos en secano son de 100 t/ha año de follaje verde y con riego 140 t/ha año de follaje verde. La alfalfa fija entre 100 a 150 kg de N/ ha/año, requiere de una fertilización fosfatada debido a que los suelos de sierra son deficientes en este elemento (Cáritas del Perú, 2016).

García et al. (1999), citan que la alfalfa es el cultivo más sensible a la acidez del suelo. Rendimientos altos se obtienen cuando el pH es de 6,5 o superior ya que mejora la nodulación y se logra un mejor establecimiento, persistencia y desarrollo del cultivo. El nivel del rendimiento de la alfalfa decrece en función al pH del suelo; expresando su

rendimiento al 42 % a un pH de 5,7 y 100% a un pH de 6,8. Asimismo el pH crítico para este cultivo es de 6,1 (Magra, 2015).

MINAGRI (2017), estimó que la producción anual de la alfalfa para el 2017 fue de 228 123 t con una superficie cosechada de 8 435 ha y cuyo rendimiento fue de 27 045 k/ha a un precio en chacra de 0,33s/./kg. CENAGRO, 2012, estima que existe 15 756.13 hectáreas de alfalfa sembrada en la región Ayacucho y Dactilys 188.67 hectáreas.

Entre las variedades se tiene: **WL350**; cuya dormancia es de 4, lo que le hace resistente a las sequías y heladas; cuando las condiciones son desfavorables pueden permanecer en el terreno en descanso hasta por 3 meses, luego brotar cuando las condiciones son favorables; se desarrolla entre los 2,600 y 4,200 m s.n.m. (Chacón 2014). Arenas (2011), recomienda que para la sierra se debe sembrar variedades con dormancia de 3 a 3,5, siendo esta dormancia la que protege al cultivo y lo pone en hibernación. Otras variedades: **SW 8210**; posee una dormancia de 8,5, es decir que produce todo el año y requiere de riegos continuos, se caracteriza por presentar hojas anchas, los cortes son rápidos cada 35 a 45 días, obteniéndose seis a siete cortes por año. **Ranger** (dormancia 3 - 5); para zonas altoandinas, bajo condiciones de riego y secano, muy buena para pastoreo. **Joya 1, Joya 2** (dormancia 4); para zonas altoandinas, prospera muy bien bajo condiciones de riego y secano, muy buena para pastoreo. **Prince** (dormancia 7); alto valor nutritivo, buen rebrote al corte, para zonas bajas con riego. **California 52 y California 55** (dormancia 9); para zonas bajas y abrigadas, alto rendimiento. **Moapa**; variedad que se adapta a valles de la costa y valles interandinos, requiere riego.

CONABIO (2007), tomado de Cronquist, A. (1981), cita la siguiente clasificación taxonómica de esta especie de la siguiente manera:

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida
ORDEN	: Fabales
FAMILIA	: Fabaceae
GÉNERO	: Medicago
ESPECIE	: <i>Medicago sativa</i>
NOMBRE VULGAR	: “Alfalfa”

1.7. Manejo de pasturas

1.7.1. Instalación de pasturas

Catholic (2015), indica que antes de la siembra es importante evaluar las características del terreno donde se va a establecer una especie forrajera como su fertilidad; el establecimiento de los pastos y forrajes depende en gran medida de la preparación del suelo. La elección de la especie a establecer depende de las condiciones del suelo, la adaptabilidad climática de las especies, la tolerancia al estrés hídrico, tolerancia a la acidez de los suelos, compatibilidad con otras especies, variedades existentes en el mercado y el uso que se le dará al pasto.

CARE (2011), recomienda que para realizar la siembra de la asociación de pastos se debe calcular la densidad de siembra y la proporción de gramíneas y leguminosas. La dosis requerida para una hectárea en monocultivo es de 30 a 35 kg de semilla de alfalfa dependiendo de la viabilidad de la semilla (Cáritas del Perú, 2016). Para encontrar una adecuada densidad de siembra, se realiza el cálculo del valor de uso y una prueba de calidad de semillas; la densidad teórica para el dactylo varía de 10 – 20 kg/ha, rye grass italiano 20 – 30 kg/ha, alfalfa 18 – 28 kg/ha, trébol rojo 12 – 20 kg/ha. La siembra de especies forrajeras puede realizarse de forma mecanizada o manual (Gonzáles, 2009).

La alfalfa es recomendable sembrar asociando con una especie nodriza para zonas donde son frecuentes las heladas o granizadas a una dosis de 20 – 30 kg de cebada, 22 - 24 kg de alfalfa, 3-5 kg de rye grass, 2-3 kg de dactylis, 1-2 kg de trébol rojo por hectárea.

1.7.2. Fertilización

IPNI (2009), menciona que el adecuado suministro de nutrientes vía fertilización asegura la persistencia de las pasturas y mejora la calidad del forraje, asimismo las reservas de nutrientes en el suelo dependen del balance entre la extracción y la reposición. La producción de pasturas provee también condiciones químicas, físicas y biológicas al suelo contribuyendo a una mayor productividad de los cultivos implantados luego del periodo bajo pastura.

Cadenillas (1999), citado por Pantoja (2001), afirma que para tener una buena respuesta a la fertilización de pasturas, es necesario tomar en consideración la influencia de diferentes factores. Así se tiene: 1) *La fertilidad de los suelos*; representada por la

capacidad de los suelos para abastecer de algunos elementos esenciales a las plantas. 2) *Clima*; es un factor que influye indirectamente en la fertilización de las pasturas; climas cálidos condicionan un crecimiento y desarrollo vigoroso de las plantas, lo que exige la correspondiente disponibilidad de nutrientes en el suelo; en climas fríos las pasturas son exigentes en aplicaciones importantes de nutrientes en forma de fertilizantes, como consecuencia de la limitada actividad de los microorganismos por la baja temperatura. 3) *El factor planta*; relacionado a las exigencias de nutrientes en función a sus características genéticas y su interrelación respuesta al medio ambiente. Las gramíneas por la gran masa verde que forma son más exigentes en nitrógeno que las leguminosas, mientras que estas últimas requieren más fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Los pastos requieren nutrientes para su crecimiento y producción de forraje, éstos deben aplicarse en partes fraccionadas durante el desarrollo del cultivo. De acuerdo al análisis de suelo correspondiente y los requerimientos del cultivo, se debe calcular la fórmula de fertilización; las asociaciones de pastos requieren en el establecimiento 25-70-45 y 0-70-30 de N-P₂O₅-K₂O en el mantenimiento respectivamente (INIA, 2011).

García et al. (1999), muestran que las especies forrajeras presentan diferentes requerimientos de nutrientes:

Tabla 1.6

Requerimientos de macronutrientes en especies forrajeras

Especie	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio
(kg/t MS)*						
<i>Medicago sativa</i>	25-30	2,2-3,3	18-25	2,5-5	11-12,5	2-3,7
<i>Trifolium pratense</i>	22	2,7-3,2	27	5-6	--	--
<i>Trifolium repens</i>	35	3,4	19	--	--	--
<i>Dactylis glomerata</i>	25	3,6	23-25	2,2	--	2,2
<i>Lolium sp.</i>	20-35	2,4-3,7	24-28	2-3	5-6	2

Fuente: García et al. (1999), * Requerimientos expresados en kg/Ton. de materia seca

Tabla 1.7*Requerimientos de micronutrientes en especies forrajeras*

Especie	Zinc	Boro	Cobre	Manganeso	Hierro	Molibdeno
(g/t MS)*						
<i>Medicago sativa</i>	15	25-30	7	25	30-50	0,1-1
<i>Trifolium pratense</i>	--	21-45	10-12	--	--	0,45
<i>Festuca sp.</i>	26	--	14	62	--	0,7
<i>Gramíneas</i>	--	10-50	5-12	--	--	0,2-0,7

Fuente: García et al. (1999), * Requerimientos expresados en gramos/Ton. de materia seca

Arenas (2011), sostiene que existen tres microelementos esenciales para los cultivos de forrajes y pastos cultivados. El molibdeno, que en la alfalfa ayuda a la fijación del nitrógeno atmosférico. El hierro, interviene en la formación de macollos y en la mayor asimilación de los nutrientes aplicados. El zinc, interviene en el crecimiento de las plantas y la formación de proteína dentro de las plantas.

1.7.3. Manejo de plagas y enfermedades

Martínez et al. (2015), reportan al *Fusarium Oxysporum medicaginis* como una enfermedad clave para la alfalfa, el patógeno puede crecer y esporular sobre un rango amplio de valores de pH (7,5 - 8,5), el hongo produce estructuras para su diseminación formadas en los vasos xilemáticos de las plantas infestadas; produce una necrosis basal de color marrón claro a nivel del cuello, la cual tiende a ser ascendente hacia el ápice de la misma, y una marchitez regresiva en las hojas. El pasto rye grass es poco afectada por plagas y enfermedades; la más común es la pudrición de la corona causada por *Puccinia coronata*, pueden ser controladas con pesticidas (Vélez et al. 2002, mencionado por Villalobos y Sánchez, 2010).

1.7.4. Riego

CARE (2011), manifiesta que el riego de pastos es muy importante porque el agua disuelve los fertilizantes y conduce a las diferentes partes de la planta para que se nutra, desarrolle y crezca bien. La frecuencia de riego debe utilizarse según el tipo de suelo; en suelos arenosos cada 8 a 10 días, en terrenos arcillosos o compactos cada 12 a 15 días. Cáritas del Perú (2016), recomienda realizar los primeros cuatro riegos cada tres días y luego una vez por semana, esto puede variar de acuerdo al tipo de textura del suelo y las necesidades hídricas de la planta.

Bernal (2005), cita que la mayoría de pastos cultivados requieren una pluviometría mínima promedio de 600 mm, sin embargo, la distribución de las lluvias a lo largo del año no es uniforme, existiendo meses con exceso de humedad y otros con déficit, de acuerdo a ello, se hace imprescindible el uso de agua de riego, considerándose que, en promedio, una hectárea de pasturas se puede regar con un caudal de 1 litro por segundo.

1.7.5. Corte y/o cosecha

CARE (2011), recomienda que el momento oportuno de corte o pastoreo es cuando el pasto está iniciando la floración (5 a 10 % de floración); en esta etapa el pasto acumula mayor cantidad de energía y proteína, haciéndose más nutritivo para los animales, es recomendable dejar de 5 a 8 cm de altura desde el suelo ya que servirá de reserva para que la planta crezca y se desarrolle para los siguientes cortes.

Gonzáles (2009), recomienda que el mejor tiempo para utilizar o cosechar los pastos, en las gramíneas es cuando hay flores dentro de las hojas, pero no expuestas. En leguminosas cuando hay capullos, pero no flores todavía. En general, durante la formación de la flor la planta llega a su máxima en material digestible. Si se espera más tiempo para cosechar la planta tendrá más material no digerible como caña que no es tan buena como fuente de energía. Nunca se debe dejar que la planta forme semillas, la planta contiene de 7 a 11% de proteína cuando está formando semillas, y cuando las semillas están maduras contiene de 4 a 8%. Las plantas en su primera época de crecimiento contienen de 17 a 21% de proteína. Cuando hay flores, contienen de 10 a 13%. Las gramíneas por su parte, son en general más ricas en hidratos de carbono solubles (entre 4 y 13%) que las leguminosas (2 al 10%) y aportan a la dieta animal fibra vegetal.

Perozo (2013), menciona que para determinar el momento de corte del pasto se debe tener en cuenta lo siguiente: La pastura debe alcanzar un 95% de intercepción lumínica (IL); es aquí donde se logra la máxima de tasa de producción de materia seca (MS); momento en el que se considera óptimo para el pastoreo o el momento de corte adecuado de la especie forrajera. Muchos estudios demostraron que la IL crítica se encuentra altamente correlacionado con la altura del pasto; con esta variable se facilita de forma práctica poder determinar el momento óptimo para el corte del pasto de igual manera los animales podrán ingresar al pastoreo.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Medio experimental

2.1.1. Ubicación del experimento

La presente investigación se realizó en un suelo ácido de puna de la localidad de Añaycancha, cuya información se muestra a continuación:

Región	: Ayacucho
Provincia	: Vilcashuamán
Distrito	: Vischongo
Anexo	: Añaycancha
Latitud	: 13° 28'45.13'' S
Longitud	: 74° 03'9.7'' W
Altitud	: 3530 m s.n.m.

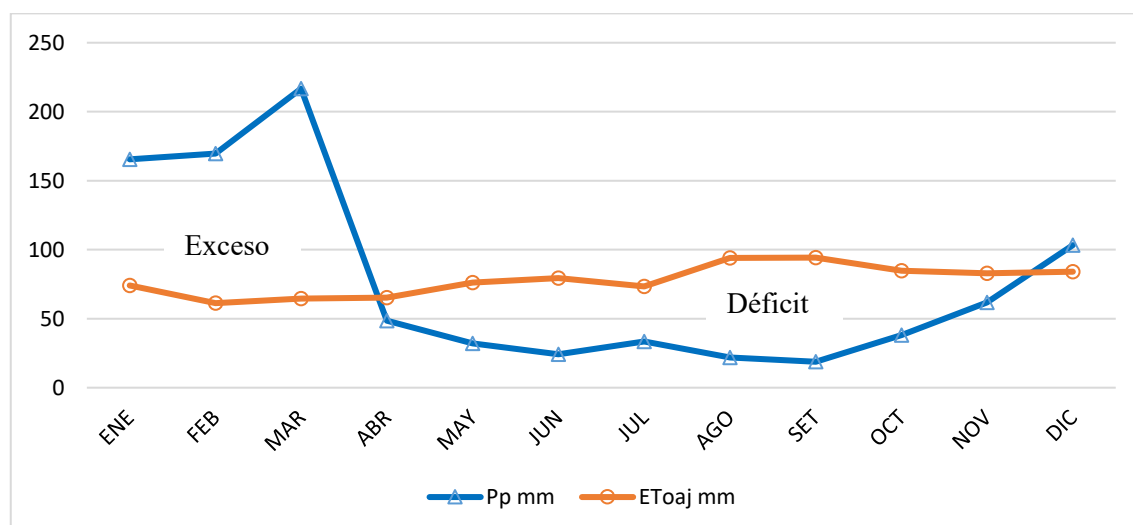
2.1.2. Características climáticas

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por la Dirección de Obras y Estudios de la unidad de hidrología del proyecto especial “Rio Cachi” Estación meteorológica de Sachabamba, situada a 74° 05'45” longitud oeste, 13° 27'27” latitud sur y a una altitud de 3544 m s.n.m. Los registros meteorológicos del ámbito del presente experimento se detallan en el anexo 18.

La localidad de Añaycancha, se caracteriza por las fuertes variaciones de temperatura entre el día y la noche, además presenta épocas marcadas de sequía y lluvia. Las bajas temperaturas corresponden a los meses de ausencia de lluvias (mayo - julio) llegando hasta -4,6°C; las altas temperaturas en los meses lluviosos (febrero – abril), alcanzando hasta 24,9°C. Entre los meses de diciembre a febrero del 2018, las precipitaciones fueron mayores, altas tasas de HR respecto a los meses de mayo – octubre.

Figura 2.1

Balance hídrico de la campaña agrícola 2018. Sachabamba, Ayacucho, 3544 m s.n.m.



Según la Figura 2.1, los meses de abril a septiembre, las precipitaciones fueron escasas, registrándose valores mínimos que varían desde 18 mm (septiembre) a 48 mm (abril); mientras que las precipitaciones más altas se dieron de diciembre a marzo. El mes de marzo registró la máxima precipitación mensual del 2018, alcanzando 216,7 mm y la mínima corresponde a septiembre. En consecuencia, los meses de déficit hídrica corresponden a los meses donde la evapotranspiración potencial fue mayor a la precipitación, iniciando en abril y alargándose hasta el mes de noviembre; meses donde se registraron temperaturas medias bajas. La evapotranspiración potencial, se calculó mediante el método Penman Monteith modificado por la FAO, considerando datos meteorológicos de la estación más cercana. El balance hídrico muestra que la evapotranspiración potencial en los meses de baja precipitación es mayor, meses en las cuales las necesidades de agua de los pastos cultivados fueron cubiertas con riegos frecuentes.

2.1.3. Características fisiográficas

Según ZEE-OT (2015); el ámbito geológico donde se realizó el experimento pertenece sobre una formación perteneciente al complejo Querobamba, perteneciente a una fisiografía Montañosa de litología sedimentaria/volcánica/intrusiva ligeramente ondulado (3 - 5%). El suelo presenta una clase textural Franco arcillo arenoso (F.Ar.A) y una profundidad promedio de 1,8 – 2,5 m. Se encuentra sobre la zona de vida (Holdridge): bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS), con temperatura entre los 8 y 12°C. El

anexo Añaycancha, se encuentra expuesto a peligros climáticos múltiples como heladas de valor muy alto y sequías de valor medio bajo.

2.1.4. Historial del campo experimental

Para la conducción del experimento, se seleccionó un predio con descanso de 2 años, en el cual no hubo sembríos de pastos asociados cultivados, anterior al experimento, el terreno se utilizaba para sembrar olluco (*Ullucus tuberosus caldas*) y occa (*Oxalis tuberosa*).

Campaña agrícola 2016 – 2017; cultivo de olluco y cultivo de occa

Campaña agrícola 2016 – 2018; descanso

Campaña agrícola 2018 – 2019; presente experimento

2.2. Materiales

2.2.1. Materiales y equipos en general

Materiales y herramientas: Picos, rastrillos, wincha de lona de metros, bandejas de germinación, pizeta, flexómetro, zaranda, bolsa de plástico, cordel, estacas de madera, cilindros, palas, hoces, cuadrante metálico, hoz, baguetas, vasos de precipitado, probetas, libreta de campo, lápiz, lapiceros, reloj manual, regla y otros.

Equipos: Balanza electrónica y analógica, aspersores, laptop, potenciómetro, estufa electrónica, y mochila fumigadora.

2.2.2. Insumos

a) Semillas

Las semillas fueron adquiridas en las casas agropecuarias de la ciudad de Huamanga, previamente realizadas su análisis de germinabilidad y pureza. Las especies que se emplearon en el presente trabajo de investigación, consta de semillas de pastos: *Dactylis glomerata* (Var. Potomac); *LoLium multiflorum* (Var. Tama); *Trifolium pratense* (Var. Quiñequeli) y *Medicago sativa* (Var.W350).

b) Enmiendas calcáreas

Se realizó la aplicación de dos tipos de material encalante, dolomita y ceniza de leña. La dolomita se adquirió de una tienda agropecuaria donde expenden fertilizantes, mientras que la ceniza de leña se obtuvo de la recolección manual de las cocinas de diversas casas de la comunidad de Añaycancha.

c) Fertilizantes

En la siembra se utilizó fosfato diamónico como fuente de fósforo y nitrógeno y como fuente de potasio, cloruro de potasio. También se utilizó nitrato diamónico en el segundo abonamiento. Aplicados de acuerdo al análisis químico del suelo, cálculo de abonamiento y basándose en las recomendaciones para el cultivo de pastos asociados. La fórmula de abonamiento calculada corresponde a 30-50-50 kg. N-P₂O₅-K₂O/ha.

d) Sustancias y soluciones

Solución reguladora de pH, agua destilada, agua azucarada al 15%, inoculante Rizhomack entre otros.

2.2.3. Características de la ceniza de leña

La ceniza de leña se recolectó de las cocinas existentes en los hogares del centro poblado de Añaycancha, para luego trasladar, tamizar y eliminar materiales extraños. La toma de muestra consistió en homogenizar la totalidad del material recolectado, del cual se procedió a tomar una sub-muestra representativa de 1 kg, luego se almacenó en una bolsa. La sub-muestra se trasladó a la ciudad de Huamanga y remitió al laboratorio para su análisis. El análisis químico se realizó el 10/06/18 del en el laboratorio de análisis de suelos, plantas y aguas “Agrolab”.

Tabla 2.1

Resultados del análisis de ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.

N° Lab	Muestra	CaO	MgO	K ₂ O	Cu	Zn	Fe	Mn
		%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
AAF 515	Ceniza	24,5	2,91	6,12	80	300	11000	6700

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes AGROLAB.

La composición de las cenizas empleadas en el presente experimento se muestra en la Tabla 2.1 Se puede destacar la fuerte relación alcalina y las importantes concentraciones de Ca, Mg y K. De igual manera se destacan las bajas concentraciones de micro-elementos. La concentración de CaO en la ceniza presentó 24,5%, considerándose inferior a las otras fuentes de encalado como el yeso, calcita e hidróxido de calcio (Bernier y Alfaro, 2006). Solla-Gullón et al. (2001), encontró una composición de Ca (0,25%) y Mg (0,06%) en las cenizas de *Pinus radiata*; en este caso, la ceniza

empleada, contiene significativa concentración de estos elementos posiblemente debido a la especie vegetal (*Eucaliptus sp.* y *Polylepis sp.*) y la parte combustionada del árbol, las ramas y raíces, por lo general, son más ricas en P, K y Mg que el tronco, la corteza y las acículas (Hakkila, 1989; citado por Omil, 2007).

Por su parte Guillén (2013), encontró una concentración de bases presentes en la ceniza de leña equivalentes a Ca (4,7%), Mg (0,3%) y K (0,14%); valores inferiores a los encontrados en la presente enmienda empleada. Asimismo, los microelementos presentes en la ceniza de leña resultaron cantidades significativas, corroborando así el carácter alcalino por la composición variable de macro y micro-nutrientes (Etiégni y Campbell, 1991).

2.2.4. Características de la dolomita

La concentración de óxidos presentes en la dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), reportada en la etiqueta comercial equivale a CaO (29%) y MgO (18%); difiriendo por los reportados en la bibliografía, cuyo contenido es de aproximadamente 22% de Ca y 13% de Mg, dependiendo de la pureza (Bernier y Alfaro, 2006).

2.3. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos resultan de la combinación de dos factores (Material encalante: dolomita y ceniza) y tres niveles (2, 4, 6 meq/100g) + 1 testigo adicional. La Tabla 2.2 muestra la cantidad de material encalante empleado en cada U.E.

Tabla 2.2

Niveles de dolomita y ceniza de leña utilizados

Tratamiento	Material encalante	Niveles	
		kg.ha ⁻¹	kg/parcela
T ₁	Dolomita (2 meq/100 g)	1840	3,68
T ₂	Dolomita (4 meq/100 g)	3680	7,36
T ₃	Dolomita (6 meq/100 g)	5520	11,04
T ₄	Ceniza (2 meq/100 g)	1880	3,76
T ₅	Ceniza (4 meq/100 g)	3760	7,52
T ₆	Ceniza (6 meq/100 g)	5640	11,28
T ₇	Testigo	-	-

Fuente: Elaboración propia

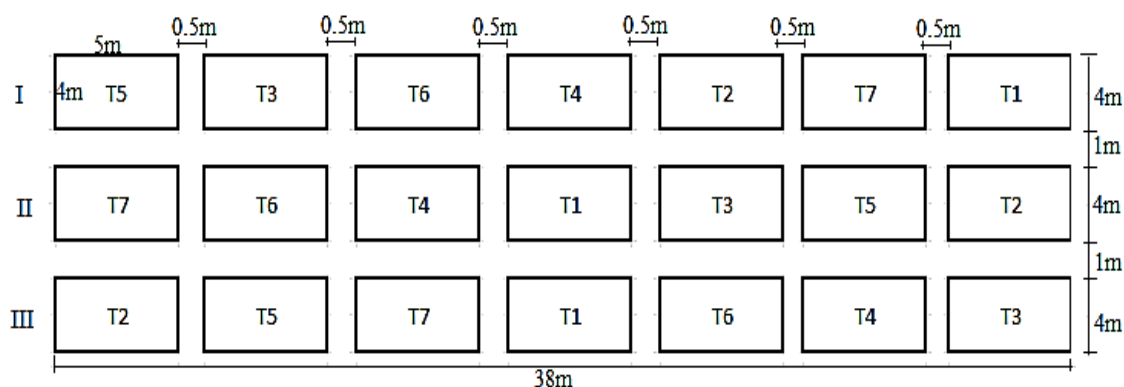
Las unidades experimentales (U.E.) constan de 21 parcelas distribuidas al azar con dimensiones de 5 m de longitud por 4 m de ancho; distanciadas a 0,5 m entre calles y 1 m entre bloques en las que se sembraron 4 especies de pastos. Se consideraron dos tipos de muestra: muestras de suelo tratado con material encalante y muestras de forraje verde conducido en una parcela de 20 m² para evaluar la reacción del suelo y el rendimiento respectivamente. La disposición temporal para el experimento fue de 284 días.

2.3.1. *Diseño experimental*

El experimento se condujo utilizando el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), el cual está dividido en 3 bloques de 7 unidades experimentales cada una (Figura 2.2).

Figura 2.2

Croquis del campo experimental y randomización de los tratamientos



El área total del experimento es de 532 m² (14 m x 38 m), el área de las calles horizontales que dividen a los bloques es de 76 m², las calles verticales (6) que dividen las parcelas es de 42 m² (0.5 m x 14 m). El área efectiva del experimento es de 420 m².

2.3.2. *Análisis estadístico*

El modelo de análisis de varianza utilizada corresponde al análisis funcional de la varianza (ANAFUNVA), mediante el cual se determinó el modelo polinómico al cual se ajustan las variables en estudio (Tineo, 2012). Este análisis de tendencia obedece al ajuste del polinomio:

$$Y_i = b_0 + b_1X_i + b_2X_i^2 + b_3X_i^3 + \dots + b_kX_i^k + e_i$$

Las comparaciones mutuamente ortogonales se plantearon según la naturaleza de los tratamientos (Tabla 2.3).

Tabla 2.3

Contrastes ortogonales planteados para el análisis de datos

Contraste	Comparación	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
C ₁	Testigo VS Material encalante	1	1	1	1	1	1	-6
C ₂	Dolomita VS Ceniza	1	1	1	-1	-1	-1	0
C ₃	Dolomita lineal	-1	0	1	0	0	0	0
C ₄	Dolomita cuadrático	1	-2	1	0	0	0	0
C ₅	Ceniza lineal	0	0	0	-1	0	1	0
C ₆	Ceniza cuadrático	0	0	0	1	-2	1	0

Fuente: Elaboración propia

2.4. Método procedimental

2.4.1. Instalación del experimento

a) Preparación del terreno

La preparación del terreno para la instalación del experimento se realizó el 18/10/17, mediante labores de aradura y roturado del terreno con tractor agrícola. Luego de la cruz y dobleo, se realizó el mullido, desterronado y nivelación del terreno para el trazado y marcación. El 20/10/17 se procedió a realizar el trazado del campo de acuerdo al diseño de los bloques y parcelas con las medidas correspondientes, con la ayuda de una wincha, estacas, pico, lampa y rastrillos. Después del trazado se realizó la apertura de las calles dentro de las parcelas experimentales con dimensiones de 1 m entre bloques y 0,5 m entre parcelas respectivamente.

b) Aplicación de los materiales encalantes

Después de la obtención de los resultados del análisis de fertilidad, se procedió a calcular en gabinete la necesidad del encalado para dicho suelo, particularmente para cada unidad experimental como se detalla en la Tabla 2.2. La ceniza de leña se tamizó para la separación de materiales extraños como carbones, restos de leña y cáscara de huevo; ambos materiales se pesaron haciendo uso de una balanza analítica en cantidades equivalentes a los niveles propuestos. El 16/01/18 se procedió a realizar la adición de los materiales encalantes a las 21 parcelas experimentales, distribuyendo mediante voleo de manera uniforme a toda la parcela y evitando el arrastre del viento a las partículas finas.

Para dicha actividad, se utilizó un total de 66, 24 kg de dolomita y 67,68 kg de ceniza, cantidad que se distribuyó a todas las unidades experimentales con excepción del testigo. Luego de la aplicación de los materiales a la parcela con ayuda de rastrillos, picos, azadones y palas se procedió a realizar la mezcla y homogenización del material encalante con el suelo, mezclando el suelo por encima de los 0,2 m de profundidad correspondiente a la capa arable.

c) Abonamiento

Transcurridos 30 días (15/02/18) después de la aplicación de los materiales encalantes, se procedió a la aplicación de fertilizantes al voleo, actividad que se realizó utilizando una fórmula de abonamiento 20-50-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha, respectivamente (0,24 kg de fosfato diamónico y 0,167 kg de cloruro de potasio). Después del primer corte (01/08/18), se realizó un abonamiento nitrogenado (10-0-0 N-P₂O₅-K₂O/ha) para reponer los nutrientes del suelo extraídos por los pastos.

d) Siembra

Previo a la siembra se realizó el análisis de semillas:

Tabla 2.4

Análisis de semillas de las especies forrajeras

Familia	Proporción (%)	Especie	(%) Germ.	(%) Pureza	Peso 1000 Semillas (g)
Gramíneas	70	<i>Dactylis glomerata</i>	92	90	1,19
		<i>LoLium multiflorum</i>	96	98	4,54
Leguminosas	30	<i>Trifolium pratense</i>	95	90	1,95
		<i>Medicago sativa</i>	87	90	2,00

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la semilla determinó que se utilizará una densidad real (D.R) de 26,16 kg.ha⁻¹ de semillas de pastos entre gramíneas y leguminosas. Las características, se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5*Resumen del cálculo de la densidad de siembra*

Familia	Especie	Variedad	Densidad de siembra (kg.ha ⁻¹)
Gramínea	<i>Dactylis glomerata</i>	Potomac	9,73
	<i>Lolium multiflorum</i>	Tama	8,58
Leguminosa	<i>Trifolium pratense</i>	Quiñequeli	3,10
	<i>Medicago sativa</i>	W350	4,75

Fuente: Elaboración propia

Con la densidad de siembra calculada y haciendo uso de una balanza electrónica, se pesó 420 g de semilla de *Dactylis glomerata*, 360 g de *Lolium multiflorum*, 130 g de *Trifolium pratense* y 210 g de *Medicago sativa* para todo el experimento; utilizándose un total de 1,12 kg de semilla asociada por todo el experimento.

La desinfección de semillas de los pastos se realizó el 13/02/18, para lo cual se procedió a diluir el fungicida agrícola a una dosis de 3,5 ml y 1,5 ml en 1 litro de agua en la cual se sumergió las semillas durante 10 minutos removiendo. Luego se procedió a filtrar las semillas para su posterior secado al aire.

La inoculación de las especies (Alfalfa y trébol rojo), se realizó siguiendo la técnica recomendada por el laboratorio de Rhizobiología, consistió en diluir 250 g del inoculante (Rhizomack) por 20 kg de semilla en una solución azucarada al 15%, haciendo uso de un recipiente se procedió a mezclar las semillas de las leguminosas (340 g) con la solución durante 15 minutos. Las semillas inoculadas, fueron almacenadas en un lugar fresco para orear, evitando exponer directamente a los rayos solares y luego ser sembrados, dicha actividad se realizó el mismo día de la siembra.

La siembra se realizó el 15/02/18. Para lo cual se mezcló con arena todas semillas de la asociación tanto gramíneas como leguminosas, utilizándose 20 g de dactylis, 17,2 g de rye grass italiano, 6 g de trébol rojo y 10 g de alfalfa para cada tratamiento o unidad experimental; distribuyéndose al voleo y haciendo uso de un rastrillo se procedió a uniformizar la siembra, enterrando con una capa delgada de tierra.

2.4.2. Conducción del experimento

a) Control de malezas

El control de malezas, se realizó de forma manual y con piquillo. La primera actividad desarrollada fue el 18/03/18, eliminando las malezas que crecieron con la excesiva humedad existente. La principal maleza que afectó las parcelas fue la maleza denominada “atarraya o esparcilla” (*Spergula arvensis*), especie rastrera que se prolifera emitiendo raíces de sus nudos, otras malezas de importancia fueron el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), nabo silvestre (*Brassica sp.*) y soqlla (*Bromus lanatus*). La segunda actividad de desmalezado se realizó el 03/04/18 cuando la maleza invadía masivamente las parcelas experimentales, la competencia de la maleza frente a las plantas fue notorio con síntomas de amarillamiento, esta actividad se desarrolló con la ayuda de 2 personales durante 7 días. Finalmente, el 06/07/18 se efectuó el desmalezado final a las parcelas experimentales para la eliminación de las malezas que no se pudieron eliminar y crecieron a la fecha.

b) Control fitosanitario

Cuya actividad fue desarrollada el 10/03/18 tras la primera evaluación del crecimiento de las semillas y emergencia de las plántulas, se observó que las plántulas de trébol y alfalfa sufrían muerte y marchitamiento a nivel del cuello con síntomas de necrosis y pudrición del talluelo. Se determinó la fumigación contra las principales enfermedades fúngicas que atacan a las plántulas en las primeras etapas de vida según los síntomas que mostraron las plántulas. La fumigación se realizó con un producto agrícola fungicidas a una dosis de 15 y 20 ml/ mochila de 20 L con su respectivo adherente agrícola; utilizándose 01 mochila por todo el área experimental.

Segundo control fitosanitario, actividad que se desarrolló el 10/04/18, luego de haber transcurrido 50 días después de la siembra por la presencia y proliferación de larvas de polillas de la familia Piralidae, para esta actividad se utilizó el insecticida agrícola a base de carbamato y una dosis de 15 ml/ mochila de 20 L con su respectivo adherente agrícola con lo cual se contrarrestó el ataque de las larvas de los lepidópteros; utilizándose 3 mochilas por todo el área experimental.

c) Riego

La conducción del experimento se inició bajo el régimen de lluvias de los meses de febrero, marzo y abril. La aplicación de riegos frecuentes, se realizó después de haber transcurrido 45 días desde la siembra. El primer riego se realizó el 05/04/18, regándose todas las unidades experimentales mediante la utilización de 02 aspersores colocados para tal fin. La frecuencia de riego estimado experimentalmente fue de 4 días debido a las características del suelo, la necesidad de las plantas y la fuerte insolación que ocasiona la evaporación rápida de la humedad del suelo.

d) Cosecha

La actividad se desarrolló de la siguiente manera: Luego de la estimación de la madurez del forraje se procedió a delimitar el área de corte y muestreo, equivalente a $3 \times 4 \text{ m}^2$ y 1 m^2 respectivamente, tomando como referencia el sitio de muestreo más representativo de la parcela, se realizó el corte del forraje dentro del cuadrante de 1 m^2 a una altura aproximada de 5 cm los cuales se pesaron y almacenaron en una bolsa oscura de polietileno para el traslado y el análisis de la materia seca. Seguidamente se procedió a realizar el corte y pesaje respectivo del forraje del área equivalente a $3 \times 4 \text{ m}^2$ con la finalidad de evitar el efecto borde en la obtención de datos de rendimiento. Finalmente, después de la cosecha se realizó el corte total del área restante de la parcela.

El muestreo de las parcelas se realizó con la ayuda de herramientas como la hoz, bolsas de plástico, balanza analógica, cuadrante de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, libreta de campo, flexómetro, etc. En cada fecha de corte y muestreo se recogieron muestras de forraje verde de todas las parcelas del experimento (21 parcelas). Las muestras obtenidas del cuadrante de 1 m^2 , en campo, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNSCH para el análisis de materia seca.

Las cosechas y muestreos se desarrollaron en 3 etapas en las siguientes fechas: 29/7/18, 27/09/18, 27/11/18; efectuándose el primer corte, segundo y tercer corte respectivamente. La cosecha de las especies de la familia gramínea se realizó cuando se encontraba en la fase de desarrollo correspondiente al crecimiento de espigas, escala de zadocks 4-5 (Rawson y Gómez, 2001); mientras para las especies de la familia leguminosa se realizó cuando se encontraban en la fase fenológica de prebotón, botón e inicio de floración (SENAMHI, 2011) para el 1er, 2do y 3er corte respectivamente.

2.5. Caracterización del suelo

El muestreo del suelo se realizó el 08/01/18; la muestra corresponde a los 0,2 m superficiales del área experimental. Los resultados del análisis del laboratorio, se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6

Resultados del análisis de caracterización de suelo. Añaycancha, 3530 m s.n.m.

pH (1:1)	C.E. dS.m ⁻¹	CO ₃ ²⁻ %	Nt %	MO %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			Clase	CIC
							Arena	limo	arcilla	Textural	
							%	%	%		
4,93	0,04	0,00	0,17	3,51	7,6	76	58	17	25	Fr.Ar.A.	8,81
Cationes cambiables							% Sat. de Bases				
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺							
(Cmol(+).kg ⁻¹)											
2,08	0,40	0,29	0,17	2,62		33					

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes AGROLAB.

De acuerdo al análisis físico-químico del suelo; se puede indicar que, en la valoración, corresponde a un suelo muy ácido (4,93) cuya actividad iónica del H⁺ posiblemente influye en la disponibilidad de nutrientes del suelo. No existen problemas con sales, correspondiendo a un suelo normal y una salinidad ligera (< 2 dS.m⁻¹). La clase textural del suelo corresponde a un suelo Franco arcillo arenoso con un contenido medio de nitrógeno (0,17%); contenido medio de materia orgánica (3,51%).

El suelo en estudio, tiene un bajo contenido de fósforo disponible (7,56 ppm) y un contenido medio de potasio (76 ppm) y sin presencia de carbonatos. Evaluando los cationes cambiables, se tiene que la capacidad de intercambio catiónico de este suelo es bajo (8,81 cmol(+)/kg). El porcentaje de saturación del aluminio equivale a 29,7%, rango inferior al límite establecido (60%); no existiendo problemas de toxicidad por aluminio. Por otro lado, un pH bajo explica una menor saturación de bases (33%) para la CIC encontrada.

En cuanto a la producción de materia seca, el contenido de macro y micronutrientes en el suelo, la textura del suelo y el pH influye severamente en el rendimiento, algunos elementos faltantes limitan la asimilación de otros e indirectamente un adecuado crecimiento del pasto, ejemplo, una deficiencia del fósforo deprime

extracción de nitratos (NO_3) así como la translocación de las raíces a la parte superior para la producción de aminoácidos (Villalobos y Sánchez, 2010).

En el análisis de los elementos cambiables se tiene las siguientes relaciones entre las mismas. La relación Ca/Mg equivale a 5,2 cmol(+)/kg, correspondiente a una valoración adecuada pero con exceso de calcio respecto al magnesio; la relación Ca/K corresponde a 7,2 cmol(+)/kg, obedeciendo a una valoración baja con exceso de potasio respecto al calcio. Al respecto Guerrero (1990), menciona que al evaluar una relación Ca/Mg, un exceso de Ca^{++} cambiabile puede interferir en la asimilación de Mg^{++} y de K^+ . Si la relación Ca/Mg, expresados en meq/100g, es mayor que 10, entonces es posible que se produzca una carencia de Mg, la relación óptima esta alrededor de 5,0. La relación Mg/K resulta 1,4 cmol(+)/kg, una valoración baja, existiendo un déficit de magnesio respecto al potasio. Determinándose así en las relaciones anteriores, un exceso del potasio cambiabile ligado al complejo cambiabile; el equilibrio catiónico se logró con el cálculo de nuevas relaciones catiónicas. Para alcanzar un rango óptimo entre la relación Mg/K (1,8 - 2,5) se logra con la adición de 0,52 cmol(+)/kg de magnesio, equilibrando a 0,29 cmol(+)/kg de potasio; el equilibrio adecuado Ca/Mg (5-8), se logra con 4,16 cmol(+)/kg de calcio. Finalmente, las nuevas relaciones catiónicas corresponden a Ca/Mg (7,98), Ca/K (14,34) y Mg/K (1,79). El déficit de calcio (2,08 cmol(+)/kg) y magnesio (0,12 cmol(+)/kg en el suelo, se logrará equilibrando estos cationes cambiabiles con la adición de dolomita y ceniza de leña según los niveles establecidos en el presente experimento.

2.6. Variables evaluadas

Para estimar el efecto de la aplicación de los materiales enclantes en el rendimiento de la asociación de pastos cultivados y la reacción del suelo, se propuso las siguientes variables:

2.6.1. *Peso húmedo*

Para determinar el peso verde o peso húmedo de los forrajes, se realizó el corte de muestreo a las unidades experimentales cuya área fue de 1 m² con la ayuda de un cuadrante, cortando a una altura de 5 cm; luego se realizó el pesaje de la materia verde obtenida de cada parcela experimental utilizando balanzas analíticas. Las muestras se llevaron al laboratorio y se pesaron sub-muestras de 100g para su análisis de materia seca.

El rendimiento de materia verde en kg/ha⁻¹ se determinó de la relación del área cosechada y el peso obtenido.

2.6.2. *Peso seco*

El peso seco de las sub-muestras de los tratamientos se determinó en laboratorio, para esta determinación se pesaron 100 g de muestra de forraje verde extraída del campo en una balanza electrónica las cuales fueron sometidas al secado en estufa programada a una temperatura de 65°C, por un periodo de 48 a 72 horas con evaluación y verificación constante de la temperatura y tiempo. Al cabo del tiempo estimado y tras la verificación de la homogeneidad en la pérdida de humedad del forraje se pesó con la ayuda de una balanza electrónica para obtener el peso seco de la muestra, anotándose los resultados en una libreta.

2.6.3. *Rendimiento de materia seca*

Para determinar el contenido porcentual de materia seca de los forrajes, por cada tratamiento en estudio se recolectaron y llevaron muestras de materia verde al laboratorio, se hizo el pesado de las muestras, etiquetado, luego se sometieron a una estufa electrónica durante 48 a 72 horas a una temperatura de 65 °C; pasado ese tiempo se retiró las muestras y determinó el contenido de materia seca de forraje expresado en unidades de porcentaje. El análisis de materia seca realizada a los pastos cultivados fue desarrollado en las siguientes fechas: 06/08/18, 03/10/18, 30/11/18 correspondiente al primer, segundo y el tercer corte respectivamente.

$$\%H^{\circ} = \frac{Pmh - Pms}{Pmh} \times 100$$

$$\%MS = 100 - \%H^{\circ}$$

Donde:

H° = Humedad

Pmh = Peso de la muestra húmeda

Pms = Peso de la muestra seca

MS = Materia seca

2.6.4. *Reacción del suelo*

En la medición de la reacción del suelo de los tratamientos instalados, se consideró realizar en 4 etapas del experimento para determinar el comportamiento del mismo. Al

inicio del experimento (preparación del suelo); después de la aplicación de materiales encalantes al suelo, en la fecha 02/05/18, se realizó un segundo análisis del pH del suelo en el laboratorio de fertilidad de suelos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga con la ayuda de un potenciómetro modelo Consort C1020 con una proporción de suelo seco: agua, 1:1.

Asimismo, durante el desarrollo del experimento se realizaron evaluaciones de la reacción del suelo en las fechas de corte (3), utilizando un potenciómetro del modelo Kmoon pH/EC-983, siguiendo la metodología recomendada. Luego de cada corte de los forrajes en las unidades experimentales, se muestrearon 4 puntos al azar en zigzag después de los primeros 10 cm del perfil edáfico y luego se mezclaron todas para obtener una muestra compuesta por tratamiento, obteniéndose 21 submuestras para 7 tratamientos. Cada muestra compuesta se almacenó en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas para ser trasladadas al laboratorio donde se secaron al aire y tamizaron por un tamiz de 2 mm. Para el análisis del pH del suelo, se utilizaron proporciones de suelo seco: agua, 1:1, Y haciendo uso de una balanza electrónica se pesaron 10 gramos de tierra fina seca al aire (TFSA) de cada muestra por tratamiento y 10 ml de agua para cada tratamiento que luego se mezclaron en un vaso removiendo constantemente con una bagueta durante 40 segundos por vaso a intervalos regulares de 5 minutos durante 25 minutos con un reposo de 5 minutos cada una, luego se hizo la lectura en el potenciómetro agitando la suspensión con la bagueta antes de introducir los electrodos. Las evaluaciones se realizaron a los 164, 224 y 284 días; cuyas fechas de análisis para la obtención de datos del pH al primer corte, pH al segundo y tercer corte corresponden a 02/05/18, 07/08/18, 10/10/18, 05/12/18 respectivamente.

2.6.5. Valoración económica y rentabilidad

La determinación de los costos de producción se realizó en base a las labores agrícolas, costos de insumos, costos de análisis y las actividades que se realizaron durante la ejecución del presente trabajo de investigación, considerando los costos fijos y los costos variables. Inicialmente se estimó para los gastos a nivel de parcela experimental, luego se proyectó hacia una hectárea de cultivo, considerándose como la unidad de superficie agraria más utilizada y muy común por los productores en nuestro medio. Para el análisis económico se determinó: El costo total, ingreso total, utilidad neta, rentabilidad, y relación B/C.

CAPÍTULO III

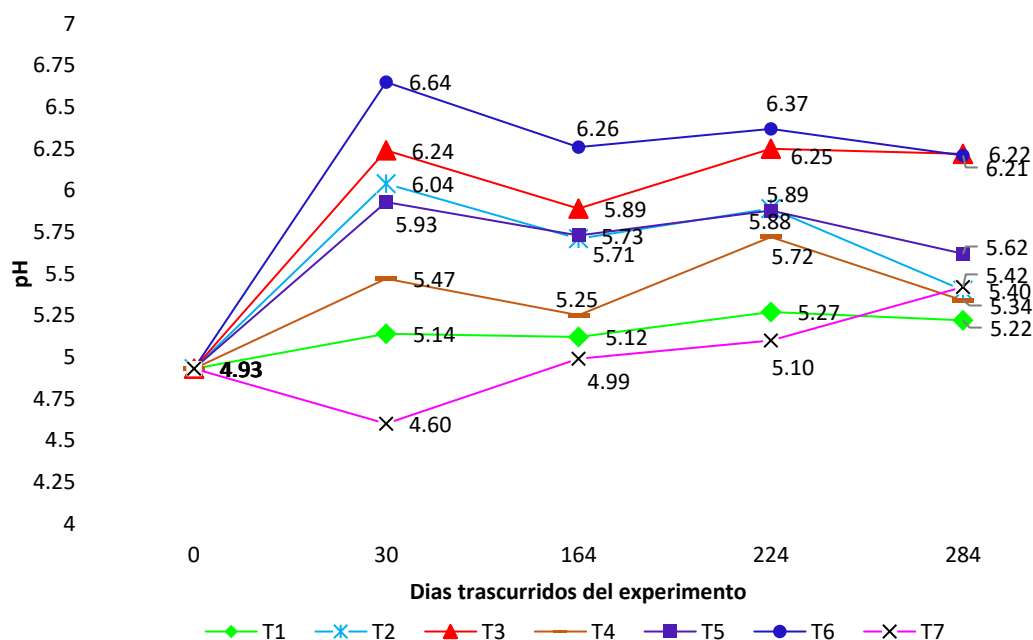
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. De la reacción del suelo

El análisis de suelo del campo experimental previo a la instalación del experimento, reportó un pH de 4,93. Los cambios de pH debido a la aplicación de dolomita o ceniza de leña, se evaluaron en 4 etapas del experimento; los valores medios, oscilaron entre 5,12 y 6,64 en las parcelas encaladas y 4,6 a 5,42 en las parcelas control.

Figura 3.1

Cambios en la reacción del suelo por aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.



En la Figura 3.1, se observa la respuesta de la reacción del suelo a la aplicación de 3 niveles de dolomita y ceniza de leña, evaluados en cada corte. Luego de la aplicación de los materiales encalantes, se verifica que los incrementos de pH del suelo fueron

significativos para el tratamiento con el nivel más alto de ceniza de leña (T₆), incrementando su valor de pH en 1,71 unidades, 30 días después de su aplicación; mientras que con la aplicación del nivel más alto de dolomita (T₃), se logró elevar en 1,31 unidades. Los efectos encontrados, posiblemente se deben a varios factores como la capacidad de neutralización de la acidez de las enmiendas, composición química y su granulometría. Al respecto Magra (2015), afirma que los óxidos e hidróxidos tienen mayor capacidad de neutralización, además las enmiendas que contienen Mg son más efectivas que las que contienen calcio, debido a que el Mg tiene menor peso molecular que el Ca.

Durante el periodo de incubación, las aplicaciones de 1840, 3680 y 5520 kg.ha⁻¹ de dolomita lograron elevar el valor de pH, a 5,12(T₁); 5,71(T₂) y 5,89(T₃); mientras que con el aporte de 1880, 3760 y 5640 kg.ha⁻¹ de ceniza, se logró incrementos de 5,25(T₄); 5,73(T₅) y 6,26(T₆). Arista (2017), encontró incrementos del pH (4,58 - 5,82) del suelo cuando aplicó 5,0 t.ha⁻¹ de dolomita al suelo en primer año de evaluación en condiciones puna. Los incrementos del pH del suelo, posiblemente se vieron influenciadas por factores como la fuente encalante, la granulometría y el nivel de material encalante. Scott et al. (1992), mencionado por Viadé (2005), concluyeron que las partículas más finas (entre 3 y 0,005 mm) de caliza producían un mayor incremento de pH y Ca cambiante.

El aporte de cenizas posiblemente derivó en aumentos de las concentraciones de Ca y Mg, K y micronutrientes en la solución del suelo, efecto que ha sido observado en experimentos similares (Solla-Gullón et al., 2001). Según el análisis realizado a la ceniza de leña, se verificó que está compuesto químicamente por carbonatos, óxidos de calcio (24,5%), potasio (6,12%) y magnesio (2,91%), asimismo de microelementos como el Cu, Zn, Fe y Mn. Los elementos presentes, dependen de la parte vegetal combustionada, mayores valores de Ca, Mn, Al y S provienen de la corteza (Etiégni y Campbell, 1991).

La dolomita utilizada contiene 18% de MgO y 29 % de CaO. La velocidad de reacción de la dolomita en el suelo es más lenta que otras enmiendas, pero tiene la ventaja de suministrar Mg. Por su parte Millán et al. (2011) indican que el poder neutralizante de la dolomita (carbonato más insoluble), sólo se manifiesta en condiciones de mayor posibilidad de solubilización, es decir pH ácido, alta presión de CO₂ y agua, entre otras condiciones.

Los resultados de la Figura 3.1, del pH del suelo después de realizado los 3 cortes a los pastos cultivados (164, 224 y 284 días de la aplicación de las enmiendas). En el primer corte, los tratamientos con material encalante, tuvieron un descenso en los valores de pH del suelo respecto a sus valores al momento de la siembra, mientras que en el testigo el pH se incrementó en 0,33 unidades. La disminución de los valores en la reacción del suelo, al primer corte, posiblemente se vio influenciada por las altas precipitaciones en los meses de febrero a marzo (Figura 3.1) y la extracción de los cationes (Ca^{++} y Mg^{++}) por el cultivo.

La reacción del suelo en el segundo corte, 224 días después de la siembra, muestra ligeros incrementos en los valores de pH; al respecto se podría indicar que el efecto de los materiales encalantes depende de las condiciones de solubilidad; Magra (2015), afirma que durante el primer año de aplicación, los materiales encalantes a medida que pasa el tiempo logran una mayor solubilidad ya que la reacción progresa rápidamente pero conforme pasa el tiempo declina gradualmente y generalmente el pH máximo resultante del encalado se alcanza entre el segundo y tercer año de la aplicación.

Al tercer corte los valores del pH tuvieron una tendencia ligeramente descendente en los tratamientos aplicados con material encalante respecto al segundo corte. La tendencia descendente del pH del suelo, puede estar asociada a la pérdida de bases por la continua extracción de cationes (Ca^{++} , Mg^{++} , NH^+ y K^+) por los pastos, asimismo sustancialmente por el lavado de los bases con los riegos presurizados aplicados, ocurriendo una re-acidificación del suelo (Prat, 1981). La fertilización nitrogenada posiblemente contribuyó en menor medida la reducción del pH, sumado a la baja capacidad de intercambio catiónico del suelo (Valencia, 1998; Zapata, 2004; Prat 1981). Otro factor podría ser la producción de CO_2 por los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica que genera un suplemento CO_2 que se transforma en bicarbonato (HCO^{-3}) aporta H^+ acidificando el suelo (Espinoza y Molina, 1999). Por su parte Magra (2015), indica que el encalado no corrige permanentemente la acidez del suelo ya que la exportación de bases por las cosechas, la lixiviación de bases y el efecto de fertilizantes que forman amoníaco son responsables del retorno a los valores de acidez que tenía el suelo antes del encalado. Doerge y Gardner (1995), sostienen que el encalado puede provocar descensos del pH del suelo, a largo plazo, acidificándose más al aumentar la dosis de cal añadida.

En el análisis realizado en los diferentes cortes, se observa que los cambios en el pH del testigo (T₇), fueron superados por los tratamientos que recibieron algún nivel de material encalante. Antes de la siembra (incubación), el pH del tratamiento sin encalar manifestó una disminución, probablemente debido al efecto de las interacciones que ocurrieron en suelo como la mineralización, descomposición de la materia orgánica (Espinosa y Molina, 1999) y respiración de microorganismos debido al volteo o remoción de las capas superiores del suelo (Zapata, 2004). Ortiz (2008), encontró similar comportamiento en el tratamiento sin encalar debido al efecto residual ácido de la fertilización y a procesos fisicoquímicos ocurridos después de la preparación del suelo. Por su parte Alconada (2014), afirma que el laboreo y la mineralización de la materia orgánica producen gran cantidad de ácidos orgánicos solubles y generación de dos H⁺ liberados por cada molécula de NH₄⁺ oxidada.

Para evaluar la relación entre la reacción del suelo (Y) y los niveles de material encalante (X), se tomaron datos del pH del suelo de cada tratamiento al final de cada corte; los resultados se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del pH del suelo

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Sig.
Bloque	2	0,1749	0,0875	3,374	3,89	6,93	ns
Tratamiento	6	3,3045	0,5508	21,243	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	0,8404	0,8404	32,412	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	0,1105	0,1105	4,260	4,75	9,33	ns
Dolom. Lineal	1	1,2604	1,2604	48,614	4,75	9,33	**
Dolom. Cuadrático	1	0,0001	0,0001	0,002	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	1,0668	1,0668	41,147	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	0,0264	0,0264	1,020	4,75	9,33	ns
Error	12	0,3111	0,0259				
Total	20	3,7906					

C.V:2.84 %

En la tabla 3.1, se observa que existe diferencia altamente significativa entre el testigo y los tratamientos que recibieron material encalante, correspondiendo el valor más bajo al testigo (5,17); debiéndose posiblemente a la capacidad de neutralización de las

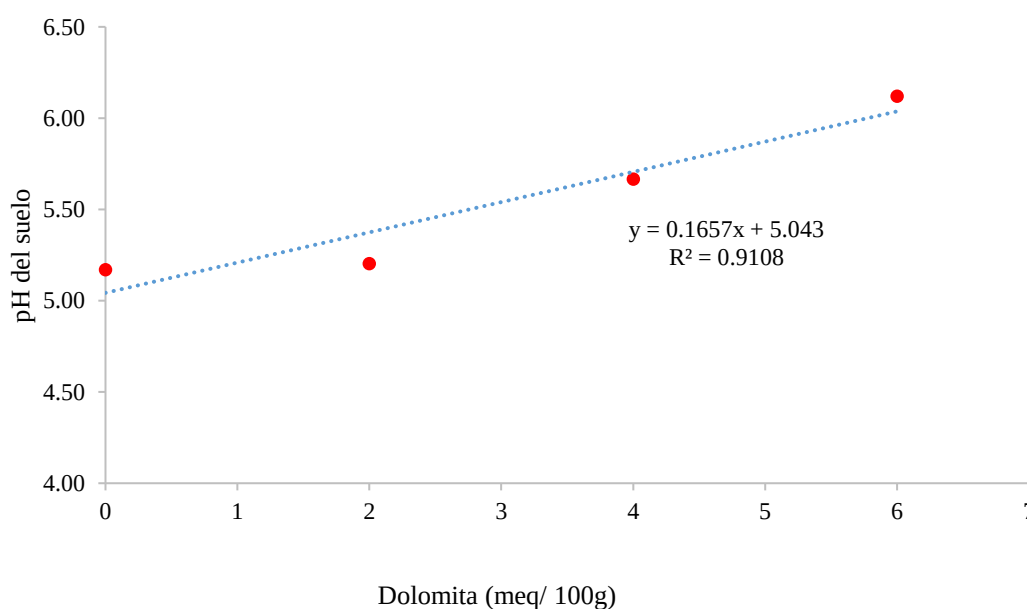
enmiendas utilizadas en el experimento (Etiégni y Campbell, 1991), la dosis de material aplicado (Serpa y González, 1979; Solla-Gullón et al., 2001; Tineo et al. 2016) y el contenido variable de nutrientes de materiales encalantes (Bernier y Alfaro, 2006).

Al comparar la dolomita frente a ceniza de leña, se encontró que no existe diferencia estadística entre ellas; debido a que se está comparando el promedio (5,66 y 5,82) de los 3 niveles de materiales encalantes. Los niveles aplicados de ambos materiales encalantes fueron similarmente proporcionales, considerándose 2, 4 y 6 meq/100g; posiblemente las capacidades de neutralización de ambos materiales fueron similares.

El análisis de los modelos polinómicos, indica la existencia de una respuesta altamente significativa para el modelo lineal en ambos materiales encalantes. El comportamiento del pH en función a la aplicación de los niveles de dolomita y de ceniza de leña se observa en las Figuras 3.2 y 3.3.

Figura 3.2

Efecto de niveles de dolomita en el pH del suelo

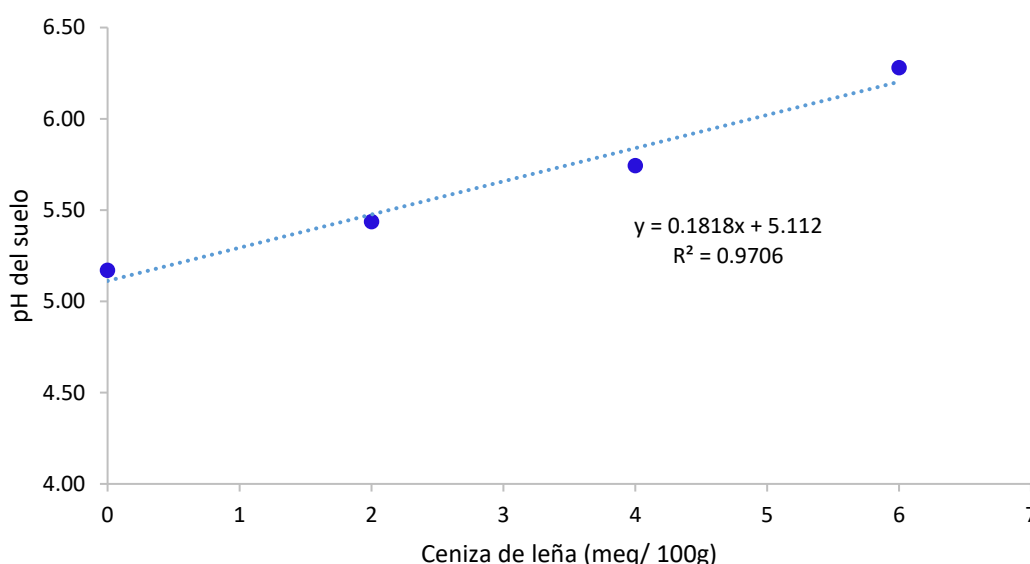


La influencia de los niveles crecientes de dolomita en el incremento de pH del suelo obedece al modelo lineal: $Y = 5,04 + 0,166X$ (Figura 3.2); es decir, cada meq de dolomita por 100 g de suelo permite incrementar el pH del suelo en 0,166 unidades. Los

resultados encontrados se asemejan con los encontrados por Tineo et al. (2016), en alfalfa en condiciones de invernadero. Por su parte, Carrizo et al., (2014), encontraron similar comportamiento del pH del suelo en pastos asociados.

Figura 3.3

Efecto de niveles de ceniza de leña en el pH del suelo

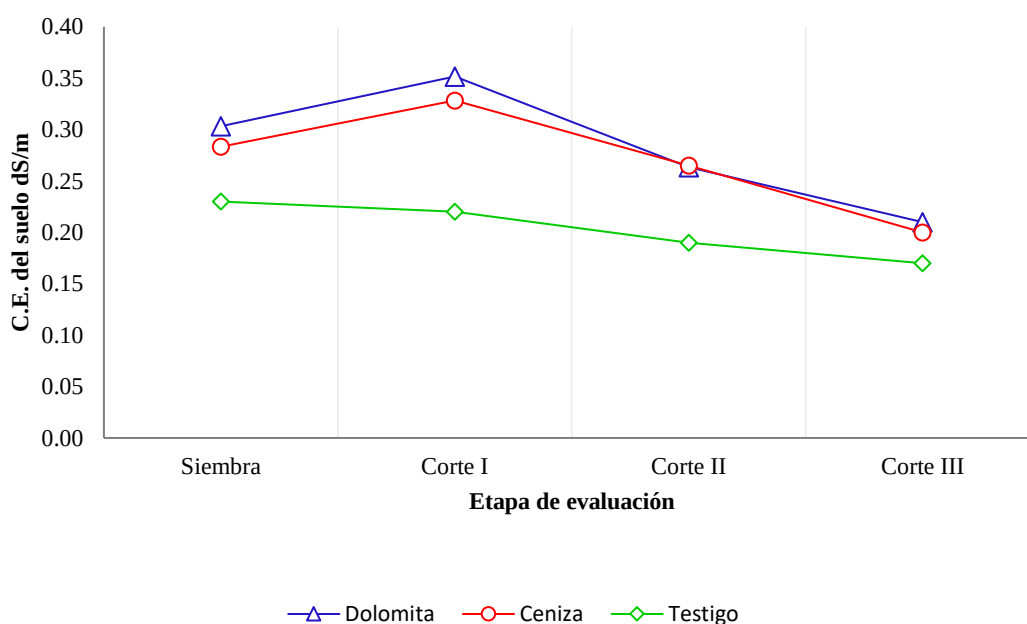


La influencia de los niveles crecientes de ceniza de leña en el incremento de pH del suelo obedece al modelo lineal: $Y = 5,11 + 0,182X$ (Figura 3.3); es decir, cada meq de ceniza por 100 g de suelo permite incrementar el pH del suelo en 0,182 unidades. Los resultados encontrados se asemejan con los encontrados por Tineo et al. (2016), en alfalfa en condiciones de invernadero. Después de la aplicación de una enmienda calcárea, el pH del suelo aumenta de forma casi lineal con la cantidad de cal añadida, encontrándose numerosos trabajos en los que se observa este incremento (Doerge y Gardner, 1985).

Es probable que la concentración de sales solubles presentes en el suelo, se vieron modificados por la adición de la dolomita o ceniza de leña. Al respecto; en el análisis realizado, se verificó que los valores de la conductividad eléctrica (C.E.) de los tratamientos se modificaron en el tiempo (Figura 3.5) y conforme se incrementaron los niveles de ceniza o dolomita.

Figura 3.4

Cambios en la conductividad eléctrica por la aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.



En la Figura 3.4, se observa el comportamiento de la conductividad eléctrica después de la aplicación de los materiales encalantes, los cortes se realizaron a los 164, 224 (60 días después del primer corte) y 284 (60 días después del segundo corte) días después de la siembra. En el primer corte, todos los tratamientos con dolomita o ceniza de leña, tuvieron un incremento en los valores de conductividad eléctrica del suelo respecto a sus valores al momento de la siembra, así, el valor promedio más alto corresponde al tratamiento con la aplicación de dolomita con 0,35 dS/m, seguido del tratamiento con ceniza de leña con 0,33 dS/m, mientras que al testigo le corresponde 0.22 dS/m. En los cortes posteriores todos los tratamientos, expresaron una ligera disminución en sus valores de C.E; logrando disminuir hasta 0,21 dS/m para la dolomita, 0,33 dS/m para la ceniza de leña y 0,17 dS/m para el testigo.

La influencia de los niveles crecientes de material encalante en el incremento de la conductividad eléctrica (anexo 10), indica, que los efectos se manifiestan de acuerdo al nivel aplicado respecto al testigo. Los valores, promedio, bajos corresponden al testigo (0,2 dS/m), mientras que los valores altos (0,33 y 0,31 dS/m), se lograron con el nivel alto de dolomita y ceniza, respectivamente. Los resultados encontrados obedecen a un modelo

lineal; posiblemente influenciados por el incremento en la concentración de Ca, Mg y K al suelo mediante la aplicación de dolomita y ceniza de leña al suelo. Arista (2017), encontró un comportamiento similar en el incremento de la conductividad eléctrica (1,17 a 2,15 dS/m) con la adición de 2,5 y 5 t.ha⁻¹ de dolomita, respectivamente. Al respecto Solla-Gullón et al., (2001), sostiene que el aporte de cenizas deriva en aumentos de las concentraciones de bases y micronutrientes en la solución del suelo, efecto que ha sido observado en diversos experimentos similares. La conductividad eléctrica tiende a aumentar por la adición de fertilizantes o enmiendas (Barbaro, 2014). Por su parte Omil (2007), afirma que las pérdidas de magnesio y calcio, adicionadas con la dolomita, son debidas al lavado del suelo y extracción por cosechas (Prat, 1981).

3.2. Del rendimiento del forraje en peso fresco

Los rendimientos promedios en peso fresco de los pastos asociados en los cortes realizados varían desde 13883 a 26667 kg.ha⁻¹ de forraje fresco para los tratamientos aplicados con dolomita, 11833 kg.ha⁻¹ a 33267 kg.ha⁻¹ para los tratamientos con ceniza de leña y desde 9033 a 11167 kg.ha⁻¹ para el testigo. Los resultados se detallan en el anexo 1.

Para evaluar la relación entre el rendimiento de forraje fresco (Y) y los niveles de material encalante (X), se tomaron datos del rendimiento de pastos cultivados de cada tratamiento al final de cada corte; los resultados se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de forraje verde

F.V.	G.L	FT. (0.05/0.01)	- Corte 1 -		-- Corte 2 --		-- Corte 3 --		
			FC.	Sig.	FC.	Sig.	FC.	Sig.	
Bloque	2	3,89	6,93	0,65	ns	7,00	**	6,75	*
Tratamientos	6	3,00	4,82	7,63	**	13,50	**	16,83	**
Testigo vs M.E.	1	4,75	9,33	1142	**	55,38	**	60,05	**
Dol. vs Ceniza	1	4,75	9,33	0,61	ns	3,69	ns	16,57	**
Dol. Lineal	1	4,75	9,33	3,34	ns	4,81	*	12,06	**
Dol. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,78	ns	0,03	ns	0,91	ns
Cenz. Lineal	1	4,75	9,33	28,83	**	15,11	**	10,49	**
Cenz. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,78	ns	2,00	ns	0,90	ns
Error	12								
Total	20								

C.V(1): 14,37% ; C.V(2): 14,51% ; C.V(3): 12,05%

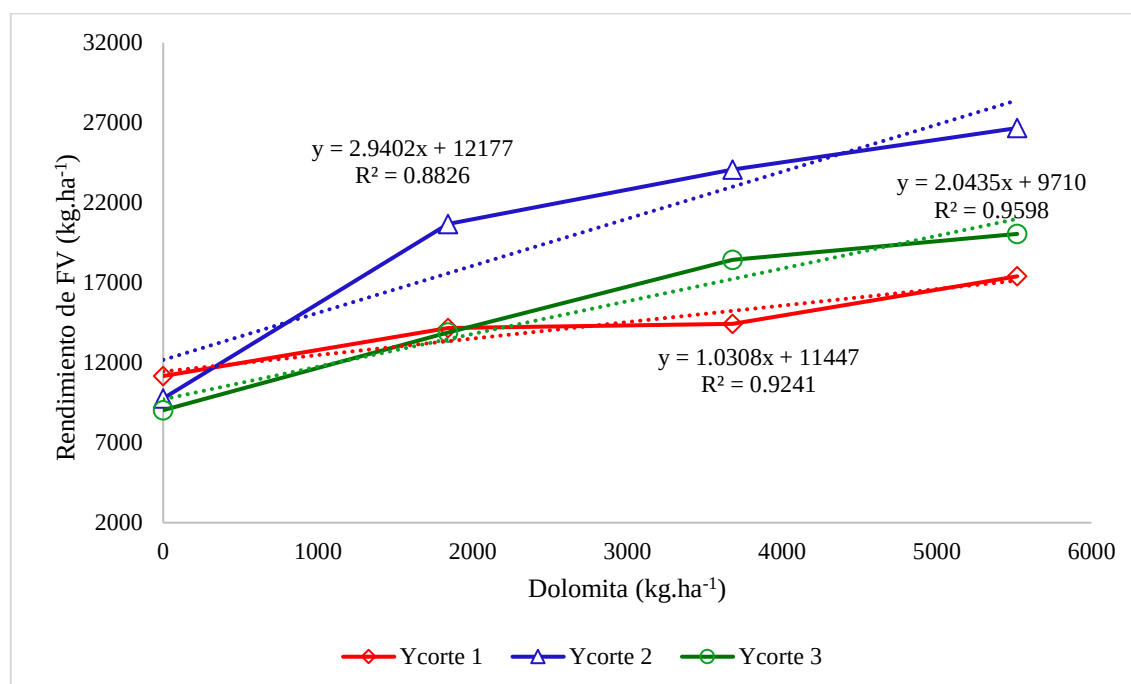
En la tabla 3.2, se observa que existe diferencia altamente significativa entre el testigo y los tratamientos que recibieron material encalante, correspondiendo el valor más bajo al testigo (9989 kg.ha⁻¹); debido a que la aplicación de enmiendas al mejorar las condiciones de pH del suelo, aumenta la disponibilidad de nutrientes y/o ayuda a corregir deficiencias de calcio – magnesio (Juárez, 2016), mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, mejora la fijación simbiótica del nitrógeno en las leguminosas y reduce la toxicidad de algunos elementos minerales (Lazcano, 2012); puesto que la acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes: CO₃²⁻, OH⁻, los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo; las sales básicas se disocian y generan cationes y OH⁻ (Espinosa y Molina, 1999). Los efectos de la aplicación de enmiendas en el rendimiento encontrados, corroboran a la literatura, la acidez de los suelos reduce considerablemente la productividad agrícola, lo que se ve reflejado en el estrés fisiológico de los cultivos, altas concentraciones de iones hidrógeno en la solución del suelo saturan la zona de intercambio del suelo impidiendo la disponibilidad de elementos minerales. De acuerdo a las necesidades fisiológicas del cultivo, los cultivos forrajeros, mejoran su producción de biomasa en condiciones de un pH más neutro (Zeas, 2015), efectos encontrados obedecen posiblemente también a que la aplicación de enmiendas magnésicas aumenta el contenido de magnesio y calcio en el suelo (Carrizo et al., 2014).

Al comparar la dolomita frente a ceniza de leña en los primeros dos cortes, se encontró que no existe diferencia estadística entre ellas; sin embargo, esta diferencia, altamente significativa, se manifiesta en el tercer corte; posiblemente la riqueza en cationes (K, Ca, Mg, y microelementos) de la ceniza, se ha manifestado en el tercer corte. Por su parte Serpa y González (1979), indica que no se puede considerar a la acidez cambiante únicamente como factor limitante del crecimiento.

El análisis de los modelos polinómicos, indica la existencia de una respuesta altamente significativa para el modelo lineal en ambos materiales encalantes, que se manifiesta desde el segundo corte para la dolomita y desde el primer corte para la ceniza de leña. El comportamiento del rendimiento de forraje verde en función a la aplicación de los niveles de dolomita y de ceniza de leña se observa en las Figuras 3.5 y 3.6.

Figura 3.5

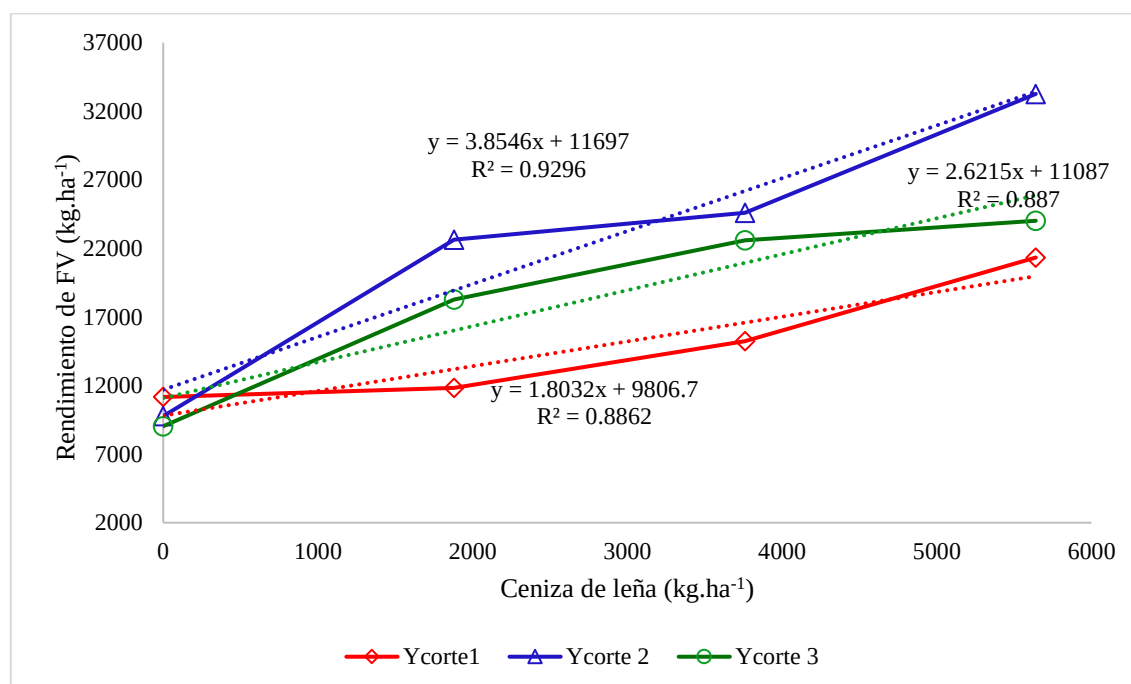
Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de forraje verde



La influencia de los niveles crecientes de dolomita en el rendimiento de forraje verde obedece a los modelos lineales: $Y = 12176,67 + 2,94X_i$ (segundo corte) y $Y = 9710 + 2,043X_i$ (tercer corte); es decir, cada kilogramo de dolomita permite incrementar el rendimiento de forraje verde en 2,94 y 2,04 kg, en el segundo y tercer corte, respectivamente. Los resultados indican que el efecto de la adición de dolomita al suelo se expresa mejor al realizar el segundo corte, 60 días después del primer corte; en este periodo, los valores de pH del suelo tuvieron una tendencia ascendente respecto al primer corte, incrementando en 0,15; 0,18 y 0,36 unidades de pH para el T₁, T₂ y T₃ respectivamente, mejorando la disponibilidad de los elementos minerales. La dolomita, por ser una enmienda que reacciona lentamente en el suelo, mantiene un efecto residual prolongado (Espinosa y Molina, 1999). La no diferencia en rendimientos, entre los materiales encalantes, encontrados en el primer corte y segundo corte, posiblemente también se vieron afectados por las condiciones ambientales como la precipitación excesiva en febrero y marzo o el estrés térmico (helada) durante los meses de julio-septiembre. Al respecto Taiz y Zeiger (2006), encontraron que el daño por congelación producido a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua, muestran inhibición de la fotosíntesis, reducción del transporte de carbohidratos y menor intensidad de respiración de plantas dañadas por frío.

Figura 3.6

Efecto de niveles de ceniza en el rendimiento de forraje verde



La influencia de los niveles crecientes de ceniza de leña en el rendimiento de forraje verde en los cortes, obedecen a los modelos lineales: $Y = 9806,67 + 1,80X_i$ (primer corte); $Y = 11696,67 + 3,85X_i$ (segundo corte); $Y = 11086,67 + 2,62X_i$ (tercer corte); es decir, cada kilogramo de ceniza de leña permite incrementar el rendimiento del pasto en 1,80; 3,85 y 2,62 kg de forraje verde en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente. Los resultados indican que el efecto de la adición de la ceniza de leña al suelo se expresa mejor en el segundo y tercer corte respecto al primero; posiblemente el tiempo de incubación de los materiales encalantes aplicados al suelo sean eficientes a partir del cuarto mes; al respecto (Magra, 2015), recomienda que debe ser mayor a 30 días, 2 a 4 meses antes de la implantación del cultivo, según la solubilidad del producto para que reaccione con las partículas de suelo y ejerza su acción neutralizante. Los rendimientos encontrados en el experimento son superiores a los encontrados por Durand (2014), quien alcanzó 7699,6 kg.ha⁻¹ y 9534,1 kg.ha⁻¹ por corte de forraje verde, asociando alfalfa + dactylis + trébol rojo en condiciones del Altiplano de Puno a 3850 m s.n.m.

3.3. Del análisis de materia seca

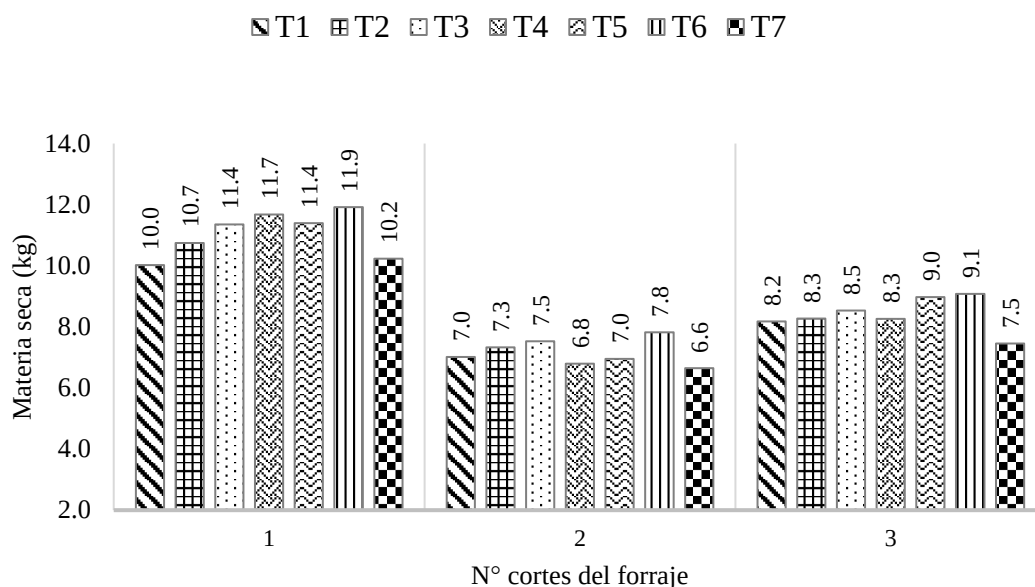
3.3.1. Materia seca y composición de gramíneas

La Figura 3.7 muestra los resultados del peso seco promedio de las gramíneas (D.

glomerata y *L. multiflorum*), resultados ajustados del porcentaje de materia seca (%MS) determinada, considerando una unidad animal (UA) de 450 kg con un consumo de 10% de su peso y una proporción de 70 % de gramíneas. Los resultados detallados se muestran en los anexos 3, 4 y 5.

Figura 3.7

Evolución de la composición de materia seca en gramíneas por corte



Fecha corte: 29/7/18, 27/09/18, 27/11/18; Fecha de análisis: 06/08/18, 03/10/18, 30/11/18.

En la Figura 3.7, se observa la composición de materia seca (%MS) del forraje expresado en kilogramos por consumo de una U.A, es decir 45 kg (31.5 kg gramíneas y 13.5 kg leguminosas). Resultados que obedecen a la influencia de la aplicación de materiales encalantes. Luego de la aplicación de dolomita, las gramíneas, tuvieron un contenido de materia seca promedio de 10.7kg (34% MS), 7.3kg (23.1%MS), 8.3kg (26.4%MS) entre el primer, segundo y tercer corte respectivamente; mientras que con la aplicación de ceniza de leña tuvieron un contenido promedio de materia seca de 11.7kg (37% MS), 7.2 kg (22.8%MS) y 8.8 kg (27.9%MS) en el primer, segundo y tercer corte respectivamente; los cortes se realizaron a los 164, 224 (60 días después del primer corte) y 284 (60 días después del segundo corte) días después de la siembra. La composición porcentual de materia seca, puede estar asociado al estado fenológico y madurez de la pastura; en estados fenológicos iniciales, las plantas poseen alto contenido de agua y bajo nivel de fibra, asimismo los niveles de lignificación de las paredes celulares determinan

el porcentaje de materia seca (Demanet, 2013). El estado fenológico al momento del corte de las especies, corresponde a crecimiento de espigas y lanzamiento de hoja bandera, escala de zadocks 4-5 (Rawson y Gómez, 2001). Los pastos cultivados con mayor proporción de hojas verdes posiblemente presentaron mayor contenido de proteínas y tienen una mejor calidad nutricional ya que las hojas cumplen función de síntesis y asimilación de carbohidratos, mientras que, para las pasturas en estados fenológicos avanzados, sus tallos presentan gran cantidad de tejido vascular y de sostén por lo que su valor nutricional debió ser inferior al de las hojas (Araya y Boschini, 2005). Gonzáles (2009), encontró una correlación entre el estado fenológico y el contenido de materia seca de una pradera mixta (rye grass y trébol blanco); cuyos resultados corresponden a 17% en la elongación de tallos, 19% a inicios de espigamiento y 22% a inicios de floración. Por su parte Demanet (2013), sostiene la influencia de otros factores en la variación del porcentaje de materia seca de los forrajes como la composición de la pastura, estrés a que fueron sometidas, estación del año de evaluación, partes de las plantas consideradas en la medición, entre otros.

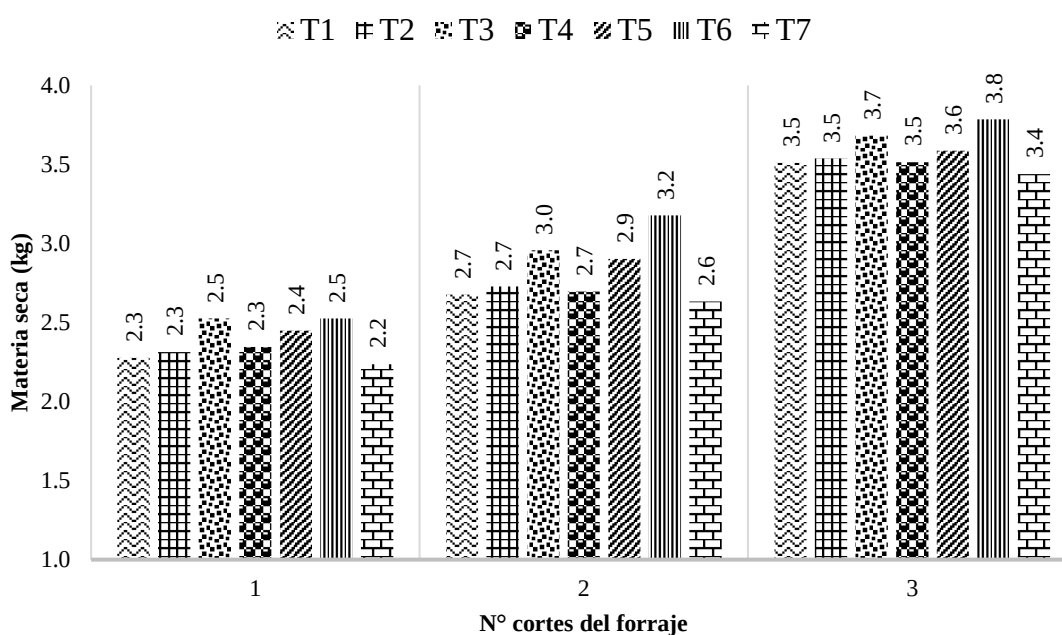
La proporción de gramíneas (anexo 13), respecto a las leguminosas, disminuye en el tiempo, principalmente en los tratamientos que recibieron material encalante, desde 83% (primer corte) hasta 47% (tercer corte); esto no sucedió con el testigo, cuya proporción se mantuvo hasta el final del experimento (81, 90 y 89% al primer, segundo y tercer corte, respectivamente). Este resultado puede deberse a las relaciones de competencia que existe entre especies. Al respecto Grime (1988), citado por Viadé (2005), indica que la composición botánica en las praderas varía con el paso del tiempo, debido a las distintas relaciones de competencia que se establecen entre las especies sembradas y a la aparición de otras, en función de los distintos factores edafoclimáticos y de manejo. Gonzáles (2009), sostiene que las gramíneas en un primer momento son de crecimiento rápido por la fisiología de las hojas y raíces abundantes a diferencia de las leguminosas que postergan crecimiento; asimismo, la competencia por agua y nutrientes, está basado también por el desarrollo diferente de las raíces, generando una ventaja adaptativa de las gramíneas (García et al. 2002). Brougham (1959) citado por Viadé (2005), sostiene que en una asociación entre gramíneas y leguminosas; inicialmente conviven bien, debido a sus diferentes ciclos, pero cuando el nitrógeno del suelo se eleva con la fijación simbiótica, la proporción de gramínea aumenta, sofocando al trébol, que reduce su presencia.

3.3.2. *Materia seca y composición de leguminosas*

Los resultados del análisis de peso seco para las leguminosas (*T. pratense* y *M. sativa*) expresados en kilogramos, ajustados del porcentaje de materia seca (%MS) determinada, considerando una unidad animal (UA) de 450 kg con un consumo de 10% de su peso y una proporción de 30 % de leguminosas se muestra en la Figura 3.8 y de manera detallada en los anexos 3, 4 y 5.

Figura 3.8

Cambios en la composición porcentual de materia seca en leguminosas



Fecha corte: 29/7/18, 27/09/18, 27/11/18; Fecha de análisis: 06/08/18, 03/10/18, 30/11/18.

En la figura 3.8, se observa la composición de materia seca (%MS) del pasto asociado (leguminosas), expresado en kilogramos por consumo de una U.A, es decir 45 kg (31.5 kg gramíneas y 13.5 kg leguminosas). Resultados que obedecen a la influencia de la aplicación de dolomita y ceniza de leña. Luego de la aplicación de dolomita, las leguminosas, tuvieron un contenido de materia seca promedio de 2.4kg (17.6% MS), 2.8kg (20.6%MS), 3.6kg (26.5%MS) entre el primer, segundo y tercer corte respectivamente; mientras que con la aplicación de ceniza de leña tuvieron un contenido promedio de materia seca de 2.4kg (37% MS), 2.9kg (22.8%MS) y 3.6kg (27.9%MS) en el primer, segundo y tercer corte respectivamente; verificándose que las leguminosas en el primer corte tuvieron menor contenido de materia seca. La composición porcentual de

materia seca en leguminosas, puede estar asociado al estado fenológico y la velocidad de establecimiento de las leguminosas. Al respecto Gonzáles (2009), afirma que los forrajes en periodos iniciales tienen un crecimiento lento y en su composición posee una mayor cantidad de agua, seguido de un segundo periodo que corresponde a un crecimiento rápido y finalmente el crecimiento débil. El estado fenológico, al momento de corte, corresponde a prebotón, botón e inicio de floración (SENAMHI, 2011) para el primer, segundo y tercer corte respectivamente. Inicialmente las plantas poseen bajo nivel de fibra; mientras que en el periodo de inicios de fructificación o espigamiento, llegan a lignificarse las paredes celulares (Demagnet, 2013).

La proporción de leguminosas (anexo 13), respecto a las poáceas, se incrementó en el tiempo, principalmente en los tratamientos que recibieron material encalante, desde 17% (primer corte) hasta 53% (tercer corte); esto no sucedió con el testigo, cuya proporción se mantuvo hasta el final del experimento (19, 10 y 11% al primer, segundo y tercer corte, respectivamente). Este resultado puede deberse a la capacidad en la reducción de la acidez de los materiales encalantes y suministro de cationes, principalmente Ca, Mg y K (Espinosa y Molina, 1999); el análisis de ceniza de leña reportó presencia de óxidos de calcio, potasio y magnesio, además de microelementos. Las leguminosas, se desarrollan mejor en pH cercanos a la neutralidad, debido a su susceptibilidad a la acidez del suelo (Jordán, 2006); posiblemente el pH del suelo es el principal factor influyente en la composición botánica de los pastos instalados, el desarrollo óptimo de la alfalfa, se logra cuando el pH debe ser mayor a 5,8 (Cáritas del Perú, 2016). Al respecto, Rodríguez et al. (1993), mencionan que, si el pH baja, las leguminosas sufren estrés y no pueden desarrollar adecuadamente su sistema radicular. Los valores de pH encontrados en el experimento (4,93 – 6,4), son bajos en comparación a los rangos óptimos (6,5 – 7,5) para el cultivo de alfalfa. Gonzáles (2009), sostiene que el crecimiento de leguminosas en la primera etapa es lento a diferencia de las gramíneas, postergando su veloz crecimiento hasta el óptimo desarrollo de sus raíces; sin embargo, las leguminosas son especies invasivas de rápido crecimiento por ello se debe considerar una baja dosis de siembra.

Las observaciones fenológicas y el comportamiento fisiológico de las pasturas se consideran como respuesta a las modificaciones que se realizó a los factores externos (Pascale, et al. 2011) como el pH del suelo, la nutrición vegetal, la dotación de agua y otras que han influenciado en el crecimiento y desarrollo de las especies cultivadas y

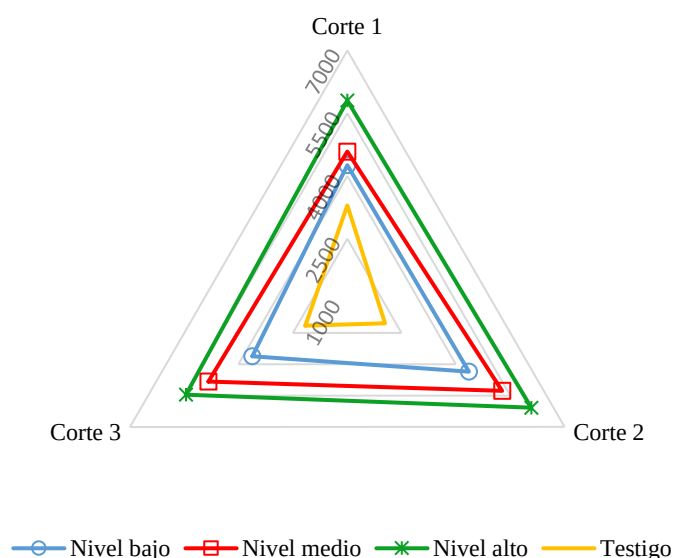
expresadas en los rendimientos encontrados; además los resultados encontrados en cuanto al comportamiento fenológico, son considerados como una respuesta ecofisiológica fundamentada en procesos bioquímicos que responden a cambios edafo-agronómicos (García, 2006).

3.4. Del rendimiento de forraje en materia seca

Los rendimientos promedio en materia seca de los pastos asociados, en los tres cortes, por la aplicación de dolomita y ceniza de leña, varían de 4079 a 5779 kg.ha⁻¹ de materia seca para los tratamientos con dolomita, de 4540 a 7337 kg.ha⁻¹ para los tratamientos con ceniza de leña y desde 2043 a 3294 kg.ha⁻¹ para el testigo. Los resultados se muestran Figura 3.9 y de manera detallada en el anexo 6.

Figura 3.9

Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de materia seca de pastos asociados



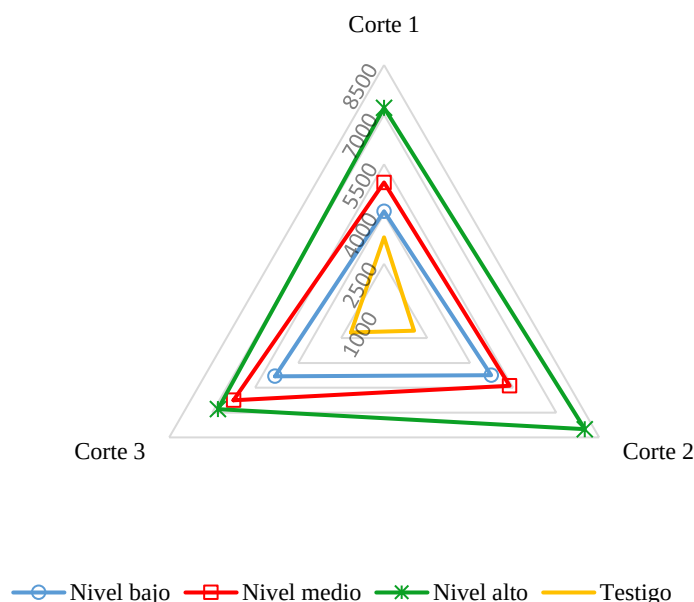
La figura 3.9, de la influencia de los niveles crecientes de dolomita en el incremento del rendimiento de materia seca de la asociación de pasturas, indica, que los efectos se manifiestan de acuerdo al nivel aplicado respecto al testigo. Los rendimientos más bajos corresponden al testigo (3294, 2043, 2158 kg.ha⁻¹, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente), mientras que los rendimientos más altos (5803, 6081, 5454 kg.ha⁻¹), se lograron con el nivel alto de dolomita. Estos resultados posiblemente obedecen a la acción de la dolomita que interviene en la disminución de la acidez del suelo y el suministro de cationes, que en condiciones de acidez los suelos tienen mayor capacidad de adsorción de cationes (Navarro, 2003), autores como Bernier y Alfaro

(2006), mencionan que la aplicación de dolomita al suelo, mejora las condiciones fisicoquímicas y biológicas del mismo; por lo cual una corrección de la acidez del suelo representa una mejora sustancial para la asimilación de los nutrientes que los pastos necesitan, adicionalmente, posiblemente la actividad microbiana se incrementó, favoreciendo los procesos de humificación y nitrificación de la materia orgánica (Zeas, 2015).

Los rendimientos alcanzados en el presente trabajo (3621 a 6081 kg.ha⁻¹) son inferiores a los encontrados por Gonzáles (2017), que reporta 9,19 t MS/ha (trébol rojo con dactylis), 8,01 t MS/ha (rye grass italiano con trébol blanco) y 7,31 t MS/ha, (alfalfa con falaris). Durand (2014), encontró un rendimiento en materia seca de 2110,7 kg/ha/corte, sin la adición de material encalante; asimismo, Arista (2017), encontró un rendimiento máximo de materia seca (10,2 a 16,1 t MS/ha) con la incorporación de 5 t.ha⁻¹ de dolomita en 3 localidades de Ayacucho. Los resultados se explican debido a que la adición de dolomita disminuyó la acidez del suelo de Añaycancha.

Figura 3.10

Efecto de niveles de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados



La Figura 3.10, de la influencia de los niveles crecientes de ceniza de leña en el incremento del rendimiento de materia seca de la asociación de pasturas, indica, que los efectos se manifiestan de acuerdo al nivel aplicado respecto al testigo. Los rendimientos más bajos corresponden al testigo (3294, 2043, 2158 kg.ha⁻¹, en el primer, segundo y

tercer corte, respectivamente), mientras que los rendimientos más altos (7210, 8002, 6800 kg.ha⁻¹), se lograron con el nivel alto de ceniza de leña. Los resultados encontrados obedece a la acción de las cenizas en la dinámica de elementos y reducción de la acidez del suelo (Solla-Gullón, 2001). La tendencia incremental del rendimiento posiblemente también es debida al aporte de Ca⁺⁺ que incrementó la actividad microbiana y mejoró la agregación (Palacios Hernández, 2014), conforme al análisis químico realizado a la ceniza se mostró que la ceniza posee un contenido importante de micronutrientes que se refleja en los rendimientos encontrados; finalmente mejorar los rendimientos y la producción en condiciones de acidez y demanda alta de Ca y Mg se logra con la corrección de problemas de acidez y mejorando la disponibilidad de nutrientes como el P para promover la fijación de N y favorecer los procesos de mineralización (Libardo, 2020).

Para evaluar la relación entre el rendimiento de materia seca (Y) y los niveles de material encalante (X), se tomaron datos del rendimiento de pastos (ajustados por el contenido de materia seca), al final de cada corte. (Tabla 3.3).

Tabla 3.3

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de materia seca de pastos cultivados

F.V.	G.L	FT. (0.05/0.01)		- Corte 1 -		-- Corte 2 --		-- Corte 3 --	
				FC.	Sig.	FC.	Sig.	FC.	Sig.
Bloque	2	3,89	6,93	0,06	ns	4,04	*	7,29	**
Tratamientos	6	3,00	4,82	10,22	**	16,67	**	19,69	**
Testigo vs M.E.	1	4,75	9,33	18,20	**	56,76	**	66,85	**
Dol. vs Ceniza	1	4,75	9,33	2,64	ns	4,89	*	20,69	**
Dol. Lineal	1	4,75	9,33	7,39	*	7,60	*	13,30	**
Dol. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,82	ns	0,011	ns	0,46	ns
Cenz. Lineal	1	4,75	9,33	30,25	**	27,39	**	15,72	**
Cenz. Cuadrático	1	4,75	9,33	1,99	ns	3,35	ns	1,09	ns
Error	12								
Total	20								

C.V(1): 14.27% ; C.V(1): 14.93% ; C.V(3): 12.70%

En la Tabla 3.3, se observa que existe diferencia altamente significativa entre el testigo y los tratamientos que recibieron material encalante, correspondiendo el valor más

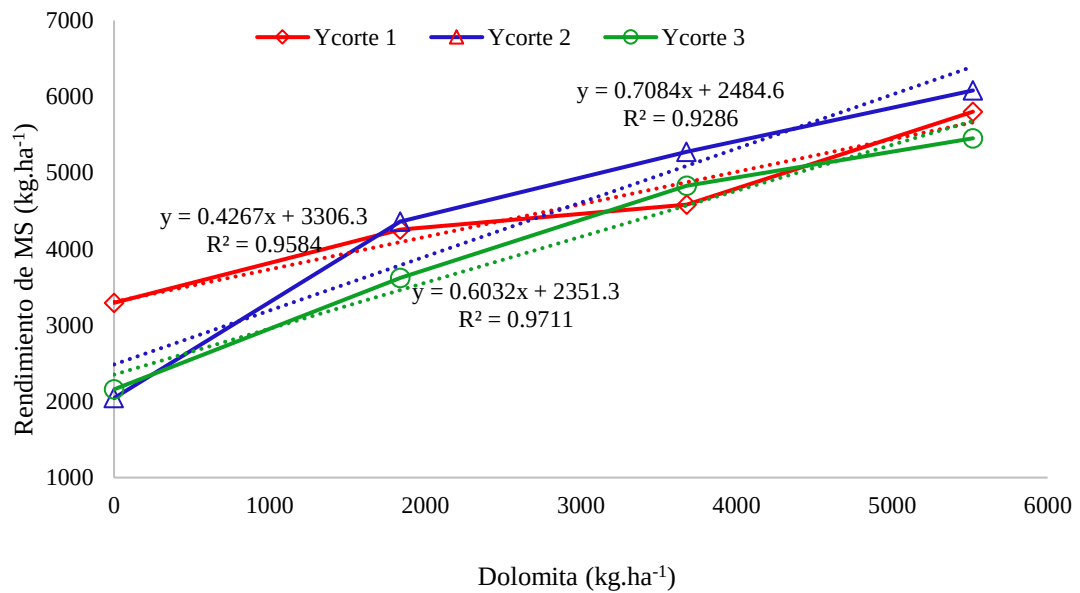
bajo al testigo (2498 kg.ha^{-1}); debido a que las enmiendas además de contribuir en la reducción de la acidez del suelo (Espinosa y Molina, 1999), mejorar la disponibilidad de nutrientes (Zapata, 2004), suministran cationes importantes en la nutrición de suelos. Al respecto González-Arias et al. (2013), indican que la aplicación de cenizas mayores a $4,5 \text{ t/ha}$ de ceniza genera efectos positivos sobre la nutrición deficiente en Magnesio. La aplicación de enmiendas magnésicas aumenta el contenido de magnesio independientemente de la dosis aplicada (Carrizo et al., 2014). Los rendimientos obtenidos en los cortes están directamente influenciados por la cantidad o nivel de material encalante aplicado; los valores de pH del suelo de los diferentes tratamientos luego de la aplicación de la ceniza de leña y dolomita, indican que existe una correlación positiva con la producción de materia seca. Bernier y Alfaro (2006), indica que el efecto de la incorporación de cal sobre el suelo influye en el rendimiento total de las especies forrajeras.

Al comparar la dolomita frente a ceniza de leña en el primer corte, se encontró que no existe diferencia estadística entre ellas; sin embargo, esta diferencia (altamente significativa) se manifiesta desde el segundo corte; es probable que los microelementos, Cu, Zn, Fe, Mn, incorporados con la ceniza de leña, influyeron en el crecimiento y desarrollo de los pastos, expresando su efecto a partir del segundo corte. Erich y Ohno (1992), mencionan que los incrementos en el rendimiento están influenciados por aumentos de la disponibilidad de elementos limitantes en el suelo provocados por la adición de enmiendas calcáreas; así la falta de respuesta pudo deberse probablemente a que los nutrientes no se encontraron en niveles limitantes para el cultivo. La relación Ca/Mg del suelo ($5,2 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$), al inicio del experimento (acápite 2.5), corresponde a una valoración adecuada pero con exceso de calcio respecto al magnesio, descartando el efecto antagónico del calcio frente al magnesio (Guerrero, 1990); posiblemente esta relación haya sufrido cambios al adicionar los materiales encalantes.

El análisis de los modelos polinómicos, indica la existencia de una respuesta altamente significativa para el modelo lineal en ambos materiales encalantes, que se manifiesta en todos los cortes realizados. El comportamiento del rendimiento de materia seca en función a la aplicación de los niveles de dolomita y de ceniza de leña se observa en las Figuras 3.11 y 3.12.

Figura 3.11

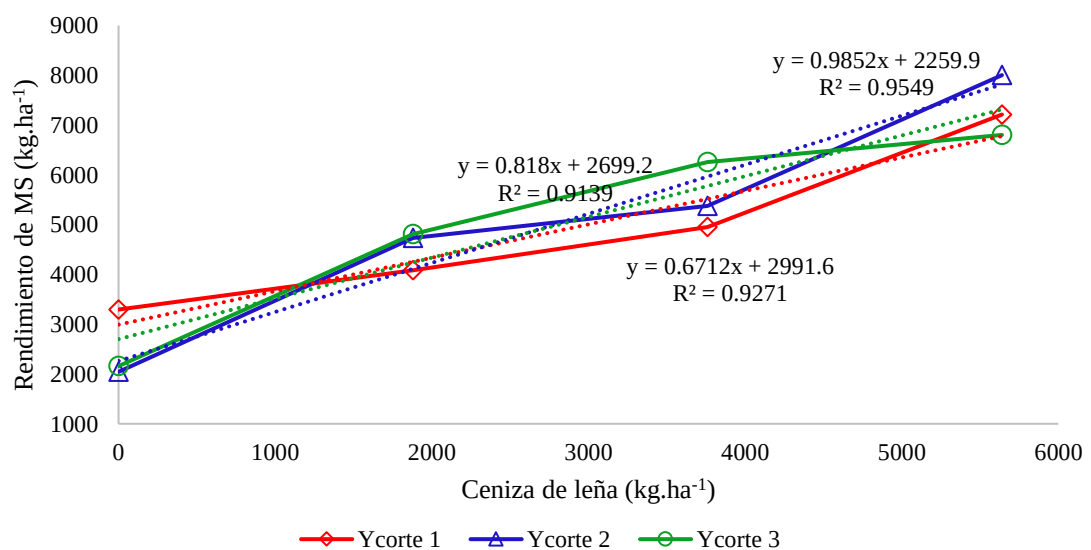
Efecto de niveles de dolomita en el rendimiento de materia seca de pastos asociados



La influencia de los niveles crecientes de dolomita en el rendimiento de materia seca obedece a los modelos lineales: $Y = 0,427X + 3306,3$ (primer corte); $Y = 0,708X + 2484,6$ (segundo corte) y $Y = 0,603X + 2351,3$ (tercer corte); es decir, cada kilogramo de dolomita permitió incrementar el rendimiento del pasto en 0,427; 0,708 y 0,603 kg de materia seca entre el primer, segundo y tercer corte respectivamente.

Figura 3.12

Efecto de niveles de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados



La influencia de los niveles crecientes de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca obedece a los modelos lineales: $Y = 0,671X + 2991,6$ (primer corte); $Y = 0,985X + 2260$ (segundo corte) y $Y = 0,818X + 2699$ (tercer corte); es decir, cada kilogramo de ceniza permitió incrementar el rendimiento del pasto en 0,671; 0,985 y 0,818 kg de materia seca entre el primer, segundo y tercer corte respectivamente.

3.5. De los costos estimados de producción

Para la estimación de los costos de producción, dependiendo al material encalante y su respectivo nivel, se consideraron costos directos e indirectos. La aplicación de materiales encalantes por niveles, indica que los costos de producción, se incrementan de acuerdo al nivel aplicado respecto al testigo. El desagregado de los costos se muestra en el anexo 14.

3.5.1. Costos directos

Los costos directos constan de ítems siguientes: 1) Preparación de terreno (arado, rastrado, nivelado y surcado del terreno), cuyo monto asciende a S/. 318.75 nuevos soles, considerándose igual para todos los tratamientos. 2) Mano de obra (labores culturales, muestreo de suelos, abonamiento y cosecha), se estimó en base a jornales, cuyo costo asciende a S/. 2 978.13 nuevos soles, estos gastos se consideraron igual para todos los tratamientos en estudio a excepción del testigo que corresponde a S/. 2 678.13 nuevos soles. 3) Insumos (semillas, fertilizantes y materiales encalantes), costos que oscilaron entre S/. 1 290.68 a S/. 7 417.88 nuevos soles dependiendo del tratamiento.

3.5.2. Costos indirectos

Los gastos en herramientas, equipos, materiales, servicios como el análisis de suelos, análisis de insumos (ceniza) y gastos administrativos, varían de S/. 320.94 a S/. 642.30 nuevos soles, dependiendo del tratamiento.

3.5.3. Costo de producción

El mayor costo de producción generó el cultivo de pastos asociados con la adición de una dosis mayor de dolomita (T₃) con S/. 11 288.31 nuevos soles por hectárea; a continuación, le siguen los tratamientos T₂, T₆, T₁, T₅ y T₄ con 9 143.79, S/. 7 047.45, 6 999.27, 6 356.55 y S/. 5 665.65 nuevos soles/ha, respectivamente. El costo total en el testigo T₇ generó S/. 4 539.75 nuevos soles por hectárea.

3.6. Del mérito económico

3.6.1. Ingreso total (venta) y utilidad

El ingreso total de la producción de pasto asociado, se estimó en base a la producción de materia verde por hectárea de cultivo y la venta de forraje verde respectivamente. El costo de venta se relacionó con los costos vigentes del mercado, considerándose el precio en chacra a S/. 0.20 por kg de forraje verde. Los mayores ingresos totales por la venta fueron S/. 15 723.40 nuevos soles para el tratamiento T₆ y S/. 12 823.40 nuevos soles para el tratamiento T₃; luego en orden de mérito descendente de las ventas totales, le siguen los tratamientos T₅, T₂, T₄, T₁ y T₇ con S/. 12 486.60, S/. 11 386.60, S/. 10 546.60, S/. 9 743.40 y S/. 5 993.40, respectivamente.

La mayor utilidad corresponde al tratamiento con el nivel mayor de ceniza de leña T₆ con S/. 8 675.95 nuevos soles. Los resultados encontrados en el presente trabajo, son superiores a lo reportados por Durand (2014), que estimó una utilidad neta de S/. 1 379.93 nuevos soles, en un cultivo mixto entre gramíneas y leguminosas, cultivadas, en el Altiplano (Puno). Por su parte Aduviri (2007), encontró una utilidad neta que fluctúa desde S/. 2 632.8 hasta S/. 3 151.6 nuevos soles cultivando alfalfa en condiciones de Puno.

3.6.2. Rentabilidad y beneficio económico

La mayor rentabilidad obtenida corresponde al tratamiento T₆, es decir la asociación conducida en un suelo tratado con la aplicación de 5640 kg/ha de ceniza de leña, logrando 123.11% de rentabilidad, lo que representa a un beneficio costo (B/C) de 2.23; luego en orden de mérito descendente de la rentabilidad le siguen los tratamientos T₅, T₄, T₁, T₇; la rentabilidad más baja se obtuvo en el tratamiento T₃, compuesto por la asociación instalada con la aplicación de 5520 kg/ha de dolomita, con 13.60%, equivalente a un beneficio costo de 1.14; resultado debido al elevado costo de inversión en la adquisición del insumo, equivalente a S/. 0.96 nuevos soles por kilogramo de cal dolomítica en el mercado local, sumado al costo de transporte del insumo al lugar del experimento; mientras que el costo de la ceniza de leña (S/. 0.25/kg), corresponde principalmente a la recolección y eliminación de materiales extraños. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 3.4 y de manera detallada en el anexo 14.

Tabla 3.4

Análisis de la rentabilidad económica en la producción de pastos asociados, Añaycancha 3530 m s.n.m

Trat.	Costo de producción / ha (S/.)	Rendimiento FV (kg.ha.año)	Precio de venta (S/./kg)	Venta Total (S/.)	Utilidad (S/.)	Rentabilidad (%)	Beneficio / costo
T ₆	7 047.45	78 617.00	0,20	15 723.40	8 675.95	123.11	2.23
T ₅	6 356.55	62 433.00	0,20	12 486.60	6 130.05	96.44	1.96
T ₄	5 665.65	52 733.00	0,20	10 546.60	4 880.95	86.15	1.86
T ₁	6 999.27	48 717.00	0,20	9 743.40	2 744.13	39.21	1.39
T ₇	4 539.75	29 967.00	0,20	5 993.40	1 453.65	32.02	1.32
T ₂	9 143.79	56 933.00	0,20	11 386.60	2 242.81	24.53	1.25
T ₃	11 288.31	64 117.00	0.20	12 823.40	1 535.09	13.60	1.14

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.4, muestra el resumen del análisis económico de la producción de pastos asociados con la aplicación de dos fuentes de material enalante en orden de mérito a su beneficio/costo. La relación beneficio costo del presente trabajo de investigación son similares a los reportados por Durand (2014), en su estudio sobre el efecto de la asociación en el rendimiento, encontró una relación beneficio costo de 1.40 para la asociación de alfalfa + trébol rojo + rye grass + dactylis, alcanzando un costo total estimado de S/. 3 456.48 nuevos soles. Por su parte INIA-Ayacucho (2011), reporta que el costo total de la producción de una hectárea de pasto asociado se estima en S/. 3 251 nuevos soles, este valor difiere a los obtenidos en el presente trabajo de investigación por el costo de los insumos utilizados en el enalado de suelos.

CONCLUSIONES

1. Cada meq de dolomita por cada 100 g de suelo (920 kg/ha), resulta en un incremento del pH del suelo en 0,166 unidades; mientras que un meq de ceniza por cada 100 g de suelo (940 kg/ha), produce un incremento del pH en 0,182 unidades, manifestándose mejor su efecto en el periodo de incubación.
2. Por cada 1000 kg/ha de dolomita, se obtiene un incremento de 2940 y 2043 kg/ha en la producción de forraje verde, en el segundo corte y tercer corte, respectivamente; mientras que la aplicación de cada 1000 kg/ha de ceniza, resulta en un incremento de 3850 y 2620 kg/ha en la producción de forraje verde, en el segundo corte y tercer corte, respectivamente. Asimismo, por cada 1000 kg/ha de dolomita, se obtiene un incremento de 427, 708 y 603 kg/ha en la producción de materia seca, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente; mientras que la aplicación de cada 1000 kg/ha de ceniza, resulta en un incremento de 671, 985 y 818 kg/ha en la producción de materia seca, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente. La aplicación de material encalante se traduce en un incremento de leguminosas en la composición florística de 10 a 53%.
3. Se obtiene una rentabilidad de 123,11% con un B/C de 2,23 en la asociación de pastos cultivados conducidos en un suelo tratado con la aplicación de 5640 kg/ha de ceniza de leña; seguido del testigo con 32,02% de rentabilidad, equivalente a un B/C de 1,32; mientras que aplicaciones de niveles altos de dolomita genera una rentabilidad de 13,6% con un B/C de 1,14.

RECOMENDACIONES

- Promover prácticas de recolección, almacenaje y aplicación de ceniza de leña por sus bondades en la mejora de la reacción del suelo.
- Utilizar la ceniza de leña, resultante de la combustión de madera en los hogares rurales, como alternativa al uso de materiales encalantes en suelos ácidos de puna con pH alrededor de 4,93 para mejorar la reacción del suelo y la producción de materia seca de pastos asociados dentro de una ganadería familiar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduviri, L. (2007). *Producción de alfalfa con biol y fertifol en la comunidad campesina de Moro-Puno. (Tesis)*. Escuela profesional de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Alconada M., M. (2014). Curso de edafología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 55p. Argentina.
- Arenas D., J. (2011). Manual de fertilización, manejo de forrajes y pastos cultivado. Cámara de comercio y la producción de Puno. 26p. Perú.
- Araya M., Boschini C. (2005). *Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de Pennisetum purpureum en la meseta central de Costa Rica*. Agronomía Mesoamericana 16 (1): 37-43. Costa Rica.
- Arista P., R. (2017). *Niveles de dolomita y de microorganismos eficientes en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho. (Tesis)*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 115p. Ayacucho, Perú.
- Barbaro, L. (2014). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas*. INTA. (p.8-11). Argentina.
- Bernal M., J. L. (2005). Manual de manejo de pastos cultivados para zonas altoandinas. Dirección de Crianzas – DGPA. [Versión Pdf]. (p.3). 32p. Perú.
- Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efectos del encalado*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. (Boletín 151). 46 p. Osorno, Chile.
- Brougham, R.W. (1959). *The effects of season and weather on the growth rate of a Ryegrass and clover pasture* (p.283-296). New Zeal.
- Cadenillas, V.J. (1999). *Producción y Manejo de Pastos y Forrajes*. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y valle. Lima, Perú.
- CARE PERÚ, (2011). *Cultivando Pastos Asociados - Sistematización de la experiencia*. Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú. 36p. Perú.
- Cáritas del Perú. (2016). *Instalación y manejo de la alfalfa en zonas altoandinas*. Editorial Chrispel S.A.C. Depósito Legal de la Biblioteca Nacional del Perú.
- Carrizo, M. E.; Alesso, C.; Billoud, H.; Pilatti. (2014). *Comparación del poder de neutralización de enmiendas calcáreo-magnésicas en suelos de la Pampa llana santafesina*. [Versión Pdf]. Universidad Nacional del Litoral. 10:5. Santa Fe.
- Catholic Relief Services. (2015). Pastos y forrajes. Programa de Gestión Rural Empresarial, Sanidad y Ambiente. Managua, Nicaragua.

- CENAGRO. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario - Instituto Nacional de Estadística e Informática. [Versión Pdf]. MINAGRI. Resultados definitivos 63p.
- Chacón C., P. (2014). *Cultivo de pastos*. Manual práctico para productores. [Versión Pdf]. Swisscontact. 47p. Lima, Perú. Consulta: 10/03/2020. Disponible en: https://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/MANUAL_PASTOS_CULTIVADOS.pdf
- Chaves S., M. (1986). *La acidez y el encalado de los suelos*. Revista Ciencia y Técnica en la Agricultura Cañera. [Versión Pdf]. (p.107-116). La Habana, Cuba.
- CONABIO (2007). & Cronquist, A. *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Copyright 1981. [Versión Pdf]. 53p. Columbia University.
- Dancé C., José J.; Sáenz Y.; Domingo, F. (2013). *Estado de la situación y gestión ambiental en Perú*. (Primera edición). Lima, Perú. 179: 128-135
- D'attellis R. (2005). *Alfalfa (Medicago sativa) producción de semilla*. Gobierno de la provincia de Catamarca. 47p. Catamarca, Argentina.
- Demagnet F., Rolando. (2013). *Producción de materia seca*. Universidad de la Frontera. 215p.
- Doerge, T. A.; Gardner, E. H. (1985). *Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon*. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49, 680-685.
- Duran, C.; Salinas, J. G.; Schaus R. (1987). *Establecimiento, mantenimiento y producción de pasturas en la selva peruana*. [Versión Pdf]. INIAA, CIAT, 330: 58-61, 118. Pucallpa – Perú.
- Durand A., M. J. (2014). Comportamiento productivo de alfalfa en cultivo puro y asociado con gramíneas forrajeras en el CIP - Camacani (Tesis). Universidad Nacional del Altiplano. 90p. Puno, Perú.
- Erich, M.S.; Ohno, T. (1992). *Agronomic Effectiveness of wood ash as a source of phosphorous and potassium*. Journal Environmental and Quality 64, 475-486.
- Espinosa, J.; Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 46p. Quito, Ecuador.
- Etiégni, L., Campbell a. G., (1991). *Physical and chemical characteristics of wood ash*. Bioresour. Technol. 22, 173-178, 243, 246.
- Fassbender, H. W.; Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 420 p. IICA. San José, Costa Rica.
- FONCODES (2014). *Siembra y manejo de pastos cultivados para familias rurales*. [Versión Pdf]. Programa de adaptación al cambio climático - MIDIS 40p. Lima, Perú.

- García, F. O.; Matías Ruffo e Inés C. Daverede. (1999). *Fertilización de pasturas y verdesos*. [Versión Pdf]. 5p. 05/01/19. INPOFOS. Buenos Aires, Argentina
Disponible: www.produccion-animal.com.ar
- García, F. O.; Matías Ruffo; F. Micucci; G., Rubio e Inés Daverede. (2002). *Fertilización de forrajes en la Región Pampeana*. [Versión Pdf]. INTA. Buenos Aires, Argentina. 61p. 05/01/19. www.produccion-animal.com.ar
- García, J. A. de C. (2006). La observación fenológica en agrometeorología. <http://divulgameteo.es/uploads/Observación-fenológica.pdf>
- Garrido V., S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*. (Boletín 5). Ministerio de agricultura pesca y alimentación. 40:3, 9,29. Corazón de María, Madrid.
- Gonzáles G., Wilfredo D. (2009). *Producción y manejo de pastos y forrajes*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 102p. Ayacucho, Perú.
- Gonzáles G., Wilfredo D. (2017). *Suelo en la producción ganadera de la región Ayacucho*. Programa de investigación en pastos y ganadería, UNSCH, Ayacucho. 77p.
- González, I.; López, D.; Alonso, M; Arias, M. (2008). *Uso de cenizas procedentes de calderas de biomasa como insumo orgánico en los suelos agrícolas*. [Versión Pdf]. 5p. Consulta: 28/06/18. Disponible: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2537370>
- González-Arias, A., Gartzia-Bengoetxea, N., y Albizu, P. (2013). *Aplicación de cenizas de caldera de biomasa a sistemas forestales. Efectos ecotoxicológicos*. Sociedad Española de ciencias forestales. IBSN. 978-84. 14p.
- Grime, J. P. (1988). *Comparative plant ecology. A funcional approach to commum British species*. London, France.
- Guerrero-García, A. (1990). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Guillén E., C. (2013). Efectos de la aplicación de cenizas de caldera de biomasa en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. (Tesis). Universidad Autónoma de Barcelona. Neiker- Tecnalia. Barcelona, España. 111: 8, 27, 62, 86.
- Hakkila, P. (1989). *Utilization of residual forest biomass. Springer series in Wood Science Springes*. Verlag, Berlín.
- Ibáñez A., R.; Tenorio P., G.; Ramírez A., E.; Blasco L., M. (1982). *Efecto de la fertilización N, P, S y Ca en la composición química de la asociación Trébol rojo-*

- Dactylis en los andes altos de Allpachaka, 3600 m s.n.m.* UNSCH. Ayacucho, Perú. 25p.
- INIA (2011). *Producción de pastos en los valles interandinos*. [Versión Pdf]. Instituto Nacional de Innovación Agraria. MINAGRI. Estación experimental Agraria Canaán, Ayacucho. (1ra Edición). Lima, Perú. 61p.
- IPNI. (2009). *Fertilización de alfalfa y otros recursos forrajeros en la Región Pampeana*. Jornada técnica alfalfa. [Versión Pdf]. Disponible: [http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/\\$FILE/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.002.002.pdf/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/7deffe669416f818032580b800647dc6/$FILE/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.002.002.pdf/Fertilizacion%20de%20forrajes%202005.pdf) Trenque Lauquen, Argentina. 47p. 05/01/18.
- Jordán L., A. (2006). *Manual de edafología*. [Versión Pdf]. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla, España. 143p.
- Juárez Contreras, L. D. P. (2016). *Efecto de dos enmiendas cálcicas y dos abonos orgánicos en el rendimiento de la especie forrajera Setaria sphacelata*, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas-2015.
- Lazcano, F., I. (2012). Cal agrícola: Conceptos básicos para la producción de cultivos. Enmiendas cálcicas. Consulta: 15/10/2021. https://scholar.google.es/scholar?q=related:7SJFP4X5IZAJ:scholar.google.com/&scioq=&hl=es&as_sdt=0,5#d=gs_qabs&t=1696941175855&u=%23p%3D7SJFP4X5IZAJ
- León M., G.; Pereira M., C.; Maycotte M., C.; Restrepo E., B.; Mauro F. (2011). *Edafología 1*. Espacio Grafico S.A. Caldas – Colombia 170: 45- 52.
- Libardo L, J. a-Lasso. (2020) *Efecto de enmiendas calcáreas en la productividad y la calidad de Medicago sativa (L.) en Colombia* (Artículo científico). Pastos y Forrajes. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). Centro de Investigación Obonuco, Colombia Vol. 43, No. 3, 190-200.
- Magra, G. (2015). Corrección de la acidez de los suelos. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. 36p.
- Martínez V., J.; Ceceña D., C.; González M., D.; Grimaldo J., O. (2015). *Control de la marchitez Fusarium O. en alfalfa, en el valle de Mexicali*. Universidad Autónoma de Baja California. 65p. 24/10/2017. <http://dx.doi.org/10.3926/oms.275>

- Méndez Domenech, E. (1977). *Estudio lisimétrico del lavado de cationes en dos suelos de la provincia de Lugo*. Trabajos Compostelanos de Biología. Universidad de Santiago de Compostela. (p.57-69). España.
- Millán, G; Vásquez, M; Terminiello, A. y Santos S., D. (2011). *Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana*. Facultad de ciencias agrarias y forestales – Universidad Nacional de La Plata. 131-140p.
- MINAGRI. (2016). *Reducción de la degradación de los suelos agrarios*. Ministerio de agricultura y riego – SENAMHI. 179: 45 - 46. Lima, Perú.
- MINAGRI (2017). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Ministerio de agricultura y riego. Dirección Estadística Agraria. 371: 350-352.
- Navarro, G. (2003). *Química Agrícola; El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*, 2. ed. Ediciones Mundi prensa. España. 486 pág.
- Omil I., B. (2007). *Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de Pinus radiata. (Tesis)*. Universidad de Santiago de Compostela. 326p. Lugo, España.
- Ortiz A. Errold F. (2008). *Evaluación del efecto de la cal dolomita sobre algunas características químicas del suelo y la absorción de nutrientes en el cultivo de piña. (Tesis)* Instituto tecnológico de Costa Rica. Grecia, Costa Rica. 71pp.
- Osorio, N.W. (2012). *Acidez del suelo y su manejo. [Versión Pdf]*. 63p. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia. Consulta: 30/12/2019. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/5%20ACIDEZ%20Y%20ENCALAMIENTO%20DEL%20SUELO.pdf>
- Palacios Hernandez, N. D. (2014). *Uso de tres mejoradores de retención de nutrientes en el suelo (Tesis de bachillerato)*.
- Palomino M., R.; Cerda G., M.; Girón M., J. (2012). *Manual de Química agrícola y fertilidad de suelos*. UNSCH. 107p. Ayacucho, Perú.
- Pantoja, M. R. (2001). *Efecto de la fertilización nitrogenada con y sin inoculante sobre el desarrollo de una asociación de pastos cultivados en Manallasacc 3580 m s.n.m. (Tesis)*. UNSCH. 124p. Ayacucho, Perú.
- Pascale, A.J.; Damario, E.A. (2011). *Observación fenológica en Agrometeorología*. Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (eds.). Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Pp: 207-222.
- Pereira C., S. Botana, A., Veiga, M., Resh, C., González, L., Lorenzana, R., (2022)

- Predicción del valor nutricional de sorgo para forraje mediante espectrometría de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) y ecuaciones empíricas. [Versión Pdf]. Tropical Grasslands-Forrajes tropicales, 10(3), 249-260.
- Potash and Phosphate Institute, (1997). Manual Internacional de Fertilidad de suelos. Norcross, G.A. U.S.A. 146 p.
- Perozo, A. (2013). Momento de corte del Pasto. Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales.
- Pizarro C., F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación*. E. Mundi Prensa 95p.
- PLCA (2011). “*Producción de leche en la sierra alta de Ayacucho*”. [Versión Pdf]. Proyecto Lechero Cachi Alto. 64p. Ayacucho, Perú. Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/prod-leche/informe_ejecutivo.pdf Consulta: 01/07/2020.
- Prat P., L. (1981). *Importancia de la reacción del suelo, acidez: pH y necesidad de cal*. [Versión Pdf]. Centro de edafología y biología aplicada. Salamanca, España. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/23538> Consulta: 15/07/2020.
- Ramírez C., R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Ed. Produmedios. 24p. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Rawson, H. y Gómez M., H. (2001). *Manejo del Trigo regado*. FAO. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s05.htm> C. 20/10/2020.
- Rodríguez S., R.; Ruz J., E.; Chavarría R., J. (1993). *Principios básicos de la acidez del suelo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 21-25pp. Quilamapu, Chillán, Chile. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR15632.pdf>
- Ruiz y Tapia, M. (1987). *Producción y Manejo de Forrajes en los Andes del Perú*.
- Rincon, A. C. (2007). Efecto del nitrógeno en la rehabilitación de pasturas de *Brachiaria decumbens* utilizando la asociación con maíz en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas Tropicales, 2.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1992). Fisiología vegetal. Ed. Iberoamérica S.A. México. p.,319 - 33
- Sanguino S., L. E. (1961). Influencia del pH sobre la fijación de fósforo y su relación con la respuesta del maíz a la fertilización fosfatada. (Tesis). Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas. 23p. Palmira, Colombia.
- SENAMHI, (2011). *Manual de observaciones fenológicas*. [Versión Pdf]. Servicio de meteorología e hidrología. Dirección General de Agrometeorología-MINAG. 99p. Lima, Perú.

- Scott, B.J.; Conyers, M.K.; Fisher, R.; Lill, W. (1992). *Particle size determines the efficiency of calcitic limestone in amending acidic soil*. Aust. J. Agri. 43p.
- Serpa, R. González M., A. (1979). *Necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica. Facultad de agronomía*. [Versión Pdf]. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 103-107p.
- Soil Taxonomy. (2014). *Keys to Soil Taxonomy USDA- Twelfth Edition*. Departament of Agriculture and Natural Resources Conservation Service, United States. 372:17-21,87p.
- SOLID OPD. (2010). *Tecnología productiva de lácteos. Producción de pastos y forrajes*. Ayacucho, Perú.
- Solla-Gullón, F.; R. Rodríguez-Soalleir; A. Merino. (2001). *Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio*. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España. 19p.
- Someshwar, A.V. (1996). *Wood and combination wood-fired boiler ash characterization*. Journal of Environmental Quality 25, 962-972.
- Taiz, Lincoln; Zeiger, Eduardo. (2006). *Fisiología vegetal II*. (Vol. 2). Universidad de Jaume I, D.L., 656p. Castelló de la plana, España.
- Tineo, A. (2012). *El Análisis Funcional de la Varianza*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ed.AMI. 140p. Ayacucho, Perú.
- Tineo, A.; Martínez, C. Fernández, A. (2016). *La ceniza como fuente de cal para suelos ácidos*. VI Simposio Latinoamericano de Innovaciones Educativas en la Enseñanza de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. 24-28/10/2016.
- Valencia, G. (1998). *Manual de Nutrición y Fertilización del Café*. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 61 p.
- Vélez M., Hincapie J.J., Matamoros I., Santillan R. (2002). *Producción de Ganado Lechero en el Trópico*. Cuarta edición. Zamorano, Honduras. 326 p.
- Viadé B, ANA. (2005). *Utilización de caliza con distintas granulometrías en una rotación pradera y maíz: efectos sobre las propiedades químicas del suelo y la producción*. (Tesis). Universidad de Santiago de Compostela escuela politécnica superior de Lugo. España. 307pp.
- Villalobos, L.; Sánchez, J. Ml.; (2010). *Evaluación agronómica y nutricional del pasto Rye grass perenne tetraploide producido en lecherías de las zonas altas de Costa Rica*. Escuela de Zootecnia. (Tesis). 32-42p. San José, Costa Rica. Consulta: 05/01/2018 www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

- Villalobos V., L.A. (2019). *Pastos de altura y manejo basado en fenología*. Escuela de Zootecnia- Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Universidad de Costa Rica. 49 p.
- Zapata H., R. D. (2004). *La química de la acidez del suelo*. [Versión Pdf]. Ed. Cargraphics. Medellín, Cali, Colombia. 208:12, 113-123pp.
- Zeas, D. L. G. (2015). *Optimización del rendimiento de avena (Avena sativa l. variedad INIAP-82) bajo tres niveles de encalado en la granja Irquis* (Doctoral Dissertation, Universidad de Cuenca).
- ZEE-OT (2015). *Zonificación Ecológica Económica y ordenamiento territorial- Ayacucho*. GRA. [Versión Pdf]. 289p. Ayacucho, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados del rendimiento de forraje verde (kg.ha^{-1}) entre cortes

Primer corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	14200	14000	17000	11800	15900	20800	10600	104300
II	15000	15200	15400	12200	16200	16900	10800	101700
III	13300	14100	19800	11500	13600	26300	12100	110700
Total	42500	43300	52200	35500	45700	64000	33500	316700
M	138000			145200				283200
N	78000		89000		116200		33500	316700

Fecha de muestreo: 29/07/18; C.V:14.37%

Estado fenológico: Gramíneas (Inicio de espigamiento); Leguminosas (Pre botón)

Segundo corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	23000	26800	29000	24100	27800	38500	11000	180200
II	21000	21900	24000	14300	21500	24800	7800	135300
III	18000	23500	27000	29500	24500	36500	10500	169500
Total	62000	72200	80000	67900	73800	99800	29300	485000
M	214200			241500				455700
N	129900		146000		179800		29300	485000

Fecha de muestreo: 27/09/18; C.V: 14.51%

Estado fenológico: Gramíneas (Lanzamiento de hoja bandera); Leguminosas (Botón e inicios de floración)

Tercer corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	14500	18700	18300	14300	23600	26500	8700	124600
II	9350	17300	19100	17300	20400	20300	8500	112250
III	17800	19300	22750	23200	23800	25250	9900	142000
Total	41650	55300	60150	54800	67800	72050	27100	378850
M	157100			194650				351750
N	96450		123100		132200		27100	378850

Fecha de muestreo: 27/11/18; C.V: 12.05%

Estado fenológico: Gramíneas (Espigamiento), Leguminosas (Floración)

Anexo 2. Análisis funcional de varianza del rendimiento en peso fresco

Primer corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	6129523,81	3064761,90	0,65	3,89	6,93	ns
Tratamiento	6	214852380,95	35808730,16	7,63	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	53625714,29	53625714,29	11,42	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	2880000,00	2880000,00	0,61	4,75	9,33	ns
Dolom. Lineal	1	15681666,67	15681666,67	3,34	4,75	9,33	ns
Dolom. Cuadrático	1	3645000,00	3645000,00	0,78	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	135375000,00	135375000,00	28,83	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	3645000,00	3645000,00	0,78	4,75	9,33	ns
Error	12	56350476,19	4695873,02				
Total	20	277332380,95					

C.V: 14.37%

Segundo corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	157149523,81	78574761,90	7,00	3,89	6,93	**
Tratamiento	6	909549523,81	151591587,30	13,50	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	621777857,14	621777857,14	55,38	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	41405000,00	41405000,00	3,69	4,75	9,33	ns
Dolom. Lineal	1	54000000,00	54000000,00	4,81	4,75	9,33	*
Dolom. Cuadrático	1	320000,00	320000,00	0,03	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	169601666,67	169601666,67	15,11	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	22445000,00	22445000,00	2,00	4,75	9,33	ns
Error	12	134730476,19	11227539,68				
Total	20	1201429523,81					

C.V: 14,51%

Tercer corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	63825952,38	31912976,19	6,75	3,89	6,93	*
Tratamiento	6	477474761,90	79579126,98	16,83	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	283950178,57	283950178,57	60,05	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	78333472,22	78333472,22	16,57	4,75	9,33	**
Dolom. Lineal	1	57041666,67	57041666,67	12,06	4,75	9,33	**
Dolom. Cuadrático	1	4302222,22	4302222,22	0,91	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	49593750,00	49593750,00	10,49	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	4253472,22	4253472,22	0,90	4,75	9,33	ns
Error	12	56742380,95	4728531,75				
Total	20	598043095,24					

C.V: 12,05%

Anexo 3. Resultados de análisis de materia seca del forraje al primer corte

Bloque	Trat.	Peso fresco	Gramíneas			Leguminosas		
		(kg)	Peso Seco (kg)	M.S. (%)	Proporción (%)	Peso seco (kg)	M.S. (%)	Proporción (%)
I	T ₁	0,1	0,0313	31,3	90	0,0156	15,6	10
	T ₂	0,1	0,0351	35,1	91	0,0159	15,9	9
	T ₃	0,1	0,0362	36,2	88	0,0194	19,4	12
	T ₄	0,1	0,0381	38,1	87	0,0168	16,8	13
	T ₅	0,1	0,0370	37,0	82	0,0175	17,5	18
	T ₆	0,1	0,0383	38,3	79	0,0187	18,7	21
	T ₇	0,1	0,0334	33,4	90	0,0159	15,9	10
II	T ₁	0,1	0,0331	33,1	87	0,0167	16,7	13
	T ₂	0,1	0,0353	35,3	86	0,0172	17,2	14
	T ₃	0,1	0,0362	36,2	84	0,0173	17,3	16
	T ₄	0,1	0,0389	38,9	89	0,0168	16,8	11
	T ₅	0,1	0,0370	37,0	79	0,0173	17,3	21
	T ₆	0,1	0,0393	39,3	83	0,0179	17,9	17
	T ₇	0,1	0,0340	34,0	80	0,0162	16,2	20
III	T ₁	0,1	0,0310	31,0	87	0,0183	18,3	13
	T ₂	0,1	0,0319	31,9	79	0,0183	18,3	21
	T ₃	0,1	0,0357	35,7	82	0,0194	19,4	18
	T ₄	0,1	0,0342	34,2	83	0,0185	18,5	17
	T ₅	0,1	0,0345	34,5	76	0,0196	19,6	24
	T ₆	0,1	0,0359	35,9	78	0,0195	19,5	22
	T ₇	0,1	0,0300	30,0	74	0,0176	17,6	26

Promedio M.S. Primer corte				
Gramínea		Leguminosa		
Trat.	%MS	Kg*	%MS	Kg*
T ₁	31,8	10.0	16,9	2.3
T ₂	34,1	10.7	17,1	2.3
T ₃	36,0	11.4	18,7	2.5
T ₄	37,1	11.7	17,4	2.3
T ₅	36,2	11.4	18,1	2.4
T ₆	37,8	11.9	18,7	2.5
T ₇	32,5	10.2	16,6	2.2

Fecha de análisis: 06/08/18;

Temperatura de secado: 65°C;

Tiempo de secado: 72 hr.

* Cantidad expresada por U.A. (450kg P.V.) y 70%G., 30%L.

Anexo 4. Resultados de análisis de materia seca del forraje al segundo corte

Bloque	Trat.	Peso fresco	Peso Seco	Gramíneas		Leguminosas		
		(kg)	(kg)	M.S. (%)	Proporción (%)	Peso seco (kg)	M.S. (%)	Proporción (%)
I	T ₁	0,1	0,0214	21,4	55	0,0201	20,1	45
	T ₂	0,1	0,0217	21,7	58	0,0201	20,1	42
	T ₃	0,1	0,0223	22,3	48	0,0223	22,3	52
	T ₄	0,1	0,0186	18,6	55	0,0206	20,6	45
	T ₅	0,1	0,0218	21,8	71	0,0212	21,2	29
	T ₆	0,1	0,0238	23,8	54	0,0224	22,4	46
	T ₇	0,1	0,0215	21,5	89	0,0213	21,3	11
II	T ₁	0,1	0,0222	22,2	59	0,0206	20,6	41
	T ₂	0,1	0,0238	23,8	58	0,0209	20,9	42
	T ₃	0,1	0,0260	26,0	46	0,0211	21,1	54
	T ₄	0,1	0,0242	24,2	56	0,0201	20,1	44
	T ₅	0,1	0,0242	24,2	72	0,0223	22,3	28
	T ₆	0,1	0,0270	27,0	47	0,0231	23,1	53
	T ₇	0,1	0,0219	21,9	93	0,0182	18,2	7
III	T ₁	0,1	0,0232	23,2	48	0,0188	18,8	52
	T ₂	0,1	0,0243	24,3	58	0,0196	19,6	42
	T ₃	0,1	0,0234	23,4	51	0,0223	22,3	49
	T ₄	0,1	0,0219	21,9	79	0,0192	19,2	21
	T ₅	0,1	0,0202	20,2	59	0,0210	21,0	41
	T ₆	0,1	0,0237	23,7	50	0,0251	25,1	50
	T ₇	0,1	0,0199	19,9	87	0,0190	19,0	13

Promedio M.S. Segundo corte				
Gramínea			Leguminosa	
Trat.	%MS	Kg*	%MS	Kg*
T ₁	22,3	7.0	19,8	2.7
T ₂	23,3	7.3	20,2	2.7
T ₃	23,9	7.5	21,9	3.0
T ₄	21,6	6.8	20,0	2.7
T ₅	22,1	7.0	21,5	2.9
T ₆	24,8	7.8	23,5	3.2
T ₇	21,1	6.6	19,5	2.6

Fecha de análisis: 03/10/18;

Temperatura de secado: 65°C;

Tiempo de secado: 72 hr.

* Cantidad expresada por U.A. (450kg P.V.) y 70%G., 30%L.

Anexo 5. Resultados de análisis de materia seca del forraje al tercer corte

Bloque	Trat.	Peso		Gramíneas		Leguminosas		
		fresco (kg)	Peso Seco (kg)	M.S. (%)	Proporción (%)	Peso seco (kg)	M.S. (%)	Proporción (%)
I	T ₁	0,1	0,0236	23,6	46	0,0261	26,1	54
	T ₂	0,1	0,0248	24,8	54	0,0259	25,9	46
	T ₃	0,1	0,0251	25,1	45	0,0274	27,4	55
	T ₄	0,1	0,0248	24,8	53	0,0257	25,7	47
	T ₅	0,1	0,0276	27,6	52	0,0274	27,4	48
	T ₆	0,1	0,0276	27,6	42	0,0282	28,2	58
	T ₇	0,1	0,0233	23,3	89	0,0253	25,3	11
II	T ₁	0,1	0,0262	26,2	56	0,0257	25,7	44
	T ₂	0,1	0,0266	26,6	54	0,0262	26,2	46
	T ₃	0,1	0,0283	28,3	40	0,0272	27,2	60
	T ₄	0,1	0,0267	26,7	55	0,0255	25,5	45
	T ₅	0,1	0,0296	29,6	61	0,0249	24,9	39
	T ₆	0,1	0,0289	28,9	39	0,0282	28,2	61
	T ₇	0,1	0,0236	23,6	91	0,0249	24,9	9
III	T ₁	0,1	0,0281	28,1	45	0,0262	26,2	55
	T ₂	0,1	0,0274	27,4	47	0,0265	26,5	53
	T ₃	0,1	0,0279	27,9	43	0,0272	27,2	57
	T ₄	0,1	0,0272	27,2	72	0,0269	26,9	28
	T ₅	0,1	0,0283	28,3	45	0,0274	27,4	55
	T ₆	0,1	0,0300	30,0	38	0,0277	27,7	62
	T ₇	0,1	0,0241	24,1	88	0,0262	26,2	12

Promedio M.S. Tercer corte				
Trat.	Gramínea		Leguminosa	
	%MS	Kg*	%MS	Kg*
T ₁	26,0	8.2	26,0	3.5
T ₂	26,3	8.3	26,2	3.5
T ₃	27,1	8.5	27,3	3.7
T ₄	26,2	8.3	26,0	3.5
T ₅	28,5	9.0	26,6	3.6
T ₆	28,8	9.1	28,0	3.8
T ₇	23,7	7.5	25,5	3.4

Fecha de análisis: 30/11/18;

Temperatura de secado: 65°C;

Tiempo de secado: 72 hr.

* Cantidad expresada por U.A. (450kg P.V.) y 70%G., 30%L.

Anexo 6. Resultados del rendimiento de materia seca ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) entre cortes

Primer corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	4221,7	4672,1	5811,3	4169,1	5324,9	7110,3	3354,9	34664,2
II	4645,2	4980,4	5109,1	4449,2	5323,8	6026,9	3287,5	33822,2
III	3903,4	4095,2	6487,7	3626,1	4205,7	8492,8	3239,9	34050,7
Total	12770,3	13747,7	17408,1	12244,3	14854,4	21629,9	9882,3	102537,0
M	43926,0			48728,7				92654,7
N	25014,6		28602,1		39038,0		9882,3	102537,0

C,V: 14,27%

Segundo corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	4787,5	5635,5	6467,0	4699,5	6012,0	8915,1	2362,6	38879,1
II	4524,2	4945,5	5605,0	3202,6	5088,6	6183,4	1688,0	31237,3
III	3764,2	5246,6	6172,5	6293,2	5029,4	8906,0	2077,2	37489,1
Total	13075,9	15827,6	18244,4	14195,4	16130,0	24004,4	6127,8	107605,5
M	47147,9			54329,8				101477,7
N	27271,2		31957,6		42248,9		6127,8	107605,5

C,V: 14,93%

Tercer corte

Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Bloque	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	3617,8	4732,2	4824,8	3606,9	6490,9	7406,2	2046,2	32725,1
II	2429,1	4570,0	5279,2	4525,7	5664,5	5780,0	2015,9	30264,5
III	4815,8	5196,1	6256,5	6290,9	6617,6	7214,9	2410,8	38802,7
Total	10862,7	14498,3	16360,5	14423,5	18773,0	20401,2	6473,0	101792,2
M	41721,5			53597,7				95319,2
N	25286,2		33271,3		36761,7		6473,0	101792,2

C,V: 12,70%

Anexo 7. Análisis funcional de varianza del rendimiento de materia seca

Primer corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	54168	27084	0,06	3,89	6,93	ns
Tratamiento	6	29744575	4957429	10,22	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	8832889	8832889	18,20	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	1281399	1281399	2,64	4,75	9,33	ns
Dolom. Lineal	1	3584826	3584826	7,39	4,75	9,33	*
Dolom. Cuadrático	1	399885	399885	0,82	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	14681597	14681597	30,25	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	963979	963979	1,99	4,75	9,33	ns
Error	12	5823552	485296				
Total	20	35622295					

C.V: 14,27%

Segundo corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	4734022	2367011	4,04	3,89	6,93	*
Tratamiento	6	58554736	9759123	16,67	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	33234141	33234141	56,76	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	2865588	2865588	4,89	4,75	9,33	*
Dolom. Lineal	1	4452370	4452370	7,60	4,75	9,33	*
Dolom. Cuadrático	1	6230	6230	0,011	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	16036345	16036345	27,39	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	1960062	1960062	3,35	4,75	9,33	ns
Error	12	7026379	585532				
Total	20	70315137					

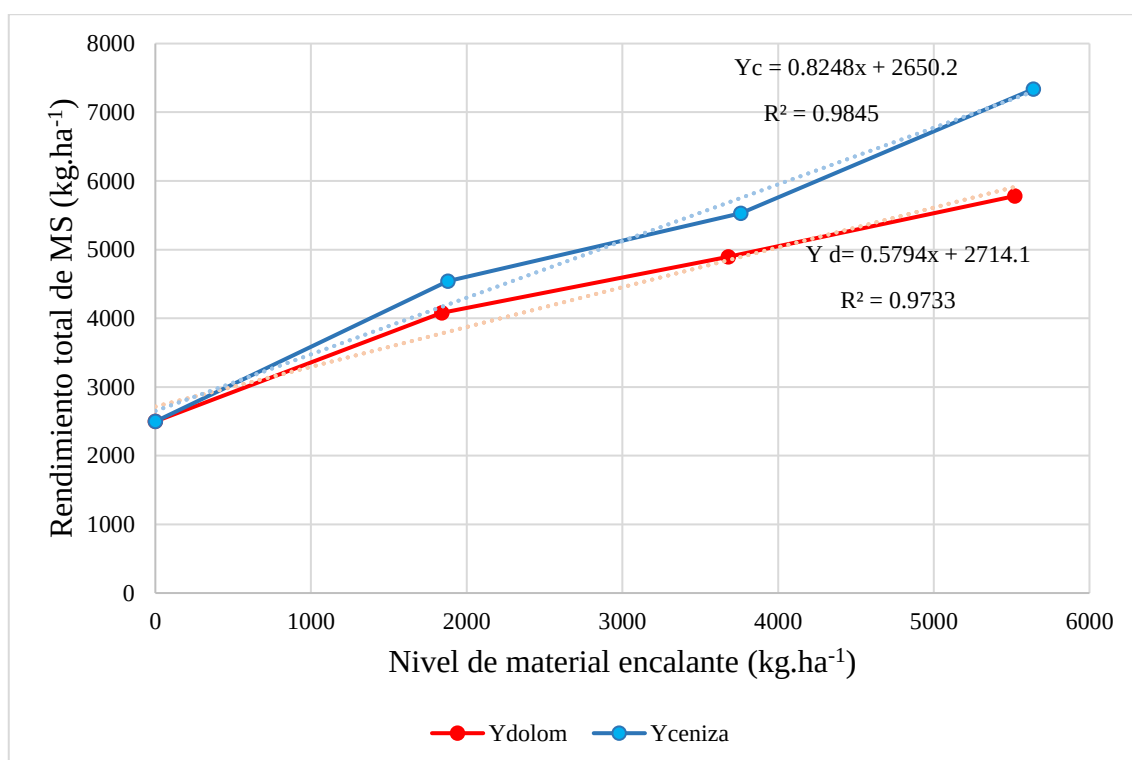
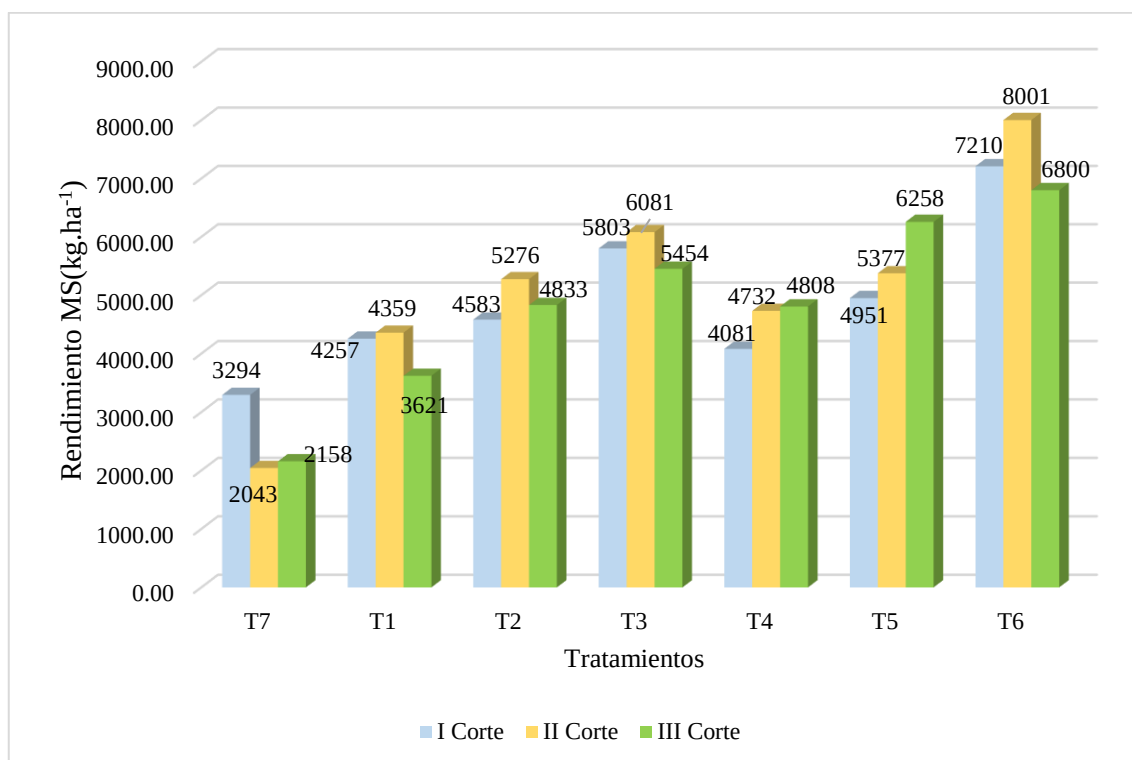
C.V: 14,93%

Tercer corte

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Pr>F
Bloque	2	5518751	2759376	7,29	3,89	6,93	**
Tratamiento	6	44733312	7455552	19,69	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	25318254	25318254	66,85	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	7835713	7835713	20,69	4,75	9,33	**
Dolom. Lineal	1	5037712	5037712	13,30	4,75	9,33	**
Dolom. Cuadrático	1	174734	174734	0,46	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	5955469	5955469	15,72	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	411430	411430	1,09	4,75	9,33	ns
Error	12	4544842	378737				
Total	20	54796905					

C.V: 12,70%

Anexo 8. Comportamiento del rendimiento total de materia a tres cortes, Añaycancha-Ayacucho, 2018



Anexo 9. Resultados del pH del suelo, Añaycancha-Ayacucho, 2018

Resultados del análisis potenciométrico del pH del suelo:

Trat.	Material	Dosis	----- pH -----			
	Encalante	(kg.ha ⁻¹)	Inicial	1° Corte	2° Corte	3° Corte
T ₁	Dolomita	1840	5,14	5,12	5,27	5,22
T ₂	Dolomita	3680	6,04	5,71	5,89	5,40
T ₃	Dolomita	5520	6,24	5,89	6,25	6,22
T ₄	Ceniza	1880	5,47	5,25	5,72	5,34
T ₅	Ceniza	3760	5,93	5,73	5,88	5,62
T ₆	Ceniza	5640	6,64	6,26	6,37	6,21
T ₇	-	0	4,60	4,99	5,10	5,42

Fecha de muestreo: 16/01/18 (Inicial); 29/07/18(Corte 1); 27/09/18(Corte 2); 27/11/18(Corte 3)

Fecha de análisis: 02/05/18 (Inicial); 07/08/18(Corte 1); 10/10/18(Corte 2); 05/12/18(Corte 3)

Resultados ordenados del pH del suelo en el experimento factorial:

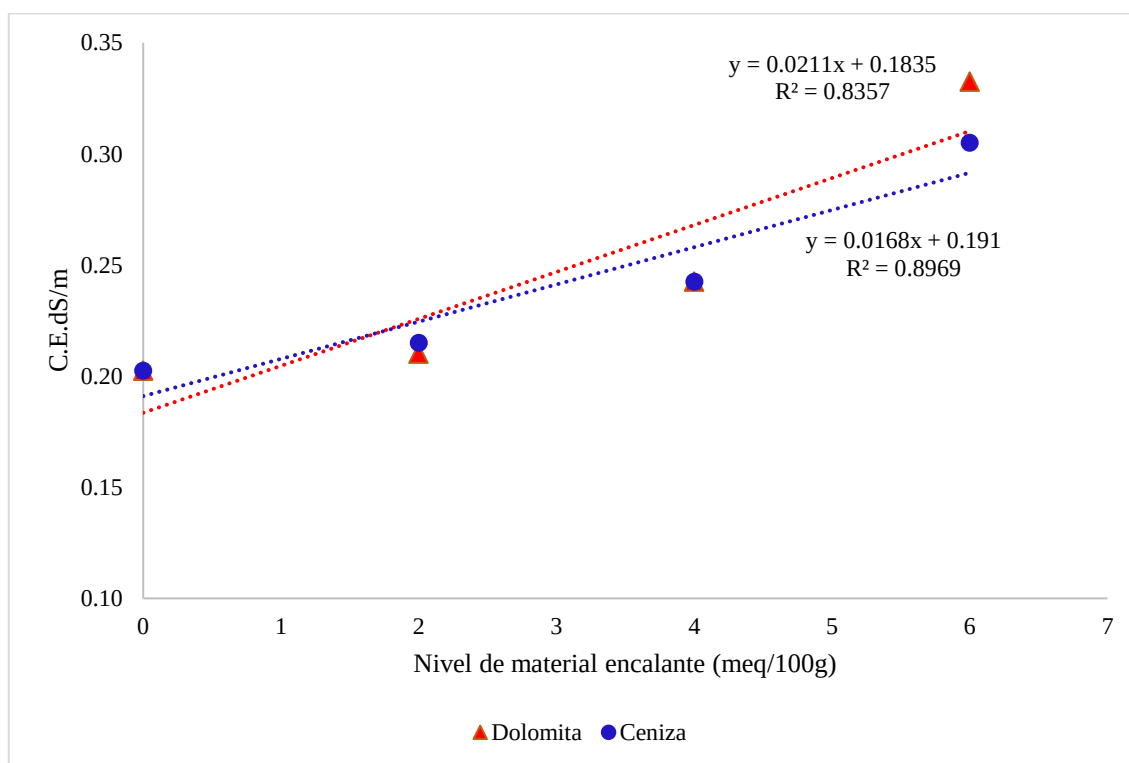
Material	m1			m2			T	Total
Nivel	n1	n2	n3	n1	n2	n3	0	
Corte	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	
I	5,12	5,71	5,89	5,25	5,73	6,26	4,99	38,95
II	5,27	5,89	6,25	5,72	5,88	6,37	5,10	40,48
III	5,22	5,40	6,22	5,34	5,62	6,21	5,42	39,43
Total	15,61	17,00	18,36	16,31	17,23	18,84	15,51	118,86
M	50,97			52,38				103,35
N	31,92		34,23		37,20		15,51	118,35

C,V: 2,84%

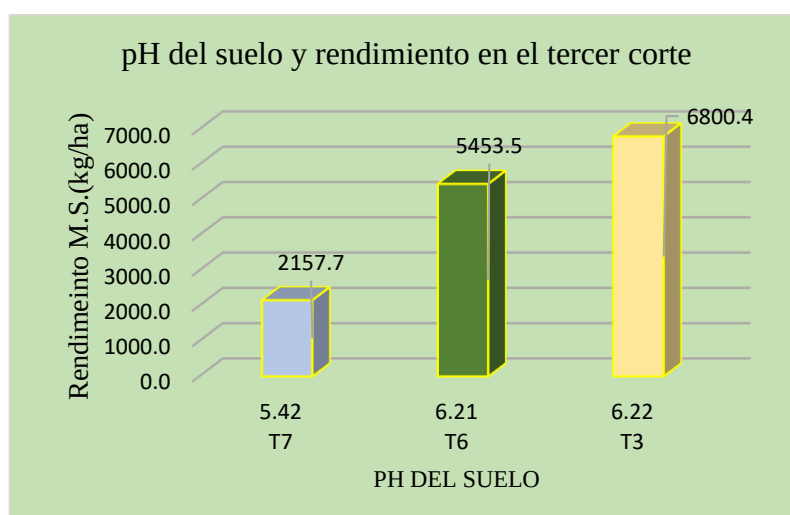
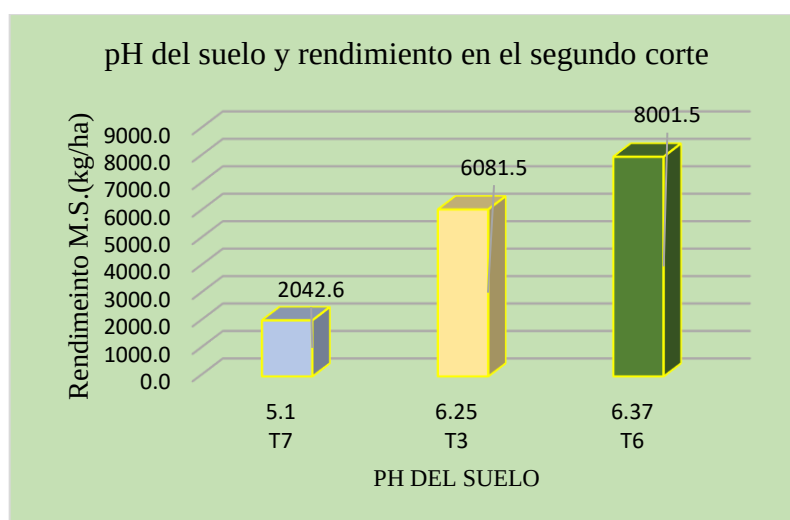
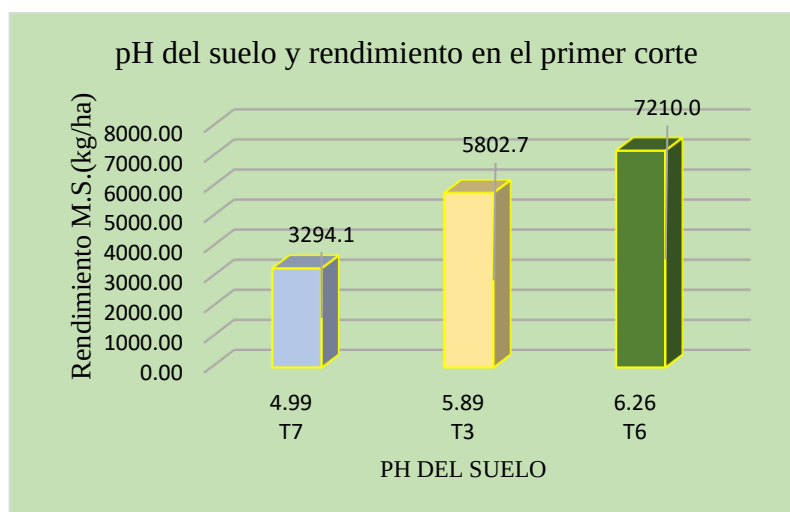
Anexo 10. *Efecto de las enmiendas en la conductividad eléctrica del suelo, Añaycancha-Ayacucho, 2018*

Resultados de la conductividad eléctrica (C.E.)

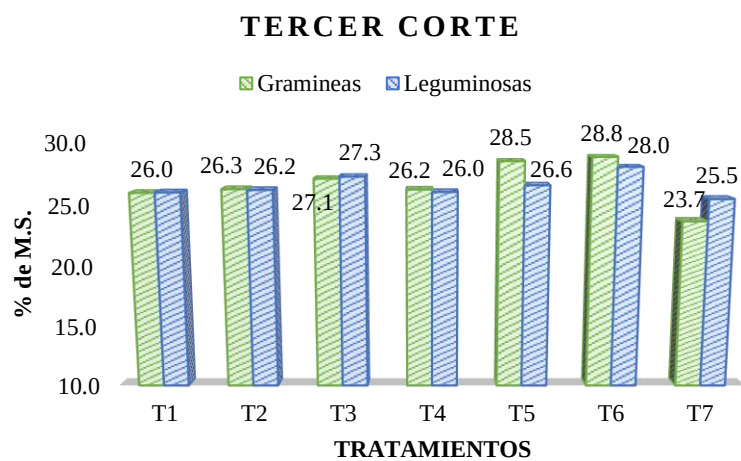
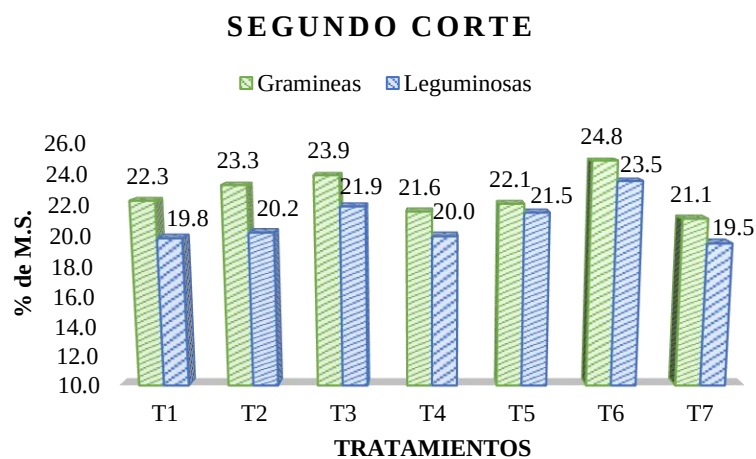
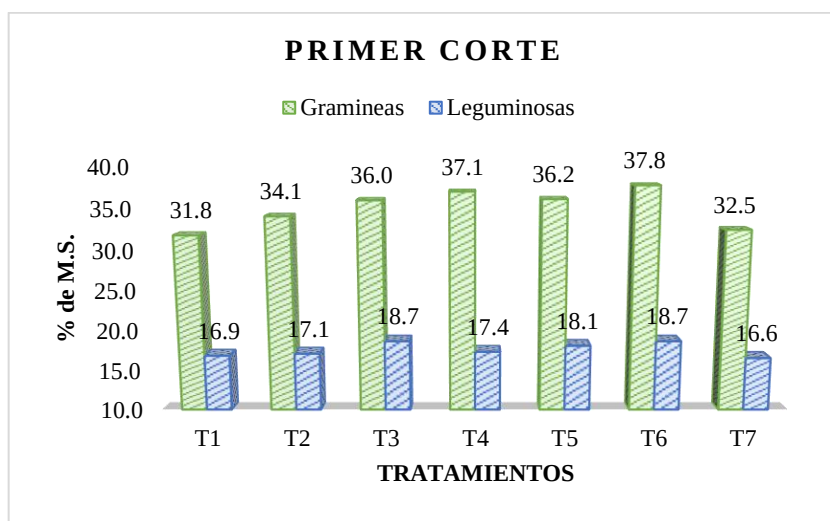
Trat.	Nivel meq/100g	Inicial C.E. dS/m	Primer corte C.E. dS/m	Segundo corte C.E. dS/m	Tercer corte C.E. dS/m
T ₁	2	0,24	0,26	0,18	0,16
T ₂	4	0,25	0,31	0,22	0,19
T ₃	6	0,36	0,41	0,32	0,24
T ₄	2	0,23	0,27	0,19	0,17
T ₅	4	0,21	0,31	0,25	0,20
T ₆	6	0,35	0,36	0,30	0,21
T ₇	0	0,23	0,22	0,19	0,17



Anexo 11. *Efecto de la reacción del suelo en el rendimiento de MS con nivel alto de material encalante, Añaycancha-Ayacacucho, 2018*

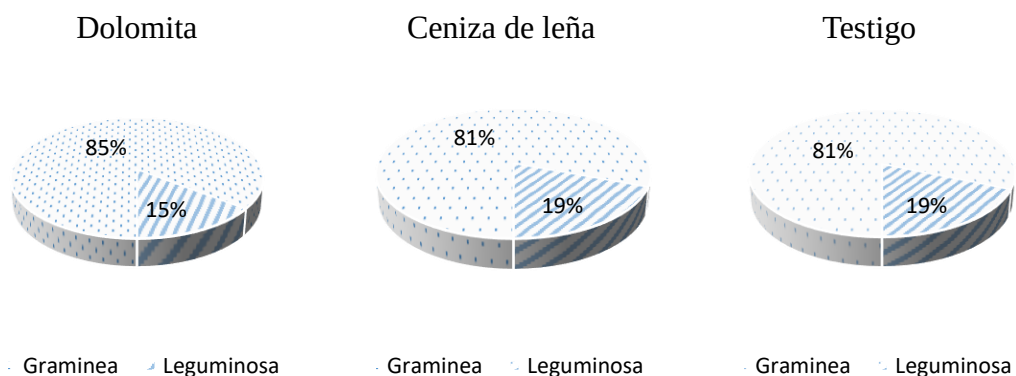


Anexo 12. *Comportamiento del porcentaje promedio de materia seca de pastos asociados, Añaycancha-Ayacucho, 2018*



Anexo 13. *Comportamiento promedio de la composición botánica del pasto frente a la enmienda calcárea*

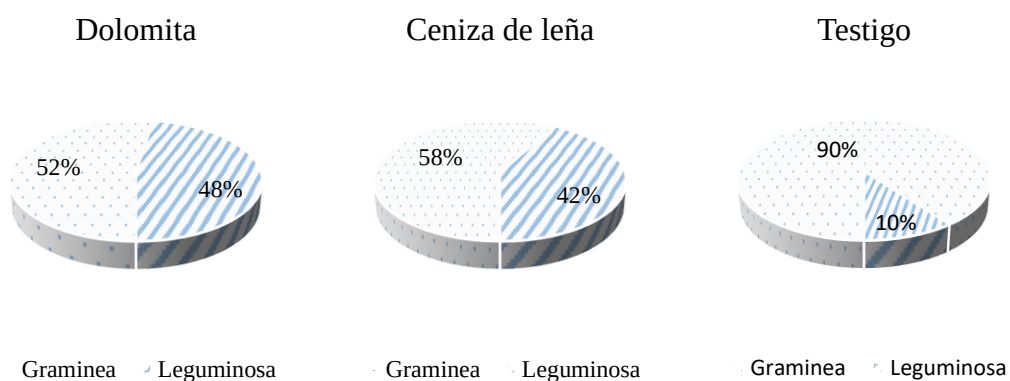
Composición de los pastos cultivados al primer corte



Proporción inicial: Gramíneas (70%), leguminosas (30%);

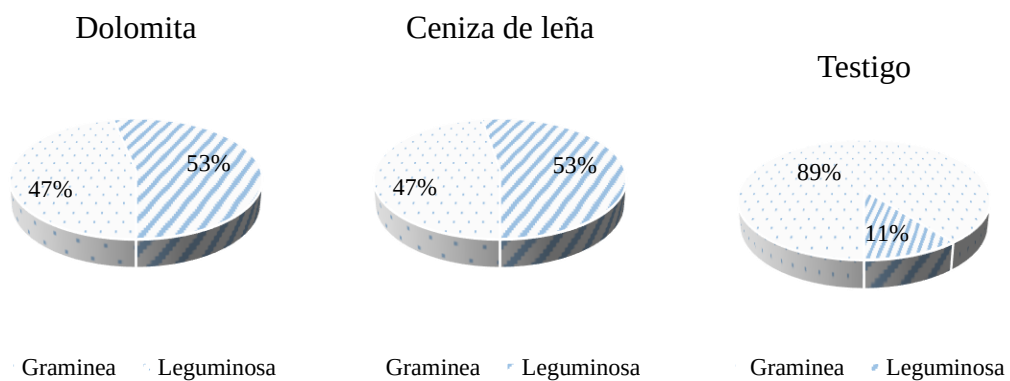
Fecha de corte: 29/07/18

Composición de los pastos cultivados al segundo corte



Fecha de corte: 27/09/18

Composición de los pastos cultivados al tercer corte



Fecha de corte: 27/11/18

Anexo 14. Estimado de costos de producción

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN CON TRATAMIENTO T ₁					
DESCRIPCION	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jor.	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					3,168.08
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato Diamónico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
Dolomita	kg	1840	0.96	1,766.40	
Flete de insumos	glb	1	276.00	276.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL, COSTOS DIRECTOS					6,561.21
COSTOS INDIRECTOS					438.06
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				328.06	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					6,999.27
RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO		ANALISIS ECONÓMICO			
RUBRO	COSTO (S/.)				
Mano de obra	2978.125	Rendimiento (kg.ha.año)		48,717	
Yunta/Maquinaria	250	Precio unitario por kg en chacra		0.20	
Insumos, materiales y equipos	3333.08	Ingreso Total		9,743.40	
Costos indirectos	438.06	Costo Total / ha		6,999.27	
COSTO TOTAL	6,999.27	Ingreso Neto o Utilidad		2,744.13	
		Rentabilidad %		39.21	
		Beneficio / Costo		1.39	

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₂					
DESCRIPCION	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jor.	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					5,210.48
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
Dolomita	kg	3680	0.96	3,532.80	
Flete de insumos	glb	1	552.00	552.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL, COSTOS DIRECTOS					8,603.61
COSTOS INDIRECTOS					540.18
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				430.18	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					9,143.79

RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO	
RUBRO	COSTO (S/.)
Mano de obra	2,978.13
Yunta/Maquinaria	250.00
Insumos, materiales y equipos	5,375.48
Costos indirectos	540.18
COSTO TOTAL	9,143.79

ANALISIS ECONOMICO	
Rendimiento (kg.ha. año)	56,933
Precio unitario por kg en chacra	0.20
Ingreso Total	11,386.60
Costo Total / ha	9,143.79
Ingreso Neto o Utilidad	2,242.81
Rentabilidad %	24.53
Beneficio / Costo	1.25

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₃					
DESCRIPCION	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jornal	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jornal	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jornal	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jornal	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jornal	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jornal	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jornal	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jornal	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jornal	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jornal	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jornal	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jornal	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jornal	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					7,252.88
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	sacos	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	sacos	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	sacos	0.60	75.00	45.00	
Dolomita	kg	5520	0.96	5,299.20	
Flete de insumos	glb	1	828.00	828.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					10,646.01
COSTOS INDIRECTOS					642.30
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				532.30	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					11,288.31

RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO		ANALISIS ECONÓMICO	
RUBRO	COSTO (S/.)		
Mano de obra	2,978.13	Rendimiento (kg.ha.año)	64,117
Yunta/Maquinaria	250.00	Precio unitario por kg en chacra	0.20
Insumos, materiales y equipos	7,417.88	Ingreso Total	12,823.40
Costos indirectos	642.30	Costo Total / ha	11,288.31
COSTO TOTAL	11,288.31	Ingreso Neto o Utilidad	1,535.09
		Rentabilidad %	13.60
		Beneficio / Costo	1.14

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₄					
DESCRIPCION	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jor.	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					1,783.68
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
Ceniza de leña	kg	1880	0.25	470.00	
Tamizado de M.encalante (Ceniza)	jor.	7.52	25.00	188.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					5,176.81
COSTOS INDIRECTOS					488.84
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de insumo (Ceniza)				120.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				258.84	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					5,665.65

RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO	
RUBRO	COSTO (S/.)
Mano de obra	2,978.13
Yunta/Maquinaria	250.00
Insumos, materiales y equipos	1,948.68
Costos indirectos	488.84
COSTO TOTAL	5,665.65

ANALISIS ECONOMICO	
Rendimiento (kg.ha.año)	52,733
Precio unitario por kg en chacra	0.20
Ingreso Total	10,546.60
Costo Total / ha	5,665.65
Ingreso Neto o Utilidad	4,880.95
Rentabilidad %	86.15
Beneficio / Costo	1.86

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₅					
RUBROS	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jor.	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					2,441.68
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
Ceniza de leña	kg	3760	0.25	940.00	
Tamizado de M.encalante (Ceniza)	jor.	15.04	25.00	376.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					5,834.81
COSTOS INDIRECTOS					521.74
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de insumo (Ceniza)				120.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				291.74	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					6,356.55
RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO			ANALISIS ECONOMICO		
RUBRO	COSTO (S/.)				
Mano de obra	2,978.13	Rendimiento (kg.ha.año)		62,433	
Yunta/Maquinaria	250.00	Precio unitario por kg en chacra		0.20	
Insumos, materiales y equipos	2,606.68	Ingreso Total		12,486.60	
Costos indirectos	521.74	Costo Total / ha		6,356.55	
COSTO TOTAL	6,356.55	Ingreso Neto o Utilidad		6,130.05	
		Rentabilidad %		96.44	
		Beneficio / Costo		1.96	

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₆					
DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					1,156.25
Encalado	jor.	12	25.00	300.00	
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					3,099.68
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
Ceniza de leña	kg	5640	0.25	1,410.00	
Tamizado de M.encalante (Ceniza)	jor.	22.56	25.00	564.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					6,492.81
COSTOS INDIRECTOS					554.64
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de insumo (Ceniza)				120.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				324.64	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					7,047.45
RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO			ANALISIS ECONOMICO		
RUBRO	COSTO (S/.)				
Mano de obra	2,978.13		Rendimiento (kg.ha.año)		78,617.00
Yunta/Maquinaria	250.00		Precio unitario por kg en chacra		0.20
Insumos, materiales y equipos	3,264.68		Ingreso Total		15,723.40
Costos indirectos	554.64		Costo Total / ha		7,047.45
COSTO TOTAL	7,047.45		Ingreso Neto o Utilidad		8,675.95
			Rentabilidad %		123.11
			Beneficio / Costo		2.23

ESTIMADO DE COSTOS DE PRODUCCION TRATAMIENTO T ₇					
DESCRIPCION	UNID	CANT	P. U. (S/.)	SUB TOTAL (S/.)	TOTAL (S/.)
COSTOS DIRECTOS:					
1. PREPARACION DE TERRENO:					318.75
Limpieza de campo	jor.	0.5	25.00	12.50	
Arado, cruzado, rastra	hr/tr	5	50.00	250.00	
Mullido, Desterronado y Nivelación	jor.	2	25.00	50.00	
Muestreo del suelo	jor.	0.25	25.00	6.25	
2. SIEMBRA:					203.13
Inoculación de semilla	jor.	0.125	25.00	3.13	
Abonamiento	jor.	4	25.00	100.00	
Siembra manual	jor.	3	25.00	75.00	
Tapado de semilla	jor.	1	25.00	25.00	
3. LABORES CULTURALES:					856.25
Segundo abonamiento	jor.	0.25	25.00	6.25	
Riego	evt.	60	5.00	300.00	
Deshierbo	jor.	20	25.00	500.00	
Control fitosanitario	jor.	2	25.00	50.00	
4. COSECHA:					1,550.00
Siega y/o corte	jor.	60	25.00	1,500.00	
Pesaje y traslado	jor.	2	25.00	50.00	
5. INSUMOS:					1,125.68
Semilla (Asociada)	kg	26.16	28.00	732.48	
Fosfato diámonico	saco	2.18	95.00	207.10	
Cloruro de potasio	saco	1.66	85.00	141.10	
Nitrato de amonio	saco	0.60	75.00	45.00	
6. PESTICIDAS E INOCULANTES:					165.00
Insecticidas	ltr	1	40.00	40.00	
Fungicidas	ltr	1	94.00	94.00	
Adherentes	ltr	0.04	400.00	16.00	
Inoculante (Rhizomack)	kg	0.25	60.00	15.00	
TOTAL COSTOS DIRECTOS					4,218.81
COSTOS INDIRECTOS					320.94
Análisis de semilla				30.00	
Análisis de suelo				80.00	
Costos administrativos 5%				210.94	
COSTO TOTAL POR HECTÁREA					4,539.75

RESUMEN DE INVERSION POR RUBRO		ANALISIS ECONOMICO	
RUBRO	COSTO (S/.)		
Mano de obra	2,678.13	Rendimiento (kg.ha.año)	29,967.00
Yunta/Maquinaria	250.00	Precio unitario por kg en chacra	0.20
Insumos, materiales y equipos	1,290.68	Ingreso Total	5,993.40
Costos indirectos	320.94	Costo Total / ha	4,539.75
COSTO TOTAL	4,539.75	Ingreso Neto o Utilidad	1,453.65
		Rentabilidad %	32.02
		Beneficio / Costo	1.32

Anexo 15. Panel fotográfico



(1).Arado del terreno experimental



(2).Marcado y delimitación de la parcela



(3). Encalado del suelo experimental



(4). Aplicación de ceniza de leña



(5). Pesado de semilla de dactilo



(6). Prueba de germinabilidad de semilla



(7). Semillas utilizadas en el asociado



(8). Siembra del pasto asociado



(9). Deshierbo manual del cultivo



(10). Control fitosanitario de plagas



11). Riego de los tratamientos



(12). Evaluación del forraje



(13). Crecimiento del pasto asociado



(14). Corte del pasto asociado



(15). Pesaje del forraje



(16). Secado de muestras



17). Pesado de materia seca



(18). Análisis de pH del suelo

Anexo 16. Análisis de caracterización del suelo

Solicitante : Fidel Salvatierra Ayala

Fecha : 08/01/2018

Departamento : Ayacucho

Provincia : Vilcashuamán

Distrito : Vischongo

Predio : Añaycancha

Predio	pH (1:1)	C.E. dS.m ⁻¹	CO ₃ ²⁻ %	Nt %	MO %	P ppm	K ppm	Análisis mecánico			Textura	CIC	Cationes cambiabiles (Cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹)					Sat. de Bases (%)
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺⁺	Na ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺ + H ⁺	
Añaycancha	4.93	0.04	0.00	0.17	3.51	7.56	76	58	17	25	Fr.Ar.A.	8.81	2.08	0.40	0.29	0.17	2.62	33

Fuente: Multiservicios Agrolab

Anexo 17. Características culturales de las semillas de pasto cultivado

Especie	Variedad	Análisis	Origen	Productor	Lote	Germinación (%)	Pureza Física (%)	Pureza Varietal (%)
<i>Dactylis glomerata</i>	Potomac	02/11/17	USA	Ampac seed	L73-13-3-OG	85	92	98
<i>Lolium multiflorum</i>	Tama	31/10/17	Nueva Zelanda	A.G.P	201752182	86	95	97
<i>Trifolium pratense</i>	Quiñequeli	31/10/17	USA	Ampac seed	P49-16-49	85	99	98
<i>Medicago sativa</i>	W350	06/11/17	Nueva Zelanda	A.G.P	20175571	87	96	95

Fuente: Etiqueta de envase y elaboración propia.

Anexo 18. Datos meteorológicos de la estación meteorológica Sachabamba-Ayacucho



**GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO
GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA
RED HIDROMETEOROLOGICA**

RESUMEN DE REGISTRO DE DATOS METEOROLÓGICOS

Estación:	SACHABAMBA	Latitud:	13° 27' 38" S	Dpto:	AYACUCHO
Código:	003	Longitud:	74° 06' 02" W	Prov:	HUAMANGA
Año:	2018	Altitud:	3544 m s.n.m.	Dist:	CHIARA

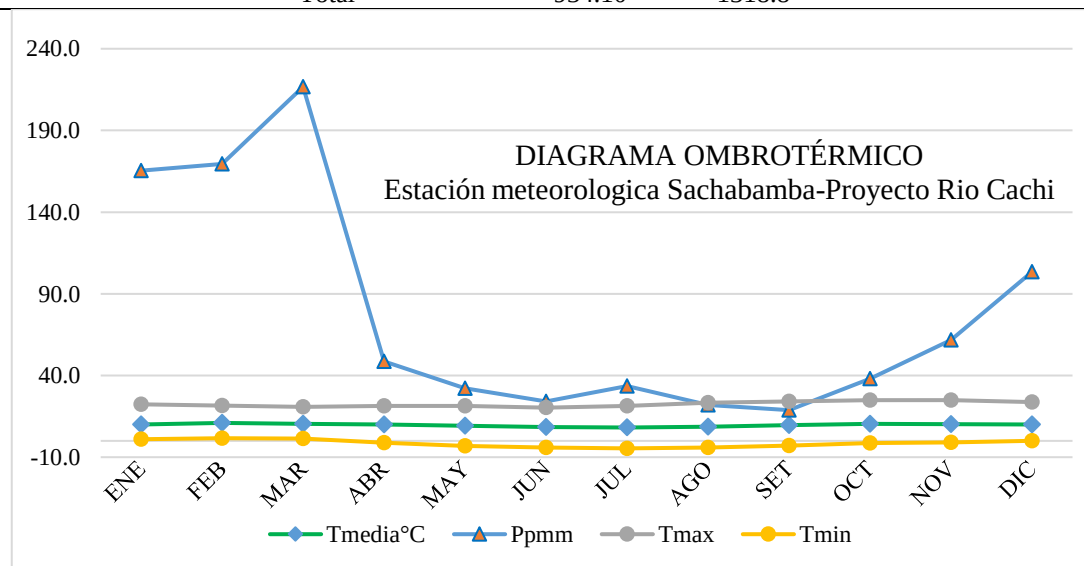
DATOS	Unid	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
N° días		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
HRmi	%	56.0	63.0	67.0	63.0	36.0	33.0	41.0	45.0	41.6	37.8	40.2	40.1
HRmx	%	90.0	90.0	87.0	87.0	79.0	75.0	79.0	80.0	86.4	87.0	87.6	91.7
HRme	%	77.2	74.8	82.2	77.0	70.9	60.5	62.3	65.8	57.0	71.7	74.6	79.0
Viento	m/s	2.0	2.0	2.0	1.3	3.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0	1.7	1.9
Viento	km/hr	7.2	7.2	7.2	4.8	10.8	10.8	7.2	10.8	10.8	7.0	6.2	6.7
T°mi	°C	1.1	1.6	1.3	-1.2	-3.1	-4.1	-4.6	-4.1	-2.8	-1.3	-0.9	0.1
T°mx	°C	22.4	21.6	20.8	21.4	21.4	20.3	21.4	23.3	24.2	24.9	24.9	23.8
T°me	°C	10.1	11.0	10.5	9.9	9.1	8.4	8.2	8.7	9.6	10.5	10.3	10.0
Nub.	hr/día	6.0	6.8	6.0	4.5	3.5	1.7	2.4	1.8	4.5	5.0	5.0	5.0
Pp	mm	165.4	169.6	216.7	48.6	32.1	24.2	33.5	22.0	18.8	38.0	61.8	103.4

Hrmi= (Humedad rel. Mínima); HRmx= (Humedad rel. Máxima); Hrme= (Humedad rel. Media); Pp= (Precipitación);

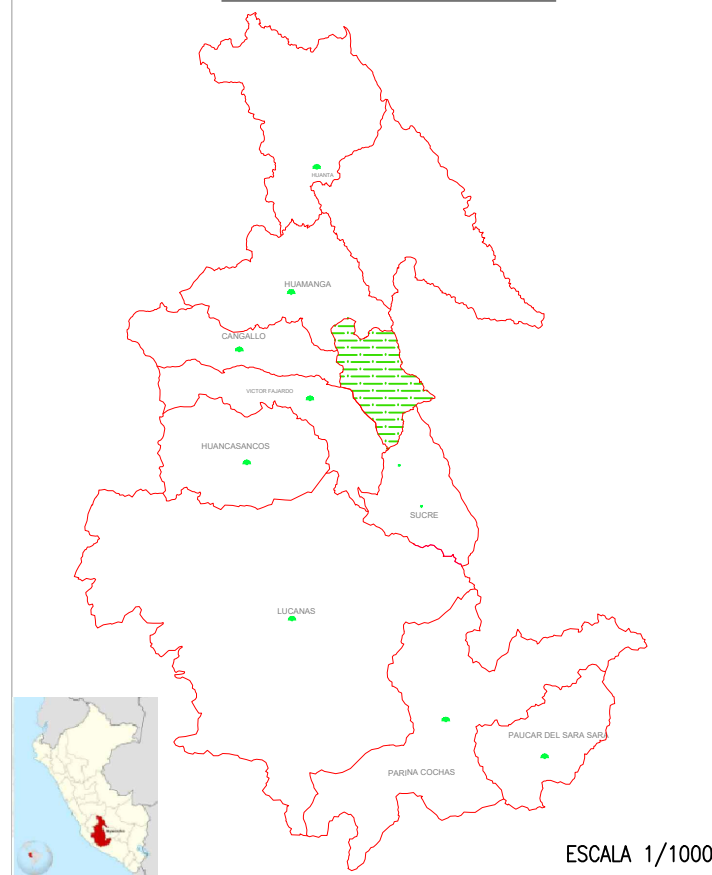
T°mi= (Temperatura mínima); T°mx= (Temperatura máxima); T°me= (Temperatura media); Nub= (Nubosidad)

Anexo 19. Resultados del balance hídrico de la campaña agrícola 2018. Sachabamba-Ayacacucho, 3544 m s.n.m.

Meses	Tmin (°C)	Tmáx (°C)	Tmedia (°C)	Pp (mm)	ETo (mm)	EToaj (mm)	Exceso (mm)	Déficit (mm)
Enero	1.1	22.4	10.1	165.40	104.67	74.13	91.27	-
Febrero	1.6	21.6	11.0	169.60	86.51	61.28	108.32	-
Marzo	1.3	20.8	10.5	216.70	91.06	64.50	152.20	-
Abril	-1.2	21.4	9.9	48.60	92.04	65.19	-	16.59
Mayo	-3.1	21.4	9.1	32.10	107.70	76.28	-	44.18
Junio	-4.1	20.3	8.4	24.20	112.02	79.34	-	55.14
Julio	-4.6	21.4	8.2	33.50	103.59	73.37	-	39.87
Agosto	-4.1	23.3	8.7	22.00	132.90	94.13	-	72.13
Septiembre	-2.8	24.2	9.6	18.80	133.09	94.27	-	75.47
Octubre	-1.3	24.9	10.5	38.05	119.62	84.73	-	46.68
Noviembre	-0.9	24.9	10.3	61.75	117.02	82.88	-	21.13
Diciembre	0.1	23.8	10.0	103.39	118.57	83.98	19.41	-
Total				934.10	1318.8			



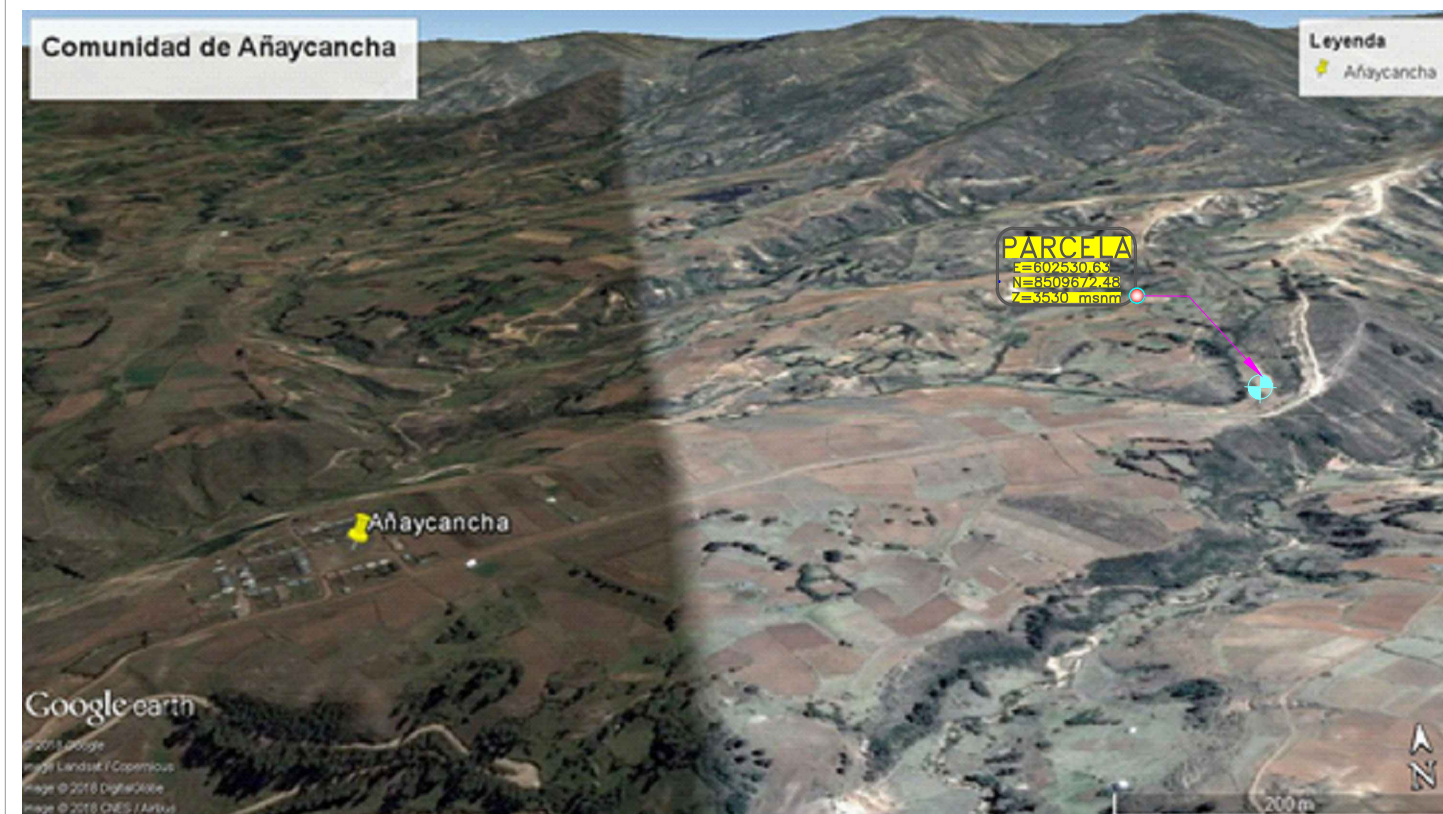
REGIÓN AYACUCHO



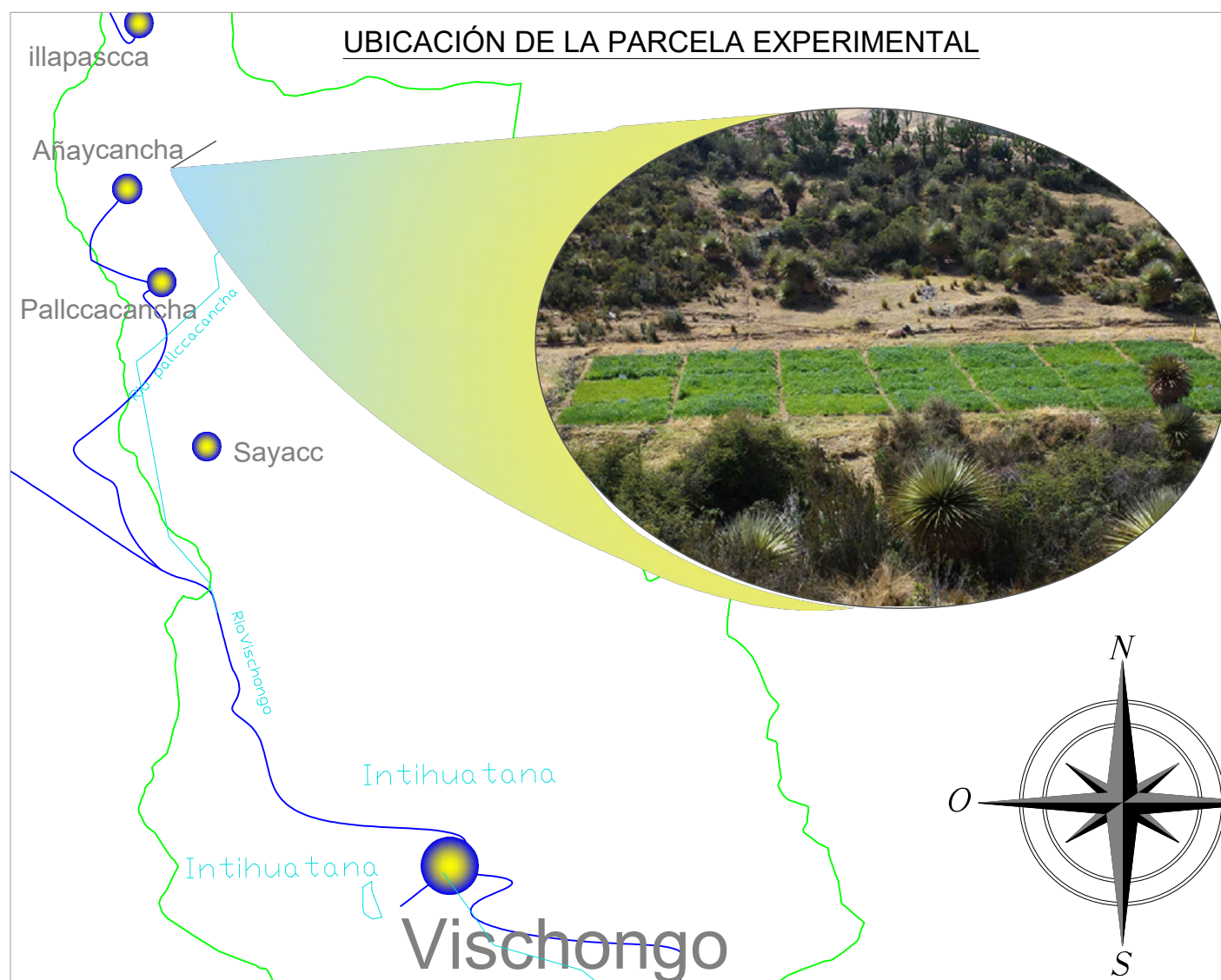
PROV. VILCASHUAMÁN



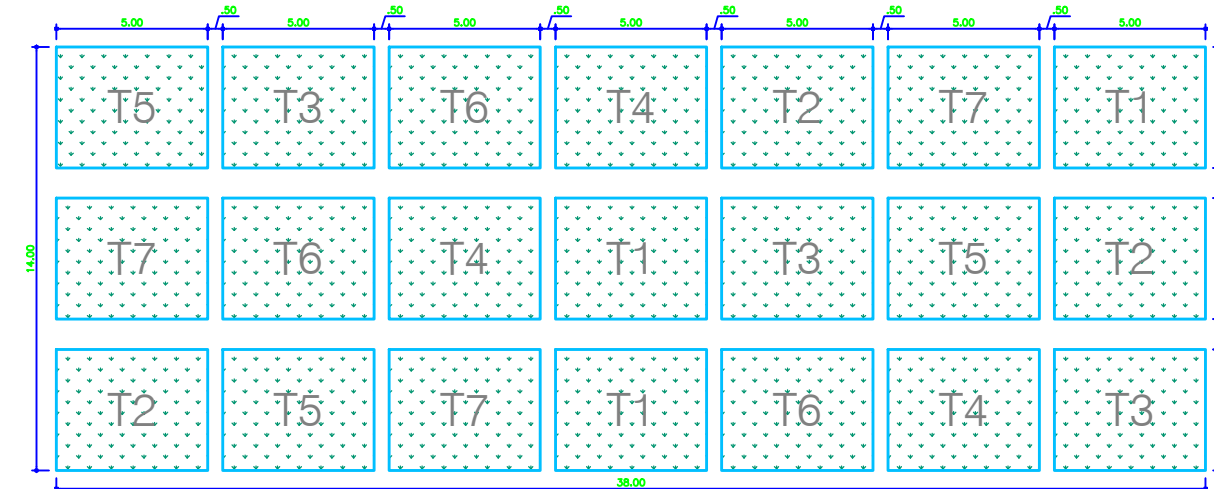
IMAGEN SATELITAL DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO



UBICACIÓN DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

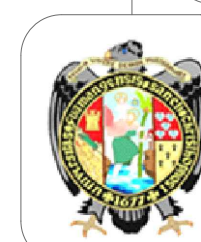


DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS



ESCALA 1/250

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA



UBICACIÓN
REGIÓN: AYACUCHO
PROVINCIA: VILCASHUAMÁN
DISTRITO: VISCHONGO
C.P.: AÑAYCANCHÁ

PROYECTO:
DOLOMITA Y CENIZA DE LEÑA EN LA REACCIÓN DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE PASTOS CULTIVADOS EN AÑAYCANCHÁ, AYACUCHO. 2018.

PLANO:
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

FECHA:
MARZO 2020

ESCALA:
Indicada

CAD:
CAD-2018

DISEÑO:
F.S.A.

REVISIÓN:

LÁMINA
01
UL-01

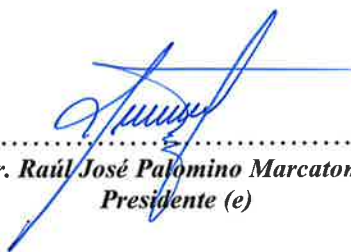
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. FIDEL SALVATIERRA AYALA
R.D. N° 237-2020-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veinte días del mes de setiembre del año dos mil veinticuatro, siendo las diez con treinta horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Raúl José Palomino Marcatoma Decano (e) de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Raúl José Palomino Marcatoma, M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez como asesor, y el Ing. Wilfredo Daniel González Guzmán; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Dolomita y ceniza en la reacción del suelo y rendimiento de materia seca de pastos cultivados en Añaycancha, Ayacucho - 2018**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el Bachiller **FIDEL SALVATIERRA AYALA**.

El señor Decano (e), previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invitó a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma	15	15	16	15
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez	15	15	17	16
Ing. Wilfredo Daniel González Guzmán	18	16	17	17
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita a la sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



.....
Dr. Raúl José Palomino Marcatoma
Presidente (e)



.....
M.Sc. Alex Lázaro Tineo Bermúdez
Asesor



.....
Ing. Wilfredo Daniel González Guzmán
Jurado



.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

**UNSCH**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

**Dolomita y ceniza en la reacción del suelo y
rendimiento de materia seca de pastos cultivados
en Añaycancha, Ayacucho - 2018**

Autor : Fidel SALVATIERRA AYALA
Asesor : Alex Lázaro TINEO BERMÚDEZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **veintitrés (23 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2504257592

Ayacucho, 31 de octubre de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gastelú
Coordinador de Control de originalidad de
trabajo de investigación

Dolomita y ceniza en la reacción del suelo y rendimiento de materia seca de pastos cultivados en Añaycancha, Ayacucho - 2018

por Fidel SALVATIERRA AYALA

Fecha de entrega: 31-oct-2024 03:31p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2504257592

Nombre del archivo: TESIS_FIDEL_SALVATIERRA_AYALA.docx (4.73M)

Total de palabras: 33522

Total de caracteres: 175732

Dolomita y ceniza en la reacción del suelo y rendimiento de materia seca de pastos cultivados en Añaycancha, Ayacucho - 2018

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	docplayer.es Fuente de Internet	1%
5	es.scribd.com Fuente de Internet	1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
7	dspace.usc.es Fuente de Internet	1%
8	www.wzw.tum.de Fuente de Internet	1%

9	qdoc.tips Fuente de Internet	1 %
10	fdocuments.ec Fuente de Internet	1 %
11	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	ddd.uab.cat Fuente de Internet	<1 %
15	1library.co Fuente de Internet	<1 %
16	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.inia.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

21	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	www.mapa.gob.es Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.unapiquitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	www.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	www.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	doczz.com.br Fuente de Internet	<1 %
27	repository.uaeh.edu.mx Fuente de Internet	<1 %
28	palmasyfrutalesuis.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
29	www.omniascience.com Fuente de Internet	<1 %
30	fddocuments.es Fuente de Internet	<1 %
31	edoc.pub Fuente de Internet	<1 %

32	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
33	www.colibri.udelar.edu.uy Fuente de Internet	<1 %
34	www.elsitioagricola.com Fuente de Internet	<1 %
35	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
36	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
38	www.readbag.com Fuente de Internet	<1 %
39	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
40	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
41	produccion-animal.com.ar Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
43	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %

44	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
45	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
46	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
47	www.doccity.com Fuente de Internet	<1 %
48	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
50	s369b157da8f522cf.jimcontent.com Fuente de Internet	<1 %
51	Paye Paye, Freddy oscar. "Agronomic Evaluation and Comparison of the Yield of Six Multiannual Forage Species, Under Dry Land Conditions in the Ingavi Province.", Brigham Young University, 2020 Publicación	<1 %
52	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1 %

53

agrilab.com.co

Fuente de Internet

<1 %

54

www.midagri.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo

DOLOMITA Y CENIZA EN LA REACCIÓN DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE PASTOS CULTIVADOS EN AÑAYCANCHA, AYACUCHO - 2018¹

Tineo Bermúdez, Alex Lázaro² (alex.tineo@unsch.edu.pe) &

Salvatierra Ayala, Fidel³ (fidel.salvatierra.01@unsch.edu.pe)

Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, Área de Suelos

RESUMEN

La acidez de los suelos constituye un problema de importancia en la producción de forrajes; en la cuenca altoandina de Ayacucho, localidad de Añaycancha (pH; 4,93), se desarrolló el presente experimento con el objetivo de determinar la influencia de la dolomita y ceniza de leña en los cambios del pH del suelo y el rendimiento de materia seca de una asociación de pastos cultivados. Se probaron tres niveles de material encalante (dolomita: 1840, 3680 y 5520 kg.ha⁻¹; ceniza de leña: 1880, 3760 y 5640 kg.ha⁻¹) y un testigo, en una asociación de pastos (70 % gramíneas: *Dactylis glomerata*, *Lolium multiflorum*; 30 % leguminosas: *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*), durante 284 días, que comprendió 3 cortes. La acidez activa se determinó por el método potenciométrico y la materia seca por secado en estufa a 65°C por 48 horas. El diseño estadístico corresponde al diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial 2M*3N más un testigo. Los niveles ascendentes de material encalante, expresaron mejoras en la reacción del suelo, así como en el crecimiento y desarrollo de la asociación de pastos. La aplicación de cada meq de material encalante por 100 g de suelo, resulta en un incremento del pH en 0,166 y 0,182 unidades, para dolomita y ceniza de leña, respectivamente; asimismo, cada t.ha⁻¹ de material encalante, se traduce en incrementos de materia seca de: 427, 708 y 603 kg.ha⁻¹ (dolomita) y 671, 985 y 818 kg.ha⁻¹ (ceniza de leña), en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente. Se obtiene una rentabilidad de 123,11% y un B/C de 2,23 por la aplicación de un nivel alto de ceniza de leña, reflejando la posibilidad de la utilización de esta enmienda en la disminución de la acidez de suelos.

Palabras clave: Dolomita, ceniza, reacción, suelo, materia seca, pasto.

¹ Aceptado: 03 de diciembre, 2020. Referencia: 036-2020-FCA. Trabajo desarrollado en condiciones de campo y laboratorio (Laboratorio de análisis de agua y suelo) de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

² Ing. Agrónomo. M.Sc. Alex L. Tineo Bermúdez. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho - Perú. alex.tineo@unsch.edu.pe

³ Bach. Ciencias Agrícolas. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú. fidel.salvatierra.01@unsch.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La mayor limitante que induce a una baja productividad de los suelos altoandinos, posiblemente es la acidez del suelo unida a la poca disponibilidad de nutrientes. La acidez afecta las características químicas y biológicas del suelo, determina la disponibilidad de los nutrientes del suelo manifestándose en la reducción del crecimiento de las plantas. La práctica del encalado es muy estudiada y utilizada por diversos investigadores; sin embargo, no existe recomendaciones y referencias concretas para determinar los niveles de un alcalinizante en suelos característicos de la región de Ayacucho para la instalación de pasturas asociadas y su comportamiento de la misma.

Las tierras altoandinas son aprovechadas mediante la instalación de pastos para la ganadería donde la actividad agrícola es muy limitada. Los pastos cultivados de la región alto andina tienen un bajo rendimiento, el rendimiento promedio para Allpachaka es de 4,67 t/ha/corte de materia seca (PLCA, 2011), debido a la deficiente nutrición y absorción de elementos disponibles en el suelo a causa de su acidez. Una forma de corregir esta acidez es mediante la aplicación de enmiendas alcalinizantes como la dolomita o ceniza de leña; ya que en niveles apropiados permite disminuir los efectos negativos de la acidez de los suelos (Espinosa y Molina, 1999). Existen diversos materiales utilizados para la corrección de la acidez del suelo, pero tienen un costo elevado y la adquisición está regulada bajo normas estrictas. Sin embargo, las prácticas de encalado y la utilización de cenizas provenientes de las cocinas familiares, disponibles en la zona son casi nulas debido a diversos factores como el desconocimiento y la falta de cultura de recolección. La utilización de materiales resultantes de la combustión de biomasa es una alternativa para mejorar las características químicas y físicas de los suelos ácidos e incrementar su productividad (Solla-Gullón et al., 2001). Para Omil (2007), la aplicación de cenizas derivó en mejoras moderadas de las condiciones del suelo, el horizonte superficial experimentó ligeros incrementos del pH, así como de K, Ca, Mg y P y favoreció el crecimiento de especies herbáceas. Por lo mencionado, la capacidad de neutralización de la acidez de los diversos materiales fue ampliamente estudiados, sin embargo, los estudios se realizaron en condiciones diferentes a la nuestra. Ibáñez et al, (1982), demostraron que el efecto del encalado sobre el suelo es evidente; el aumento prudencial de las dosis del encalado, disminuye la acidez de cambio y al mismo tiempo lo hace más productivo. Por otro lado, Tineo et al. (2016), realizaron un estudio similar en condiciones controladas, encontrando respuestas significativas para la alfalfa con dosis ascendentes de ceniza y dolomita.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de dolomita y ceniza de leña en la reacción del suelo y rendimiento de materia seca de una asociación de pastos cultivados en Añaycancha, Ayacucho. 2018.

METODOLOGÍA

Medio experimental

La investigación se realizó en un suelo ácido de puna de la localidad de Añaycancha, distrito de Vischongo, Provincia de Vilcashuamán- Ayacucho; a una altitud de 3530 m s.n.m. La localidad se caracteriza por fuertes variaciones de temperatura, presenta épocas marcadas de sequía y lluvia. Las bajas temperaturas corresponden a los meses de ausencia de lluvias (mayo - julio) llegando hasta $-4,6^{\circ}\text{C}$; las altas temperaturas en los meses lluviosos (febrero – abril), alcanzando hasta $24,9^{\circ}\text{C}$. En el año 2018, las precipitaciones fluctuaron entre 18mm (septiembre) a 216,7mm (marzo). La evapotranspiración potencial fue máxima en el mes de agosto mientras la mínima en febrero, calculado mediante el método Penman monteith (FAO), considerando datos meteorológicos proporcionados por la estación meteorológica Sachabamba, Rio Cachi ($74^{\circ} 05'45'' \text{ W}$, $13^{\circ} 27'27'' \text{ S}$). El ámbito geológico donde se realizó el experimento pertenece sobre una formación perteneciente al complejo Querobamba, perteneciente a una fisiografía Montañosa de litología sedimentaria-volcánica-intrusiva ligeramente ondulado (ZEE-OT, 2015). Se sitúa sobre la zona de vida: bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS).

El suelo de Añaycancha, conforme al análisis físico-químico del suelo; se puede indicar que corresponde a un suelo muy ácido (4,93) cuya actividad iónica del H^{+} posiblemente influye en la disponibilidad de nutrientes del suelo. No existen problemas con sales, correspondiendo a un suelo normal y una salinidad ligera ($< 2 \text{ dS.m}^{-1}$). La clase textural del suelo corresponde a un suelo Franco arcillo arenoso (F.Ar.A) con un contenido medio de nitrógeno (0,17%) y un contenido medio de materia orgánica (3,51%). El suelo en estudio, tiene un bajo contenido de fósforo disponible (7,56 ppm) y un contenido medio de potasio (76 ppm) y sin presencia de carbonatos. El muestreo del suelo se realizó el 08/01/18; la muestra corresponde a los 0,2 m superficiales del área experimental. Los resultados del análisis del laboratorio, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.

Resultados del análisis de caracterización de suelo. Añaycancha, 3530 m s.n.m.

pH	C.E.	CO ₃ ²⁻	Nt	MO	P	K	Análisis mecánico			Clase Textural	CIC
							Arena	limo	arcilla		
(1:1)	dS.m ⁻¹	%	%	%	ppm	ppm	%	%	%	Fr.Ar.A.	8,81
4,93	0,04	0,00	0,17	3,51	7,6	76	58	17	25		
Cationes cambiables							% Sat. De Bases				
Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺							
(Cmol(+).kg ⁻¹)											
2,08	0,40	0,29	0,17	2,62		33					

La relación Ca/Mg equivale a 5,2 cmol(+)/kg, correspondiente a una valoración adecuada pero con exceso de calcio respecto al magnesio; la relación Ca/K corresponde a 7,2 cmol(+)/kg, obedeciendo a una valoración baja con exceso de potasio respecto al calcio. Al respecto Guerrero (1990), menciona que al evaluar una relación Ca/Mg, un exceso de Ca^{++} cambiante puede interferir en la asimilación de Mg^{++} y de K^+ . Si la relación Ca/Mg, expresados en meq/100g, es mayor que 10, entonces es posible que se produzca una carencia de Mg, la relación óptima esta alrededor de 5,0. La relación Mg/K resulta 1,4 cmol(+)/kg, una valoración baja, existiendo un déficit de magnesio respecto al potasio, existió un exceso del potasio cambiante ligado al complejo cambiante. De acuerdo a los cálculos las nuevas relaciones catiónicas correspondieron a Ca/Mg (7,98), Ca/K (14,34) y Mg/K (1,79). El déficit de calcio (2,08 cmol(+)/kg) y magnesio (0,12 cmol(+)/kg) en el suelo se logrará un equilibrio de cationes cambiantes con la adición de dolomita y ceniza de leña según los niveles establecidos en el experimento.

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos resultaron de la combinación de dos factores (Material encalante ME: dolomita y ceniza) y tres niveles (2, 4, 6 meq/100g) + 1 testigo adicional. La tabla 2 muestra la cantidad de material encalante empleado en cada unidad experimental.

Tabla 2.

Niveles de dolomita y ceniza de leña utilizados

Trat.	Material encalante	Niveles	
		kg.ha ⁻¹	kg/parcela
T ₁	Dolom. (2 meq/100 g)	1840	3,68
T ₂	Dolom. (4 meq/100 g)	3680	7,36
T ₃	Dolom. (6 meq/100 g)	5520	11,04
T ₄	Ceniza (2 meq/100 g)	1880	3,76
T ₅	Ceniza (4 meq/100 g)	3760	7,52
T ₆	Ceniza (6 meq/100 g)	5640	11,28
T ₇	Testigo	-	-

El área experimental constó de 21 parcelas distribuidas al azar con dimensiones de 5 m de longitud por 4 m de ancho; distanciadas a 0,5 m entre calles y 1 m entre bloques en las que se sembraron 4 especies de pastos (*Dactylis glomerata*; *LoLium multiflorum*, *Trifolium pratense* y *Medicago sativa*) a una proporción de 70% de gramíneas y 30% de leguminosas. Se consideraron dos tipos de muestra: muestras de suelo tratado con material encalante y muestras de forraje verde conducido en una parcela de 20 m². La disposición temporal para el experimento fue de 284 días.

El experimento se condujo utilizando el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), el cual está dividido en 3 bloques de 7 unidades experimentales cada una. El modelo de análisis de varianza utilizada corresponde al análisis funcional de la varianza (ANAFUNVA), mediante el cual se determinó el modelo polinomial al cual se ajustan las variables en estudio (Tineo, 2012). Este análisis de tendencia obedece al ajuste del polinomio: $Y_i = b_0 + b_1X_i + b_2X_{i2} + b_3X_{i3} + \dots + b_kX_{ik} + e_i$.

Las comparaciones mutuamente ortogonales se plantearon según la naturaleza de los tratamientos: Contraste C₁, compara testigo vs ME; C₂, dolomita vs ceniza; C₃, tendencia lineal para dolomita; C₄, tendencia cuadrática para dolomita; C₅, tendencia lineal para ceniza; C₆, tendencia cuadrática para ceniza de leña.

Método procedimental

Se procedió a realizar labores de aradura y roturado del terreno con tractor agrícola para la preparación del terreno, luego de la cruz y dobleo, se realizó el mullido, desterronado y nivelación del terreno, posteriormente se realizó el trazado del campo de acuerdo al diseño de los bloques y parcelas con las medidas correspondientes. Se realizó el cálculo de la necesidad del encalado para dicho suelo previo análisis de fertilidad; se aplicó mediante voleo las enmiendas (dolomita y ceniza de leña) en cantidades equivalentes a los niveles propuestos a las 21 parcelas experimentales (excepto al tratamiento testigo) de acuerdo al detalle de la tabla 2, previo al pesado y tamizaje a la ceniza de leña, utilizándose un total de 66, 24 kg de dolomita y 67,68 kg de ceniza; posteriormente se procedió a la mezcla y homogenización del material encalante con el suelo.

Trascurrido el tiempo de incubación de 30 días de los materiales encalantes en el suelo se realizó la fertilización del suelo aplicando una fórmula de abonamiento de 20-50-50 kg N-P₂O₅-K₂O/ha y 10-0-0 N-P₂O₅-K₂O/ha al momento de la siembra y el primer corte, respectivamente. En laboratorio se realizó las pruebas de germinabilidad y valor de uso a las semillas de los pastos, los resultados fueron: *Dactylis glomerata* (92%), *LoLium multiflorum* (96%), *Trifolium pratense* (95%) y *Medicago sativa* (87%) de germinabilidad, usando una densidad real (D.R) de 26,16 kg.ha⁻¹, se realizó la desinfestación de las semillas con fungicida agrícola a una dosis de 1,5 ml en 1 litro de agua, luego, se realizó la inoculación con Rizhomack (250gr inoculante + solución azucarada al 15%) y finalmente la siembra asociada usando una proporción de 70% de gramíneas y 30% de leguminosas, utilizándose 20 g de dactylis, 17,2 g de rye grass italiano, 6 g de trébol rojo y 10 g de alfalfa para cada tratamiento o unidad experimental. En la conducción del experimento se realizó el control de malezas (tres etapas), manejo fitosanitario para contrarrestar el marchitamiento de la alfalfa y trébol (estadios iniciales

de crecimiento), aplicando fungicida agrícola a una dosis de 15 y 20 ml/ mochila de 20 L y un segundo control fitosanitario para el control de larvas de polillas de la familia Piralidae, usando insecticida agrícola a base de carbamato, también se realizó riegos frecuentes después de 45 dds con una frecuencia de 4 días por el método de aspersión. La cosecha se realizó en tres cortes en fase de desarrollo de crecimiento de espigas, escala Zadocks 4-5 (Rawson y Gómez, 2011) para las gramíneas y fase de pre-botón o inicio de floración para las leguminosas, previa estimación de la madurez del forraje delimitándose el área de corte y muestreo de 3x4 m² y 1 m² respectivamente, se cortó el forraje dentro del cuadrante a una altura aprox. de 5 cm y posteriormente almacenados en una bolsa oscura, etiquetándose y trasladándose para el análisis de materia seca en laboratorio.

Variables evaluadas

Se evaluó el peso verde de los forrajes, después del corte de muestreo a las unidades experimentales, las muestras se llevaron al laboratorio y se pesaron sub-muestras de 100g para el análisis de MS. El peso seco de las sub-muestras de los tratamientos se determinó mediante el secado en estufa programada a una temperatura de 65°C, por un periodo de 48 a 72 horas con evaluación y verificación constante de la temperatura y tiempo para obtener por diferencia el contenido porcentual de la materia seca.

La reacción del suelo se evaluó en 4 etapas del experimento, antes de la aplicación de los materiales encalantes (análisis de caracterización), 30 días después de la aplicación de los materiales encalantes (incubación), después de cada corte de los pastos asociados (164, 224 y 284 días después de la instalación del experimento). El muestreo de suelo de las unidades experimentales se realizó en forma zigzag a 10 cm del perfil edáfico en 4 puntos por unidad experimental, obteniéndose 21 submuestras por los 7 tratamientos. El análisis de suelo se realizó en el laboratorio de fertilidad de suelos de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga con la ayuda de un potenciómetro modelo Consort C1020 a una proporción de suelo seco: agua, 1:1; pesándose 10 g de TFSA tamizada, mezclándose con 10 ml de agua y removiendo constantemente por 40 segundos a intervalos de 5 minutos, finalmente haciendo la lectura del potenciómetro.

Los costos de producción para el cálculo de la rentabilidad económica, se determinaron en base a los costos del material encalante, insumos, costos de análisis y las diversas actividades que se realizaron durante el experimento. Se estimó gastos a nivel de parcela experimental y luego se proyectó para una hectárea de pasto cultivado con la aplicación de materiales encalantes. El análisis económico se determinó en función al costo total, ingreso, utilidad neta, rentabilidad, y relación B/C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

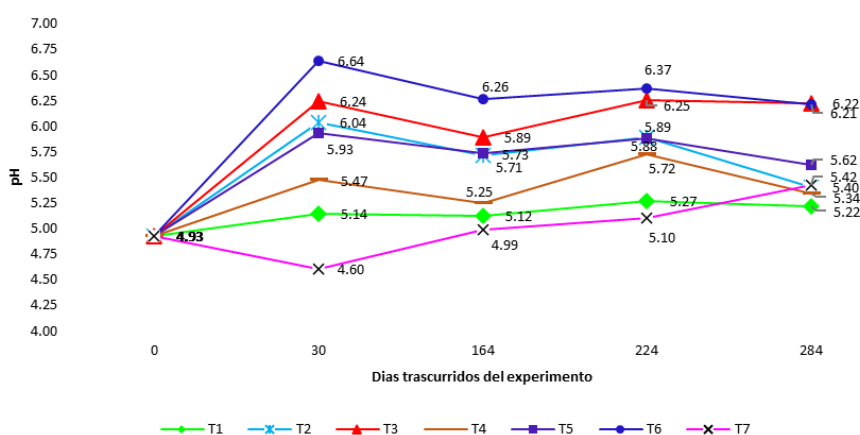
Reacción del suelo

El suelo utilizado en el experimento presentó una fertilidad de media a baja, es un suelo muy ácido (4,93), no existen problemas con sales, correspondiendo a un suelo normal y una salinidad ligera ($< 2 \text{ dS.m}^{-1}$), es de clase textural Franco arcillo arenoso con un contenido medio de nitrógeno (0,17%) y un contenido medio de materia orgánica (3,51%), bajo contenido de fósforo disponible (7,56 ppm), contenido medio de potasio (76 ppm) y sin presencia de carbonatos, las relaciones catiónicas resultaron como un exceso de Ca respecto al Mg, exceso de K respecto al Ca y un déficit de Mg respecto al K.

Las aplicaciones de 1840, 3680 y 5520 kg.ha^{-1} de dolomita lograron elevar el valor de pH, a 5,12(T₁); 5,71(T₂) y 5,89(T₃); mientras que con el aporte de 1880, 3760 y 5640 kg.ha^{-1} de ceniza, se logró incrementos de 5,25(T₄); 5,73(T₅) y 6,26(T₆) respectivamente (figura 1), resultado que coincide por los encontrados por Arista (2017) que incrementó el pH del suelo de 4,58 - 5,82 cuando aplicó 5,0 t.ha^{-1} de dolomita al suelo en condiciones puna. Estos incrementos de pH del suelo fueron significativos para el tratamiento con el nivel as alto de ceniza de leña (T₆) incrementando su valor en 1,71 unidades, después del periodo de incubación (30 días), la aplicación del nivel más alto de dolomita (T₃) logró elevar 1,31 unidades.

Figura 1

Cambios en la reacción del suelo por aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.



Los tratamientos aplicados con material encalante, en el primer corte (164 días) tuvieron un descenso en los valores de pH del suelo respecto a sus valores al momento de la siembra a excepción del testigo el pH se incrementó en 0,33 unidades, para el segundo

corte (224 días), los valores de pH tuvieron un ligero incremento en todos los tratamientos y en el tercer corte (284 días), los valores tuvieron una tendencia ligeramente descendente a excepción del tratamiento testigo. Los cambios en el pH del tratamiento testigo (T₇), fueron superados por los tratamientos que recibieron algún nivel de material encalante. La diferencia alta significativa por el aporte de la ceniza se debe por la adición de las concentraciones de Ca y Mg, K y micronutrientes en la solución del suelo (Solla-Gullón et al., 2001), por otra parte, los óxidos e hidróxidos tienen mayor capacidad de neutralización, las enmiendas que contienen Mg son más efectivas que las que contienen calcio, debido a que el Mg tiene menor peso molecular que el Ca (Magra, 2015). Para Millán et al. (2011) indican que el poder neutralizante de la dolomita (carbonato más insoluble), sólo se manifiesta en condiciones de mayor posibilidad de solubilización, es decir pH ácido, alta presión de CO₂ y agua, entre otras condiciones.

La ceniza de leña utilizada en el experimento evidenció que está compuesto químicamente por carbonatos, óxidos de calcio (24,5%), potasio (6,12%) y magnesio (2,91%), asimismo de microelementos como el Cu, Zn, Fe y Mn. La siguiente tabla muestra el análisis de cenizas empleadas en el presente experimento:

Tabla 3

Resultados del análisis de ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.

Nº Lab	Muestra	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	Mn ppm
AAF 515	Ceniza	24,5	2,91	6,12	80	300	11000	6700

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes AGROLAB.

Los elementos presentes, dependen de la parte vegetal combustionada, mayores valores de Ca, Mn, Al y S provienen de la corteza (Etiégni y Campbell, 1991). Solla-Gullón et al. (2001), encontró una composición de Ca (0,25%) y Mg (0,06%) en las cenizas de *Pinus radiata*; la ceniza empleada, contiene significativa concentración de estos elementos posiblemente debido a la especie vegetal (*Eucaliptus sp.* y *Polylepis sp.*) y la parte combustionada del árbol; las ramas y raíces, por lo general, son más ricas en P, K y Mg que el tronco, la corteza y las acículas (Hakkila, 1989; citado por Omil, 2007). Por su parte Guillén (2013), encontró una concentración de bases presentes en la ceniza de leña equivalentes a Ca (4,7%), Mg (0,3%) y K (0,14%); valores inferiores a los encontrados en la presente enmienda empleada. Mientras que la dolomita utilizada tuvo en su composición 18% de MgO y 29 % de CaO, su velocidad de reacción en el suelo es más lenta que otras enmiendas, pero tiene la ventaja de suministrar Mg. El efecto de la neutralización de la acidez del suelo, se deben a varios factores como la capacidad de

neutralización de la acidez de las enmiendas; composición química (Magra, 2015); la granulometría, las partículas más finas de caliza producen un mayor incremento de pH y Ca cambiante (Scott et al., 1992). Por el contrario, la tendencia descendente del pH del suelo, puede estar asociada a la pérdida de bases por la continua extracción de cationes por los pastos, el lavado de las bases con los riegos presurizados aplicados (Prat, 1981). La fertilización nitrogenada posiblemente contribuyó en menor medida la reducción del pH (Valencia, 1998; Zapata, 2004; Prat 1981). Otro factor podría ser la producción de CO₂ por los microorganismos en la descomposición de la materia orgánica que genera un suplemento CO₂ que es transformado en bicarbonato (HCO⁻³) aporta H⁺ acidificando el suelo (Espinosa y Molina, 1999). Por su parte Magra (2015), indica que el encalado no corrige permanentemente la acidez del suelo ya que la exportación de bases por las cosechas, la lixiviación de bases y el efecto de fertilizantes que forman amoníaco son responsables del retorno a los valores de acidez que tenía el suelo antes del encalado. Para evaluar la relación entre la reacción del suelo (Y) y los niveles de material encalante (X), se tomaron datos del pH del suelo de cada tratamiento al final de cada corte; detallándose en la siguiente tabla:

Tabla 4

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del pH del suelo

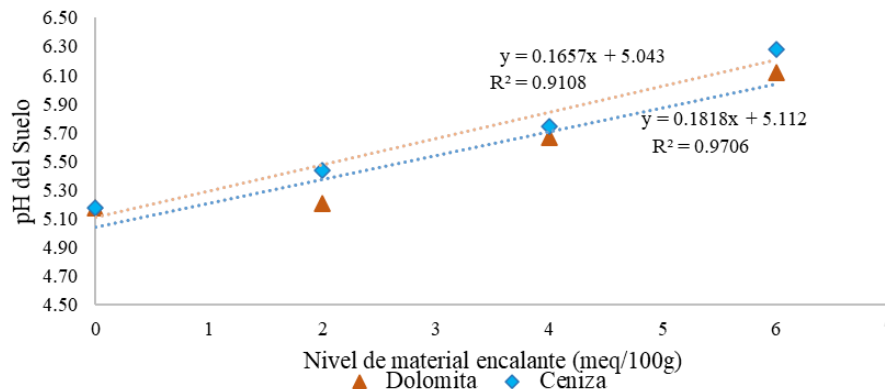
F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.T. (0.05/0.01)		Sig.
Bloque	2	0,1749	0,0875	3,374	3,89	6,93	ns
Tratamiento	6	3,3045	0,5508	21,243	3,00	4,82	**
Testigo vs M.E.	1	0,8404	0,8404	32,412	4,75	9,33	**
Dolomita vs Ceniza	1	0,1105	0,1105	4,260	4,75	9,33	ns
Dolom. Lineal	1	1,2604	1,2604	48,614	4,75	9,33	**
Dolom. Cuadrático	1	0,0001	0,0001	0,002	4,75	9,33	ns
Ceniza Lineal	1	1,0668	1,0668	41,147	4,75	9,33	**
Ceniza Cuadrático	1	0,0264	0,0264	1,020	4,75	9,33	ns
Error	12	0,3111	0,0259				
Total	20	3,7906					

C.V:2.84 %

Al aplicar el equivalente a 2, 4 y 6 meq/100g de ceniza de leña y dolomita al suelo, se observa que existe diferencia altamente significativa entre el testigo y los tratamientos que recibieron material encalante; debiéndose entre muchos factores como la capacidad de neutralización de las enmiendas (Etiégni y Campbell, 1991), la dosis de material (Serpa y González, 1979; Solla-Gullón et al., 2001; Tineo et al. 2016) y el contenido variable de nutrientes de materiales encalantes (Bernier y Alfaro, 2006). Por otro lado, en la comparación de la dolomita frente a la ceniza no es significativa debido a que posiblemente ambos materiales poseen similar capacidad de neutralización de la acidez del suelo.

Figura 2

Cambios en la reacción del suelo por aplicación de dolomita y ceniza de leña. Añaycancha, 3530 m s.n.m.



Después de la aplicación de las enmiendas el pH del suelo aumentó en forma directa, dependiendo de la cantidad de enmienda añadida (Doerge y Gardner, 1985), mediante un análisis del modelo polinómico, se determinó que la influencia de los niveles crecientes de dolomita en el incremento de pH del suelo obedece al modelo lineal: $Y = 5,04 + 0,166X$, mientras para la ceniza de leña: $Y = 5,11 + 0,182X$; es decir, cada meq de dolomita o ceniza por 100 g de suelo permite incrementar el pH del suelo en 0,166 y 0,182 unidades respectivamente. Resultados que se asemejan con los encontrados por Tineo et al. (2016).

El aporte de dolomita y cenizas también derivó en aumentos de las concentraciones de bases y micronutrientes en la solución del suelo (Solla-Gullón et al., 2001; Palomino et al., 2012), expresadas en el incremento de la conductividad eléctrica del suelo alcanzando un máximo de 0,35 dS/m con la aplicación de la dolomita y 0,33 0,35 dS/m por la ceniza, los efectos se manifestaron de manera directa de acuerdo al nivel de material encalante aplicado, al incrementar la concentración de Ca, Mg y K en el suelo por la adición de la enmiendas (Barbaro, 2014), se incrementó la conductividad eléctrica, corroborando los resultados con los encontrados por Arista (2017).

Rendimiento en peso fresco

El rendimiento máximo en forraje verde se logró con la aplicación de niveles altos de ceniza (33,27 t) seguido por dolomita (26,67 t), mientras el tratamiento control alcanzó un máximo de 11,17 t. A continuación, se realizó el análisis de varianza de los modelos polinómicos:

Tabla 5

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de forraje verde.

F.V.	G.L	FT. (0.05/0.01)	- Corte 1 -		-- Corte 2 --		-- Corte 3 --		
			FC.	Sig.	FC.	Sig.	FC.	Sig.	
Bloque	2	3,89	6,93	0,65	ns	7,00	**	6,75	*
Tratamientos	6	3,00	4,82	7,63	**	13,50	**	16,83	**
Testigo vs M.E.	1	4,75	9,33	1142	**	55,38	**	60,05	**
Dol. vs Ceniza	1	4,75	9,33	0,61	ns	3,69	ns	16,57	**
Dol. Lineal	1	4,75	9,33	3,34	ns	4,81	*	12,06	**
Dol. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,78	ns	0,03	ns	0,91	ns
Cenz. Lineal	1	4,75	9,33	28,83	**	15,11	**	10,49	**
Cenz. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,78	ns	2,00	ns	0,90	ns
Error	12								
Total	20								

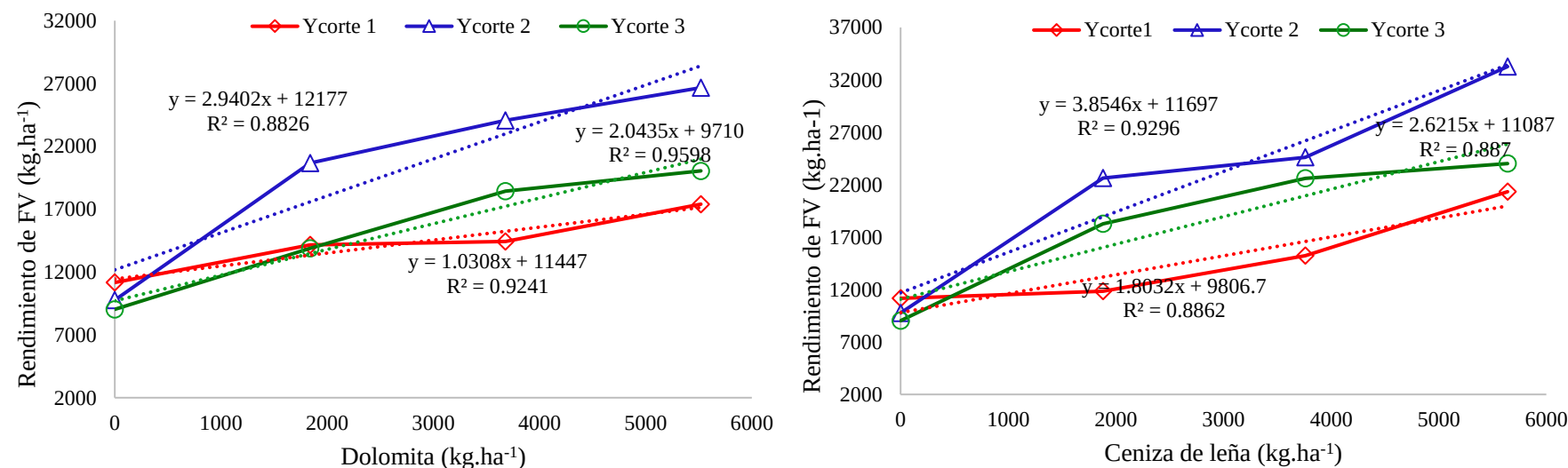
C.V(1): 14,37% ; C.V(2): 14,51% ; C.V(3): 12,05%

Se verifica que existió diferencia altamente significativa entre los rendimientos del tratamiento testigo y los tratamientos que recibieron material encalante en todos los cortes realizados; comparando el efecto de la dolomita frente a la ceniza de leña sólo se encontró diferencia alta en el tercer corte, por el efecto neutralizante lento de los encalantes (Serpa y González (1979); resultados significativos que obedecen al efecto de la aplicación de materiales encalantes al suelo, posiblemente por las mejoras en las condiciones de la disponibilidad de nutrientes, pH, fijación de nitrógeno y corrección de las deficiencias de Ca-Mg (Juárez, 2016) y la acción neutralizante de los cationes ligados a las bases (CO_3^{2-} , OH^-) que reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución (Espinosa y Molina, 1999).

Resultados que corroboran a la literatura, la acidez de suelos deprime los rendimientos y reduce la productividad por efecto de las altas concentraciones de iones hidrógeno en la solución del suelo saturando la zona de intercambio y reflejado en un estrés fisiológico.

Figura 3

Efecto de niveles de dolomita y ceniza de leña en el rendimiento de forraje verde asociado.



De acuerdo al modelo polinómico lineal, significativo en el corte segundo y tercero, la influencia de los niveles crecientes de dolomita en el rendimiento de forraje verde permite incrementar 2,94 y 2,04 kg en cuanto al rendimiento por cada kg de dolomita aplicado en los cortes segundo y tercero. El análisis de los modelos polinómicos, indica la existencia de una respuesta altamente significativa para el modelo lineal en ambos materiales encalantes, que se manifiesta desde el segundo corte para la dolomita y desde el primer corte para la ceniza de leña.

El efecto de la aplicación de ceniza de leña al suelo obedece a un modelo polinómico lineal para los tres cortes de manera significativa, así la influencia de los niveles crecientes de ceniza de leña en el rendimiento de forraje verde permite incrementar en 1,80; 3,85 y 2,62 kg de forraje verde en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente por cada kg de ceniza de leña aplicado. Los rendimientos alcanzados en el experimento fueron superiores a los encontrados por Durand (2014), quien alcanzó 7699,6 kg.ha⁻¹ y 9534,1 kg.ha⁻¹ por corte de forraje verde, asociando alfalfa + dactylis + trébol rojo en condiciones del Altiplano puneño. Los resultados indican que el efecto de la adición de dolomita y ceniza de leña al suelo mejoran considerablemente su producción de biomasa (Zeas, 2015) e incrementan los rendimientos de forraje de pastos asociados; de acuerdo al análisis químico de los materiales encalantes, se encontró que la ceniza de leña contiene CaO (24,5%), MgO(2,91%) y K₂O (6,12%) y trazas de microelementos como Cu(80 ppm), Zn(300ppm), Fe(11000ppm) y Mn (6700 ppm); mientras que la dolomita reportó contenido de CaO (29%) y MgO (18%); contenidos que confirman el poder neutralizante de estos materiales en la reducción de la acidez de suelos de puna.

Comportamiento de la materia seca en las familias de pastos asociados

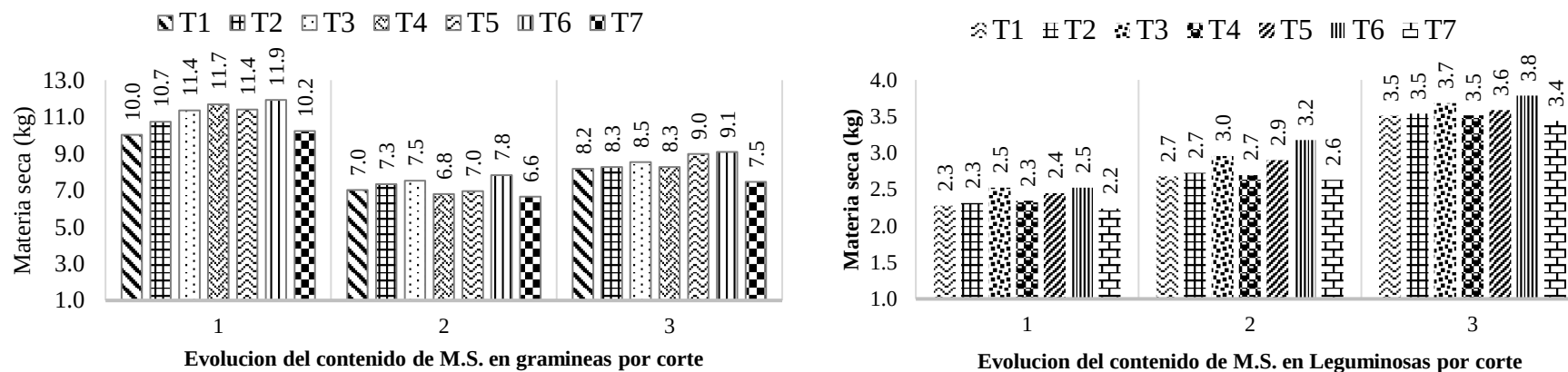
La figura 4 muestra la composición porcentual de materia seca en las gramíneas (*D. glomerata* y *L. multiflorum*) y leguminosas (*T. pratense* y *M. sativa*) expresados en kilogramos por consumo de una unidad animal U.A. de 450 kg es decir el consumo de 31.5kg (70%) de gramíneas y 13.5kg (30%) de leguminosas. La composición de materia seca de los pastos asociados se diferenció significativamente por la aplicación de los materiales encalantes, durante el primer corte, en promedio, las gramíneas, tuvieron un mayor contenido de materia seca de 10kg (31,8%MS) a 11.9kg (37,8%MS) con ambos materiales encalantes respecto a los dos cortes siguientes.

Mientras que, en las leguminosas durante el primer corte, en promedio, tuvieron un menor contenido de materia seca (MS) respecto a los dos cortes siguientes, teniéndose valores altos en el tercer corte de 3.5kg (26%MS) a 3.8kg (28%MS).

Conforme avanza el tiempo las gramíneas tienden a disminuir su contenido de MS por lo contrario las leguminosas a incrementar su contenido de MS. La composición de materia seca (%MS) del forraje, depende del estado fenológico al momento del corte de las especies, los cortes se realizaron a los 164, 224 y 284 días después de la siembra (dds), es decir cuando las gramíneas iniciaban el crecimiento de espigas y lanzamiento de hoja bandera, escala de zadocks 4-5 (Rawson y Gómez, 2001) mientras que el estado fenológico de las leguminosas al momento del corte corresponde a prebotón, botón e inicio de floración.

Figura 4

Cambios en la composición porcentual de materia seca en gramíneas y leguminosas expresado en kilogramos.



Los pastos con mayor proporción de hojas verdes posiblemente presentaron mayor contenido de proteínas, mientras que las pasturas en estados fenológicos avanzados, sus tallos presentan gran cantidad de tejido vascular por lo que su valor nutricional debió ser inferior al de las hojas (Araya y Boschini, 2005). Gonzáles (2017), encontró una correlación entre el estado fenológico y el contenido de materia seca (%MS) de una pradera asociada; teniendo 17% en la elongación de tallos, 19% a inicios de espigamiento y 22% a inicios de floración. La variación del porcentaje de materia seca también depende de la composición de la pastura y partes de las plantas consideradas en la medición; los forrajes en estadios iniciales tienen un crecimiento lento y en su composición poseen mayor cantidad de agua (Gonzáles, 2017) mientras que a inicios de fructificación o espigamiento, las paredes celulares llegan a lignificarse y tienen mayor contenido de materia seca.

Existió variación en la proporción de gramíneas respecto a las leguminosas, específicamente en los tratamientos que recibieron material encalante, teniéndose en el primer corte una proporción de 83 % (gramíneas): 17% (leguminosas) y al tercer corte una proporción de 47% (gramíneas) : 53 % (leguminosas); disminuyéndose la proporción de gramíneas (G) y incrementándose las leguminosas (L) en el experimento; esto no sucedió con el testigo, cuya proporción en promedio de gramíneas y leguminosas se mantuvo hasta el final del experimento (87% G: 13%L).

Resultados que obedecen a la capacidad en la reducción de la acidez de los materiales encalantes y suministro de cationes (Espinosa y Molina, 1999); el análisis de ceniza de leña reportó presencia de óxidos de calcio, potasio, magnesio y microelementos. Las leguminosas, se desarrollan mejor en pH cercanos a la neutralidad debido a su susceptibilidad a la acidez del suelo (Jordán, 2006), el desarrollo óptimo se logra cuando el pH debe ser mayor a 5,8 en pH bajos las leguminosas sufren estrés y no se desarrollan adecuadamente su raíz (Rodríguez et al., 1993), los valores de pH encontrados en el experimento (4,93 – 6,4), son bajos en comparación a los rangos óptimos (6,5 – 7,5); Otros factor importante son las relaciones de competencia (Grime, 1988), las gramíneas en un primer momento son de crecimiento rápido por la fisiología de las hojas y raíces abundantes a diferencia de las leguminosas que postergan crecimiento (Gonzáles, 2017); posteriormente cuando la acidez del suelo se reduzca a niveles bajos y el pH se encuentre en rangos óptimos, las leguminosas desarrollan adecuadamente sus raíces e inician con la fijación de nitrógeno, teniendo comportamientos invasivos.

Rendimiento de forraje en materia seca

En cuanto a la relación entre el rendimiento de materia seca y los niveles de material encalante (Tabla 6), se observa que existe diferencia altamente significativa entre el testigo y los tratamientos que recibieron dolomita o ceniza de leña, comparando la dolomita frente a ceniza de leña en el primer corte, se encontró que no existe diferencia estadística entre ellas; sin embargo, esta diferencia (altamente significativa) se manifiesta desde el segundo corte.

Efectos que se debe a la acción de la dolomita y ceniza de leña que interviene en el incremento del pH (1,31 y 1,71 unidades), en condiciones de acidez (4,93 pH), los suelos tienen mayor capacidad de adsorción de cationes (Navarro, 2003), la aplicación de enmiendas sumistra cationes (Ca, Mg y K), mejora las condiciones fisicoquímicas y biológicas del suelo, favoreciendo los procesos de asimilación de nutrientes, procesos de humificación y nitrificación (Zeas, 2015).

Tabla 6

Análisis de varianza y estudio de modelos polinómicos del rendimiento de materia seca de pastos cultivados

F.V.	G.L	FT. (0.05/0.01)	- Corte 1 -		Sig.	-- Corte 2 --		Sig.	-- Corte 3 --	
			FC.			FC.			FC.	Sig.
Bloque	2	3,89	6,93	0,06	ns	4,04	*		7,29	**
Tratamientos	6	3,00	4,82	10,22	**	16,67	**		19,69	**
Testigo vs M.E.	1	4,75	9,33	18,20	**	56,76	**		66,85	**
Dol. vs Ceniza	1	4,75	9,33	2,64	ns	4,89	*		20,69	**
Dol. Lineal	1	4,75	9,33	7,39	*	7,60	*		13,30	**
Dol. Cuadrático	1	4,75	9,33	0,82	ns	0,011	ns		0,46	ns
Cenz. Lineal	1	4,75	9,33	30,25	**	27,39	**		15,72	**
Cenz. Cuadrático	1	4,75	9,33	1,99	ns	3,35	ns		1,09	ns
Error	12									
Total	20									

C.V(1): 14.27% ; C.V(1): 14.93% ; C.V(3): 12.70%

La influencia de los niveles crecientes de dolomita y ceniza en el incremento del rendimiento de materia seca de la asociación de pasturas, indica, que los efectos se manifiestan de acuerdo al nivel aplicado. Los rendimientos más bajos corresponden al testigo (3294, 2043, 2158 kg.ha⁻¹, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente), mientras que los rendimientos más altos (7210, 8002, 6800 kg.ha⁻¹), se lograron con el nivel alto de ceniza de leña, seguido de la dolomita (5803, 6081, 5454 kg.ha⁻¹). En la siguiente figura se muestra el efecto de los niveles crecientes de ceniza en el rendimiento que supera al efecto de la dolomita, posiblemente debido a que la ceniza mostró un contenido importante de micronutrientes que se refleja en los rendimientos encontrados.

Figura 5

Efecto de niveles de ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados

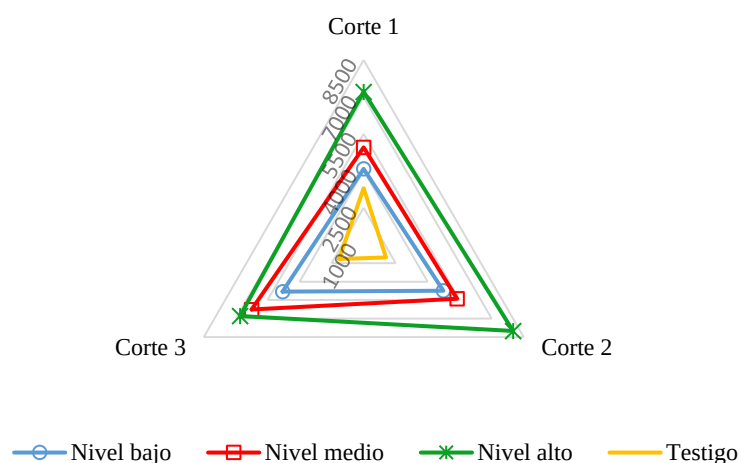
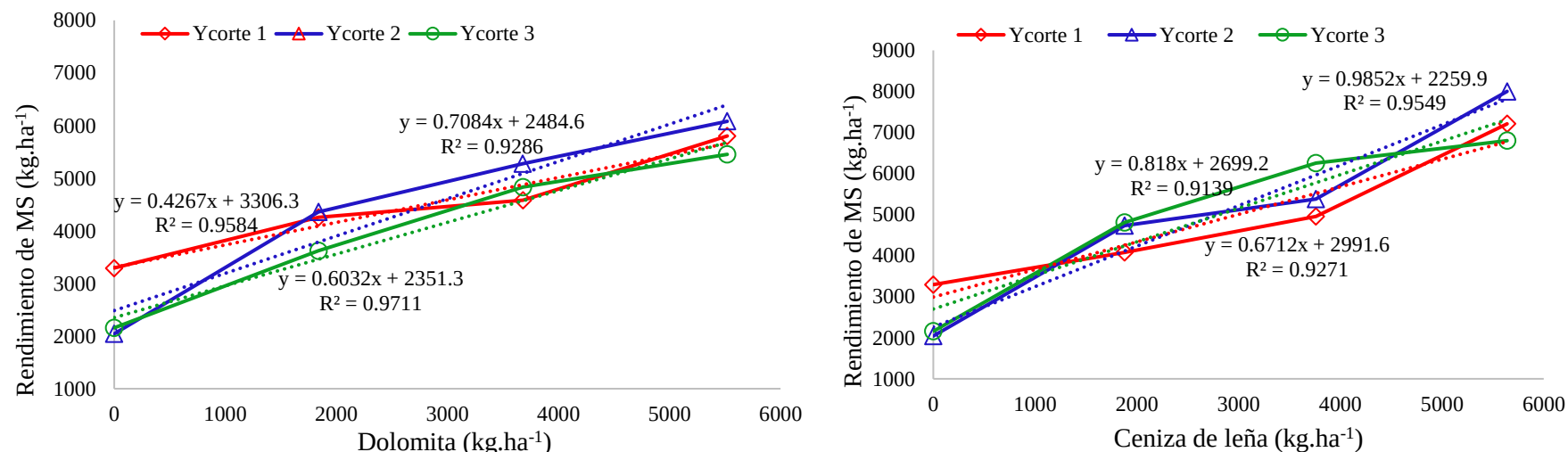


Figura 6

Efecto de niveles de dolomita y ceniza de leña en el rendimiento de materia seca de pastos asociados.



Haciendo el análisis de los modelos polinómicos, existe una tendencia altamente significativa para modelos lineales; los niveles crecientes de dolomita y ceniza para un rendimiento alto de materia seca obedecen al modelo: $Y = 0,708X + 2484,6$ (dolomita) y $Y = 0,985X + 2260$ (ceniza de leña); es decir, cada kilogramo de dolomita permitió incrementar el rendimiento del pasto en 0,708 kg de materia seca, mientras que cada kilogramo de ceniza permitió incrementar en 0,985 kg de materia seca, ambos modelos representativos para el segundo corte. Al comparar la dolomita frente a ceniza de leña en el primer corte, se encontró que no existe diferencia estadística entre ellas; sin embargo, esta diferencia (altamente significativa) se manifiesta desde el segundo corte; es probable que los microelementos, Cu, Zn, Fe, Mn, incorporados con la ceniza de leña, influyeron en el crecimiento y desarrollo de los pastos, expresando su efecto a partir del segundo corte. Estadísticamente, la ceniza superó a la dolomita en cuanto al rendimiento de materia seca, la ceniza dispone de una riqueza en cationes (K, Ca, Mg, y microelementos) que supera a la dolomita.

Sin embargo no se puede considerar a la acidez cambiante únicamente como factor limitante del crecimiento (Serpa y González,1979). Los rendimientos alcanzados en el presente trabajo son inferiores a los encontrados por Gonzáles (2017), quien reporta 9,19 t MS/ha (trébol rojo con dactylis), 8,01 t MS/ha (rye grass italiano con trébol blanco) y 7,31 t MS/ha, (alfalfa con falaris). Erich y Ohno (1992), mencionan que los incrementos en el rendimiento están influenciados por aumentos de la disponibilidad de elementos limitantes en el suelo provocados por la adición de enmiendas calcáreas.

Costos estimados de producción y mérito económico

El mayor costo de producción generó el cultivo de pastos asociados con la adición de una dosis mayor de dolomita (T₃) con S/. 11 288.31 nuevos soles por hectárea; a continuación, le siguen los tratamientos T₂, T₆, T₁, T₅ y T₄ con 9 143.79, S/. 7 047.45, 6 999.27, 6 356.55 y S/. 5 665.65 nuevos soles/ha, respectivamente. El costo total en el testigo T₇ generó S/. 4 539.75 nuevos soles por hectárea.

Tabla 7

Análisis de rentabilidad económica en producción de pastos asociados, Añaycancha 3530 m s.n.m.

Trat.	Costo de producción / ha (S/.)	Rendimiento FV (kg.ha.año)	Precio de venta (S/./kg)	Venta Total (S/.)	Utilidad (S/.)	Rentabilidad (%)	Beneficio/ costo
T ₆	7 047.45	78 617.00	0,20	15 723.40	8 675.95	123.11	2.23
T ₅	6 356.55	62 433.00	0,20	12 486.60	6 130.05	96.44	1.96
T ₄	5 665.65	52 733.00	0,20	10 546.60	4 880.95	86.15	1.86
T ₁	6 999.27	48 717.00	0,20	9 743.40	2 744.13	39.21	1.39
T ₇	4 539.75	29 967.00	0,20	5 993.40	1 453.65	32.02	1.32
T ₂	9 143.79	56 933.00	0,20	11 386.60	2 242.81	24.53	1.25
T ₃	11 288.31	64 117.00	0.20	12 823.40	1 535.09	13.60	1.14

El ingreso total fue estimado en base a la producción de materia verde y la venta de forraje verde, considerándose el precio en chacra a S/. 0.20 por kg de forraje verde, los mayores ingresos totales por la venta fueron S/. 15 723.40 nuevos soles para el tratamiento T₆ y S/. 12 823.4 nuevos soles para el tratamiento T₃; luego en orden de mérito descendente de las ventas totales, le siguen los tratamientos T₅, T₂, T₄, T₁ y T₇.

La mayor rentabilidad obtenida corresponde al tratamiento T₆, logrando 123.11% de rentabilidad, lo que representa a un beneficio costo (B/C) de 2.23; luego le siguen los tratamientos T₅, T₄, T₁, T₇; la rentabilidad más baja se obtuvo en el tratamiento T₃, compuesto por la asociación instalada con la aplicación de 5520 kg/ha de dolomita, con 13.60%, equivalente a un beneficio costo de 1.14; resultado debido al elevado costo de inversión en la adquisición del insumo, equivalente a S/. 0.96 nuevos soles por kilogramo de cal dolomítica, sumado al costo de transporte del insumo al lugar del experimento; mientras que el costo de la ceniza de leña (S/. 0.25/kg).

CONCLUSIONES

1. Cada meq de dolomita por cada 100 g de suelo (920 kg/ha), resulta en un incremento del pH del suelo en 0,166 unidades; mientras que un meq de ceniza por cada 100 g de suelo (940 kg/ha), produce un incremento del pH en 0,182 unidades, manifestándose mejor su efecto en el periodo de incubación.
2. Por cada 1000 kg/ha de dolomita, se obtiene un incremento de 2940 y 2043 kg/ha en la producción de forraje verde, en el segundo corte y tercer corte, respectivamente; mientras que la aplicación de cada 1000 kg/ha de ceniza, resulta en un incremento de 3850 y 2620 kg/ha en la producción de forraje verde, en el segundo corte y tercer corte, respectivamente. Asimismo, por cada 1000 kg/ha de dolomita, se obtiene un incremento de 427, 708 y 603 kg/ha en la producción de materia seca, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente; mientras que la aplicación de cada 1000 kg/ha de ceniza, resulta en un incremento de 671, 985 y 818 kg/ha en la producción de materia seca, en el primer, segundo y tercer corte, respectivamente. La aplicación de material encalante se traduce en un incremento de leguminosas en la composición florística de 10 a 53%.
3. Se obtiene una rentabilidad de 123,11% con un B/C de 2,23 en la asociación de pastos cultivados conducidos en un suelo tratado con la aplicación de 5640 kg.ha⁻¹ de ceniza de leña; seguido del testigo con 32,02% de rentabilidad, equivalente a un B/C de 1,32; mientras que aplicaciones de niveles altos de dolomita genera una rentabilidad de 13,6% con un B/C de 1,14.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araya M., Boschini C. (2005). *Producción de forraje y calidad nutricional de variedades de Pennisetum purpureum en la meseta central de Costa Rica*. Agronomía Mesoamericana 16 (1): 37-43. Costa Rica.
- Arista P., R. (2017). *Niveles de dolomita y de microorganismos eficientes en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho. (Tesis)*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 115p. Ayacucho, Perú.
- Barbaro, L. (2014). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas*. INTA. (p.8-11). Argentina.
- Bernier, R. y Alfaro, M. (2006). *Acidez de los suelos y efectos del encalado*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. (Boletín 151). 46 p. Osorno, Chile.
- Doerge, T. A.; Gadner, E. H. (1985). *Reacidification of two lime amended soils in*

- Western Oregon. Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49, 680-685.
- Durand A., M. J. (2014). Comportamiento productivo de alfalfa en cultivo puro y asociado con gramíneas forrajeras en el CIP - Camacani (*Tesis*). Universidad Nacional del Altiplano. 90p. Puno, Perú.
- Espinosa, J.; Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 46p. Quito, Ecuador.
- Etiégni, L., Campbell a. G., (1991). *Physical and chemical characteristics of wood ash. Bioresour. Technol.* 22, 173-178, 243, 246.
- González G., Wilfredo D. (2017). *Suelo en la producción ganadera de la región Ayacucho*. Programa de investigación en pastos y ganadería, UNSCH, Ayacucho. 77p.
- Grime, J. P. (1988). *Comparative plant ecology. A funcional approach to commum British species*. London, France.
- Guillén E., C. (2013). Efectos de la aplicación de cenizas de caldera de biomasa en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. (*Tesis*). Universidad Autónoma de Barcelona. Neiker- Tecnalia. Barcelona, España. 111: 8, 27, 62, 86.
- Guerrero-García, A. (1990). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa.
- Hakkila, P. (1989). *Utilization of residual forest biomass. Springer series in Wood Science Springes*. Verlag, Berlín.
- Ibáñez A., R.; Tenorio P., G.; Ramírez A., E.; Blasco L., M. (1982). *Efecto de la fertilización N, P, S y Ca en la composición química de la asociación Trébol rojo-Dactylis en los andes altos de Allpachaka, 3600 m s.n.m.* UNSCH. Ayacucho, Perú. 25p.
- Juárez Contreras, L. D. P. (2016). *Efecto de dos enmiendas cálcicas y dos abonos orgánicos en el rendimiento de la especie forrajera Setaria sphacelata, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas-2015*.
- Magra, G. (2015). Corrección de la acidez de los suelos. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. 36p.
- Millán, G; Vásquez, M; Terminiello, A. y Santos S., D. (2011). *Efecto de las enmiendas básicas sobre el complejo de cambio en algunos suelos ácidos de la región pampeana*. Facultad de ciencias agrarias – Universidad Nacional de La Plata. 131-140p.
- Navarro, G. (2003). Química Agrícola; El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal, 2. ed. Ediciones Mundi prensa. España. 486 pág.
- Omil I., B. (2007). Gestión de cenizas como fertilizante y enmendante de plantaciones jóvenes de Pinus radiata. (*Tesis*). Universidad de Santiago de Compostela. 326p. Lugo, España.

- Palomino M., R.; Cerda G., M.; Girón M., J. (2012). *Manual de Química agrícola y fertilidad de suelos*. UNSCH. 107p. Ayacucho, Perú.
- PLCA (2011). “*Producción de leche en la sierra alta de Ayacucho*”. [Versión Pdf]. Proyecto Lechero Cachi Alto. 64p. Ayacucho, Perú. Disponible en: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/prod-leche/informe_ejecutivo.pdf Consulta: 01/07/2020.
- Prat P., L. (1981). *Importancia de la reacción del suelo, acidez: pH y necesidad de cal*. [Versión Pdf]. Centro de edafología y biología aplicada. Salamanca, España. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/23538> Consulta: 15/07/2020.
- Rawson, H. y Gómez M., H. (2001). *Manejo del Trigo regado*. FAO. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s05.htm> C. 20/10/2020.
- Rodríguez S., R.; Ruz J., E.; Chavarría R., J. (1993). *Principios básicos de la acidez del suelo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 21-25pp. Quilamapu, Chillán, Chile. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/IPA/NR15632.pdf>
- Scott, B.J.; Conyers, M.K.; Fisher, R.; Lill, W. (1992). *Particle size determines the efficiency of calcitic limestone in amending acidic soil*. Aust. J. Agri. 43p.
- Serpa, R. González M., A. (1979). *Necesidad de cal en tres suelos ácidos de Costa Rica*. Facultad de agronomía. [Versión Pdf]. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. 103-107p.
- Solla-Gullón, F.; R. Rodríguez-Soalleir; A. Merino. (2001). *Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo en laboratorio*. [Versión Pdf]. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España. 19p.
- Tineo, A. (2012). *El Análisis Funcional de la Varianza*. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Ed.AMI. 140p. Ayacucho, Perú.
- Tineo, A.; Martínez, C. Fernández, A. (2016). *La ceniza como fuente de cal para suelos ácidos*. VI Simposio Latinoamericano de Innovaciones Educativas en la Enseñanza de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. 24-28/10/2016.
- Valencia, G. (1998). *Manual de Nutrición y Fertilización del Café*. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. 61 p.
- Zapata H., R. D. (2004). *La química de la acidez del suelo*. [Versión Pdf]. Ed. Cargraphics. Medellín, Cali, Colombia. 208:12, 113-123pp.
- Zeas, D. L. G. (2015). *Optimización del rendimiento de avena (Avena sativa l. variedad INIAP-82) bajo tres niveles de encalado en la granja Irquis* (Doctoral Dissertation, Universidad de Cuenca).
- ZEE-OT (2015). *Zonificación Ecológica Económica y ordenamiento territorial-Ayacucho*. GRA. [Versión Pdf]. 289p. Ayacucho, Perú.