

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Niveles de dolomita y de microorganismos eficientes
en pastos cultivados asociados, en suelos
ácidos de Ayacucho**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Paúl Robert Arista Prado**

Ayacucho – Perú

2017

DEDICATORIA

Con profundo cariño y respeto a mis padres por su sacrificio y confianza depositada en mi persona.

A mi amada esposa Yanett Ela por su apoyo incondicional y mis adorados hijos Leonardo Dacé, Joaquín Axel Rousell y Sisa Pierina por ser mi impulso vital para lograr mis metas.

A mis queridos hermanos José Ricardo, Sonia Marleny, Giuliana Mónica, Carlos Emilio, Jorge Guillermo y Adriana Sheyla por su apoyo desmesurado, comprensión y profundo respeto.

AGRADECIMIENTO

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias por haber contribuido eficazmente con sus conocimientos y experiencias en mi formación profesional y a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, “Alma Mater” por haberme acogido en sus aulas durante mi formación profesional.

Con profunda gratitud al Ing. Alex Lázaro Tineo Bermúdez, asesor del presente trabajo de investigación, quien dedicó su valioso tiempo para orientarme y brindarme sus experiencias desde el inicio hasta la culminación del presente trabajo.

Con profundo respeto al Ing. Wilfredo Daniel Gonzáles Guzmán, por su paciencia y sus valiosos aportes con su recorrida experiencia.

A los miembros del jurado del presente trabajo, quienes desinteresadamente dedicaron su tiempo, para contribuir con sus sugerencias en la presentación del documento final.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	i
Agradecimiento.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de tablas.....	iv
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	1
Introducción.....	3
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	05
1.1. Acidez de los suelos.....	05
1.2. Neutralización del pH de los suelos.....	09
1.3. Los abonos orgánicos.....	21
1.4. Los microorganismos eficientes (ME).....	45
1.5. Los pastos cultivados.....	49
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	65
2.1. Ubicación geográfica.....	65
2.2. Materiales, insumos y equipos.....	66
2.3. Metodología de trabajo.....	67
2.4. Condición climática de las zonas experimentales.....	70
2.5. Labores agrícolas.....	75
2.6. Parámetros evaluados.....	79
2.7. Tratamiento y diseño experimental.....	79
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	81
3.1. Del rendimiento de forraje verde.....	81
3.2. Del rendimiento de forraje en materia seca.....	84
CONCLUSIONES.....	87
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Descripción del pH en algunas especies vegetales.....	09
Tabla 1.2	Niveles de rendimiento en función del pH edáfico.....	10
Tabla 1.3	Región óptima de pH de algunas especies cultivadas.....	10
Tabla 1.4	Requerimiento de cal para lograr cambio del pH.....	14
Tabla 1.5	Equivalente efectivo en función del tamaño de partícula.....	16
Tabla 1.6	CaCO ₃ que no reaccionó luego de 6 años de incorporación.....	16
Tabla 1.7	Características y propiedades físicas de la dolomita.....	19
Tabla 1.8	Enzimas en los suelos y reacciones que las producen.....	24
Tabla 1.9	Compuestos primarios que derivan en compuestos aromáticos.....	27
Tabla 1.10	Producción de estiércol por especie animal en la República Mexicana.....	31
Tabla 1.11	Composición química de los estiércoles.....	35
Tabla 1.12	Eficiencia de utilización de estiércoles.....	36
Tabla 1.13	Pérdidas de N mineral en diferentes épocas del año.....	38
Tabla 1.14	Dosificación del EV a través del tiempo.....	39
Tabla 1.15	Cantidades de nutrientes que aportaría el EV seco en 5.0 t.ha ⁻¹	39
Tabla 1.16	Formas de nitrógeno en el Guano de Islas.....	43
Tabla 1.17	Formas de fósforo en el Guano de Islas.....	44
Tabla 1.18	Contenido de nutrientes en el Guano de Islas.....	44
Tabla 1.19	Rendimiento de materia seca de la asociación.....	50
Tabla 1.20	Origen de variedades de rye grass italiano tetraploide.....	53
Tabla 1.21	Cultivares de trébol rojo.....	56
Tabla 1.22	Dosis de siembra de pastos asociados por hectárea.....	58
Tabla 1.23	Composición química promedio de la alfalfa seca.....	62
Tabla 1.24	Rendimiento de materia seca de variedades de alfalfa.....	63
Tabla 1.25	Composición alimenticia de la alfalfa al 10% de floración.....	63
Tabla 2.1	Resultados del análisis de caracterización del suelo de Condorccocho.....	68
Tabla 2.2	Resultados del análisis de caracterización del suelo de Ñuñunhuaycco.....	69

Tabla 2.3	Resultados del análisis de caracterización del suelo de Condorpaqcha.....	69
Tabla 2.4	Precipitación total mensual, temperaturas máximas, mínimas y medias registradas durante el año 2009 – 2010.....	71
Tabla 2.5	Precipitación total mensual, temperaturas máximas, mínimas y medias registradas durante el año 2010 – 2011.....	73
Tabla 2.6	Nivel de abonamiento de las parcelas demostrativas.....	76
Tabla 2.7	Cantidad de insumos empleados en las parcelas demostrativas.....	77
Tabla 2.8	Estructura de los tratamientos para el ensayo en pastos cultivados asociados.....	80
Tabla 3.1	Análisis de varianza del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados con tratamientos de dolomita y microorganismos eficientes en tres localidades.....	82
Tabla 3.2	Prueba de Tukey del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados.....	83
Tabla 3.3	Prueba de Tukey del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados en tres localidades.....	83
Tabla 3.4	Análisis de varianza del rendimiento de forraje en materia seca de los pastos cultivados asociados con tratamientos de dolomita y microorganismos eficientes (ME) en tres localidades.....	84
Tabla 3.5	Prueba de Tukey del rendimiento de materia seca de los pastos cultivados asociados entre dosis de microorganismos eficientes (ME).....	86
Tabla 3.6	Prueba de Tukey del rendimiento de materia seca de los pastos cultivados asociados entre localidades.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura 2.1	Diagrama ombrotérmico: T° vs PP y balance hídrico. Apacheta 2450 msnm, año 2009.....	72
Figura 2.2	Diagrama ombrotérmico: T° vs PP y balance hídrico. Apacheta 2450 msnm, año 2010.....	74
Figura 3.1	Regresión lineal simple del rendimiento de FV sobre dosis de dolomita de la asociación forrajera en tres localidades.....	83
Figura 3.2	Regresión lineal simple del rendimiento de forraje en MS sobre dosis de dolomita de la asociación forrajera en tres localidades.....	85

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar la influencia de la dolomita más una solución de microorganismos eficientes, en el rendimiento de pastos cultivados asociados (bajo condiciones de abonamiento orgánico con guano de islas y estiércol de vacuno), se realizó el presente trabajo de investigación en tres zonas de los distritos de Chiara, Vinchos y Los Morochucos.

En el presente trabajo se utilizó tres niveles de dolomita con dos niveles de microorganismos eficientes, tuvo una duración de dos años iniciándose el 17/12/2008, con el encalado y concluyéndose el 18/01/2011, lográndose registrar periódicamente el crecimiento de las plantas. Se observó también que al cuarto corte los rendimientos obtenidos fueron mayores con respecto a los otros cortes, debido a la época lluviosa.

Para el rendimiento de forraje verde y materia seca se logró obtener mayores rendimientos para el tratamiento 2, para las tres zonas de estudio, sin embargo, todos los tratamientos que incluyeron los microorganismos eficientes tuvieron mejor rendimiento con respecto a los que no tuvieron microorganismos eficientes.

La zona donde se obtuvo mayor rendimiento de pastos cultivados asociados, fue la comunidad de Ñuñunhuaycco.

La aplicación de la dolomita y microorganismos eficientes, mostraron mejor interacción en la producción de forraje verde y materia seca. Las diferencias en la producción de forraje de los tratamientos T2, T4 y T6 que tuvieron 4 t.ha⁻¹ de microorganismos eficientes (ME), con relación a los tratamientos T1, T3 y T5 que no tuvieron microorganismos eficientes (ME), se diferenciaron con 6.45, 6.16 y 4.95 t.ha⁻¹ respectivamente, quedando demostrado que los microorganismos eficientes (ME) son muy importantes en la producción de pastos cultivados asociados.

INTRODUCCIÓN

El encalado consiste en incorporar una enmienda que contiene calcio (Ca^{+2}) y/o magnesio (Mg^{+2}) al suelo, para neutralizar la acidez de suelos ácidos, es decir para que el pH alcance un nivel ideal para el desarrollo normal de los cultivos y al mismo tiempo reduzca el contenido de hidrógeno, hierro, aluminio y/o manganeso; elementos tóxicos para la planta. Aplicado correctamente proporciona resultados satisfactorios a corto y mediano plazo, aplicaciones inadecuadas serán beneficiosas en corto plazo, pero perjudiciales a largo plazo.

Según Bernal y Espinosa (2003), para que los nutrientes puedan ser eficientemente aprovechados por los cultivos deben estar disponibles en la solución del suelo en cantidades adecuadas y en relaciones equilibradas. Para el logro y mantenimiento de esas condiciones de equilibrio es necesario conocer el estado físico - químico del suelo mediante un análisis, la aplicación de prácticas agronómicas adecuadas para evitar que se lixivien, percolen o se adsorban en el Complejo Arcillo Húmico (CAH) del suelo. La fertilización y corrección de la acidez de los suelos resultan satisfactorias cuando son realizados en base a los resultados de análisis de suelo.

La FAO (2007) menciona que, los Microorganismos Eficientes (ME) son una mezcla de todos los tipos de microbios que ocurren de manera natural, como los fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo, productores de hormonas y vitaminas, descomponedores de la celulosa, organismos controladores de enfermedades, etc.; y que se emplean para elevar la productividad del cultivo.

Por otro lado, Chujo (2004) menciona que, cuando los ME entran en contacto con la materia orgánica, segregan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales, quelatos y antioxidantes. Cambian la microflora y macroflora de la tierra y

mejora el equilibrio natural de manera que la tierra que causa enfermedades se convierte en tierra que suprime enfermedades, y ésta a su vez tiene la capacidad de transformarse en tierra azimogénica. Los efectos antioxidantes promueven la descomposición de materia orgánica y aumenta el contenido de humus. Esto ayuda a mejorar el crecimiento de la planta y sirve como una excelente herramienta para la producción sostenible en la agricultura orgánica. Los ME fueron desarrollados en forma líquida a lo largo de muchos años por el profesor Teruo Higa, de la Universidad de Ryukus, y el estudio se completó en 1982. Al principio los ME era considerado una alternativa para químicos agrícolas. Pero su uso ahora se ha extendido a aplicaciones en los campos ambiental, industrial y de la salud. Sin embargo, se debe enfatizar que ME no es ni un químico sintético ni una medicina.

Cabe resaltar que por experiencia propia al manipular los ME, se notó un punto de equilibrio desde la captura hasta la aplicación final, en el que los ME pierden sus propiedades a medida que transcurre el tiempo, originando un ambiente propicio para los microorganismos que son perjudiciales para las plantas y en lugar de beneficiar la producción vegetal, terminan afectando al cultivo y diseminando enfermedades perjudiciales para el cultivo.

Con la finalidad de evaluar niveles de dolomita y de ME en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho se realizó el presente trabajo de investigación en los terrenos de tres comunidades de los distritos de Chiara, Vinchos y Los Morochucos, con los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto de niveles de dolomita y de ME, en el rendimiento de forraje verde (FV), en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho.
2. Evaluar el efecto de niveles de dolomita y de ME, en el rendimiento de materia seca (MS), en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho.
3. Determinar el nivel adecuado de dolomita y ME en pastos cultivados asociados, en suelos ácidos de Ayacucho.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Acidez de los suelos.

Fassbender (1980) coincide con Tisdale y Nelson (1970) en mencionar que, es una propiedad del suelo que consiste en ceder protones de hidrógeno, hierro, aluminio o manganeso. La acidez del suelo tiene distintas fuentes: humus o materia orgánica, barros aluminosilicatos, hidróxidos de hierro y aluminio, sales solubles, y dióxido de carbono (CO₂). Por titulación se puede determinar la cantidad e intensidad de la acidez de estas fuentes. Cuanto más alto es el pH en el que un ácido es neutralizado, tanto más débil es el grupo ácido y más fuerte es el enlace del hidrógeno o del protón al cambiador. De acuerdo a este concepto, el sistema ácido – base se describe con la fórmula:



1.1.1. Clases de Acidez.

Según Tisdale y Nelson (1970), las características de las soluciones ácidas están basadas en la actividad del ion hidrógeno. Un ácido (HA: hidrógeno + acompañante) cuando se mezcla con agua (HA + H₂O), se disocia o ioniza en iones hidrógeno y los acompañantes (A), el ión hidrógeno representa la acidez activa y cuando éste ácido no fue mezclado con agua (HA) en su estado inicial representa la acidez potencial.

1. **Acidez activa.**- Es la acidez que se encuentra en la solución del suelo y es muy pequeña comparada con la acidez potencial.
2. **Acidez potencial.**- Es la acidez intercambiable más la acidez no intercambiable, se considera a los iones hidrógeno que se encuentran retenidos en los coloides del suelo y en la superficie de los minerales arcillosos.
3. **Acidez intercambiable.**- Son iones de hidrógeno y aluminio intercambiables retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.

4. Acidez no intercambiable.- Se le considera al ión hidrógeno en enlace covalente retenido en la superficie de los minerales arcillosos.

1.1.2. Fuentes de acidez en los suelos.

Fassbender (1980) señala que, la acidez de los suelos proviene de diferentes fuentes que pueden ceder protones. Por titulación se puede determinar la cantidad e intensidad de la acidez de estas fuentes, cuanto más alto es el pH en el que un ácido es neutralizado, tanto más débil es el grupo ácido y más fuerte es el enlace de hidrógeno o del protón al cambiador.

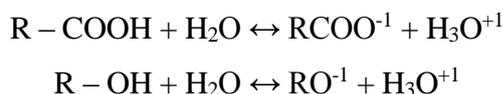
a. Grupos ácidos de los minerales arcillosos.

Los minerales arcillosos presentan diferentes fuentes de protones. La montmorillonita tiene tres ámbitos de poder tampón que se deben a tres fuentes diferentes de protones:

- **Iones de hidrógeno cambiables.** que provienen de la superficie del mineral arcilloso que son neutralizados a pH bajos, menores que 4. Representan el 48%.
- **Iones de aluminio cambiables que constituyen el segundo grupo de radicales ácidos a neutralizarse entre pH 4 a 5.5.** El carácter ácido de éstos iones monoméricos de aluminio cambiante se debe a que estando en equilibrio entre la solución del suelo y el complejo de cambio, se presentan también en la solución en forma hidratada con 6 moléculas de agua $[\text{Al}(\text{OH})_2]^{+3}$ y reaccionan en varias etapas dando lugar a protones (H_3O^{+1}). Los iones hidroxialumínicos hidratados que se forman a través de estas reacciones tienden a polimerizar, llegando a presentarse en forma de complejos hidratados solubles o insolubles. El producto final de estas reacciones $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$ es un óxido de aluminio amorfo que al perder el agua de hidratación pasa a constituir la gibbsita o hidrargilita ya descrita.
- **Iones de aluminio cambiables hasta el pH 5.5,** aún necesita NaOH para la neutralización de otros grupos ácidos débiles que provienen de los grupos $-\text{SiOH}$ y $-\text{AlOH}$ estructurales de los minerales arcillosos. Existe también la posibilidad que en éste ámbito se neutralicen polímeros hidroxialumínicos u otros complejos de mayor grado de polimerización. La estabilidad y las posibilidades de neutralización de estos polímeros depende de la relación $\text{OH}^{-1}/\text{Al}^{+3}$. Éste ámbito de pH entre 5 y 7 precipita $\text{Al}(\text{OH})_3$ que permanece estable hasta pH 9, a este valor pH se produce la disociación y formación del anión aluminato $\text{Al}(\text{OH})_4^{-1}$ ó $\text{AlO}_2(\text{OH})_2^{-1}$.

b. Grupos ácidos de la materia orgánica.

La materia orgánica funciona, al igual que los minerales arcillosos, como cambiador. Una molécula prototipo de humus tiene en su periferia, radicales activos fenólicos y carboxílicos que son fuentes de protones al disociar de acuerdo a la fórmula:



La intensidad de la acidez depende del componente R – de la molécula. De manera general, los grupos carboxílicos son ácidos más fuertes que los fenólicos.

Al presentarse un ácido húmico en forma disociada ($R - \text{COO}^{-1}$, $R - \text{O}^{-1}$), muestra cargas de adsorción de cationes. De acuerdo a la “cubierta iónica” o sea, la participación de iones $\text{H}(\text{H}_3\text{O})$ y Al^{+3} en la misma, se aplican los conceptos expuestos para los minerales arcillosos a la fracción húmica del suelo.

c. Ácidos solubles.

Como una tercera fuente de protones en el suelo, aunque de menor importancia, se encuentran ácidos solubles que se producen, en diversas cantidades, por actividad biológica y prácticas agrícolas. En la mayor parte de estos casos, solamente ocurren cambios locales de la reacción del suelo. Estos ácidos provienen de:

1. Aplicaciones intensivas de sulfato y nitrato de amonio en suelos de poca capacidad tampón, resultando acumulaciones de ácido nítrico (HNO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4).
2. Oxidación rápida de piritas (FeS_2) a través del drenaje de suelos inundados, resultando H_2SO_4 . Éstos suelos se llaman “cat clays”.
3. Mineralización de la materia orgánica bajo condiciones de una flora microbiana muy activa resultando gran cantidad de ácidos orgánicos solubles.

d. Causas de la acidificación progresiva de los suelos.

La acidificación progresiva que se presenta de manera especial en los suelos de áreas tropicales húmedas, se debe al reemplazo paulatino de las bases cambiables como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ por iones de H^+ y Al^{+3} . Éste reemplazo resulta de la percolación de agua,

extracción de cationes básicos por las plantas y por el uso de fertilizantes de carácter ácido.

Bajo condiciones de alta precipitación pluvial la percolación de agua a través del perfil es bastante intensa; de esta manera se lixivian gran cantidad de iones Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ y Na^+ , que se encuentran disueltos en la fase líquida del suelo. Éstas bases son reemplazadas por iones $\text{H}(\text{H}_3\text{O})$ en el complejo de intercambio catiónico, produciéndose paulatinamente una acidificación.

Las cantidades de bases extraídas por las plantas del suelo varían para el óxido de calcio (CaO) entre 50 y 100, para óxido de magnesio (MgO) entre 40 y 80, para óxido de potasio (K_2O) entre 100 y 150 y para óxido de sodio (Na_2O) entre 10 y 30 kilogramos por hectárea y cosecha, siendo para las leguminosas mayor que para otras dicotiledóneas. La absorción de elementos nutritivos representa en promedio entre 0.5 y 1.0 meq bases/100 gramos de suelo. Estas bases extraídas se reemplazan por H^+ en el complejo de intercambio. Parte de ellas se reincorpora al suelo en forma de restos vegetales y en parte se les puede reemplazar en forma de fertilizantes. Sin embargo, muchas veces resulta un balance negativo que lleva a una acidificación paulatina del suelo.

En el suelo se produce ácido nítrico (HNO_3) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) a través de la disociación de sales sulfatadas y nítricas utilizadas como fertilizantes. Por ejemplo, la nitrificación del sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)]$: 21% de nitrógeno], que forma dos ácidos fuertes (HNO_3 y H_2SO_4) que provocan la acidificación de los suelos, sigue la fórmula:



Otros fertilizantes de reacción ácida son el superfosfato simple $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4]$: 17 a 20% de P_2O_5 y 13% de azufre], superfosfato triple $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$: 46% de P_2O_5 , y 13% de calcio], nitrato de amonio $[\text{NH}_4.\text{NO}_3]$: 32 a 33.5% de nitrógeno], cloruro de amonio ($\text{NH}_4.\text{Cl}$) y fosfato monoamónico $[\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4]$: 11% de nitrógeno y 53% de P_2O_5]. Los nitratos de potasio $[\text{KNO}_3]$: 13% de N y 44% de K_2O], nitrato de calcio $[\text{Ca}(\text{NO}_3)_2]$: 15% de nitrógeno y 19% de calcio] y nitrato de sodio (NaNO_3) tienen reacción neutra y la úrea

[CO(NH₂)₂], carbonato de amonio (NH₄CO₃) y fosfato diamónico [(NH₄)₂HPO₄: 18% de nitrógeno y 46% de P₂O₅] presentan reacción alcalina inicial.

1.2. NEUTRALIZACIÓN DEL pH DE LOS SUELOS.

Magra y Ausilio (2004) opinan que, esta práctica agronómica se fundamenta en que en el rango de pH 6.5 a 7.0 el proceso de fijación simbiótica del nitrógeno alcanza su máxima eficiencia. Además, en este rango el fósforo, calcio, magnesio, potasio y molibdeno presentan su máxima disponibilidad. Por otro lado, la solubilidad del hierro, manganeso y aluminio aumenta en suelos ácidos, pudiendo alcanzar niveles tóxicos para la vegetación. Los microorganismos responsables de la dinámica degradativa de la materia orgánica y por lo tanto del ciclaje del nitrógeno, fósforo y azufre orgánico incrementan su nivel de actividad a pH cercanos a la neutralidad.

No todos los cultivos se ven afectados en igual medida por la acidez del suelo. Algunas especies presentan su mayor productividad a pH ácidos, tal como los arándanos y en menor medida la papa; ello obedece a que cada especie posee un rango de pH en el cual su producción es máxima y se conoce como pH óptimo. Las especies más sensibles a los reducidos valores de pH suelen ser las leguminosas: alfalfa y trébol, principal forraje de los sistemas ganaderos, comienza a manifestar disminución en su producción a partir de valores de pH inferiores a 6.1; este valor de pH por debajo del cual los rendimientos se deprimen es conocido como pH crítico.

Tabla 1.1. Descripción del pH en algunas especies vegetales.

Especie	pH crítico	pH óptimo
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	5.0	5.4
Avena (<i>Avena sativa</i>)	5.3	5.8
Maíz (<i>Zea mays</i>)	5.5	6.1
Soya (<i>Glicine soja</i>)	5.8	6.4
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	6.1	6.7

Fuente: Magra y Ausilio (2004).

Tabla 1.2. Niveles de rendimiento en función del pH edáfico.

Especie	pH				
	4.7	5.0	5.7	6.8	7.5
Maíz (<i>Zea mays</i>)	34%	73%	83%	100%	85%
Soya (<i>Glicine soja</i>)	65%	70%	8%	100%	93%
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	-.-	--	42%	100%	100%

Fuente: Magra y Ausilio (2004).

Tabla 1.3. Región óptima de pH de algunas especies cultivadas.

Especie	Nombre científico	Región óptima de pH
Avena	<i>Avena sativa</i>	5.0 – 7.5
Centeno	<i>Secale cereale</i>	5.0 – 7.0
Trébol rojo	<i>Trifolium pratense</i>	6.0 – 7.5
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	6.2 – 7.8

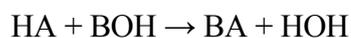
Fuente: Ignatieff y Page (1959).

Por su parte Tisdale y Nelson (1970) señalan que, la descripción de la actividad del hidrógeno es establecida generalmente en términos de valores de pH. El pH es definido como el logaritmo de la recíproca de la actividad del ión hidrógeno, o simbólicamente:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{A_{\text{H}^+}}$$

Donde A_{H^+} es la actividad del ión hidrógeno en moles por litro (M.L^{-1}). Una solución con una actividad del ión hidrógeno de 0.001 M.L^{-1} tendrá un pH de 3; una actividad del ión hidrógeno de 0.0001 M.L^{-1} tendrá pH de 4, y así sucesivamente. La connotación pH es una parte integral de la tecnología empleada en la fertilidad del suelo

Es muy importante en cualquier consideración de ácidos y bases la neutralización que viene a ser la reacción de un ácido con una base para formar sal y agua. Esta reacción es representada en la siguiente ecuación en que HA y BOH son los ácidos y bases hipotéticos:



1.2.1. Encalado.

Bernal y Espinosa (2003) y Tisdale y Nelson (1970) concuerdan en que: el encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como correctivos de acidez son principalmente carbonatos de calcio (CaCO_3 , calcita o cal agrícola), carbonato cálcico – magnésico ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ o dolomita), óxidos de calcio (CaO o cal viva), hidróxidos de calcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$, cal hidratada, cal muerta o cal apagada] y escorias de silicato de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización.

Bernal y Espinosa (2003) concuerda con Fassbender (1980) al mencionar que, la aplicación del encalado supone un riesgo notable de provocar deficiencias en algunos micronutrientes fundamentales para la nutrición de las plantas, básicamente al incrementar calcio en los suelos, la planta también incrementa la absorción de boro, pero también se presenta la adsorción de zinc por partículas finas de otros sustratos y la reducción de la solubilidad de manganeso. Estos riesgos aumentan conforme aumenta la escasez de dichos micronutrientes en la composición de la solución de los suelos, por lo que son más susceptibles de producirse en suelos pobres en micronutrientes con respecto a suelos originados a partir de roca madre rica en macro y micro nutrientes.

Bernal y Espinosa (2003) opinan que, la disponibilidad de nutrientes está determinada por varios factores en especial el valor del pH, que es la medida de concentración de los iones de hidrógeno en la solución del suelo. La mayor solubilidad, en gran parte, de los nutrientes se encuentra entre un pH de 5.5 a 7. Suelos con pH excesivamente ácidos presentan poca disponibilidad de nutrientes como fósforo, calcio, magnesio, potasio y molibdeno y aumentan la solubilización de zinc, cobre, hierro, manganeso y aluminio, en función a un mal manejo del suelo y fertilizantes aplicados pueden alcanzar niveles tóxicos para las plantas. Además de las deficiencias citadas, existe toda una serie de efectos indirectos que han de tenerse en cuenta a la hora de los procedimientos de encalado.

Según Fassbender (1980), los efectos directos e indirectos del encalado en suelos tropicales de América Latina son:

1. Efecto sobre propiedades físicas: mejorar agregación de partículas y estructura; mejores condiciones de aireación y movimiento de agua.
2. Efecto sobre propiedades químicas: aumento de iones hidróxido y disminución de iones Hidrógeno en la solución del suelo; disminución de la toxicidad de aluminio, manganeso e hierro; regulación de la disponibilidad de fósforo y molibdeno; aumento de la disponibilidad de calcio y magnesio; aumento del porcentaje de saturación.
3. Efectos sobre propiedades biológicas: mejora de las condiciones de desarrollo de microorganismos, especialmente bacterias; aumento de la mineralización de la materia orgánica; mejora de los procesos de amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno.

Por su parte Hardy (1962) y Venema (1961) mencionan que, el exceso de encalado tiene efectos deteriorantes en suelos tropicales ya que el uso desmedido de cal produce resultados catastróficos en la agricultura tropical, entre los más importantes se menciona:

1. Destrucción de la estructura porosa granular que es característica de los suelos lateríticos.
2. Aumento de la velocidad de descomposición de la materia orgánica que acelera su pérdida.
3. Inmovilización o reducción de la disponibilidad de algunos elementos nutritivos como hierro, manganeso, zinc, boro y cobre, y deficiencias de los mismos.
4. Si se usa sólo CaCO_3 , se reprime la absorción de magnesio a causa del antagonismo $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$.
5. Afecta adversamente la relación $\text{Ca}^{+2}/\text{K}^+$ y puede inducir deficiencias de potasio.

1.2.2. Métodos para determinar las necesidades de encalado.

Según Fassbender (1980), existe una gran diversidad de métodos de determinación de las necesidades de encalado. La mayor parte de métodos rápidos se basan en el uso de soluciones de sales de alta capacidad tampón y la producción del equilibrio entre el suelo y cantidades ascendentes de la solución; al medir la acidez cambiante por

métodos colorimétricos, conductométricos o potenciométricos, se obtienen curvas de titulación que permiten determinar las necesidades de encalado. Las más usadas son:

1. Abruña – Rodríguez y Vicente – Chandler (1967), basada en la curva de neutralización con cantidades ascendentes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 0.03 N, la reacción se acelera hirviendo las suspensiones por 5 minutos.
2. Matsusaka y Sherman, aplicando cantidades ascendentes de NaOH al 0.1 N en suelos previamente tratados con HCl.
3. Pratt y Blair, permite determinar la acidez extraíble, restando las bases cambiables de la capacidad de intercambio catiónico (Fassbender y Bornemisza, 1987).
4. El procedimiento más recomendado es el de Kamprath. Este modo evita caer en el error de encalar con un pH determinado, procedimiento que, aunque frecuentemente es útil para suelos de regiones templadas, puede ser perjudicial para Ultisoles y oxisoles, como lo han demostrado Farina y colaboradores (Fassbender y Bornemisza, 1987).
5. Shoemaker, McLean y Pratt, empleando una mezcla de soluciones de sales de alto poder tampón con pH ajustado a valor 7.5.
6. Peech, por titulación de suspensiones suelo solución BaCl_2 -TEA con HCl al 0.2 N hasta un pH de 5.1.

Fassbender (1980) también menciona que, para recomendar una determinada aplicación de cal, es necesario considerar los resultados de las curvas de titulación, la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, las bases y acidez cambiables, el porcentaje de saturación de bases y el cultivo que se piensa sembrar. Es decir, se deben considerar los diversos factores que tienen influencia sobre el complejo de la reacción del suelo.

Tisdale y Nelson (1970) opinan que, muchas estaciones experimentales y laboratorios para test del suelo han determinado el requerimiento en cal de las series y tipos más importantes de suelos en las áreas que ellas cubren. Una vez que esto ha sido realizado, un conocimiento del pH y del tipo de suelo hará posible una inmediata recomendación de la cantidad de cal a añadir. Si el requerimiento de cal no ha sido determinado y debe darse una recomendación, la textura y el contenido de materia orgánica deben también ser considerados.

Tabla 1.4. Requerimiento de cal para lograr cambio del pH.

Cambio de pH	Suelo franco cal (t.ha⁻¹)	Suelo franco limoso cal (t.ha⁻¹)	Suelo franco arcilloso cal (t.ha⁻¹)
4.5 a 6.5	6.5	7.8	9.4
5.5 a 6.5	5.2	6.3	7.4
5.5 a 6.5	3.8	4.5	5.2

Fuente: Fassbender (1980).

1. Método tampón.

De mayor precisión son los métodos basados en el poder tampón (buffer) del suelo. El requerimiento teórico de correctivo puede ser determinado titulando la muestra de suelo con una base valorada para determinar la cantidad de producto requerido para elevar el índice de pH hasta un valor especificado. Ello explica ¿por qué? los suelos arenosos que poseen una débil capacidad reguladora requerirán menor cantidad de cal para cambiar el índice de pH (Espinosa y Molina, 1999).

2. Método de saturación del complejo de cambio.

Este método se basa en que para cada suelo existe una curva característica que permite relacionar el porcentaje de saturación de bases (valor V) con su valor de pH. Dicha relación depende del contenido y naturaleza de los coloides que posee, y determina las características particulares del complejo de intercambio. Conociendo el valor de pH actual del suelo en estudio y el valor de pH deseado es factible determinar cuál será el valor V objetivo. Así para un horizonte Ap de 20 cm de espesor de un Argidisol típico que presenta un pH actual de valor 5 y si el pH que se desea lograr es de 6.5, para elevar este parámetro en 1.5 unidades es necesario elevar el valor V en un 20% (% de saturación de bases inicial: 70%, de saturación de bases objetivo: 90%). Si el suelo presenta una CIC de 22 meq/(100 g.), se debe reemplazar el 20% de su CIC. Ello supone el reemplazo de 4.4 meq de hidrógeno por bases, en el complejo de intercambio. La corrección de la acidez supone la neutralización de los hidrogeniones de la solución del suelo y el desplazamiento de aquellos ubicados en sitios de intercambio del complejo por bases metálicas, típicamente el calcio. Se utiliza, para este efecto, correctivos como: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , MgCO_3 y CaO , MgO . Como

los más frecuentes son los primeros, es de uso corriente el término encalado (Espinosa y Molina, 1999).

Siguiendo con el ejemplo, si el producto que se utiliza para el encalado es el CaCO_3 , es necesario conocer su peso equivalente (50 mg.meq^{-1}). Es posible entonces calcular el requerimiento de correctivo por cada 100 gramos de suelo:

Cálculo 1:

$$\frac{4.4 \text{ meq}}{100 \text{ g. de suelo}} * \frac{50 \text{ mg. CaCO}_3}{\text{meq}} = \frac{2200 \text{ kg CaCO}_3}{1000 \text{ t. de suelo}}$$

Si la capa arable presenta una densidad de 1.2 t.m^{-3} , presentará un peso por hectárea de 2,400 toneladas, es factible finalmente calcular la dosis de la enmienda calcárea:

Cálculo 2:

$$\frac{2200 \text{ kg de CaCO}_3}{1000 \text{ t. de suelo}} * \frac{2400 \text{ t. de suelo}}{\text{ha}} = \boxed{5.3 \text{ t de CaCO}_3.\text{ha}^{-1}}$$

Espinosa y Molina (1999) aclaran que, las estimaciones teóricas de laboratorio, como la efectuada en los cálculos precedentes sobreestiman las modificaciones de pH que se logran realmente en campo, pues existen ciertos parámetros que deben ser considerados en el proceso de corrección de la acidez.

1.2.3. Tamaño de partícula del correctivo.

Espinosa y Molina (1999) concuerda con Tisdale y Nelson (1970) sobre la finura del material que determina el equivalente efectivo o eficiencia relativa del correctivo ya que los materiales más finos por una mayor superficie específica reaccionan con mayor

velocidad y en forma más completa, los materiales gruesos reaccionan lentamente y en forma incompleta de modo que presentan una importante residualidad. Así para un material calcáreo de partícula intermedia (1 mm de diámetro) que presenta un equivalente efectivo del 60%, se requerirán 167 kg para igualar el efecto de 100 kg de CaCO_3 de pequeño tamaño de partícula (más fino que malla 60, esto es de diámetro inferior a 250 micrones) que presenta una efectividad o equivalente efectivo del 100%.

Tabla 1.5. Equivalente efectivo en función del tamaño de partícula.

Tamaño de partícula	Equivalente efectivo
Retenido malla 4 (mayor 4.75 mm.)	0%
Malla 8 (4.75 – 2.38 mm.)	10%
Malla 18 (2.38 – 1.0 mm.)	40%
Malla 60 (1.0 – 0.250 mm.)	70%
Pasante malla 60 (menor a 0.25 mm.)	100%

Fuente: Espinosa y Molina (1999).

Los productos de granulometría gruesa si bien son más fáciles de aplicar son de acción muy lenta e incluso prácticamente nula. Los gránulos de caliza de diámetro mayor a 2.5 mm son prácticamente insolubles y no poseen valor alguno desde el punto de vista agropecuario. Merece un párrafo aparte la descripción de los productos granulados, donde el correctivo es finamente molido (micronizado) y luego aglomerado (peleteado) por ligantes débiles que al llegar al suelo dispersan el producto finamente molido y altamente reactivo. La granulometría de estos productos suele ser de 1 a 3 mm de diámetro lo que facilita la aplicación, pero el costo resulta elevado.

Tabla 1.6. CaCO_3 que no reaccionó luego de 6 años de incorporación.

Tamaño de partícula (mm)	CaCO_3 (%)
2.38 – 1.25	62
1.25 – 0.50	24
0.50 – 0.125	17
Menor 0.125	5

Fuente: Espinosa y Molina (1999).

1.2.4. Forma de aplicación.

Según Espinosa y Molina (1999), una buena distribución del correctivo en el suelo es esencial para su reacción, por lo que la distribución al voleo en cobertura y el mezclado en la capa arable con implemento de discos luego de la aplicación brinda la mayor eficiencia. El arado tiende a ubicar el producto de encalado en el fondo de la capa arable por lo que no resulta un implemento adecuado. En sistemas de no remoción de suelo, como la siembra directa, la alternativa es la aplicación en bandas o al voleo en superficie, siendo en este caso la reacción más lenta y no tan completa, por lo que deberán seleccionarse correctivos de alta solubilidad. El uso de cal granulada en mezcla con fertilizantes en aplicaciones en banda localizada conlleva algunos aspectos desfavorables ya que el calcio reacciona con los fosfatos solubles disminuyendo significativamente su aporte de fósforo inmediatamente disponible, además la cal reacciona produciendo volatilización de amoníaco si en la banda se aplicaron fertilizantes nitrogenados amoniacales.

1.2.5. Tipos de correctivo.

Bernal y Espinosa (2003) también mencionan que, una misma condición de acidez, es decir un mismo pH puede corresponder a deficiencias de bases en diferentes proporciones, por lo que el análisis del porcentaje de saturación de bases (%SB) o de cada catión será el mejor indicador respecto de que correctivo o combinación de ellos se debe utilizar. El CaCO_3 puro es el producto de referencia de todos los materiales utilizados para el encalado de suelos y por ello se le asigna un valor de neutralización igual a 100, parámetro también conocido como equivalente CaCO_3 ($\text{Eq}_{\text{CaCO}_3}$). El peso molecular del CaCO_3 es 100 ($\text{PM}_{\text{CaCO}_3}=100$) y el correspondiente al MgCO_3 es 84 ($\text{PM}_{\text{MgCO}_3}=84$), ambas moléculas neutralizan dos hidrogeniones pero debido al diferente peso molecular se requieren 119 kg de CaCO_3 para igualar el efecto de 100 kg de MgCO_3 puro, por ello el $\text{Eq}_{\text{CaCO}_3}$ para este último correctivo es 119. A los efectos prácticos un correctivo con menor valor de neutralización requerirá más cantidad de producto comercial para corregir un determinado nivel de acidez.

El CaCO_3 o el $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ puro no se encuentran en el mercado, por lo que se utiliza la molienda del producto obtenido de yacimientos con extracción a cielo abierto donde su calidad depende de las impurezas que contiene el mineral. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es un

producto pulverulento que se produce a partir de la hidratación del CaO y reacciona con mayor velocidad que los carbonatos por su mayor solubilidad. El CaO, es un producto cáustico que presenta una rápida reacción en el suelo pudiendo provocar la esterilización parcial del mismo. Es un polvo blanquecino que se produce por calcinación de la caliza cálcica y su pureza depende de la calidad del material primario. Bernal y Espinosa (2003) y Fassbender (1980) concuerdan en que, existe una gran cantidad de materiales de enmienda o encalado que se utilizan en la agricultura:

- La caliza o calcita.
- Aragonito.
- Óxido de cal.
- Hidróxido de cal.
- Carbonato de calcio.
- Carbonato de calcio y magnesio o dolomita.
- Diatomita.
- Silicato de calcio.
- Escorias industriales.
- Espumas azucareras.

1.2.5.1. Dolomita ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$).

La dolomita, denominada de esa forma en honor al geólogo francés Deodat Dolomieu, es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$).

Moreno, Ibáñez y Gisbert (2015) con Magra y Ausilio (2004) y Bernal y Espinosa (2003) coinciden en mencionar que, la dolomita constituye el 2% de la corteza terrestre, tiene 21.73% de calcio, 13.03% de carbono, 13.18% de magnesio y 52.06% de oxígeno, es un mineral cuyo nombre se debe al mineralogista francés Dolomieu (1750-1801) que fue quien en los Alpes Franceses descubrió y anotó la no efervescencia en ácido clorhídrico (HCl) en frío de una roca calcárea. Como mineral carbonatado, la dolomita es un $\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$, que se forma por la sustitución e intercambio iónico de un catión calcio por otro catión magnesio en los CaCO_3 . Suele asociarse a calcita, cuarzo y minerales de arcilla y en este sentido es complicado de identificar. Aunque la dolomita es de reacción lenta en el suelo con respecto a la

calcita, tiene la ventaja de que suministra magnesio, elemento con frecuencia deficiente en los suelos ácidos.

Por su parte Moreno, Ibáñez y Gisbert (2015) mencionan que, es el componente principal de la roca sedimentaria llamada dolomía y la roca metamórfica se conoce como mármol dolomítico. La piedra caliza que contiene algo de dolomita se conoce como piedra caliza dolomítica. Raramente se encuentra en ambientes sedimentarios modernos, pueden ubicarse geográficamente, de manera extensa, a cientos de miles de metros de profundidad. La mayoría de rocas que son ricas en dolomita se depositaron originalmente como lodos de CaCO_3 , que fueron alterados por agua rica en magnesio.

Tabla 1.7. Características y propiedades físicas de la dolomita.

Características	
Fórmula química	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$
Clase	Carbonatos
Sistema cristalográfico	Trigonal
Hábito	Romboédrico o espático y normalmente masivo o sacaroideo
Propiedades físicas	
Color	Incoloro, blanco, amarillento, grisáceo o pardo por impurezas
Color de la raya	Blanco
Brillo	Nacarado, vítreo o mate
Densidad	2.85 gramos/cm ³
Dureza	3.5 - 4 en la escala de Mohs
Exfoliación	Romboédrica perfecta
Otras	Presenta efervescencia con ácido clorhídrico (HCl) concentrado en caliente, pero no en frío

Fuente: Moreno, Ibáñez y Gisbert (2015).



Figura 1.1: Cristales de dolomita.

González (2002) menciona que, la aplicación de la enmienda dolomita puede cambiar de forma positiva el estado estructural del suelo.

1.2.5.2. Momento adecuado de aplicación.

Para Bernal y Espinosa (2003), para que el correctivo produzca el efecto deseado debe ser aplicado 2 a 4 meses antes de la implantación del cultivo según la solubilidad del producto utilizado. Durante el primer año de la aplicación la reacción progresa rápidamente pero conforme pasa el tiempo declina gradualmente. Generalmente el pH máximo resultante del encalado se alcanza entre el segundo y tercer año de la aplicación, esta práctica no corrige permanentemente la acidez del suelo ya que la exportación de bases por las cosechas, la lixiviación de bases producida por las precipitaciones y el efecto de fertilizantes que contiene o forman amoníaco son responsables del retorno a los valores de acidez que tenía el suelo antes del encalado. Por lo tanto es recomendable efectuar análisis de suelo de control para diagnosticar la oportunidad para efectuar un encalado de mantenimiento.

1.2.5.3. Condiciones edafoclimáticas luego del encalado.

Aun cuando se efectúe una adecuada aplicación y un óptimo mezclado de la enmienda calcárea en el suelo, ésta no ejercerá el efecto en el pH si el suelo se presenta seco con posterioridad a la aplicación. Por lo tanto es necesario que se aproveche las primeras lluvias para asegurar el efecto de la enmienda calcárea, si se depende de las condiciones climáticas bajo secano, pero si se dispone de riego, entonces aplicar riego por aspersión para asegurar el éxito del encalado (Bernal y Espinosa, 2003).

1.3. LOS ABONOS ORGÁNICOS.

Los abonos orgánicos se caracterizan por su componente orgánico, a lo que acompaña una activa población microbiana que paulatinamente la va desintegrando, también en pequeña proporción lleva consigo: nitrógeno, fósforo, potasio, así como diversos activadores de crecimiento, hormonas, fitohormonas y apreciables dosis de microelementos. Los abonos orgánicos actúan sobre los suelos como fertilizantes de acción lenta y como enmiendas, disminuyendo la sucesiva cohesión de los suelos compactos, aumentando a la de los suelos arenosos e incrementando el poder retentivo para el agua y el absorbente de los principios fertilizantes (Bernal y Espinosa, 2003).

1.3.1. Beneficio de los abonos orgánicos.

Valente (2008) y Fassbender (1980) concuerdan al mencionar que, la importancia de los abonos orgánicos se explica por la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del suelo. Entre las propiedades físicas y químicas del suelo, la materia orgánica influye sobre:

1. El color, cambiándola a colores pardos oscuros o negruzcos y favorece el calentamiento del suelo.
2. Genera sustancias húmicas y contribuye a la formación de macro agregados.
3. Reactiva la actividad microbiana y contribuye a la formación de micro agregados.
4. La plasticidad, cohesión, reduciéndola.
5. La capacidad de retención de agua, aumentándola.
6. La capacidad de intercambio catiónico, aumentándola mucho.
7. El intercambio de aniones, especialmente fosfatos y sulfatos, aumentándola.
8. La disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, favoreciéndola a través de los procesos de mineralización.
9. La regulación del pH a través del aumento de su capacidad tampón.
10. La producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento, importantes para la vida microbiana del suelo.
11. Aumenta la CIC y el efecto buffer del suelo ante cambios térmicos y de pH.
12. La participación en procesos pedogenéticos, debido a sus propiedades de peptización, coagulación, formación de quelatos y otros.
13. Facilita la respiración radicular en situaciones de anoxia y reduce el lavado por lixiviación de ciertos elementos.

1.3.1.1. Mejora las propiedades físicas.

Según Tovar (1978), el abono orgánico, por su color oscuro absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes. El abono orgánico mejora la textura y estructura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste. Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua (erosión hídrica) como de viento (erosión eólica). Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano.

1.3.1.2. Mejora las propiedades químicas.

Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo y en consecuencia reducen las oscilaciones del pH. Incrementan también la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo y la fertilidad (Tovar, 1978).

1.3.1.3. Mejora las propiedades biológicas.

Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de microorganismos aeróbicos. Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente (Tovar, 1978).

1.3.2. Bioquímica del proceso de mineralización.

Fassbender (1980) opina que, entre los compuestos nitrogenados, se han identificado de manera especial: los aminoácidos, azúcares aminados, purinas y pirimidinas. Entre los ácidos se han encontrado en orden de importancia: lisina, alanina, isoleucina, glicina, ácido aspártico, serina, ácido glutámico.

Los abonos orgánicos al ser depositados al suelo empiezan su descomposición produciéndose rápidamente la depolimerización de proteínas y compuestos aromáticos, en una segunda etapa se produce la destrucción mecánica y su mezcla con el resto del suelo, durante esta etapa de acción de la fauna del suelo casi no se producen cambios en la estructura química, durante la tercera etapa, microbiológica – bioquímica, se observan

los mayores cambios químicos en la materia orgánica. También participa la microfauna del suelo especialmente bacterias, hongos, levaduras, algas y actinomicetos. En primer lugar son degradados los carbohidratos solubles, almidón, pectinas y proteínas. Después de la degradación de la celulosa por bacterias se pierde la estructura química de los restos quedando sólo la lignina, la cual sólo puede ser descompuesta lentamente por algunos basidiomicetos, en estas etapas se producen la separación final de los compuestos orgánicos y la liberación de minerales. La velocidad de la degradación de la materia orgánica, depende en primer lugar de la composición química del sustrato, cuanto más maduro esté el contenido de lignina es mayor y menor será la velocidad de mineralización. La relación carbono/nitrógeno, el contenido en minerales como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio y potasio del material, así como las condiciones de temperatura, humedad, aireación y pH del suelo son factores que influyen sobre la velocidad de la mineralización.

Las transformaciones más importantes en los procesos de la mineralización y la humificación son de naturaleza bioquímica. Después de la destrucción mecánica y física de los restos vegetales y animales se produce el ataque por microorganismos que a base de sus jugos digestivos y enzimas llevan a la destrucción de los compuestos orgánicos y a la liberación de minerales. Los siguientes grupos de microorganismos participan en los procesos de mineralización:

- **Microflora:**

Bacterias: *Micrococcus sp.*; *Bacterium sp.*; *Bacillus sp.*; *Azotobacter sp.*; *Clostridium sp.*

Actinomicetos: Streptomicetos; *Nocardia sp.*

Hongos: Ascomicetos: *Aspergillus sp.*; *Penicillium sp.*; Hifomicetos: *Dematiacem sp.*;

Fusarium sp.; *Cladosporium sp.*; *Hormodendrum sp.*; *Neospura sp.*; Bacidiomicetos.

- **Microfauna:**

Rizópodos, flagelados, ciliados.

- **Macrofauna:**

Nemátodos, lombrices, hormigas, termitas, colembolas.

A través de la amonificación de macromoléculas de proteínas los ácidos nucleicos y otros se depolimerizan, en primer lugar, por acción de las proteasas a peptonas y polipéptidos y estos a su tiempo se descomponen en aminoácidos. Entre los aminoácidos alifáticos

resultantes de ésta hidrólisis se encuentran: la glicocola, leucina, arginina, valina, lisina, alanina, ácido aspártico y entre los aromáticos: la tirosina, histidina, prolina, triptófano y fenilalanina. Entre las bacterias aeróbicas que participan en esta primera fase de la amonificación se encuentran: *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus mesentericus*, *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas sp.*, y entre las anaeróbicas: *Clostridium putrificum*, *Clostridium sporogenes*, *Clostridium tetani*. Entre los hongos participan: *Cephalothecium roseum*, *Tricoderma Koningi*, *Aspercillus sp.*, *Penicillium sp.*. Los aminoácidos resultantes pueden ser: metabolizados por los microorganismos (inmovilización); adsorbidos por arcillas formando complejos órgano – minerales; incorporados en la fracción de humus; utilizados por las plantas y mineralizados hasta transformarse en amonio. En este último proceso participa nuevamente una serie de microorganismos como *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Clostridium sp.*, *Escherichia sp.*, *Streptococcus sp.*. La amonificación de los aminoácidos se produce bioquímicamente a través de procesos de desaminación y decarboxidación activados por desamidadas y decarboxidasas. A través de la desaminación en condiciones oxidativas y reductivas: por la desaminación se producen además del NH₃, ácidos grasos como acético, láctico, butírico, pirúvico, compuestos aromáticos como indol, fenol, cresol, escatol y sus derivados; por la decarboxidación resultan aminas metiladas como la putrescina y cadaverina.

Tabla 1.8: Enzimas en los suelos y reacciones que las producen.

Nombre	Reacción
Ureasa	Urea → amonio + CO ₂
Amilasa	Almidón → azúcares
Asparginasa	Asparginasa → aspartato + NH ₃
Transamidasa del aspartato	Aspartato + piruvato → alanina + acetatooxálico
Catalasa	2H ₂ O ₂ → 2H ₂ O + O ₂
Invertasa	Sucrosa → glucosa + fructosa
Proteasas	Proteínas → péptidos
Glicerofosfatasa	Fosfato de glicerol → glicerol + fosfato
Transamidasa de leucina	Leucina + piruvato ↔ alanina + α acetosiovalerato
Fosfatasa	Fosfato orgánico → comp. orgánico + ortofosfato

Fuente: Fassbender (1980).

De los procesos de amonificación resultan también compuestos simples como: CO_2 , H_2 , CH_4 , H_2S , de acuerdo al tipo de aminoácidos que se han mineralizado. El NH_4 resultante de la amonificación puede ser:

- Absorbido por las plantas.
- Adsorbido por minerales arcillosos o por la materia orgánica.
- Fijado por minerales 2:1 no expandibles.
- Inmovilizado por microorganismos.
- Lixiviado a través del suelo.
- Oxidado hasta el nivel de nitratos (nitrificación).

Las velocidades de las diferentes etapas en el proceso de descomposición de los restos animales y vegetales depositados en los suelos son variables. En un momento dado, al hacer una extracción de los productos orgánicos del “metabolismo” del suelo se obtiene una mezcla de los más diversos compuestos. Dentro de los carbohidratos se ha logrado separar e identificar entre otros a los siguientes compuestos: galactosa, manosa, fructosa, arabinosa, fucosa, ribosa.

Las cantidades de estas sustancias son muy variables; dependen especialmente del tipo de suelo y de la vegetación o del tipo de explotación. El hecho de que no se encuentren en el suelo polisacáridos se debe a que el proceso de la degradación de los mismos ocurre muy rápidamente. Sólo en casos aislados se han encontrado polisacáridos y se considera que sean de origen microbiano.

1.3.3. Bioquímica del proceso de humificación.

Fassbender (1980) también menciona que, la bioquímica de los procesos de humificación es más complejo. Está basado en una síntesis o resíntesis de los productos de mineralización; esta polimerización lleva a ácidos húmicos y derivados de gran tamaño molecular. Los conocimientos actuales de la bioquímica de la humificación se han ganado en experimentos realizados con sustancias modelo y bajo condiciones diferentes a las del suelo mismo. A partir de la condensación de triosas se llega a la formación de quinonas.

La formación de grupos de melanina, se generan a partir de tirosina, que a su vez genera la oxidihidroindol, y éste deriva a indol, que finalmente forma melanina.

A través de los procesos de humificación se forman en el suelo productos definidos estables de color oscuro denominados ácidos húmicos, por ser productos sintéticos del suelo se agrupan en la fracción típicamente edáfica del humus, se trata de compuestos altamente polimerizados cuyo peso molecular puede llegar a las 10,000 y 50,000; su estructura aromática es complicada y variable: benceno, naftalina, antraceno, furano, pirrol, indol, piridina, quinolina; que tienen en su periferia uno o varios grupos radicales que le confieren a la materia orgánica, características químicas y físico – químicas definidas.

Los núcleos estructurales de los compuestos húmicos polimerizan por enlaces elementales (—O— , —N=) por enlaces de radicales (—NH— , $\text{—CH}_2\text{—}$) o también por grupos alifáticos. Entre los radicales externos pueden encontrarse grupos ácidos de carácter fenólico y carboxílico (—OH , COOH), de lo que resultan las propiedades ácidas de los ácidos húmicos y la posibilidad de formar sales que se denominan humatos. Radicales externos metoxílico —OCH_3 se han encontrado ocasionalmente. Grupos amínicos (—NH_2) como radicales externos son muy comunes y en algunos casos pueden contribuir hasta con el 70% de los radicales externos del humus del suelo. A veces se presentan azúcares (sacáridos) y aminoácidos como grupos accesorios en los ácidos húmicos. Los ácidos húmicos son sustancias resultantes del “metabolismo” del suelo; su clasificación considerada anteriormente, está basada en la consideración de su solubilidad, tamaño molecular, color; los ácidos húmicos confieren al suelo características determinadas a través de sus propiedades específicas de formación de agregados, adsorción de elementos nutritivos, color, retención de agua y otros.

Tabla 1.9: Compuestos primarios que derivan en compuestos aromáticos.

Compuestos primarios presentes	Humificación	Núcleo del compuesto secundario resultante (humus edáfico)
Carbohidratos (mono, oligo-, polisacáridos, hemicelulosa)	→	Furano
Lignina y derivados	→	Fenol
Aminoácidos y derivados (proteínas, polipéptidos, aminas)	→	Fenol
Grasas, aceites y ceras	→	No son humificados totalmente
Resinas, terpeno, alcaloides	→	Indol, piridina según estructura
Antocianos, flavonas	→	Pirrol
Productos secundarios (hormonas, vitaminas, enzimas, antibióticos)	→	Variables

Fuente: Fassbender (1980).

1.3.4. Factores que influyen sobre la mineralización y la humificación.

Fassbender (1980) recalca que, se pueden dividir en factores internos y externos. Los internos están relacionados con los restos animales y vegetales que se humifican y mineralizan, y los factores externos con características del medio en el cual ocurren estos procesos. Entre los factores internos hay que considerar la composición y la cantidad de restos animales y vegetales depositados, además de la relación carbono/nitrógeno, la relación ácidos/bases, la relación lignina/celulosa y el contenido de minerales. La relación carbono/nitrógeno es variable en el sustrato a mineralizarse de acuerdo con las especies y la edad de las mismas. Plantas jóvenes y gramíneas presentan generalmente relaciones carbono/nitrógeno alrededor de 20; al madurar un tejido baja el contenido de proteínas y minerales, aumenta el de la lignina, resultando un incremento de la relación carbono/nitrógeno a valores mayores a 30. Así, decrece la susceptibilidad del sustrato a la mineralización. La relación ácidos/bases es importante, de manera especial, en medios ecológicos naturales; muchas veces un exceso de ácidos y la falta de minerales

especialmente calcio y microelementos pueden limitar la mineralización. Relaciones lignina/celulosa menores de 0.4 como se encuentran en troncos y restos de ramas de ciertas especies forestales, resultan en una mineralización lenta; valores mayores que 0.5 como se hallan en plantas jóvenes facilitan la mineralización, siendo la mineralización un proceso principalmente microbiológico, la composición y cantidad de la microflora y microfauna es el factor edáfico más importante. Otros factores como el pH, granulometría, riqueza y disponibilidad en nutrimentos, régimen hídrico y condiciones de aireación inciden sobre la flora y la fauna e influyen indirectamente sobre la mineralización. La mayor parte de las bacterias y actinomicetos se desarrolla mejor bajo pH neutro o ligeramente alcalino; el grupo de los hongos más bien presenta un buen desarrollo dentro de límites de pH más amplios. La humedad relativa es muy importante, las bacterias necesitan por lo menos de 98% de humedad relativa para desarrollar una actividad óptima, los hongos en cambio, con valores del 85% pueden desarrollar el máximo de actividad. Temperaturas entre 20 y 25°C, son óptimas para un buen desarrollo de los hongos; las bacterias alcanzan ese desarrollo a temperaturas entre 30 y 50°C. Las condiciones de aireación y el régimen hídrico son complementarios; en condiciones de saturación de agua, disminuye el contenido de aire en el suelo y el contenido de oxígeno desarrollándose un medio anaeróbico. La mayor parte de la microflora y microfauna es aeróbica, aunque existan algunos grupos facultativos anaeróbicos (*Clostridium butyridum*, *Clostridium celulosolvens*, *Clostridium putrificos*). Generalmente bajo condiciones de mala aireación sólo se produce la acumulación de los restos vegetales y su mineralización es muy lenta (formas de humus sub hídricas: dy, gytja, sapropel).

Casi todos los microorganismos son heterótrofos con respecto al carbono, por lo que necesitan un sustrato de desarrollo con cantidades adecuadas de carbono. El carbono proviene principalmente de la mineralización de carbohidratos, bajo condiciones de alta proporción de lignina. La falta de carbono puede ser limitante en la mineralización. Sólo pocos microorganismos son autótrofos con respecto al carbono, o sea, que a través de otros mecanismos (reacciones quimiosintéticas) ganan la energía necesaria para la síntesis de carbono. Los microorganismos necesitan para su desarrollo, igual que las plantas, elementos nutritivos tales como nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio, magnesio, hierro y otros microelementos. Bajo las mismas condiciones de mineralización

la composición granulométrica puede influenciar al proceso de la mineralización: así tendría mayor contenido en materia orgánica. Esto se debe a la formación de complejos órgano – minerales y la mayor posibilidad de presentarse malas condiciones de aireación que no favorecen la mineralización. Los factores ecológicos, temperatura y precipitación pluvial influyen tanto la producción de restos vegetales y animales que se incorporan al suelo como la velocidad de su mineralización. La mineralización se inicia a 10°C y aumenta hasta alcanzar su máximo entre 30 y 40°C. De esto resulta que a temperaturas relativamente bajas se producen más restos de los que se mineralizan y a temperaturas mayores de 25 a 28°C, la materia orgánica disminuye, lo que implica que la temperatura crítica de aproximadamente 25°C es decisiva en la producción y degradación de los restos vegetales. Temperaturas bajo el nivel crítico permiten una acumulación de materia orgánica con la mejora de una serie de propiedades de los suelos. Cuando las temperaturas son excesivamente altas como ocurre en muchas zonas tropicales, se presenta una aceleración de la degradación de los restos vegetales en el suelo que causa graves problemas en su fertilidad.

1.3.5. Tipos de abonos orgánicos.

Según Mateu (2010), los abonos orgánicos son fuentes de nutrientes cuyo origen es orgánico. Por ésta razón su aplicación al suelo se conoce como abonamiento. Se tiene los diferentes tipos de abonos:

- Estiércol de vacuno, ovino, caprino, porcino, cabalares y otros.
- Estiércol de llama (paco huano).
- Estiércol de cuy (Mullka).
- Redileo (aplicación directa de estiércol de animales al pastoreo).
- Purín.
- Orines.
- Sub productos de origen animal: de carne, hueso, cuero, pelos y plumas.
- Harina de hueso.
- Rastrojo de los cultivos.
- Restos de la poda de árboles y arbustos.
- Residuos de malezas.
- Pulpa de café.

- Harina de semilla de algodón.
- Basura doméstica y de mercado.
- Aguas residuales y materias fecales.
- Guano de islas.
- Gallinaza.
- Excrementos de murciélagos.
- Compost.
- Abono foliar biol.
- Acolchado o mulching.
- Turba negra y otros.
- Humus de lombriz.

1.3.5.1. Estiércol de vacuno (EV).

Trinidad (2000) opina que, los estiércoles se han utilizado desde hace mucho tiempo, cuando el productor combinó su actividad agrícola con la ganadería y modificó sus características en beneficio del desarrollo de las plantas. Su efectividad ha quedado plenamente demostrada con rendimientos más altos y de mejor calidad. Los grandes volúmenes de estiércoles si no se manejan apropiadamente, por anaerobiosis, producen metano y otros gases contaminantes y de mal olor.

Por su parte Iglesias (1995) menciona que, el uso de EV como abono orgánico con la finalidad de acondicionar el suelo mejorando su contenido de humus y estructura, estimulando la vida micro y meso biológica del suelo. Al mismo tiempo se fertiliza el suelo con micro y macro nutrientes. Estos nutrientes se liberan paulatinamente. El EV libera aproximadamente la mitad de sus nutrientes en el primer año, el contenido de nutrientes en el EV varía dependiendo de la clase de animal, su dieta y el método de almacenamiento y aplicación. Desde hace algún tiempo la sociedad está demandando que la agricultura sea más respetuosa con el medio ambiente y en particular que se reduzcan las posibles fuentes de contaminación producidas por las prácticas agrícolas. Del estiércol se puede preparar también un abono foliar para el cual se mezcla 50 libras de estiércol en un barril con agua, se deja por 10 días y se aplica sobre los cultivos.

El EV tiene un alto contenido de nitrógeno amoniacal, el cuál proporciona una alta capacidad Buffer y es altamente alcalino cuando tiene de uno a siete días de producido. Los vacunos producen aproximadamente 32.9 kilogramos de estiércol diariamente, convirtiéndose en un contaminador ambiental del establo, pudiéndose utilizar para el abonamiento de suelos.

A. Producción.

Para Trinidad (2000), la producción anual de EV en México se estima en 61 millones de toneladas por año, considerando únicamente el proveniente del ganado estabulado y semi estabulado; si ésta cantidad se pudiera capitalizar adecuadamente, a cada hectárea de terreno agrícola le corresponderían 2 toneladas/año, cantidad suficiente para mantener los suelos con excelentes contenidos de materia orgánica, fertilidad y capacidad productiva. Se puede estimar con el número de cabezas existentes y la cantidad de excretas.

Tabla 1.10: Producción de estiércol por especie animal en la República Mexicana.

Tipo de estiércol	Producción individual en base seca (kg/día)	Producción (miles de toneladas/año)	
		1970	1998
Gallinaza	0.017	1,700	1,203
Porqueraza	0.450	3,300	1,651
Caprino	0.700	1,800	1,531
Ovino	0.700	1,000	993
Vacuno	6.000	36,600	50,882
Equino	1.500	4,800	4,800
Total/año		49,200	61,060

Fuente: Trinidad (2000).

El proceso de fermentación del EV es necesario para eliminar patógenos dañinos que derivan de la alimentación y que no son afectados por la digestión de los vacunos. Éste proceso consiste en:

1. Recolectar el estiércol.
2. Amontonar en montículos sobre el suelo, sobre rastrojos o en pozas bajo tierra a una altura de 1.20 metros.
3. Cubrir con rastrojos o tierra para protegerlo de la excesiva insolación o de la lluvia.

4. Dejar fermentando durante treinta días en la que se procede a voltear.
5. A los dos o tres meses el estiércol está debidamente fermentado y listo para ser incorporado como abono al suelo.

Iglesias (1995) explica que, sólo una pequeña parte de los alimentos que consumen los vacunos es aprovechado por su organismo (aproximadamente 20%), el resto es desechado después de la digestión (aproximadamente 80%), el EV contiene elementos nutritivos que deben de ser aprovechados para enriquecer los suelos.

A.1. Tipo de ganado.

Según Trinidad (2000), la cantidad de EV y los nutrientes presentes varían dependiendo de la edad del animal, raza del ganado, el lugar donde se pastorean los hatos, el tipo de pasto del que se alimentan, la estabulación y hasta el sistema de pastoreo generan variación en la composición del EV que se tiene.

A.2. Alimentación.

Trinidad (2000) agrega que, la dieta que se suministra al ganado depende tanto del tipo de ganado como del destino del animal. La dieta no es igual para un animal destinado al engorde que para un animal que está en crecimiento para reposición; esto hace que varíe tanto la cantidad de EV producido como el contenido en nitrógeno, fósforo y potasio.

A.3. Condiciones ambientales.

Iglesias (1995) asume que, en el EV hay que considerar factores tales como la insolación que en 2 a 3 días puede perder hasta el 50% de nitrógeno, adición de agua de lluvia o de limpieza, si se compacta o no y si contiene desperdicios. El EV en 2 a 3 días en el sol puede perder el 50% de su nitrógeno y puede perder por lluvias en poco tiempo gran parte de su nitrógeno y potasio, para evitar la pérdida de calidad del estiércol hay que recogerlo diariamente y ponerlo a resguardo en la sombra.

A.4. Duración y condiciones de almacenado.

Por su parte Iglesias (1995) opina que, el almacenamiento es básico, sobre todo para evitar las posibles pérdidas de nutrientes. El EV desde que se produce hasta que es

utilizado, puede sufrir una serie de pérdidas en el contenido de nutrientes vegetales, que se pueden clasificar en tres tipos:

- **Pérdidas gaseosas:** el EV contiene elementos que pueden volatilizarse y que si no se almacena de una forma adecuada se pierden. Estas pérdidas pueden suponer un 10% del nitrógeno.
- **Pérdidas por lavado:** el EV suele almacenarse al aire libre y al llover el agua puede arrastrar los componentes nutritivos, por esta vía se puede perder un 20% del nitrógeno, un 5% del fósforo y más del 35% del potasio.
- **Pérdidas por filtración:** estas pérdidas se producen cuando los líquidos del interior de la pila de estiércol pasan al suelo, para que no se produzcan estas pérdidas se sugiere que el estiércol se almacene sobre una superficie de hormigón, que se compacte y que se cubra para evitar el lavado por lluvias.

El encorralado del ganado o el acostumbrarles a reunirse en un lugar de fácil acceso por las noches facilita la recogida del EV.

A.5. Manejo.

Trinidad (2000) opina que, en el manejo de EV desde su recolección de los corrales y establos, y almacenamiento para su compilación y maduración hasta su transporte y aplicación en el campo, se necesitan operaciones apropiadas que permitan su utilización integral desde el punto de vista de su valor nutrimental. Un manejo eficiente del EV para su aplicación en el campo definitivo (si no se incorpora al terreno directamente en forma cruda como una opción con ciertas desventajas en la pérdida de nitrógeno y diseminación de plagas y patógenos) requiere de estercoleros de tamaños convenientes según el volumen del material por manejar y las posibilidades económicas que se tengan. Los estercoleros son construcciones que deben tener las siguientes características:

1. Una plataforma impermeable con una pendiente de 4 a 5% a lo largo y ancho para evitar acumulaciones de exceso de agua.
2. Una canaleta a lo largo para favorecer el drenaje del estercolero.
3. Muros de protección de la plataforma, no más altos de 80 centímetros de altura en los tres lados de donde viene la pendiente.
4. Plataforma sin muro en su parte baja de la pendiente (entrada) en una tercera o cuarta

parte al extremo inferior del estercolero para facilitar la carga y descarga del estiércol.

5. Techo de plataforma para proteger el estiércol de la lluvia y los rayos del sol que son los dos factores más importantes que influyen en la pérdida de nutrientes. La altura del techo debe ser tal que la maniobra del estiércol pueda ser manual o mecanizada.
6. El estiércol fresco se va colocando en capas para formar pilas de 2 ó 3 metros de largo según las dimensiones del estercolero sin olvidar los andenes en ambos lados para facilidad de su manejo. La ubicación de las pilas se puede empezar de la entrada hacia el fondo del estercolero.
7. Las pilas pueden ser trapezoidales con la base mayor de 3 metros y la menor de 2 metros, con 2 a más de 3 metros de fondo.
8. Entre capa y capa se recomienda agregar superfosfato de calcio simple ($\text{CaH}_2\text{PO}_4 + \text{CaSO}_4$) a razón de 25 kg/tn de EV y 50 kg/tn de arcilla (bentonita, montmorillonita o alofán) para fijar el nitrógeno amoniacal.
9. Se pueden agregar también inhibidores de ureasa [N-butil triamida fosfórica (N3PT) o fenil fosforodiamidato (PPD)] para conservar el nitrógeno como aminas (R-NH_2) y un inhibidor de nitrificación para mantener el nitrógeno como amonio (NH_4^{+1}).
10. Durante la maduración se eleva el pH del estiércol; para abatirlo, se agrega S, ácido fosfórico (H_3PO_4) al 1% o ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 1% a razón de un litro o más por m^3 , según el pH.
11. Las pilas deben comprimirse regularmente para que el proceso de maduración sea normal.
12. Para mantener las condiciones adecuadas de humedad y temperatura durante la maduración, las pilas deben humedecerse de preferencia con las deyecciones líquidas recolectadas del establo o el té o jugo del estiércol que escurre de las pilas.
13. La temperatura de la pila no debe elevarse más allá de los 60°C (50°C recomendable), la cual se controla agregando agua y aireando la pila por traspaleo o inyectando aire forzado que permite una maduración más rápida del estiércol.
14. El EV ha logrado su madurez cuando pierde su olor (suí géneris), tiene una relación carbono/nitrógeno menor de 19.5 y un contenido de nitrógeno mayor de 1.2%.
15. Antes de llevar el EV maduro al campo se debe de conservar en un lugar seco y en sombra para interrumpir su mineralización.

Según Iglesias (1995), el EV tal como ofrecido pasa por un proceso de fermentación y se transforma en EV hecho, para obtener EV hecho de buena calidad hay que considerar la edad de los animales, la naturaleza del suelo en los que se producen los forrajes, características particulares de los alimentos que se complementan, entre otros.

B. Aporte de nutrientes.

Para Trinidad (2000), son muchos los elementos que pueden entrar a formar parte del EV y por lo tanto, es difícil fijar tanto la cantidad que se produce como las características de composición del mismo. Es por ello que se van a dar unos valores aproximados.

Tabla 1.11: Composición química de los estiércoles.

Ganado	% MS	% N	% P ₂ O ₅	% K ₂ O	% CaO	% MgO	% SO ₄
En las deyecciones sólidas							
Vacuno	16.00	0.29	0.17	0.10	0.35	0.13	0.04
Equino	24.00	0.44	0.35	0.35	0.15	0.12	0.06
Ovino	35.00	0.55	0.31	0.15	0.46	0.15	0.14
Porcino	18.00	0.60	0.41	0.26	0.09	0.10	0.04
En las deyecciones líquidas							
Vacuno	6.00	0.58	0.01	0.49	0.01	0.04	0.13
Equino	10.00	1.55	0.01	1.50	0.45	0.24	0.06
Ovino	13.00	1.95	0.01	2.26	1.16	0.34	0.30
porcino	3.00	0.43	0.07	0.83	0.01	0.08	0.08

Fuente: Tineo, Palomino, Cerda y Girón (2010).

El contenido total de nutrimentos en los estiércoles es muy variable y depende de la especie que lo produce, edad del animal, su eficiencia digestiva, tipo de alimentación que recibe y el manejo al que ha sido sometido el estiércol desde su recolección, maduración y almacenamiento.

Teniendo en cuenta todo lo anterior Iglesias (1995) ha propuesto, transformar el contenido de los distintos nutrientes a Unidades de Ganado Mayor (U.G.M.), tomando como base a una vaca adulta de 550 kilogramos de peso vivo y que produce 4,000 litros de leche con un 4% de grasa. Una U.G.M. produce una cantidad de estiércol al año que

contiene 90 kilogramos de nitrógeno, 18 kilogramos de fósforo y 83 kilogramos de potasio.

C. Eficiencia de utilización.

Trinidad (2000) menciona que, en el primer año de descomposición del EV solamente se libera parte del contenido total de nutrimentos, la diferencia queda en forma residual para los siguientes años del cultivo, por tener mayor efecto residual que otros estiércoles por su relación carbono/nitrógeno.

Tabla 1.12: Eficiencia de utilización de estiércoles.

Estiércol	Años después de su aplicación			
	Primero	Segundo	Tercero	Cuarto
Vacuno	0.35	0.15	0.10	0.05
Gallinaza	0.90	0.10	0.05	-
Porqueraza	0.65	0.30	0.10	-
Equino	0.30	0.15	0.10	0.05
Caprino	0.32	0.18	0.10	0.05

Fuente: Trinidad (2000).

Para Iglesias (1995), la eficiencia de utilización anual del nitrógeno es 60% y para el fósforo y potasio de 100%, si se toman los valores promedios del contenido de 90 kilogramos de nitrógeno, 18 kilogramos de fósforo y 83 kilogramos de potasio de U.G.M. como estándar. Cuando se aplica el EV al terreno, no todos los nutrientes son asimilables inmediatamente por las plantas: fósforo y potasio se encuentran retenidos y sólo tras su liberación pueden ser asimilados, para el nitrógeno el proceso es más complejo como se mencionó anteriormente, el nitrógeno presente en el EV se puede dividir en tres fracciones:

- **Nitrógeno mineral.** Es el que se encuentra en forma de nitrato y que es directamente asimilable por las plantas, su eficiencia sería del 100%, pero puede sufrir pérdidas en la aplicación del estiércol al terreno
- **Nitrógeno orgánico mineralizable el primer año.** Es la parte que durante el primer año va a pasar a la forma mineral asimilable por las plantas y sobre el que van a surgir

pérdidas durante los períodos en que los cultivos no están en producción, por procesos químicos de amonificación y nitrificación

- **Nitrógeno orgánico mineralizable en años sucesivos.** Es aquel que, en condiciones de equilibrio, se va a ir mineralizando lentamente y que también puede sufrir pérdidas en los períodos en los que los cultivos no están en producción.

D. Pérdidas.

Iglesias (1995) añade que, las pérdidas que puede sufrir el nitrógeno del EV tras su aplicación y que, por lo tanto, afectan a su eficiencia, son:

- a. Pérdidas en la aplicación sobre el terreno.** Puede perderse 20% aproximadamente, de la forma mineral, principalmente por volatilización, depende principalmente de la temperatura y de la forma en que se aplica, pudiendo reducirse notablemente si en lugar de esparcirlo sobre la superficie del terreno se inyecta dentro de él.
- b. Actividad residual de los cultivos.** Una vez extraída la cosecha, los restos de los cultivos continúan consumiendo parte del nitrógeno mineralizado.
- c. Lixiviación.** El nitrógeno mineral y el mineralizado pueden sufrir arrastres con el agua, especialmente en las épocas en que los cultivos no utilizan el nitrógeno.
- d. Desnitrificación.** Se trata del proceso por el cual el nitrógeno que se encuentra en forma mineral pasa a forma gaseosa y se pierde en la atmósfera. Este proceso es desarrollado por microorganismos.

La pérdida de nitrógeno depende también del tipo de cultivo y del periodo vegetativo, por consiguiente las posibles pérdidas serán mayores en caso de cultivos que permanezcan poco tiempo sobre el terreno. La época de aplicación afecta en mayor medida a la eficiencia de utilización, ello se debe a que si la aplicación es en primavera las plantas están creciendo y el nitrógeno presente en forma mineral puede ser utilizado inmediatamente, pero si la aplicación es en el otoño durante el período en que las plantas no crecen, puede sufrir pérdidas por percolación y desnitrificación del nitrógeno mineral y por lo tanto la eficiencia de utilización se reduce notablemente.

Tabla 1.13: Pérdidas de nitrógeno mineral en diferentes épocas del año.

Tipo de estiércol	% de Nitrógeno mineral	Tierras cultivadas		Praderas		
		Primavera	Otoño	Sin pastoreo		Pastoreo
				Primavera	Otoño	
Vacas	40	44	22	30	18	20
Cerdos	50	52	25	38	20	25
Aves	70	66	29	53	24	35
Terneros	80	73	31	60	26	40

Fuente: Iglesias (1995).

E. Método de aplicación.

Según Trinidad (2000), a pesar de que los estiércoles se han estado utilizando por siglos en el abonamiento de los cultivos, todavía hoy en día el uso de ellos es empírico. Las dosificaciones se hacen con base a la experiencia de los productores y de los ensayos simples al observar respuesta favorable de los cultivos.

Para Iglesias (1995), los dos métodos que reducen el contacto con el agua que corre por la superficie del terreno son:

1. La inyección del estiércol en el suelo.
2. El esparcimiento directo sobre la superficie con un ligero enterramiento posterior.

El EV fresco se puede incorporar en los surcos 2 a 3 semanas antes de la siembra. Como restricción general nunca se debe esparcir EV en zonas próximas a orillas de ríos y lagos.

F. Cantidades a aplicar.

Trinidad (2000) menciona que, para conocer la cantidad de EV a aplicar se tiene que tener en cuenta el requerimiento nutricional del cultivo y la tasa de mineralización del EV. Para conocer la cantidad de nitrógeno que se libera en el suelo, con la aplicación de diferentes cantidades de EV por hectárea, consultar la tabla 1.14.

La cantidad de estiércol a aplicar debe estar siempre limitada a la cantidad de nutrientes que requerirá el cultivo. En el presente trabajo se decidió aplicar 5.0 tn.ha^{-1} , siendo un parámetro de máxima efectividad, a partir del cual comienza un efecto depresivo en el cultivo, que puede ocasionar la baja producción del mismo.

Tabla 1.14: Dosificación del EV a través del tiempo.

Dosis de EV (t.ha ⁻¹)	Kilogramos de N liberado			
	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{er} año	4 ^{to} año
2.0	10.5	2.9	1.6	0.7
5.0	26.2	7.3	4.1	1.8
10.0	52.5	14.6	8.3	3.6
40.0	210.0	58.5	33.5	14.5

Fuente: Trinidad (2000).

Tabla 1.15: Cantidades de nutrientes que aportaría el EV seco en 5.0 t.ha⁻¹.

Nutrientes	Año después de su aplicación (kg de nutriente disponible)			
	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{er} año	4 ^{to} año
N total	26.25	7.3	4.15	1.85
P	10.5	2.95	1.65	0.75
K	43.75	12.2	6.9	2.95
Ca	56.0	15.6	8.85	3.95
Mg	14.0	3.9	2.2	0.95
Na	28.0	7.8	4.4	1.95
Micronutrientes	Gramos de micronutrientes aportados			
Zn	228.5	63	36	16
Mn	462	128.5	73	33
Fe	612.5	170.5	96.5	43.5

Fuente: Trinidad (2000).

G. Época de esparcimiento.

Por su parte Iglesias (1995) recomienda que, el estercolado se deba realizar a finales de otoño, enterrando ligeramente tras su aplicación para evitar la contaminación. Un caso de especial riesgo es esparcir el EV sobre suelos helados o nevados, ya que, al fundirse la nieve, el agua arrastrará parte de sus componentes.

En el presente trabajo, el estercolado se realizó un mes antes de la siembra, en el momento de la preparación del terreno, para evitar el gasto en mano de obra adicional.

H. Contaminación producida.

Para Iglesias (1995), las fuentes de contaminación por EV son los estercoleros o la pila donde se almacena antes de su aplicación y la aplicación del EV a la tierra, porque éste sufre pérdidas y estas son el origen de la contaminación que puede producir este producto y por lo tanto, si se controlan estas pérdidas se controla la contaminación producida. La principal forma de contaminación del EV es la polución con nitratos del agua que puede utilizarse posteriormente para consumo como potable, pero no hay que olvidar la posible contaminación que pueden producir los malos olores que desprende.

- **La escorrentía o lixiviación**, de agua por la superficie del suelo, esta escorrentía puede tener dos consecuencias: puede erosionar partículas y puede arrastrar productos contaminantes, como los nitratos. Los factores más importantes que influyen en la escorrentía son:
 1. La pendiente del terreno.
 2. La permeabilidad del suelo.
 3. El paisaje (setos, caminos).
 4. Estado de la cosecha.
 5. Condiciones climáticas.
- **La infiltración o percolación**, la infiltración es el paso del agua a través del suelo llegando a los acuíferos subterráneos, por esta vía también se pueden arrastrar nitratos, con la posible contaminación de estas aguas subterráneas.
- **La volatilización**, la volatilización es el paso de los componentes gaseosos a la atmósfera produciendo contaminación aérea y malos olores mediante el metano que es el gas resultante del proceso de digestión, también se produce por la mineralización del EV el cual es un gas de efecto invernadero que provoca calentamiento atmosférico y su posterior cambio climático.

I. Pautas a seguir para evitar la contaminación.

Iglesias (1995) menciona que, un uso exagerado de EV en cereales puede producir enfermedades en las plantas, en particular cuando éste es fresco. El exceso de EV puede tener una consecuencia similar al aporte de nitrógeno sintético a las plantas, ocasionando una mayor sensibilidad al parasitismo, mala conservación y porcentaje elevado de nitratos en las hortalizas.

Uno de los factores de contaminación es la técnica de redileo en las comunidades altoandinas del distrito de Chiara, donde se produjo la diseminación de la verruga de la papa (*Synchytrium endobioticum*) por la alimentación con tubérculos infectados. La enfermedad traerá consigo la rotación de cultivos por periodos largos de tiempo de 30 años, se recomienda la siembra de pastos asociados como alternativa de solución. En la actualidad se cuenta con ésta producción pecuaria que puede ser explotada sin afectar los ingresos económicos de las familias.

1.3.5.2. Guano de islas (GI).

AGRORURAL (2015) comenta que, el GI son deyecciones de las aves guaneras que habitan las islas y puntas de nuestro litoral, entre las más representativas tenemos al pelícano (*Pelecanus Thagus*), cormorán guanay (*Leucocarbo bougainvilli*), cormorán gris (*Phalacrocorax gaimardi*), piquero peruano (*Sula variegata*), piquero camanay (*Sula nebouxii*), gaviota de cola negra (*Larus belcheri*), gaviota cabecigris (*Chroicocephalus cirrocephalus*), pingüino de humboldt (*Spheniscus humboldt*) y charrán inca (*Larosterna inca*). Es un abono completo, ideal para el buen crecimiento, desarrollo y producción del cultivo. Por la presencia de la corriente de Humbolt se presentan temperaturas moderadas y escasa precipitación, bajo éstas condiciones las deyecciones de las aves marinas se van acumulando y mediante la actividad microbiana se producen diversas reacciones bioquímicas de oxidación que lo dejan parcialmente descompuesto, transformando las sustancias complejas en sustancias más simples liberando en este proceso una serie de sustancias nutritivas como nitratos (NO_3^{-1}), fosfatos (HPO_4^{+1}), calcio, potasio, ácidos húmicos, huminas y humatos.

a. Propiedades.

Tovar y Cabrera (2004), entre las propiedades importantes del GI se tiene las siguientes:

1. Es un abono natural y completo.
2. Es un producto ecológico, no contamina el ambiente.
3. Es biodegradable.
4. Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
5. Es soluble en agua (fracción mineralizada).
6. Presenta propiedades de sinergismo.

b. Características.**• Características físicas.**

AGRORURAL (2015) menciona que, el GI contiene también plumas, restos de aves muertas y huevos de las especies que habitan el litoral y que pasa un proceso de fermentación lenta, lo cual permite mantener sus componentes al estado de sales.

Tovar y Cabrera (2004) explican que, el GI extraído del litoral peruano presenta las siguientes características:

1. El GI se presenta en forma de polvo de granulación uniforme.
2. De color gris amarillento verdoso.
3. Con olor fuerte a vapores amoniacales.
4. Contiene una humedad de 16 a 18%.

• Características químicas.

Tovar y Cabrera (2004) añaden que, al abonar con GI, en promedio el 35% del nitrógeno, fósforo y demás nutrientes están disponibles para ser absorbidos por las raíces de las plantas en forma inmediata. La forma orgánica continúa su mineralización, aportando nutrientes gradualmente durante el crecimiento, desarrollo y producción del cultivo. Sus características son:

1. Nitrógeno (10-14%): 35% nitrógeno disponible [97% amoniacal y 3% en forma nítrica], 65% en forma orgánica.
2. Fósforo (10-12%): en forma de P_2O_5 : 34% fósforo disponible, 66% fósforo orgánico.
3. Potasio en forma de K_2O (2-3%).
4. Calcio expresado en forma de CaO (8%).
5. Magnesio expresado en forma de MgO (0.50%).
6. Azufre (1.5%).
7. Hierro (0.032%).
8. Zinc (0.002%).
9. Cobre (0.024%).
10. Manganeso (0.020%).
11. Boro (0.016%).

- **Características biológicas.**

Para AGRORURAL (2015) y Tovar y Cabrera (2004), el GI aporta microorganismos benéficos que van a incrementar la actividad microbiana notablemente (hongos y bacterias benéficas), entre los microorganismos más importantes se encuentran las bacterias nitrificantes del grupo nitrosomonas y nitrobácter; las nitrosomonas transforman el amonio a nitrito y nitrobácter oxida el nitrito a nitrato, que es la forma como las plantas toman mayormente el nitrógeno del suelo (NO_3^{-1}).

Posee niveles elevados de sal que con el pH ácido de los suelos ocasionan retraso en el crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos susceptibles como en la quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), pastos cultivados y otros cultivos. Favorece la diseminación de las plantas indicadoras de acidez en suelos altoandinos, esta cualidad del GI desarrolló un rechazo de los productores que creen que el GI viene combinado con semillas de éstas plantas de características agresivas de crecimiento y que es muy difícil de erradicar puesto que las raíces y los tallos son muy numerosos.

- c. **Contenido de nutrientes.**

AGRORURAL (2015) menciona que, la disponibilidad de nutrientes del GI, en promedio, son: nitrógeno total 35% en forma disponible (33% es amoniacal y 2% en forma nítrica) y el 65% en forma orgánica.

- **Nitrógeno:** del nitrógeno total, el 35% se encuentra en forma disponible (33% en forma amoniacal y 2% en forma nítrica); el 65% se encuentra en forma orgánica, por mineralizarse.

Tabla 1.16: Formas de nitrógeno en el Guano de Islas.

Formas de nitrógeno	Disponibilidad (%)
Nitrógeno orgánico	65
Nitrógeno disponible	35
Nitrógeno amoniacal	33
Nitrógeno nítrico	2

Fuente: AGRORURAL (2015) y Tovar y Cabrera (2004).

- **Fósforo:** AGRORURAL (2015) discrepa con Tovar y Cabrera (2004) acerca del contenido de fósforo total del GI en que AGRORURAL (2015) sostiene que, el fósforo disponible es 56% (soluble en agua) y el fósforo orgánico 44%, mientras que Tovar y Cabrera (2004) sostienen lo contrario: el fósforo disponible es 34% en forma de ácido fosfórico y el fósforo orgánico 66%.

Tabla 1.17: Formas de fósforo en el Guano de Islas.

Forma de fósforo	AGRORURAL (2015)	Tovar y Cabrera (2004)
Fósforo orgánico (%)	44	66
Fósforo disponible (%)	56	34

Fuente: AGRORURAL (2015) y Tovar y Cabrera (2004).

- **Otros nutrientes:** el GI contiene macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes como hierro (320 ppm), zinc (20 ppm), cobre (240 ppm), manganeso (200 ppm) y Boro.

Tabla 1.18: Contenido de nutrientes en el Guano de Islas.

Elemento	Formula/Símbolo	Concentración (%)
Nitrógeno	N	10-14
Fósforo	P ₂ O ₅	10-12
Potasio	K ₂ O	2-3
Calcio	CaO	8
Magnesio	MgO	0.50
Azufre	S	1.50
Hierro	Fe	0.032
Zinc	Zn	0.002
Cobre	Cu	0.024
Manganeso	Mn	0.020
boro	B	0.016

Fuente: AGRORURAL (2015).

d. Mineralización.

Para Tovar y Cabrera (2004), ocurre desde la acumulación, durante 5 a 6 años, las deyecciones se encuentran en condiciones climáticas de alta humedad relativa y temperaturas promedio de 16°C en invierno y 25°C en verano, estando presente diferentes microorganismos entre hongos y bacterias benéficas que utilizan el GI como sustrato de alimentación, entre los microorganismos más importantes se encuentran las bacterias nitrificantes del grupo nitrosomonas y nitrobácter; las nitrosomonas transforman el amonio a nitrito y el nitrobácter oxida el nitrito a nitrato, que es la forma como las plantas toman mayormente el nitrógeno del suelo (NO_3^{-1}), constituyéndose en millones de laboratorios biológicos que realizan una serie de reacciones bioquímicas de oxidación, transformando los productos complejos (orgánicos) en productos más simples (inorgánicos) que es la forma como las plantas toman los nutrientes.

1.4. LOS MICROORGANISMOS EFICIENTES (ME).

Higa y Parr (1991) mencionan que, los ME han sido usados a lo largo de la historia en diversas áreas como la medicina, ingeniería de alimentos, ingeniería genética y en la protección del medio ambiente. Los ME requieren de condiciones adecuadas para su buen rendimiento: humedad, oxígeno, sustrato, condiciones de pH y temperatura adecuada.

Una nueva clasificación de microorganismos ha sido descrita donde clasifica a ciertos microorganismos como eficientes. Este concepto se ha desarrollado una vez que se logró un cóctel de ME y ha dado muy buenos resultados en diversas áreas. Lo importante es que estos ME son compatibles entre sí y pueden coexistir juntos. Estos ME logran la fermentación de la materia orgánica en vez de deteriorarla. Este cóctel de ME tiene la capacidad de transformar los desechos en residuos no tóxicos y existe un amplio rango de desechos que el ME logra descomponer desde aguas de alcantarillas hasta efluentes tóxicos.

1.4.1. Rol de los ME en los suelos.

- **Químicamente en el suelo.**

Acevedo y Col (2005) opinan que, los ME en el suelo procesan, respiran y mineralizan la materia orgánica y compuestos disponibles, y los hacen disponibles para las plantas.

1. Almacenan nitrógeno para uso de la planta.

2. Hongos mantienen calcio y fósforo para la planta.
3. Los Actinomicetos liberan anticuerpos que protegen las plantas.
4. Liberan enzimas que amortiguan toxinas y problemas de pH.
5. Suministran reguladores de crecimiento.

- **Mecánicamente en el suelo.**

Para Acevedo y Col (2005), los ME en el suelo cumplen un papel mecánico de recuperación de las condiciones físicas del suelo como:

1. Liberan polímeros y azúcares que aglomeran partículas.
2. Abren orificios a través del suelo, permitiendo mejor movimiento de agua y aire.
3. Hacen el suelo más friable.
4. Liberan enzimas que rompen suelos compactados.

1.4.2. Tipos de ME.

Por su parte Higa y Parr (1991) mencionan que, los principales grupos de ME presentes son: bacterias ácido lácticas y levaduras, como población minoritaria están las bacterias fototrópicas, algunos actinomicetos y otros microorganismos.

1.4.2.1. Bacterias fototrópicas (*Rhodospseudomonas spp.*).

Estas bacterias autótrofas sintetizan sustancias útiles como secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos de los desechos (como el sulfato de hidrógeno) usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Los productos sintetizados por estas bacterias son aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares. Estos metabolitos son absorbidos directamente por las plantas promoviendo su crecimiento y desarrollo. Estos productos sintetizados actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos (Higa y Parr, 1991).

1.4.2.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*).

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototrópicas (fotosintéticas) y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador natural que tiene la capacidad de suprimir microorganismos patógenos y acelera la descomposición de la materia orgánica, de igual manera promueve la fermentación de compuestos como lignina y celulosa. Las bacterias ácido lácticas

aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso (Higa y Parr, 1991).

1.4.2.3. Levaduras (*Saccharomyces spp.*).

Las levaduras tienen como función sintetizar sustancias bioactivas como hormonas y enzimas que sirven de sustrato para las bacterias ácido lácticas y los actinomicetos. Todos los microorganismos anteriormente mencionados coexisten y prosperan juntos. Mientras que las bacterias fototrópicas sirven de sustrato para levaduras y bacterias ácido lácticas, al mismo tiempo las levaduras junto con las bacterias ácido lácticas producen sustancias que sirven para el desarrollo de las bacterias fototrópicas (Higa y Parr, 1991).

1.4.2.4. ME solubilizadores de fósforo.

Secretan ácidos orgánicos como ácido láctico, glicólico, acético, cítrico, fórmico y otros, que disuelven fosfatos inorgánicos insolubles como fosfatos tricálcicos y apatitos naturales, y otras formas escasamente solubles de fósforo en el suelo, mediante la disminución del tamaño de sus partículas, reduciéndolas a formas casi amorfas y haciéndolos asimilables para las plantas (Higa y Parr, 1991 y Alexander, 1978).

Para la FAO (2007), los ME solubilizadores de fósforo se clasifican en:

Bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP), que incluyen *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum*, *Bacillus polymyxa*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas striata*, *Agrobacterium sp.*, *Acetobacter diazotrophicus*, etc.

Hongos solubilizadores de fósforo (HSP), incluyen: *Aspergillus awamori*, *Penicillium digitatum*, *Penicillium belaji*, levadura (*Saccharomyces sp.*) etc.

Actinomicetos solubilizadores de fósforo (ASP), incluyen: *Streptomyces sp.*, *Nocardia sp.*

1.4.2.5. Solubilizadores de sales.

Según Alexander (1978), menciona que los ME hacen solubles una gran proporción de sales de hierro, aluminio, magnesio, manganeso y otros.

Catedra (1982) indica que, los ácidos orgánicos oxálico y tartárico son agentes quelatantes que acomplejan calcio, aluminio, hierro, manganeso y cobre, que estuvieron en forma de fosfatos, liberando fósforo. Esta acción es neutralizada por CaCO_3 , siendo este proceso más activo en la zona de las raíces.

1.4.3. Aplicación de los ME.

Higa y Parr (1991) indican que, se aplica en.

- **En semilleros.** Por su efecto hormonal similar al ácido giberélico que favorece la velocidad y porcentaje de germinación, aporta rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal que favorecen el crecimiento y vigor del tallo y raíces, incremento de las probabilidades de supervivencia de las plántulas y otros.
- **En plantas.** Repele insectos parásitos y enfermedades en las plantas, reduce los exudados de las plantas evitando la propagación de organismos patógenos, incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos, induce a la floración, induce a la maduración de frutos e incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.
- **En los Suelos.** Mejora las características físicas, químicas, biológicas y supresión de enfermedades, entre sus efectos se puede mencionar:
 - **Efecto en la condición física del suelo.-** Actúa como un acondicionador, mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduce su compactación, incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración del agua. De esta manera disminuye la frecuencia de riego, siendo los suelos capaces de absorber 24 veces más agua de lo normal, evitando así la erosión por arrastre de las partículas del suelo.
 - **Efecto en las condiciones químicas del suelo.-** Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo solubilizándolo, separando las moléculas que los mantiene fijos, dejando los elementos disgregados en forma simple para facilitar su absorción por el sistema radicular.
 - **Efectos microbiológicos en el suelo.-** Suprime y controla las poblaciones de microorganismos patógenos que se desarrollan en los suelos por competencia, incrementa la biodiversidad microbiana generando las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos nativos prosperen.

1.4.4. Modo de acción de los ME.

Higa y Parr (1991) mencionan que, los diferentes tipos de ME actúan en sinergismo en su ambiente tomando sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los ME para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas. Cuando los ME incrementan su población, se incrementa la actividad de los microorganismos del suelo, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales y suprimiendo microorganismos patógenos.

1.5. LOS PASTOS CULTIVADOS.

Son especies mejoradas que requieren de la intervención de la mano del hombre para poder establecerse en una determinada superficie de terreno.

Pantoja (2001) en su proyecto de investigación obtuvo rendimientos en pasturas asociadas con diferentes niveles de nitrógeno con y sin inoculación para condiciones similares en altitud (Manallasacc a 3,580 m.s.n.m.), pero con 20 aplicaciones de riego por inundación y un abonamiento orgánico de fondo de 500 kg de GI, 200 kg de fosfato di amónico, inoculante RIZOMACK, niveles de nitrógeno (0, 25, 50, 75 y 100 kg), 23 kg de semillas asociadas entre gramíneas y leguminosas: rye grass inglés variedad Nui ($6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), rye grass italiano variedad Tama ($6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), *Dactylis glomerata* variedad Wana ($5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); y las leguminosas: trébol rojo variedad Quiñequeli ($4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y trébol blanco variedad Huia ($2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); en un porcentaje de 74 y 26% de gramínea – leguminosa por ha, distribuido al voleo y tapado con rastrillo. Se realizó tres cortes desde la siembra de 4 y 5 meses respectivamente. Su primer corte se realizó 240 días después de la siembra.

Tabla 1.19: Rendimiento de materia seca de la asociación.

Inoculante	Nitrógeno kg.ha ⁻¹	Promedio de la MS t.ha ⁻¹			Promedio
		1º corte	2º corte	3º corte	
Con	0	3.214	8.088	1.384	4.229
Con	25	2.545	7.128	1.624	3.766
Con	50	2.732	8.436	1.325	4.164
Con	75	4.197	4.921	1.349	3.489
Con	100	4.677	4.589	1.411	3.559
Sin	0	3.434	3.896	1.512	2.947
Sin	25	3.546	3.145	0.917	2.536
Sin	50	4.337	3.139	0.811	2.762
Sin	75	4.066	2.434	0.977	2.492
Sin	100	4.091	2.058	1.337	2.495

Fuente: Pantoja (2010); N: nitrógeno, MS: materia seca

1.5.1. Características de una planta forrajera.

Florián (2009) y Alarcón (2007) concuerdan en afirmar que, las características de una buena planta forrajera son:

1.5.1.1. Debe ser palatable o apetecible por el ganado.

El grado de gustocidad de una planta varía con el tipo de ganado, pues las distintas especies de animales aprecian de diferente forma un mismo pasto.

1.5.1.2. Nutritiva y digestible.

La composición de una planta forrajera debe ser tal, que la relación de proteína - fibra sea de 1:2 que es la más conveniente. La calidad de estos elementos hace variar la calidad y la digestibilidad.

1.5.1.3. No debe ser tóxica.

Debe estar libre de sustancias que puedan ocasionar trastornos o la muerte del animal. Algunas leguminosas, como el trébol rojo (*Trifolium pratense*), blanco (*Trifolium repens*) y alfalfa (*Medicago sativa L.*) usadas antes de la floración, pueden provocar ciertos trastornos de toxicidad.

1.5.1.4. Producir altos rendimientos.

Tienen que tener ciertas condiciones para producir altos rendimientos de MS y recuperarse con facilidad y rapidez. El rendimiento de una especie forrajera depende de los siguientes factores:

1. Intrínsecos. Que están relacionados con la constitución genética.
2. Extrínsecos. Relacionado al medio ambiente tales como la luz, temperatura, humedad, etc.

1.5.1.5. Que sea perenne y rústica.

La especie forrajera perenne disminuye los costos de producción y hace posible la utilización de ella en periodos más largos. El poseer cierta rusticidad permite que resista el pastoreo y pisoteo de los animales, el corte frecuente y las condiciones ecológicas del medio, para que no sea invadida por especies de inferior calidad.

1.5.1.6. Adaptación al medio.

Tiene que ser una especie que responda positivamente a la relación ambiente – suelo, clima.

1.5.1.7. Fácil establecimiento.

La especie tiene que ser de fácil establecimiento y manipulación en el proceso de siembra, y durante su manejo productivo.

1.5.1.8. Capacidad para producir semilla.

La especie utilizada tiene que tener la capacidad de producir semilla y competir con las malezas.

1.5.2. Preparación del terreno.

Según Florián (2009), el terreno para la siembra de pastos debe estar bien mullido debido a que las semillas son de tamaño pequeño, así poder permitir la emergencia de las plántulas y rápido establecimiento.

1.5.3. Manejo de los pastos cultivados.

Para Faría (2006), es necesario un manejo racional del suelo, pasto y animal entre otras

cosas evitando el sobrepastoreo, ajustando la carga animal, adecuando los sistemas de pastoreo e incorporando nutrientes al suelo para mejorar la eficiencia de utilización de los pastos cultivados en términos biológicos y ecológicos.

1.5.4. Cortes de los pastos cultivados.

Faría (2006) y Lemus (2002) mencionan que, para establecer los pastos cultivados en el terreno definitivo y no afectar la composición florística por malas prácticas agronómicas se debe tener en cuenta los cortes:

- **Corte de establecimiento.** Para establecer los pastos cultivados es necesario esperar que la asociación fije bien sus raíces en el suelo después de la emergencia por lo menos unos 5 a 6 meses.
- **Corte de mantenimiento.** Los cortes posteriores al establecimiento, no requieren de mucha atención ya que pueden ser pastoreados y evitar el costo que ocasionaría la mano de obra en ésta actividad.

1.5.5. Tipos de pastos mejorados.

MASAL (2010) menciona que, existen muchas especies y variedades de pastos mejorados, de acuerdo a la experiencia en varias regiones de la sierra peruana, los más recomendados son:

- El rye grass Inglés.
- El rye grass Italiano.
- El trébol blanco.
- El trébol rojo.

1.5.5.1. Rye grass italiano, variedad Grassland Tama.

Según MASAL (2010), variedad tetraploide de mayor producción durante los dos primeros años, al corte produce más y por más años, las hojas son anchas a comparación con el rye grass Inglés, tienen mayor área foliar y puede ser utilizada al corte como al pastoreo. Demanet (2009) opina que, el rye grass italiano (*Lolium multiflorum* L.) de variedad Grassland Tama ($4n = 28$ cromosomas), posee la categoría tetraploide que indica que la especie posee hoja ancha y contenido celular abundante (suculento).

I. Origen.

Para Demanet (2009), es un cultivar tetraploide originario de Nueva Zelanda a partir de líneas holandesas diploides del tipo westerwolds tratadas con colchicina, a fines de 1940 se estabilizaron en una población que recibió el nombre de Grasslands 4707. El cultivar se sometió a prueba en 1965 y se puso en libertad en 1968 con el nombre de Grasslands Tama. Las semillas certificadas estuvieron disponibles en el mercado a partir del año 1970. Se adapta a zonas comprendidas entre 2000 y 3200 m.s.n.m., pero prospera mejor entre los 2200 a 3000 m.s.n.m., expresando todo su potencial genético.

Tabla 1.20: Origen de variedades de rye grass italiano tetraploide.

Cultivar	Origen	Ploidía	N° de semilla/kg	Floración
Adrenalina	Francia	4n	250,000	Precoz
Andy	Dinamarca	4n	250,000	Precoz
Bill	Argentina	4n	260,000	Precoz
Tama	Nueva Zelanda	4n	250,000	Precoz
Winter star	Nueva Zelanda	4n	262,922	Precoz

Fuente: Demanet (2009).

II. Importancia.

Demanet (2009) también aporta que, en los Estados Unidos, está tomando importancia por su uso en forraje, mejorador de suelo, defensa contra la erosión, producción de semillas, etc. Produce en periodos de escasez, invierno y verano. Es una buena alternativa por ser una especie de rápido establecimiento, alta producción y excelente calidad de forraje. Generan solo o asociado un buen volumen de forraje para utilización temprana de otoño e invierno, además de lograr un rendimiento superior en la primavera para elaborar un ensilaje de alta calidad.

III. Características.

Cadenillas (1990) opina que, es de rápida maduración, con un periodo vegetativo de 70 a 80 días, es cespitosa, es decir crecen en matas espesas en grupos aislados con numerosos macollos, los tallos crecen de 50 a 60 cm aproximadamente, son cilíndricos, firmes y erectos con nudos largos, forma hojas grandes y suculentas de

color verdoso, la inflorescencia presenta espigas de 20 a 40 cm de largo, delgada y débil con espiguillas que contienen 10 a 20 florecillas, las semillas miden 8 mm, con 250,000 semillas por kilogramo (0.004 g/semilla), generalmente tienen barba, se desprende fácilmente y caen al terreno, tiene un alto porcentaje de germinación, pueden crecer a bajas temperaturas de 4 a 5°C, es exigente en humedad, aunque soporta ciertos límites de sequía, se caracteriza por su crecimiento rápido después de las ciegas o el pastoreo, es necesario renovarlas cada 2 años. Los principales cultivares comercializados en la zona sur de Chile, son de origen Europeo y Neocelandés, no poseen hongo endófito y todos son tetraploides, es decir, de hoja ancha y alto contenido celular (suculentos).

IV. Clasificación taxonómica.

DIVISIÓN	: Espermatofita
SUBDIVISIÓN	: Angiospermas
CLASE	: Monocotiledoneas
ORDEN	: Glumiflorales
FAMILIA	: Gramineae
GENERO	: <i>Lolium</i>
ESPECIE	: <i>Lolium multiflorum</i> L.
NOMBRE VULGAR	: Rye grass italiano, pasto Ballico.
VARIEDAD	: Grassland Tama

V. Fertilización.

Demagnet (2009) explica que, para lograr un rendimiento superior a 14 toneladas de MS.ha⁻¹, requiere una fertilización por hectárea de 180 kg de nitrógeno, 180 kg de fósforo, 180 kg de potasio, 60 kg de magnesio, 60 kg de azufre y 1 kg de boro. La enmienda es una labor que debe ser incorporada al cultivo con el objetivo de lograr un mejor ambiente para las plantas y neutralización del incremento de acidez que genera la aplicación de fertilizantes acidificantes.

Bajo condiciones de pastoreo otoño – invierno y corte de ensilaje en primavera, se requiere al menos la aplicación anual de 161 kg de nitrógeno, 77 kg de azufre, 77 kg de potasio y 63 kg de magnesio, por hectárea.

VI. Siembra.

Según Demanet (2009), en siembra sola con labranza convencional se utiliza $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla y en labranza cero $35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla, pero en siembra asociada se utiliza $15 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de semilla, la siembra labranza cero permite el ingreso temprano de los animales en pastoreo. La siembra se debe realizar en polvo o después de las primeras lluvias de fines de verano, en el mes de enero, febrero o marzo. Las gramíneas requieren de una profundidad de siembra de 2.5 cm, mientras que las leguminosas no deberían profundizarse más de 1.5 cm, debido al tamaño de la semilla.

VII. Manejo agronómico.

Entre las principales actividades agronómicas está el control de malezas y la utilización del cultivo. El rendimiento varía en función de factores generales de la productividad como clima, suelo, planta, hombre y tiempo.

- **Control de Malezas.** Las ballicas anuales son plantas de alta agresividad, poseen un alto grado de competitividad con las especies residentes. Si un productor se enfrenta a un problema de invasión de una poásea debe realizar un tratamiento de sombreado de las plantas de poa, disminuyendo la frecuencia de utilización de la pastura en el periodo de otoño – invierno.
- **Utilización.** Se puede utilizar en pastoreo y corte para ensilaje, heno o alimentación estabulada. El manejo de pastoreo debe ser con cerco eléctrico en franjas para evitar pérdidas en la producción. La intensidad de pastoreo es diferente a las ballicas perennes y se recomienda siempre dejar un residuo entre 7 a 10 cm de altura sin disturbar, con el objetivo de lograr una mayor velocidad de recuperación post corte.

VIII. Valor nutritivo.

Posee alta digestibilidad y buen contenido de carbohidratos solubles, en estado vegetativo tienen un nivel de proteína de 18% a 28%, energía metabolizable 2.5 a 2.7 $\text{Mcal}\cdot\text{kg}^{-1}$, digestibilidad superior a 70% y fuente de nitrógeno entre 36% y 45% (Demanet, 2009).

1.5.5.2. Trébol rojo, variedad Quiñequeli - INIA.

i. Origen.

El trébol rojo o rosado (*Trifolium pratense L.*) es una leguminosa originaria de Europa y fue introducida a Chile en la década de los 50, el Instituto de Investigaciones Agrarias (INIA - CHILE) quien inició ese mismo año un trabajo de mejoramiento genético del trébol rojo, el cual permitió en 1962 liberar al mercado el cultivar Quiñequeli – INIA. Creado por un grupo de investigadores liderado por el doctor Raúl Avendaño.

Tabla 1.21: Cultivares de trébol rojo.

Cultivar o variedad	Origen	Nº de semillas/kg	Precocidad
Quiñequeli – INIA	Chile	473,335	Intermedia
Redqueli – INIA	Chile	468,897	Intermedia
Red gold	USA	540,249	Precoz
Toitén	Chile	500,501	Intermedia

Fuente: Demanet (2009).

ii. Importancia.

Para Demanet (2009), la versatilidad de alta productividad en el periodo estival, hábito de crecimiento erecto, buena tolerancia a periodos de stress hídrico, fijación biológica de N, alto nivel de proteína digestible y buen contenido de minerales. En Chile es la única especie que posee un cultivar certificado y protegido, cuya semilla no sólo es producida para el consumo nacional sino para la exportación a países de América Latina.

iii. Características.

MASAL (2010) y Demanet (2009) coinciden en mencionar que, se cultiva asociado con rye grass, tiene mayor área foliar, sistema radicular profundo, buena producción de forraje, es de establecimiento rápido, buena capacidad de rebrote, sensible al pastoreo en el primer año, puede ser utilizado al pastoreo, es recomendable que se use al corte, tolera las heladas, resistencia a enfermedades de la corona y mejora el valor nutritivo de la pastura. También se adapta hasta 2,200 a 3,900 m.s.n.m., densidad de siembra de 5 a 7 Kg.ha⁻¹ en asociación, duración de pradera de 1 a 3 años según

manejo, intervalo de corte cada 45 a 60 días dependiendo del desarrollo del cultivo. Según Demanet (2009), tiene buen crecimiento, resistencia a enfermedades foliares, numerosos tallos vigorosos y erectos y hojas grandes vigorosas que soportan bien los cortes, muy palatable, gran calidad nutricional y excelente rendimiento en ensilaje. En el Perú se ha adaptado muy bien en las regiones alto andinas, superando a las otras por lo que su siembra se incrementa cada año, se asocia bien con las gramíneas, alcanza rendimiento de 13 a 15 t.ha⁻¹ de MS por año en condiciones de riego. Prospera bien en suelos con pH de 5.8 a 6.7, tolera también pH de hasta 4.2.

Sus hojas son trifoliadas y cubiertas de finos vellos, la inflorescencia es un capítulo globular con flores de color rosado a púrpura y la cantidad de semillas por gramo fluctúa entre 500 y 600, la raíz es pivotante y profunda con muchas ramificaciones laterales que le confiere resistencia a los periodos de déficit hídrico. Las raíces laterales se concentran en los primeros 15 centímetros de profundidad y en ellas se encuentran nódulos con los rizobios (*Rhizobium leguminosarum BV.trifolii*), que permiten la fijación biológica de nitrógeno. Presenta crecimiento con temperaturas entre 7 y 30°C. Especie entomófila, es polinizada por moscardones o abejorros de proboscis larga como son los himenópteros *Bombus dahlbomi* y *Bombus ruderatus*, debido a que la flor posee una corola con un tubo de gran longitud.

iv. Clasificación taxonómica.

REINO	: Plantae.
SUBREINO	: Yraquebionta (planta vascular).
SUPERDIVISIÓN	: Spermatophyta (plantas con semillas).
DIVISIÓN	: Magnoliophyta (plantas con flor).
SUBDIVISIÓN	: Angiospermas.
CLASE	: Magnoliopsida (dicotiledóneas).
ORDEN	: Fabales.
FAMILIA	: Fabaceae.
GENERO	: Trifolium.
ESPECIE	: <i>Trifolium pratense</i> L.
NOMBRE VULGAR	: Trébol rojo, trébol rosado.
VARIEDAD	: Quiñequeli - INIA

v. Fertilización.

Para Bernal (2005), junto con el carbono, hidrógeno y oxígeno, se reconocen una serie de elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Unos son necesarios en mayor cantidad y se los llama macro nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio. A estos elementos se les deben sumar aquellos necesarios en cantidades menores y que se llaman micro nutrientes: hierro, manganeso, zinc, molibdeno, cloro, sodio, cobre, boro, selenio, cobalto y níquel.

Demagnet (2009) recomienda que, previo a la siembra se encale con una relación 1:1 de dolomita y yeso. A la siembra se debe aplicar 100 kg de nitrógeno, 180 kg de P₂O₅, 100 kg de K₂O, 80 kg de MgO, 80 kg de azufre y 2 kg de boro. Para lograr un rendimiento superior a 12 t.ha⁻¹ de MS requiere, 180 kg de fósforo, 180 kg de potasio, 80 kg de magnesio, 80 kg de azufre, 2 kg de boro.

vi. Siembra.

Demagnet (2009) menciona que, se establece solo o asociado a rye grass, en siembras de labranza cero es necesario incrementar en 20% la dosis de semilla del trébol rojo y 30% la dosis de rye grass de rotación. En rye grass de rotación se consideran rye grass bianuales e híbridas tetraploides.

Tabla 1.22: Dosis de siembra de pastos asociados por hectárea.

Especie	Trébol rojo	Rye grass	Avena
Trébol solo	12		
Trébol + Rye grass	10	15	
Trébol + rye grass + <u>Avena sativa</u>	10	15	80
Trébol + rye grass + <u>Avena strigosa</u>	10	15	40
Trébol + <u>Avena sativa</u>	10		80
Trébol + <u>Avena strigosa</u>	10		40

Fuente: Demagnet (2009).

vii. Manejo agronómico.

Solo o asociado, el control químico de especies de hoja ancha se debe realizar cuando

las plantas de trébol posean dos hojas verdaderas (trifoliadas), con 62.5 gramos de Preside + 0.5 litros de Venceweed por hectárea en 150 litros de agua (Demagnet, 2009).

viii. Valor nutritivo.

El trébol rojo es de alto valor nutritivo en ensilaje premarchito puede alcanzar valores de 20% de proteína y 2.5 Mcal.kg⁻¹ de EM. En estado fresco y vegetativo las plantas presentan un contenido de proteína superior a 20%, EM entre 2.3 y 2.5 Mcal.kg⁻¹ y FDN inferior a 40% (Demagnet, 2009).

1.5.5.3. Alfalfa, variedad Súper lechera.

Según García (2002), la alfalfa (*Medicago sativa L.*), gracias a su capacidad para captar N molecular gaseoso, produce semillas con una gran cantidad de proteínas, que son los compuestos estructurales de las células vivas. Pertenecen a la familia de las dicotiledóneas porque su semilla posee dos cotiledones.

a). Origen.

Para Gonzales (2002), conocida como mielga, la palabra “medicago” con el que se la denominó al ser clasificada por Linneo, procede del vocablo griego “medike” o Media (región de Italia), país donde la planta sería originaria, y que muy pronto sería cultivada como alimento para ganado, como se deduce de la denominación de “sativa” que en latín significa cultivada.

b). Importancia.

Faría (2006) opina que, la producción y productividad ganadera mejora sustancialmente cuando se dispone de forraje suficiente y nutritivo que satisfaga los requerimientos nutricionales del animal a bajo costo. En ello las leguminosas forrajeras tolerantes a la sequía están llamadas a cumplir un papel preponderante debido, entre otras cosas, a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, producir un forraje rico en proteínas con abundantes minerales y muy nutritivas que se traduce en mayor productividad animal y mejores beneficios económicos.

c). Características.

García (2002) menciona que, las características morfológicas de la alfalfa se basan en

el hábito de crecimiento, sistema radicular, tallos, hojas, inflorescencia, fruto, semilla, peso de 1000 semillas, entre otros.

- **Hábito de crecimiento**, es herbáceo de porte erecto y semi erecto, ramificada.
- **Sistema radicular**, la raíz principal es pivotante de 2 a 3 metros, hasta 9 a 11 metros de longitud, con distinto grado de raíces laterales.
- **Los nódulos**, son formados por bacterias del género *Rhizobium* que son simbióticas con la planta.
- **El tallo**, erguido, semi erguido y herbáceo, la corona es sub leñosa que posee numerosas yemas de renuevo midiendo hasta 0.20 m de diámetro.
- **Las hojas**, son pinnado trifoliadas y presentan características bien definidas distinguiéndose en ellas la lámina compuesta o foliolos, pecíolos, estípula y son alternas. Los folíolos son de color verde oscuro, con el tercio superior del borde finamente dentado, de pecíolo acanalado, su forma puede ser variable. Posee estípulas soldadas en la base del pecíolo, triangular, dentadas.
- **Inflorescencia**, la inflorescencia está compuesta por un gran número de flores pequeñas, cortamente pediceladas, con cáliz campanulado con 5 dientes casi iguales. La corola es papiloidea azul violácea, excepcionalmente blanca, de aprox. 1 cm. de longitud.
- **El fruto**, es una vaina plegada sobre sí misma en espiral, de 1 a 4 vueltas, castaña o negruzca a la madurez. Tardíamente dehiscente sin elasticidad, con varias semillas a la madurez.
- **La semilla**, son pequeñas de forma arriñonada y de tegumento amarillo a castaño, los dos cotiledones proporcionan nutrientes al embrión y pueden fotosintetizar antes de que aparezcan las hojas verdaderas.
- **Peso de 1000 semillas**, sirve para poder determinar la dosis de siembra y así poder determinar la composición florística adecuada para sembrar. Este parámetro para la alfalfa es 2.2 g.

d). Clasificación taxonómica.

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida

ORDEN	: Fabales
FAMILIA	: Fabaceae
GENERO	: Medicago
ESPECIE	: <i>Medicago sativa L.</i>
NOMBRE VULGAR	: Alfalfa, mielga, alfalce, alfaz, lucerna.
VARIEDAD	: Súper lechera

e). Fertilización.

Gonzales (2002) explica que, la fertilización recomendable en nitrógeno 0%, fósforo 150% y potasio 50%, con la recomendación de utilizar análisis de suelo preferentemente.

f). Siembra.

Nuevamente Gonzales (2002) recomienda que, la siembra debe hacerse en un terreno bien preparado (mullido), al voleo o en surcos. También se recomienda usar inoculante Rhizomack (a base de bacterias del género *Rhizobium* que se venden en el programa de pastos y ganadería de la UNSCH). En casos de suelos ácidos encalar un mes antes de la siembra.

g). Manejo agronómico.

Spain (1985) propuso una estrategia de manejo flexible que, para avanzar en la comprensión del manejo de las pasturas mixtas, en ella plantea el ajuste de la carga y la frecuencia de pastoreo dependiendo de dos parámetros del pastizal:

1. La carga se ajusta cuando la proporción de leguminosas alcanza el límite prefijado.
2. La frecuencia de pastoreo se ajusta cuando la proporción de leguminosas alcanza el límite seleccionado.

h). Valor nutritivo.

Según Gonzales (2002), la alfalfa en seco contiene indicios de zinc, níquel, estroncio, plomo, paladio y molibdeno 2.6 ppm, ácido nicotínico 5 mg y ácido pantoténico 3.3 mg. También presenta enzimas como la lipasa (hidroliza las grasas), amilasa (descompone los almidones), coagulasa (coagula la leche), emulsina (actúa sobre los azúcares), invertasa (convierte el azúcar de caña en dextrosa), peroxidasa (efecto

oxidante sobre la sangre), pectinasa (forma una jalea vegetal a partir de pectinas) y proteasa (dirige las proteínas).

Tabla 1.23: Composición química promedio de la alfalfa seca.

Composición	%	Minerales	Mg/100 g	Vitaminas	Cantidad
Proteínas	18	sodio	150	Vitamina A	44,000 UI
Grasa o lípido	3	potasio	2,000	Vitamina C	176 mg/100
Hidratos de carbono	40	calcio	1,750	Vitamina D	g
Humedad	7	hierro	35	Vitamina E	1,040 UI
Fibra	25	cobalto	2.4	Vitamina K	50 UI
Minerales	18	fósforo	250	Tiamina	15 UI
Calorías	0.24	azufre	290	Rivoflavina	0.8 mg
		magnesio	310	Vitamina B ₆	1.8 mg
		manganes	5	Inositol	1.0 mg
		o	2	Biotina	210 mg
		cobre	280	Vitamina	0.033 mg
		cloro	4.7	B ₁₂	0.3 mg
		boro		Ácido fólico	0.8 mg

Fuente: Gonzales (2002).

Santana (2009) reporta que, los valores de rendimiento de alfalfa en la comunidad de Intihuasi, del distrito de Chiara a 3480 msnm, con un pH de 5.80 (moderadamente ácido) y materia orgánica de 5.96% (nivel óptimo); con rendimientos especificados más adelante. Se utilizó roca fosfórica, GI y una fertilización de fondo 20 – 130 – 3% de N - P₂O₅ - K₂O por hectárea, fertilización de mantenimiento anual de 10-60-2% de N - P₂O₅ - K₂O y una inoculación de RIZOMACK de 0.25 kg por 20 kg de semilla. Por objetos de contraste se consideró los resultados de Intihuasi, por asemejarse al trabajo de tesis. La densidad de siembra fue de 25 kg.ha⁻¹. La siembra se realizó el 30/12/2006, el primer corte a 120 días después de la siembra, con 4 a 6 cortes al año y 90 a 50 días de intervalo de corte. Aplicación de riego cada 15 días. Según estos datos obtenidos, el máximo rendimiento se dio por la variedad W550 de 6.65 t.ha⁻¹, frente a la comunidad de Ñuñunhuaycco con 21.757 t.ha⁻¹.

Tabla 1.24. Rendimiento de materia seca de variedades de alfalfa.

Rdto (t.ha ⁻¹)	Variedades de alfalfa (t.ha ⁻¹)							
	W550	SW8210	Alta sierra	SW9720	CUF101	Moapa 69	Ranger	W350
MAX	6.65	6.00	5.60	6.10	5.80	5.50	4.20	6.40
MIN	4.95	3.95	4.30	3.50	3.80	3.20	3.00	4.80
Cortes al año	6	6	6	6	5	5	4	4

Fuente: Santana (2009); Rdto: rendimiento.

Tabal 1.25: Composición alimenticia de la alfalfa al 10% de floración.

Determinación	Tal como ofrecido	Base seca
MS (%)		
Coefficiente de digestibilidad in vitro MS (%)	26.1	100
Materia orgánica (%)	64.0	64.0
Ceniza (%)	23.1	88.6
Fibra cruda (%)	3.0	11.4
Extracto etéreo (%)	7.4	28.4
Extracto libre de nitrógeno (%)	0.7	2.70
Proteína (%)	9.1	34.8
Proteína digestible en vacunos (%)	5.9	22.7
Paredes celulares (Van Soest) (%)	4.5	17.2
Celulosa (Van Soest) (%)	14.1	53.9
Fibra ácido detergente (%)	7.1	27.1
Hemicelulosa (%)	8.7	33.4
Lignina (%)	5.3	20.5
Energía digestible para vacunos (Mcal/kg)	1.5	5.60
Energía metabolizable en vacunos (Mcal/kg)	0.69	2.66
Energía neta de mantenimiento para vacuno (Mcal/kg)	0.57	2.18
Energía neta de ganancia de peso en vacuno (Mcal/kg)	0.34	1.29
Energía neta de ganancia de peso en vacuno (Mcal/kg)	0.18	0.67
Energía neta de ganancia de peso en vacuno (Mcal/kg)	0.38	1.45
Energía neta en lactación en vacuno (Mcal/kg)	15.7	60.4
Nutrientes digestibles totales para vacuno (%)		

Fuente: Gonzales (2002).

1.5.4. Degradación de los pastos asociados.

Por otro lado Bojórquez y Ordóñez (2004) explican que, una pastura perenne se degrada cuando su cobertura o porcentaje en la composición florística total disminuye significativamente por: la pérdida de fertilidad de los suelos, falta de fertilización de mantenimiento, falta de control de malezas, de riegos frecuentes; por compactación del suelo debido al sobrepastoreo, así como invasión de malezas y pastos naturalizados poco deseables, como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que invade las pasturas a través de semilla vegetativa (rizomas y estolones) y botánica.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El presente trabajo de investigación se desarrolló en terrenos agrícolas correspondiente a tres localidades de los distritos de Chiara, Los Morochucos y Vinchos, de la provincia de Huamanga – Región Ayacucho, ubicados entre los 3340 y 3650 msnm. A continuación, una descripción de cada una de estas localidades:

2.1.1. Condorpaqcha.

Ubicada en el distrito de Vinchos, a aproximadamente 45 kilómetros de la ciudad de Ayacucho, por la carretera Ayacucho – Chuschi, a una altitud de 3340 msnm. Los suelos son de textura franco arcillosa, clima frío y seco con temperaturas que varían entre 24°C y -2°C entre el día y la noche, de pendiente ligera entre 3 y 5%. La precipitación anual promedio es de 580 mm, localizada en la zona de vida natural de la región quechua. Es una característica cuenca lechera por la cantidad de ganado de doble propósito de la raza Brown Swiss que se cría en ésta zona. El suelo donde se instaló el experimento estuvo cultivado en campañas anteriores con papa nativa. Zona apta para la siembra de papa y quinua.

2.1.2. Condorccochoa.

Ubicada en el distrito de Chiara a aproximadamente 30 kilómetros de la ciudad de Ayacucho, por la carretera Ayacucho – Cangallo, a una altitud de 3580 msnm. Los suelos son de textura franca, clima frío y seco con temperaturas que varían entre 25°C y -6°C entre el día y la noche, de pendiente entre 30 y 35%. La precipitación anual promedio es de 580 mm, localizada en la zona de vida natural de la región quechua. Es una cuenca lechera por la cantidad de ganado de doble propósito de la raza Brown Swiss que se cría en esta zona. El suelo donde se instaló el experimento estuvo en descanso.

2.1.3. Ñuñunhuaycco.

Ubicada en el distrito de Los Morochucos a aproximadamente 45 kilómetros de la ciudad de Ayacucho, por la carretera Ayacucho – Pampa Cangallo, a una altitud de 3650 msnm. Los suelos son de textura franco arcillosa, clima frío y seco, con temperaturas que varían entre 24°C y -6°C entre el día y la noche, de pendiente entre 10 y 20%. La precipitación anual promedio es de 580 mm, localizada en la zona de vida natural de la región quechua. Es una cuenca lechera por la cantidad de ganado de doble propósito de la raza Brown Swiss que se cría en la zona. El suelo donde se instaló el experimento estuvo cultivado en campañas anteriores con papa comercial.

2.2. MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

2.2.1. Equipos y herramientas

1. Pala y pico.
2. 20 hoces para muestrear la parcela demostrativa.
3. Bolsas para muestrear pastos cultivados asociados, de 50 por 75, dos millares.
4. Bolsas selladoras para muestreo de suelos, un ciento.
5. Platos de tecnoport para hacer secar las muestras de suelos, un ciento.
6. Plumones marcadores.
7. Rafia.
8. Cajas de cartón para separar las muestras de forraje después del corte, 100 cajas.
9. Balanza analítica para pesar las muestras.
10. GPS satelital de 78s para geo referenciar la parcela demostrativa.
11. Peachímetro manual para evaluar la variación del pH post encalado.
12. Catéteres de limpieza del peachímetro, para evitar errores en la lectura.
13. Alquiler de camioneta para recoger las muestras de pastos cultivados.
14. Pilas recargables para los instrumentos eléctricos.
15. Estacas para marcar los límites de las parcelas.
16. Cuerdas para demarcar los tratamientos.
17. Cerco eléctrico con panel solar.
18. Estufa eléctrica para la determinación de MS de la muestra.
19. Maquinaria agrícola (tractor).
20. Metro cuadrado de madera, rastrillo.

21. Flexómetro para medir la altura de la planta.
22. Germinador.
23. Laptop, cámara digital y computadora estacionaria.
24. Tela tul, arroz graneado y táperes para preparar las trampas de los ME.
25. Melaza de caña, agua y licuadora para la preparación de la solución de ME.
26. Recipientes para fermentar la melaza con los ME.

2.2.2. Insumos.

1. Semilla de rye grass italiano, variedad grassland tama ($16 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).
2. Semilla de trébol rojo, variedad quiñequeli ($6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).
3. Semilla de alfalfa, variedad súper lechera ($4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).
4. Abonos: GI ($2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) y EV ($5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).
5. Enmienda dolomita ($5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).
6. Solución de ME ($4 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$).

2.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

2.3.1. Análisis de calidad de semilla.

Antes de sembrar se realizó el análisis de viabilidad de las semillas, calidad física y pureza varietal:

	Alfalfa	Rye grass	Trébol rojo
Pureza física (%)	99	99	99
Germinación (%)	98	98.5	97.5

Estos análisis se realizaron con 4 repeticiones en el Laboratorio de semillas del Programa de investigación de Pastos y Ganadería.

2.3.2. Análisis del suelo.

Antes de proceder a la siembra de los pastos se efectuó el análisis físico químico de las muestras de suelos de las parcelas en las comunidades de Condorccocho, Ñuñunhuaycco y Condorpaqcha; estas corresponden a la capa arable (20 cm de profundidad), la toma de muestra consistió en tomar sub muestras en diferentes puntos y finalmente se obtuvo una muestra compuesta representativa para llevar al laboratorio.

Tabla 2.1: Resultado del análisis de caracterización del suelo de Condorcoccha.

Inicio del experimento										
N°	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
01	4.28	0.54	4.7	0.28	11.3	283	25.6	3.94	1.20	22
Primer año										
D t.ha ⁻¹	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
5.00	5.28	0.57	9.9	0.48	22.7	44.0	23.1	9.34	2.53	55.8
2.50	4.45	0.55	9.7	0.47	22.4	33.0	23.3	5.12	1.88	29.4
0.00	4.25	0.52	9.9	0.50	22.1	32.0	22.2	3.86	1.11	24.1

Fuente: Laboratorio Agrolab.

El cuadro 2.1, muestra que se elevó el pH en los tratamientos 1 y 2 (5.0 t.ha⁻¹) y los tratamientos 3 y 4 (2.5 t.ha⁻¹). Por otro lado se nota el incremento de calcio, magnesio y fósforo, siendo de mayor incremento las parcelas 1 y 2. Por otro lado el incremento del % SB en las parcelas 1, 2 y 3, 4. El porcentaje de materia orgánica también se incrementó porque se utilizó un abonamiento orgánico de fondo.

El cuadro 2.2, muestra que se elevó el pH en los tratamientos 1 y 2 (5.0 t.ha⁻¹) y los tratamientos 3 y 4 (2.5 t.ha⁻¹). Por otro lado se nota el incremento de calcio, magnesio y fósforo, siendo de mayor incremento las parcelas 1 y 2. Por otro lado el incremento del % SB en las parcelas 1, 2 y 3, 4. El porcentaje de materia orgánica también se incrementó porque se utilizó un abonamiento orgánico de fondo.

El cuadro 2.3, muestra que se elevó el pH en los tratamientos 1 y 2 (5.0 t.ha⁻¹) y los tratamientos 3 y 4 (2.5 t.ha⁻¹). Por otro lado se nota el incremento de calcio, magnesio y fósforo, siendo de mayor incremento las parcelas 1 y 2. Por otro lado el incremento del % SB en las parcelas 1, 2 y 3, 4. El porcentaje de materia orgánica también se incrementó porque se utilizó un abonamiento orgánico de fondo.

Tabla 2.2: Resultado del análisis de caracterización del suelo de Ñuñuyhuaycco.

Inicio del experimento										
N°	pH (1:2.5)	C.E. (1:2.5) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
02	4.94	0.12	5.0	0.35	14.4	100	24.6	6.88	2.07	38
Primer año										
D t.ha ⁻¹	pH (1:2.5)	C.E. (1:2.5) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
5.00	6.24	2.15	9.6	0.56	22.5	295	25.2	15.41	4.28	88.3
2.50	5.97	2.12	7.9	0.49	17.2	241	21.2	12.31	3.82	87.8
0.00	5.22	1.02	5.7	0.40	14.2	217	20.8	11.96	3.08	83.9

Fuente: Laboratorio Agrolab.

Tabla 2.3: Resultado del análisis de caracterización del suelo de Condorpaqcha.

Inicio del experimento										
N°	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
03	4.58	0.53	3.7	0.23	55.8	261	20.0	6.80	1.83	46
Primer año										
D t.ha ⁻¹	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m ⁻¹	MO (%)	N (%)	P ppm	K ppm	CIC meq/ 100g	meq/100 g.		SB (%)
								Ca ⁺²	Mg ⁺²	
5.00	5.82	1.34	7.1	0.36	53.8	207	24.8	15.82	2.77	90.9
2.50	5.80	1.17	6.9	0.35	48.6	203	19.9	12.75	2.72	84.5
0.00	4.62	1.08	4.8	0.26	45.2	157	18.7	10.63	2.62	81.0

Fuente: Laboratorio Agrolab.

La acidez de los suelos en las tres comunidades nos indica mejoras en el pH, mediante la incorporación de la enmienda dolomita.

El contenido de materia orgánica en los tres casos, sufrió una mejora significativa, ya que el abonamiento orgánico de fondo y los pastos incrementaron éstos rangos, por lo tanto, estos suelos ofrecen condiciones adecuadas para los cultivos y como indicador de mejorar la acidez de los suelos con dolomita se ha utilizado la alfalfa por ser un

cultivo mucho más susceptible a la acidez con respecto a los otros dos cultivos ya mencionados.

2.4. CONDICIÓN CLIMÁTICA DE LAS ZONAS EXPERIMENTALES.

2.4.1. Temperatura.

Los datos meteorológicos que se muestran a continuación fueron recabados de la estación Apacheta perteneciente a OPEMAN (Operación y Mantenimiento de la red Hidro meteorológica), del Gobierno Regional. En el Cuadro 2.4 se puede observar que la variación de la temperatura mínima absoluta es de -6.40 a 0°C , presentándose la temperatura más baja en el mes de junio y julio, mientras que la temperatura máxima absoluta varía de 10.90 a 16.80°C , presentándose las máximas temperatura en el mes de octubre y noviembre. Este clima domina todo el área de interés sobre una fisiografía semi-accidentada y una topografía que va de plana a ondulada, entre los niveles altitudinales que van desde los $3,340$ a $3,650$ msnm. Las características climáticas son muy similares en las tres comunidades de la parte alta andina de la micro cuenca de Cangallo y Cachi.

Tabla 2.4. Precipitación total mensual, temperaturas máximas, mínimas y medias registradas durante el año 2009 – 2010.

Distrito	: Los Morochucos	Altitud	: 3800 msnm.
Provincia	: Cangallo	Latitud	: 13°20 51”S
Región	: Ayacucho	Longitud	: 74°38 44”W
Estación	: Apacheta		

AÑO	2009 – 2010													
MESES	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO		PROM
T° Máxima (°C)	13.20	17.00	16.20	10.90	16.80	15.60	14.60	13.00	14.40	14.20	14.00	16.80		14.73
T° Mínima (°C)	-3.00	-3.20	0.00	-1.40	0.00	-0.80	0.20	-0.20	-3.40	-3.40	-6.40	-5.40		-2.25
T° Media (°C)	5.10	6.90	8.10	4.75	8.40	7.40	7.40	6.40	5.50	5.40	3.80	5.70		6.24
Factor	4.96	4.96	4.80	4.96	4.96	4.65	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96		
ETP(mm)	25.30	34.22	38.88	23.56	41.66	34.41	36.70	30.72	27.28	25.92	18.85	28.27	365.78	2.1591
Precipitación (mm)	76.00	76.80	43.40	109.00	111.60	101.60	116.68	95.38	38.50	4.50	0.00	16.30	789.76	
ETP Ajust. (mm)	25.30	34.22	38.88	23.56	41.66	34.41	36.70	30.72	27.28	25.92	18.85	28.27		
H del suelo (mm)	50.70	42.58	4.52	85.44	69.94	67.19	79.98	64.66	11.22	-21.42	-18.85	-11.97		
Déficit (mm)										-21.42	-18.85	-11.97		
Exceso (mm)	50.70	42.58	4.52	85.44	69.94	67.19	79.98	64.66	11.22					

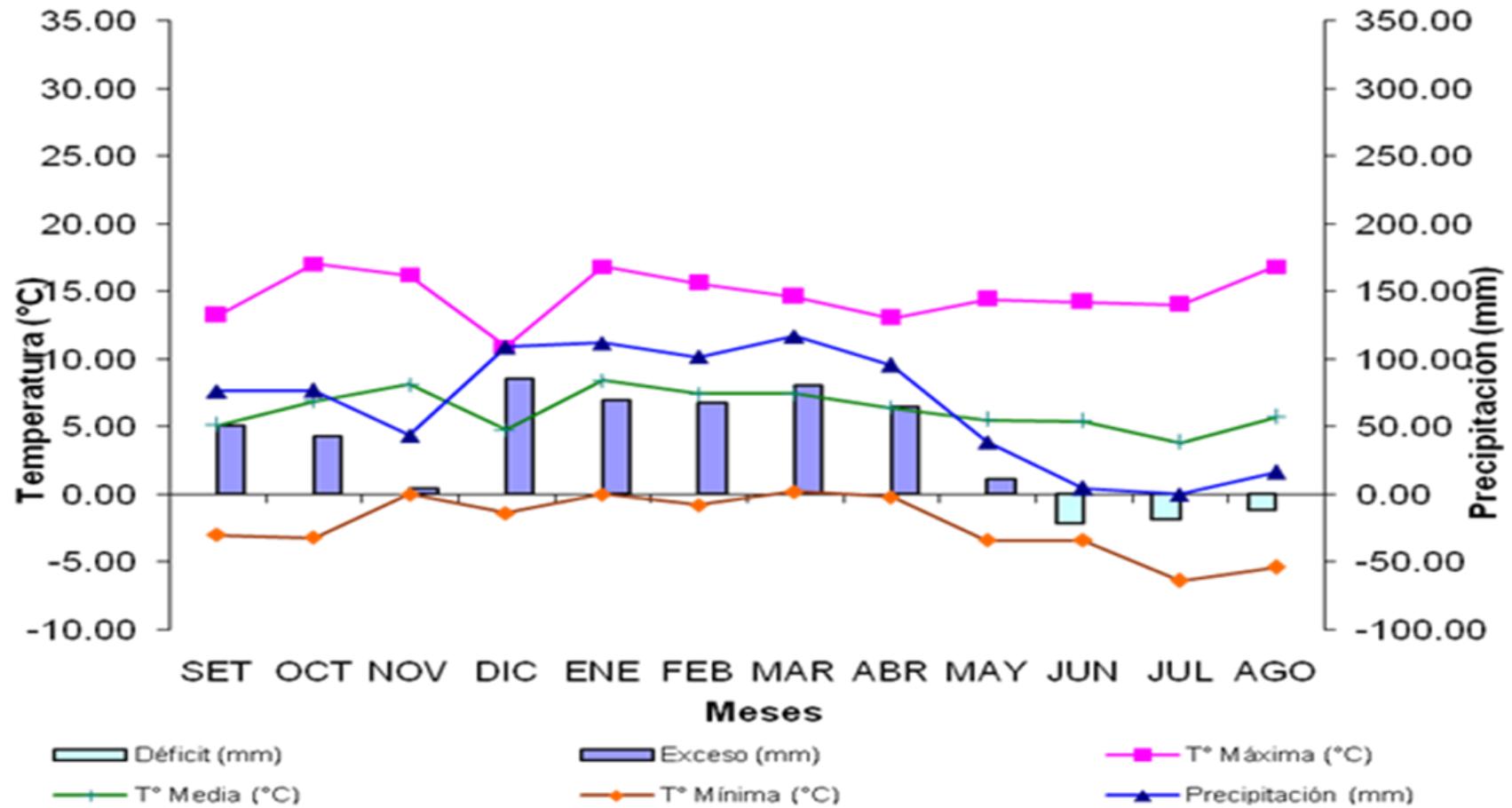


Figura 2.1. Diagrama ombrotermico: T° vs PP y balance hidrico. Apacheta 2450 msnm, año 2009

Tabla 2.5. Precipitación total mensual, temperaturas máximas, mínimas y medias registradas durante el año 2010-2011.

Distrito	: Los Morochucos	Altitud	: 3800 msnm.
Provincia	: Cangallo	Latitud	: 13°20 51”S
Región	: Ayacucho	Longitud	: 74°38 44”W
Estación	: Apacheta		

AÑO	2010 – 2011													
MESES	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	TOTAL	PROM
T° Máxima (°C)	10.30	11.50	9.90	11.20	12.00	10.30	9.60	9.40	9.60	10.20	10.60	11.20	125.80	10.48
T° Mínima (°C)	-5.50	-5.00	-2.30	-1.40	-2.30	-0.30	0.50	0.60	0.00	-0.50	-3.10	-4.90	-24.20	-2.02
T° Media (°C)	2.40	3.25	3.80	4.90	4.85	5.00	5.05	5.00	4.80	4.85	3.75	3.15	50.80	7.82
Factor	4.96	4.96	4.80	4.96	4.80	4.96	4.96	4.64	4.96	4.80	4.96	4.80	58.56	
ETP (mm)	11.90	16.12	18.24	24.30	23.28	24.80	25.05	23.20	23.81	23.28	18.60	15.12	247.70	3.0839
Precipitación (mm)	3.20	6.70	26.40	41.90	52.20	115.40	211.20	160.10	110.20	31.60	5.00	0.00	763.90	
ETP Ajust. (mm)	11.90	16.12	18.24	24.30	23.28	24.80	25.05	23.20	23.81	23.28	18.60	15.12		
H del suelo (mm)	-8.70	-9.42	8.16	17.60	28.92	90.60	186.15	136.90	86.39	8.32	-13.60	-15.12		
Déficit (mm)	-8.70	-9.42									-13.60	-15.12		
Exceso (mm)			8.16	17.60	28.92	90.60	186.15	136.90	86.39	8.32				

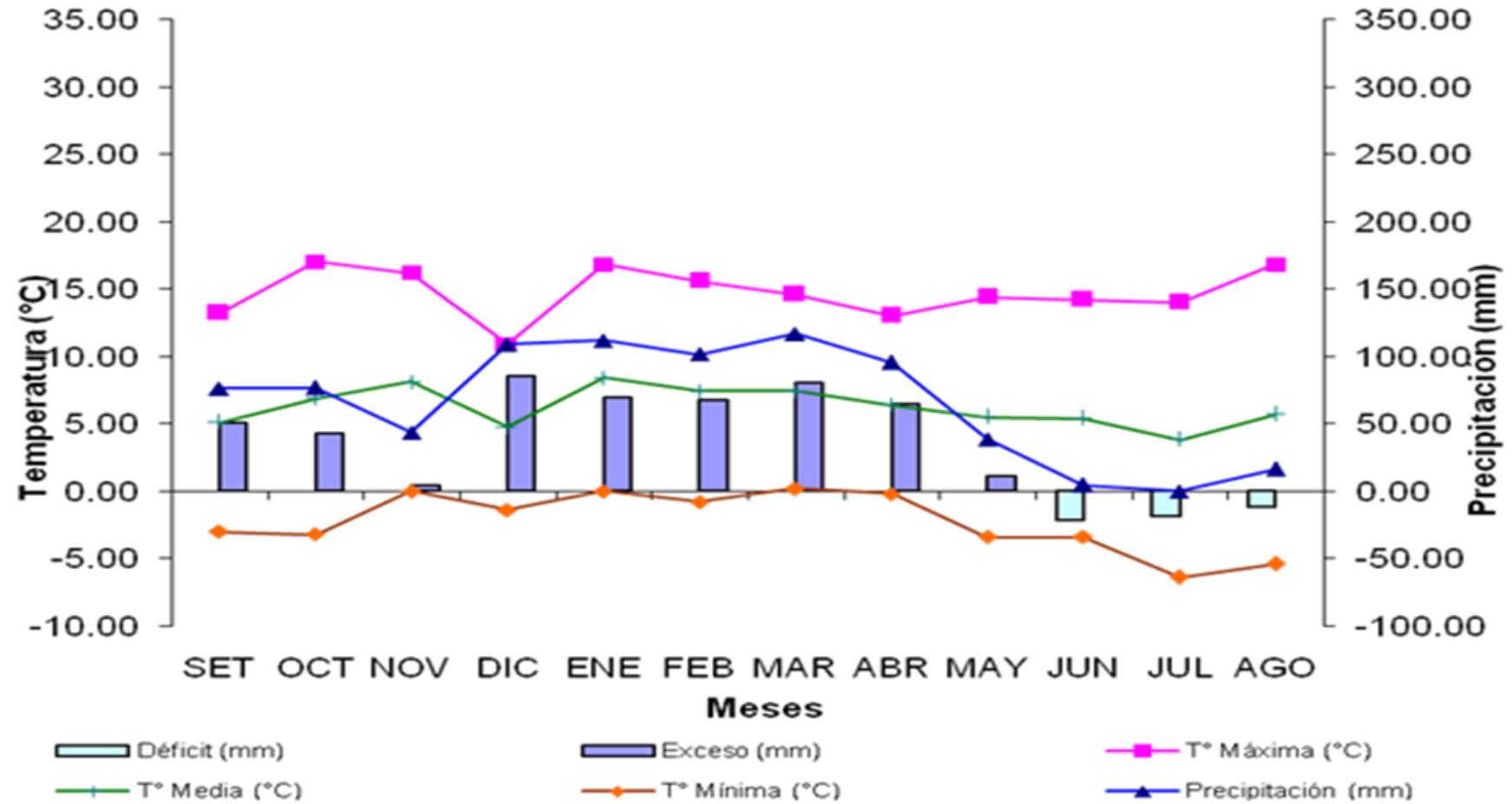


Figura 2.2. Diagrama ombrotérmico: T° vs PP y balance Hídrico. Apacheta 2450 msnm, año 2010

2.4.2. Humedad.

En la figura 2.1 (diagrama ombrotérmico), observamos la característica de las punas de la sierra central, las lluvias empiezan regularmente el mes de setiembre y alcanzan su máxima intensidad en los meses de febrero a marzo. Luego va decreciendo bruscamente a partir de abril dando comienzo a la estación seca. La temperatura promedio de la zona de estudio fue de 6.24°C, con una máxima de 14.72°C y una mínima de -2.25°C, estas temperaturas son ocasionadas principalmente por la altitud, más que por las estaciones del año. En la campaña de evaluación se ha observado un déficit hídrico en los meses de junio, julio y agosto. Además, poca precipitación en el mes de noviembre. Las características climáticas son muy similares de las tres Comunidades por localizarse en la parte alta andina de la micro cuenca de Cangallo y Cachi

2.5. LABORES AGRÍCOLAS.

2.5.1. Preparación del terreno.

La preparación del terreno es sumamente importante para darle las condiciones más adecuadas a las semillas de tamaño pequeño, esto favorece una buena germinación. Se preparó el terreno con tractor agrícola (roturación y rastra) hasta que el suelo este bien desterronado y mullido; luego se procedió a la nivelación de las parcelas en el mes de diciembre del 2008.

2.5.2. Trazado del campo experimental.

Basándose en el croquis experimental, y previo a una limpieza y nivelación del terreno, se procedió a marcar el terreno, delimitando los respectivos bloques, con sus respectivas calles, y las unidades experimentales, para la demarcación se utilizó el yeso.

2.5.3. Croquis de distribución de las parcelas demostrativas.

Condorpaqcha

T5	T3	T1
T6	T4	T2

* Sub parcelas de 125 m² (10m*12.5m) tratamiento T1 al T6.

Condorccochoa

T1	T5	T3
T2	T6	T4

*Sub parcelas de 125 m² (10m*12.5m) tratamiento T1 al T6.

Ñuñunhuaycco

T1	T5	T3
T2	T6	T4

*Sub parcelas de 125 m² (10m*12.5m) tratamiento T1 al T6.

2.5.4. Sistemas de siembra.

El sistema de siembra de los pastos utilizados fue en asociación múltiple de tres especies, utilizándose el sistema de siembra al voleo, las especies forrajeras: rye grass italiano, trébol rojo y alfalfa súper lechera, la alfalfa por ser muy susceptible a la acidez del suelo, se utilizó como indicador de la corrección de la acidez en los diferentes niveles del encalado realizado el mes diciembre del 2008.

2.5.5. Abonamiento.

Todas las unidades experimentales recibieron un abonamiento básico con dos fuentes orgánicas (2 t.ha⁻¹ de GI y 5 t.ha⁻¹ de EV). Los niveles de N – P₂O₅ – K₂O de los abonos utilizados son:

Guano de Islas (GI): 12% de N, 11% de P₂O₅ y 2.5% de K₂O.

Estiércol de Vacuno (EV): 1.67% de N, 1.08% de P₂O₅ y 0.56% de K₂O.

Tabla 2.6. Nivel de abonamiento de las parcelas demostrativas.

Fuente	N (kg.ha⁻¹)	P₂O₅ (kg.ha⁻¹)	K₂O (kg.ha⁻¹)
GI (2.0 t.ha ⁻¹)	200	200	40
EV (5.0 t.ha ⁻¹)	83.5	54	28
TOTAL	286	245	68

Los niveles de abonamiento llevaron las mismas dosis para todo los tratamientos, de 286 - 245 – 68% de N, P₂O₅ y K₂O, se caracterizó los abonos utilizados por presentar una degradabilidad lenta en el suelo indicados para pastos.

La dolomita se aplicó en las unidades experimentales según los tratamientos establecidos en el cuadro 2.7.

Tabla 2.7. Cantidad de insumos empleados en las parcelas demostrativas.

Tratamiento	t.ha ⁻¹ (10,000 m ²)			kg.parcela ⁻¹ (125 m ²)		
	GI + EV	D	ME (l)	GI + EV	D	ME (ml)
T1	2.0 + 5.0	5.0	0.0	25 + 62.5	62.5	0.0
T2	2.0 + 5.0	5.0	4.0	25 + 62.5	62.5	50.0
T3	2.0 + 5.0	2.5	0.0	25 + 62.5	31.25	0.0
T4	2.0 + 5.0	2.5	4.0	25 + 62.5	31.25	50.0
T5	2.0 + 5.0	0.0	0.0	25 + 62.5	0.0	0.0
T6	2.0 + 5.0	0.0	4.0	25 + 62.5	0.0	50.0

2.5.6. Sistema de encalado.

El sistema de encalado con dolomita se realizó por voleo incorporando antes de la siembra a razón de 5.0 t.ha⁻¹ para los tratamientos T1 y T2 (T1 sin ME y T2 con ME), con 2.5 t.ha⁻¹ de dolomita para los tratamientos T3 y T4 (T3 sin ME y T4 con ME) y con 0.0 t.ha⁻¹ para los tratamientos T5 y T6 (T5 sin ME y T6 con ME). Con la finalidad de ver el efecto de dos niveles de encalado y un testigo, y para ver dos niveles de ME y un testigo, en la producción de pastos cultivados asociados en tres zonas de estudio.

2.5.7. Densidad de siembra.

La densidad de siembra que se empleó en el experimento fue: 16 kg.ha⁻¹ de rye grass italiano + 6 kg.ha⁻¹ de trébol rojo + 4 kg.ha⁻¹ de alfalfa, total de 26 kg.ha⁻¹ de semilla, haciendo un total de 200 gramos de rye grass italiano + 75 gramos de trébol rojo + 50 gramos de alfalfa por parcela de 125 m², cantidad final de 325 g.parcela⁻¹ de semilla asociada. Para todo los tratamientos, a razón de 70% de gramíneas y 30% de leguminosas, esta densidad fue ajustada a una densidad real de siembra de acuerdo a los resultados del análisis de viabilidad de las tres variedades de semillas para un sistema de siembra al voleo.

2.5.8. Conducción del cultivo.

Luego de la siembra se realizó las labores agronómicas en el proceso de implantación de los pastos:

2.5.8.1. Riego.

Esta labor se realizó en la época de sequía con frecuencia de riego de 1 a 2 riegos por temporada, ya que el turno de riego para cada agricultor era de un riego por mes. Para la época lluviosa no se ha realizado ningún riego solo eran suficiente las precipitaciones.

2.5.8.2. Deshierbo.

Esta labor se realizó paralelamente al desarrollo de la planta, en cada corte deshierbo manual. Se ha podido observar poca competencia de malezas, realizándose 2 deshierbos en la fase inicial de su instalación de los pastos, luego posteriores al primer corte, la competencia de malezas fue mínima.

2.5.8.3. Control fitosanitario.

Durante el periodo vegetativo en la época de secano, se pudo observar la presencia de daños por insectos como la llama llama (*Epicauta willei*), entre otros; a un nivel mínimo, estas pequeñas incidencias se pudieron regular con el corte de los pastos y con el pastoreo, ya que no son plagas exclusivas del cultivo.

2.5.8.4. Evaluación del cultivo.

La evaluación del crecimiento de los pastos se programó cada 30 días durante dos años (2009 y 2010). Las evaluaciones se realizaron en diferentes eventos fenológicos de las plantas para cada especie (crecimiento, macollamiento, elongación de tallo, hoja bandera e inicio de floración), para tomar las muestras de rendimiento se optó por la técnica del metro cuadrado al azar en 7 puntos de la parcela y midiendo la altura de planta, y luego continuar con el corte mecánico con hoz o la defoliación mediante pastoreo con ganado vacuno.

2.5.8.5. Cosecha de los pastos.

La cosecha o uso de las pasturas para cada zona de estudio se realizó mediante el corte mecánico y a pastoreo con ganado vacuno, luego de las evaluaciones realizadas de rendimiento de FV, mediante el método del cuadrante, en el estado fenológico apropiado en aparición de flores y espiga de las especies utilizadas, siendo esta el indicador para cada corte y zonas de estudio.

2.5.8.6. Altura de la planta.

La evaluación de altura de planta para cada especie se realizó antes del corte, recabando datos para cada especie, considerándose entre el cuello de la planta y el ápice de los tallos tomados al azar dentro de cada tratamiento.

2.6. PARÁMETROS EVALUADOS.

Rendimiento en FV y MS.

El rendimiento de FV y MS, se evaluó en Ayacucho separando por especies, pesándolas y secándolas a la estufa para evaluar la MS. Todas las evaluaciones de peso se realizaron con una balanza analítica de tres cifras, se tomó las muestras en inicio de floración para todos los tratamientos y tres zonas de estudio, utilizando el método del cuadrante al azar, promediando las muestras tomadas. Luego para la MS, se ha sometido las muestras a estufa de 60°C x 48 horas.

2.7. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL.

Los experimentos se diseñaron en parcelas divididas en bloques; Las parcelas de 250 m² estuvieron constituidas por el nivel de dolomita (0, 2.5 y 5.0 t.ha⁻¹) respectivamente, las subparcelas (125 m²) estuvieron constituidas por la aplicación de ME (sin y con ME). Los bloques estuvieron instalados en las comunidades de Condorpaqcha, distrito de Vinchos; Condorcchocha, distrito de Chiara y Ñuñunhuaycco, distrito de Los Morochucos.

Tabla 2.8. Estructura de los tratamientos para el ensayo en pastos cultivados asociados.

A: Niveles de dolomita	B: Aplicación de ME	Tratamientos
A1: 5.00 t.ha ⁻¹ .	b1. Sin ME	T1: Dolomita (5.0 t.ha ⁻¹ . Sin ME)
	b2. Con ME	T2: Dolomita (5.0 t.ha ⁻¹ . Con ME)
A2: 2.50 t.ha ⁻¹ .	b1. Sin ME	T3: Dolomita (2.5 t.ha ⁻¹ . Sin ME)
	b2. Con ME	T4: Dolomita (2.5 t.ha ⁻¹ . Con ME)
A3: 0.00 t.ha ⁻¹ .	b1. Sin ME	T5: Dolomita (0.0 t.ha ⁻¹ . Sin ME)
	b2. Con ME	T6: Dolomita (0.0 t.ha ⁻¹ . Con ME)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DEL RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE.

La tabla 3.1, muestra que, en el análisis de varianza del rendimiento en forraje verde, se encontró diferencia significativa entre localidades, en el efecto principal de dolomita, en la interacción localidad x dolomita, se encontró significación para los efectos lineales de la dolomita en las localidades de Condorpaqcha, Condorccochoa y Ñuñunhuaycco. El Coeficiente de Variación se interpretó como bueno.

En la figura 3.1 se tiene la regresión lineal del rendimiento de forraje verde sobre dosis de dolomita en las tres localidades. El efecto lineal en la localidad de Ñuñunhuaycco fue mayor a los efectos lineales de las localidades de Condorpaqcha y Condorccochoa, en el caso de la localidad de Ñuñunhuaycco este efecto lineal indicó que por el incremento de 1.0 t.ha^{-1} de dolomita el rendimiento de FV se incrementó en 11.15 t.ha^{-1} . En el caso de la comunidad de Condorpaqcha se tuvo que por el incremento de 1.0 t.ha^{-1} de dolomita, el rendimiento de FV se incrementó en 6.693 t.ha^{-1} . En el caso de Condorccochoa, por el incremento de 1.0 t.ha^{-1} de dolomita, el rendimiento de FV se incrementó en 4.407 t.ha^{-1} . En el presente estudio no fue posible encontrar una dosis óptima de dolomita para maximizar los rendimientos, sin embargo se consideró de acuerdo a los resultados que el máximo rendimiento se da con 5.0 t.ha^{-1} de dolomita, se recomienda usar mayores dosis de dolomita en próximos estudios con la finalidad de determinar niveles de dolomita que maximizen los rendimientos.

Tabla 3.1. Análisis de varianza del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados con tratamientos de dolomita y microorganismos eficientes en tres localidades.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-Valor	Pr > F
Localidad	2	29430.48	14715.24	947.95	<.0001
Error (a)	18	108496.93	6027.61		
Dolomita	2	28880.31	14440.16	930.23	<.0001
Localidad x Dolomita	4	4159.87	1039.97	66.99	<.0001
Dolomita Lineal / Condorpaqcha	1	7839.01	7839.01	16.40	0.0003
Dolomita Cuadratica / Condorpaqcha	1	0.36	0.36	0.00	0.9783
Dolomita Lineal / Condorccochoa	1	3399.01	3399.01	7.11	0.0114
Dolomita Cuadratica / Condorccochoa	1	15.00	15.00	0.03	0.8604
Dolomita Lineal / Ñuñunhuaycco	1	21756.44	21756.44	45.51	<.0001
Dolomita Cuadratica / Ñuñunhuaycco	1	30.36	30.36	0.06	0.8025
Error (b)	36	17210.82	478.08		
Microorganismos	1	1080.64	1080.64	69.61	<.0001
Dolomita x Microorganismos	2	13.32	6.66	0.43	0.6533
Localidad x Microorganismos	2	139.96	69.98	4.51	0.0155
Microorganismos / Condorpaqcha	1	511.01	511.01	32.92	<.0001
Microorganismos / Condorccochoa	1	88.60	88.60	5.71	0.0204
Microorganismos / Ñuñunhuaycco	1	621.01	621.01	40.01	<.0001
Localidad x Dolomita x Microorganismos	4	8.57	2.14	0.14	0.9675
Error (c)	54	838.25	15.52		
Total	125	190259.16			

C. V. = 5.74%.

En la tabla 3.2, de la prueba de Tukey del rendimiento de forraje verde entre comunidades, mostró un efecto positivo altamente significativo en la comunidad de Ñuñunhuaycco, con un rendimiento de forraje verde de 90.202 t.ha⁻¹, y en la comunidad de Condorpaqcha y Condorccochoa no hubo diferencia significativa con un rendimiento de forraje verde de 58.488 y 57.119 t.ha⁻¹ respectivamente.

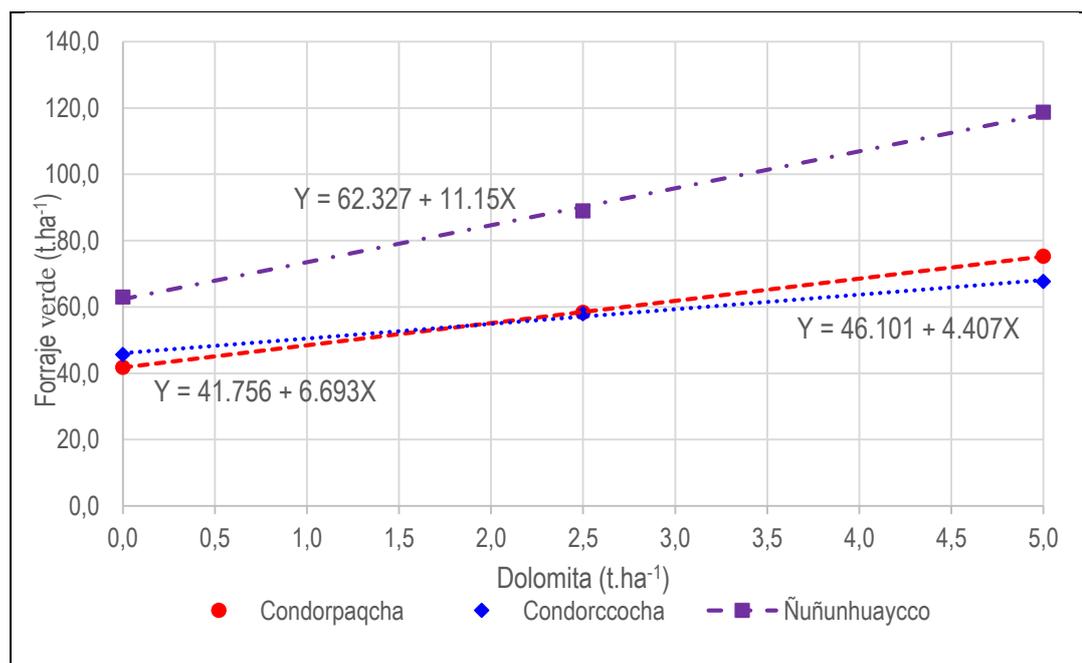


Figura 3.1. Regresión lineal simple del rendimiento de forraje verde sobre dosis de dolomita de los pastos cultivados asociados.

Tabla 3.2. Prueba de Tukey del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados.

Lugar	n	Forraje Verde (t.ha ⁻¹)	Tukey 0.05	
Ñuñunhuaycco	42	90.202	a	
Condorpaqcha	42	58.488		b
Condorcchocha	42	57.119		b

Tabla 3.3. Prueba de Tukey del rendimiento de forraje verde de los pastos cultivados asociados en tres localidades.

Localidad	ME (L.ha ⁻¹)	n	Forraje Verde (t.ha ⁻¹)	Tukey 0.05	
Condorpaqcha	0.0	21	55.000	a	
	4.0	21	61.976		b
Condorcchocha	0.0	21	55.667	a	
	4.0	21	58.571		b
Ñuñunhuaycco	0.0	21	86.357	a	
	4.0	21	94.048		b

En la tabla 3.3, muestra que la interacción de localidad por microorganismos eficientes (ME) fue significativa, por lo que mediante la prueba de Tukey se tiene que el efecto de la dosis de 4.0 L.ha⁻¹ de microorganismos eficientes (ME), fue positiva en las tres localidades con un rendimiento de forraje verde de 61.976 t.ha⁻¹ para Condorpaqcha, 58.571 t.ha⁻¹ para Condorccochoa y 94.048 t.ha⁻¹ para Ñuñunhuaycco. La diferencia del rendimiento en forraje verde es de 6.976 t.ha⁻¹ en Condorpaqcha, 2.904 t.ha⁻¹ en Condorccochoa y 7.691 t.ha⁻¹ en Ñuñunhuaycco, por la aplicación de 4.0 L.ha⁻¹ de microorganismos eficientes (ME).

3.2. DEL RENDIMIENTO DE FORRAJE EN MATERIA SECA.

Tabla 3.4. Análisis de varianza del rendimiento de forraje en materia seca de los pastos cultivados asociados con tratamientos de dolomita y microorganismos eficientes (ME) en tres localidades.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medios	F-Valor	Pr > F
Localidad	2	806.84	403.42	801.70	<.0001
Error (a)	18	3623.18	201.29		
Dolomita	2	960.79	480.40	954.68	<.0001
Localidad x Dolomita	4	131.89	32.97	65.53	<.0001
Dolomita Lineal / Condorpaqcha	1	253.14	253.14	16.34	0.0003
Dolomita Cuadratica / Condorpaqcha	1	0.04	0.04	0.00	0.9596
Dolomita Lineal / Condorccochoa	1	121.47	121.47	7.84	0.0082
Dolomita Cuadratica / Condorccochoa	1	0.53	0.53	0.03	0.8541
Dolomita Lineal / Ñuñunhuaycco	1	715.48	715.48	46.19	<.0001
Dolomita Cuadratica / Ñuñunhuaycco	1	2.02	2.02	0.13	0.7202
Error (b)	36	557.61	15.49		
Microorganismos	1	30.32	30.32	60.26	<.0001
Dolomita x Microorganismos	2	0.36	0.18	0.36	0.6989
Localidad x Microorganismos	2	2.55	1.27	2.53	0.0888
Localidad x Dolomita x Microorganismos	4	0.97	0.24	0.48	0.7490
Error (c)	54	27.17	0.50		
Total	125	6141.69			

C. V. = 5.65 %.

En la tabla 3.4, muestra en el Análisis de varianza del rendimiento de forraje en materia seca, que se encontró diferencia significativa entre localidades, en el efecto principal de dolomita, en la interacción localidad x dolomita y en el efecto principal de microorganismos eficientes (ME). En el efecto de interacción localidad x dolomita, se encontró significación para los efectos lineales de la dolomita en las localidades de Condorpaqcha, Condorccochoa y Ñuñunhuaycco.

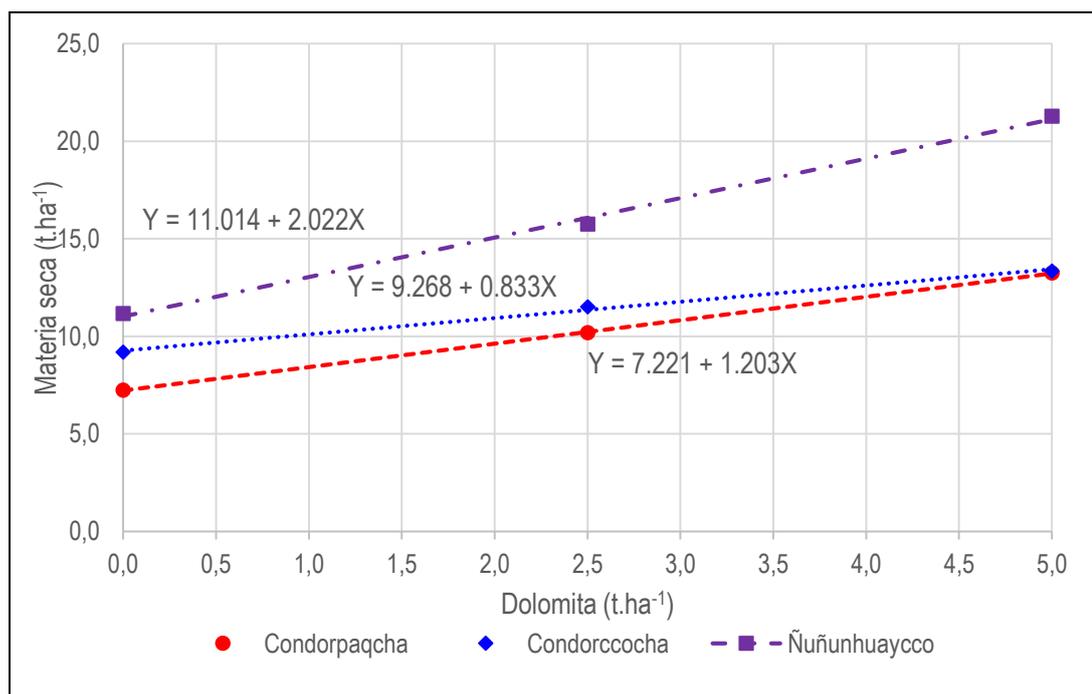


Figura 3.2. Regresión lineal simple del rendimiento de forraje en materia seca sobre dosis de dolomita de los pastos cultivados asociados en tres localidades.

En la figura 3.2 muestra la regresión lineal del rendimiento de forraje en materia seca sobre dosis de dolomita en las tres localidades. El efecto lineal en la localidad de Ñuñunhuaycco, fue mayor a los efectos lineales de las localidades de Condorpaqcha y Condorccochoa, en el caso de la localidad de Ñuñunhuaycco, este efecto lineal indicó que por el incremento de 1.0 t.ha⁻¹ de dolomita, el rendimiento de materia seca se incrementó en 2.022 t.ha⁻¹; en el caso de la comunidad de Condorpaqcha se tuvo que por el incremento de 1.0 t.ha⁻¹ de dolomita, el rendimiento de materia seca se incrementó en 1.203 t.ha⁻¹; y en el caso de la localidad de Condorccochoa, por el incremento de 1.0 t.ha⁻¹ de dolomita, el rendimiento de materia seca se incrementó en

0.833 t.ha⁻¹. En el presente estudio no fue posible encontrar una dosis óptima de dolomita para maximizar los rendimientos, sin embargo se consideró de acuerdo a los resultados que el máximo rendimiento se dio con 5.0 t.ha⁻¹ de dolomita, se recomienda usar mayores dosis de dolomita en próximos estudios con la finalidad de determinar niveles de dolomita que maximicen los rendimientos.

Tabla 3.5. Prueba de Tukey del rendimiento de materia seca de pastos cultivados asociados entre dosis de microorganismos eficientes (ME).

ME (L.ha ⁻¹)	n	Materia Seca (t.ha ⁻¹)	Tukey 0.05	
0.0	63	12.059	a	
4.0	63	13.040		b

En la tabla 3.5, muestra un efecto positivo significativo para la dosis de microorganismos eficientes (ME) en 4.0 L.ha⁻¹ con un rendimiento de 13.040 t.ha⁻¹ de materia seca.

Tabla 3.6. Prueba de Tukey del rendimiento de materia seca de los pastos cultivados asociados entre localidades.

Localidades	n	Materia Seca t.ha ⁻¹	Tukey 0.05	
Ñuñunhuaycco	42	16,069	a	
Condorccochoa	42	11,351		b
Condorpaqcha	42	10,228		b

En la tabla 3.6, mostró un efecto positivo altamente significativo en la comunidad de Ñuñunhuaycco, con un rendimiento de materia seca de 16.069 t.ha⁻¹, y en la comunidad de Condorpaqcha y Condorccochoa no hubo diferencia significativa con un rendimiento en materia seca de 11.351 y 10.228 t.ha⁻¹ respectivamente. Los resultados obtenidos por Pantoja (2001), son inferiores al presente trabajo realizado, con promedios superiores de 13.984; 13.674 y 21.757 con respecto al máximo resultado obtenido por Pantoja (2001), de 4.229 de rendimiento de materia seca en t.ha⁻¹.

CONCLUSIONES

Luego de evaluar dos años en tres localidades la producción de pastos cultivados asociados se llegó a lo siguiente:

1. El mayor rendimiento de forraje verde obtenido en los pastos cultivados asociados fue con el tratamiento 2, con la dosis completa de dolomita y la aplicación de microorganismos eficientes.
2. El mayor rendimiento de materia seca obtenido en los pastos cultivados asociados fue con el tratamiento 2, con la dosis completa de dolomita y la aplicación de microorganismos eficientes.
3. La aplicación de la dosis completa de dolomita y de microorganismos eficientes, del tratamiento 2, produjo un incremento altamente significativo en la producción de pastos cultivados asociados.

RECOMENDACIONES

1. Recomiendo replicar el tratamiento 2, con la dosis completa de dolomita y la aplicación de microorganismos eficientes, para incrementar los rendimientos de forraje verde en pastos cultivados asociados.
2. Recomiendo replicar el tratamiento 2, con la dosis completa de dolomita y la aplicación de microorganismos eficientes, para incrementar los rendimientos de materia seca en pastos cultivados asociados.
3. Recomiendo la aplicación de la dosis completa de dolomita y de microorganismos eficientes, del tratamiento 2, para producir un incremento altamente significativo en la producción de pastos cultivados asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abruña, J. y Col. (1967). Sugarcane yields as related to acidity of a liumid tropic ultisol. *Agronomy journal* 59: 330 – 332. Recuperado el 30 de noviembre del 2014, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
2. Acevedo, L. y Col. (2005). Microorganismos Eficientes. Recuperado el 20 de marzo del 2012, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
3. AGRORURAL, 2015. Aves guaneras. Recuperado el 30 de noviembre del 2015, de <http://agrorural.com.pe>.
4. Alarcón, B. (2007). Producción de forraje verde para ganado bovino en invierno. Reporte de resultados primer año. Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 58 páginas.
5. Alexander, M. (1978). Introducción a la microbiología del Suelo. Editor S.A. México D.F. 371 páginas. Recuperado el 23 de marzo del 2012, de la página web: <http://www.google.com>.
6. Bernal, J. (2005). Manual de manejo de pastos cultivados para zonas alto andinas. Dirección General de Promoción Agraria (DGPA). Ministerio de Agricultura. Dirección de Crianzas. Recuperado el 26 de febrero del 2016 de la página web <http://www.jbernal@minag.gob.pe>.
7. Bernal, J. y Espinosa, J. (2003). Manual de nutrición y fertilización de pastos. INPOFOS. Colombia – Bogotá y Ecuador – Quito. Recuperado el 30 de noviembre del 2014, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
8. Bojórquez, C. y Ordóñez, J. (2004). Establecimiento del *Lolium multiflorum* con cinco densidades sobre pasturas degradadas como una alternativa a la siembra de cultivos agrícolas. Estación experimental del centro de investigaciones IVITA - El Mantaro, FMV – UNMSM. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*. 15 (2), 87 – 91. Recuperado el 02 de febrero de la página web <http://www.google.com.pe>. Correo electrónico hugor_48@hotmail.com.
9. Cadenillas, H. (1990). Manejo de pasturas. Manual técnico. Quito, Ecuador. Recuperado 30 de diciembre del 2009, de la página web <http://www.google.com.pe>.

10. Catedra, IX. (1982). Química del Suelo y los Fertilizantes. 3^{era} Edición. Universidad Politécnica de Madrid. 127 p. Recuperado 28 de febrero del 2010, de la página web <http://www.google.com.pe>.
11. Chujo, S. (2004), Microorganismos para la agricultura. Recuperado el 23 de diciembre del 2010. Página web: <http://www.chujosl.com/>.
12. Demanet, R. (2009). Manual de especies forrajeras y manejo de pastoreo. Manual del mejoramiento del manejo y utilización de pradera y pasturas. Programa de Desarrollo de Productores (PDP). Universidad de La Frontera, Temuco, Araucanía, Chile. Recuperado el 26 de febrero del 2016 de la página web <http://www.google.com.pe>. Pp. 193.
13. Espinosa, J. y Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. Instituto de la potasa y el fósforo (INPOFOS). Quito, Ecuador. Recuperado el 23 de setiembre del 2014, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
14. FAO, 2007. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Microorganismos en la agricultura. Recuperado el 30 de noviembre del 2015.
15. Faría, J. (2006). Manejo de pastos y forrajes en la ganadería de doble propósito. X Seminario de pastos y forrajes. Postgrado de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Zulia, Maracaibo. Recuperado el 26 de marzo del 2016. Página web: E-mail: jfariamarmol@cantv.net.
16. Fassbender, H. (1980). Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), San José – Costa Rica, segunda reimpresión.
17. Florián, R. (2009). Establecimiento de la asociación rye grass (*Lolium multiflorum*) – trébol blanco (*Trifolium repens*). Sistema de revisiones en investigación veterinaria de San Marcos (SIRIVS). Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Medicina Veterinaria. Recuperado el 26 de marzo del 2016, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
18. García, J. (2002). Producción de alfalfa para forraje bajo regadío. INTA. Sitio argentino de producción animal. Argentina. Recuperado el 23 de febrero del 2015, de la página web <http://www.produccion-animal.com.ar>.
19. Gonzales, W. (2002). Manejo de pasturas y pastizales. Manual práctico de campo.

- Ediciones Andy C. García León (ANCEGAL) Lima - Perú. Ayacucho – Perú. Primera edición.
20. Hardy, F. (1962). The Turrialba senile latosol and its fertilizer requirements. Turrialba. Instituto Interamericano de Ciencias Agrarias (IICA). Costa Rica. Recuperado el 18 de enero del 2015, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
 21. Higa, T. y Parr, J. (1991). "Microorganisms for Agriculture and Environmental Preservation", Fundación de Asesorías para el Sector Rural (FUNDASES): Publishers site.
 22. Iglesias, L. (1995). El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Dirección general de infraestructuras y cooperación. Corazón de María, 8 – 28002 Madrid. Imprime Rivadeneyra, S.A. – Getafe (Madrid). Recuperado el 26 de marzo del 2016, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
 23. Ignatieff, V. y Page, H. J. (1959). El uso eficaz de los fertilizantes. 2 ed. FAO. Estudios agropecuarios n° 43. Recuperado el 23 de febrero del 2012 de la página web <http://www.google.com.pe>.
 24. Lemus, R. (2002). Desempeño de una pradera irrigada en clima templado, establecida para el pastoreo con bovinos lecheros. Centro de enseñanza, investigación y extensión en producción de bovinos y caprinos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. México. Vol. 33, número 01. Recuperado el 18 de marzo del 2015, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
 25. Magra G. y Ausilio A. (2004). Corrección de la Acidez de los Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad nacional el Rosario – Argentina 2004. Recuperado el 26 de marzo del 2016, de la página web: <http://www.google.com.pe>.
 26. MASAL (2010). Siembra y manejo de pastos mejorados para pastoreo. Plataforma interinstitucional MASAL de Cusco y Apurímac. Proyecto MASAL. Recuperado el 26 de marzo del 2016. Página web: <http://www.google.com.pe>.
 27. Mateu, W. (2010). Tuberosas y granos andinos, manual de teoría. Escuela profesional de Agronomía - UNSCH. Ayacucho – Perú. Páginas 123-127.

28. Moreno, H.; Ibáñez, S. y Gisbert, J. (2015). Minerales carbonatos. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Recuperado el 30 de Noviembre del 2015, de <http://UPV.com.pe>.
29. Pantoja, M. (2001). Efecto de la fertilización nitrogenada con y sin inoculantes sobre el desarrollo de una asociación de pastos cultivados en Manallasacc 3580 msnm – Ayacucho. Tesis. Escuela profesional de Agronomía – UNSCH.
30. Santana, A. (2009). Rendimiento de forraje en ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en dos pisos ecológicos del departamento de Ayacucho. Tesis. Escuela profesional de Agronomía – UNSCH.
31. Spain, J., Pereira, J. y Gualdrón, R. (1985). A flexible grazing management system proposed for the advance evaluation of asociación of tropical grasses and legume. In proceeding of the International Grassland Congress. The Council of Japan, Nishi Nasuno, Kyoto, Japan. Pp. 1153 – 1155.
32. Tineo, A.; Palomino, R.; Cerda, M. y Girón, J. (2010). Manejo y conservación de suelos. Guía de teoría. 81-94. Escuela profesional de Agronomía - UNSCH.
33. Tisdale, S. y Nelson, W. (1970). Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Derechos reservados por Montaner y Simón S.A. Editores Aragón. Páginas 760.
34. Tovar, H. (1978). Avifauna Marina en Islas del Sur Peruano. Documento. Año VI, N° 64. pp. 41-47. Recuperado el 23 de marzo del 2015 de la página web <http://www.google.com.pe>.
35. Tovar, H. y Cabrera, D. (2004). Conservación y Manejo de Aves Guaneras. Tercera impresión. Recuperado el 23 de marzo del 2015 de la página web <http://www.google.com.pe>.
36. Trinidad, A. (2000). Utilización de estiércoles 7. Cartilla informativa. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Subsecretaría de desarrollo rural. Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Texcoco – México. Edo de México. Recuperado el 26 de febrero del 2016, de la página web <http://www.google.com.pe>.
37. Valente, T. (2008). Libro de fosfatos teoría, htm. Recuperado el 13 de marzo del 2010, de la página web: <http://www.elregionalpiura.com.pe/archivosnoticias>.
38. Venema, K. C. W. (1961). Diversos informes sobre el pH, estado de cal, necesidad

de encalado en suelos tropicales y subtropicales. Revista de la potasa (Suiza). Recuperado el 18 de febrero del 2012 de la página web <http://www.google.com.pe>.

ANEXOS

REGISTRO DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA DE :
CONDORPAQCHA

Cuadro N° 01: RENDIMIENTO EN FV (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	24.50	27.30	23.10	24.15	24.30	27.00
	T	5.20	5.80	4.62	5.17	0.54	2.40
	A	5.30	5.90	5.28	5.18	2.16	0.60
TOTAL(17/04/2009)		35.00	39.00	33.00	34.50	27.00	30.00
2	R	26.60	30.80	21.70	23.10	21.25	22.10
	T	5.60	6.50	4.34	4.94	1.25	1.82
	A	5.80	6.70	4.96	4.96	2.50	2.08
TOTAL(30/08/2009)		38.00	44.00	31.00	33.00	25.00	26.00
3	R	27.88	35.36	23.10	24.82	19.50	20.62
	T	6.50	8.20	4.62	5.47	3.12	3.30
	A	6.62	8.44	5.28	6.21	3.38	3.58
TOTAL(12/11-01/12/2009)		41.00	52.00	33.00	36.50	26.00	27.50
4	R	114.24	127.16	77.52	91.80	46.20	59.50
	T	26.80	29.80	17.10	20.25	8.58	11.05
	A	26.96	30.04	19.38	22.95	11.22	14.45
TOTAL(18/02/2010)		168.00	187.00	114.00	135.00	66.00	85.00
5	R	36.60	39.60	36.04	34.50	26.97	31.20
	T	10.37	11.22	7.95	9.77	7.06	8.16
	A	14.03	15.18	9.01	13.23	7.47	8.64
TOTAL(22/04/2010)		61.00	66.00	53.00	57.50	41.50	48.00
6	R	10.12	10.58	12.00	9.20	5.70	7.80
	T	5.50	5.75	3.40	5.00	1.62	2.21
	A	6.38	6.67	4.60	5.80	2.18	2.99
TOTAL(15/07/2010)		22.00	23.00	20.00	20.00	09.50	13.00
7	R	50.54	55.10	47.15	43.32	26.42	29.92
	T	33.25	36.25	25.62	28.50	15.10	17.10
	A	49.21	53.65	29.73	42.18	33.98	38.48
TOTAL(18/11/2010)		133.00	145.00	102.50	114.00	75.50	85.50
SUMATORIA TOTAL		498.00	556.00	386.50	430.50	270.50	315.00
PROMEDIO TOTAL		71.14	79.43	55.21	61.50	38.64	45.00

Kg/m²: Kilogramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A: Alfalfa super lechera.

REGISTRO DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA DE:
CONDORCCOCHA

Cuadro 02: RENDIMIENTO EN FV (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	68.00	70.93	68.40	70.20	62.56	65.10
	T	11.90	10.38	4.56	4.68	5.44	4.90
	A	5.10	5.19	3.04	3.12	-----	-----
TOTAL(27/07/2009)		85.00	86.50	76.00	78.00	68.00	70.00
2	R	12.00	14.22	09.00	11.37	06.11	7.36
	T	2.10	2.52	0.54	0.63	0.39	0.64
	A	0.90	1.26	0.46	0.50	-----	-----
TOTAL(21/08/2009)		15.00	18.00	10.00	12.50	06.50	08.00
3	R	37.50	38.32	33.18	39.20	21.50	25.20
	T	8.00	7.88	5.46	5.39	2.50	1.96
	A	4.50	6.30	3.36	4.41	1.00	0.84
TOTAL(15/11/2009)		50.00	52.50	42.00	49.00	25.00	28.00
4	R	68.63	69.35	57.28	62.00	52.46	56.70
	T	14.64	14.25	9.42	8.53	6.10	4.41
	A	8.23	11.40	5.80	6.97	2.44	1.89
TOTAL(19/02/2010)		91.50	95.00	72.50	77.50	61.00	63.00
5	R	52.84	53.87	48.33	49.20	45.20	45.27
	T	10.71	10.80	7.87	7.84	4.00	3.32
	A	9.45	12.83	6.30	8.96	0.80	2.91
TOTAL(01/06/2010)		73.00	77.50	62.50	66.00	50.00	51.50
6	R	48.36	49.80	45.54	45.36	44.40	44.46
	T	14.04	13.28	11.70	12.96	7.21	9.69
	A	15.60	17.43	11.76	13.68	3.89	2.85
TOTAL(02/09/2010)		78.00	83.00	69.00	72.00	55.50	57.00
7	R	42.00	40.15	37.82	38.10	35.63	33.95
	T	9.80	14.60	10.37	10.16	8.07	9.70
	A	18.20	18.25	12.81	15.24	3.80	4.85
TOTAL(18/12/2010)		70.00	73.00	61.00	63.50	47.50	48.50
SUMATORIA TOTAL		462.50	485.50	393.00	418.50	313.50	326.00
PROMEDIO TOTAL		66.07	69.36	56.14	59.79	44.79	46.57

Kg/m²: Kilógramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A: Alfalfa super lechera.

REGISTRI DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA DE :
ÑUÑUNHUAYCCO

Cuadro N° 03: RENDIMIENTO EN FV (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	66.30	64.80	66.43	68.25	63.36	64.60
	T	7.80	12.15	6.35	6.52	0.64	2.04
	A	3.90	4.05	0.22	0.23	-----	1.36
TOTAL(13/06/2009)		78.00	81.00	73.00	75.00	64.00	68.00
2	R	43.60	42.75	44.50	44.20	38.70	39.56
	T	7.09	9.12	4.50	5.20	3.01	4.60
	A	3.81	5.13	1.00	2.60	1.29	1.84
TOTAL(02/10/2009)		54.50	57.00	50.00	52.00	43.00	46.00
3	R	56.21	58.10	49.60	48.75	46.80	46.40
	T	7.70	12.50	7.44	8.45	3.12	6.96
	A	13.09	12.40	5.58	7.80	2.08	4.64
TOTAL(07/12/2009)		77.00	83.00	64.00	66.00	52.00	58.00
4	R	88.20	93.72	61.10	67.90	63.96	60.75
	T	12.60	19.88	18.80	16.49	6.24	12.15
	A	25.20	28.40	14.10	12.61	7.80	8.10
TOTAL(20/02/2010)		126.00	142.00	94.00	97.00	78.00	81.00
5	R	102.30	101.20	67.20	78.00	49.60	52.50
	T	18.15	25.48	25.76	20.40	7.44	13.50
	A	44.55	45.32	19.04	21.60	4.96	9.00
TOTAL(16/05/2010)		165.00	172.00	112.00	120.00	62.00	75.00
6	R	93.60	84.50	61.20	78.60	46.36	45.50
	T	24.96	28.73	20.20	22.27	08.54	14.00
	A	37.44	55.77	20.60	30.13	06.10	10.50
TOTAL(21/08/2010)		156.00	169.00	102.00	131.00	61.00	70.00
7	R	58.80	61.50	34.00	39.20	41.04	40.92
	T	24.99	30.80	34.60	22.40	9.12	13.20
	A	63.21	61.70	29.40	50.40	6.84	11.88
TOTAL(20/11/2010)		147.00	154.00	98.00	112.00	57.00	66.00
SUMATORIA TOTAL		803.50	858.00	591.00	652.00	417.00	464.00
PROMEDIO TOTAL		114.79	122.57	84.43	93.14	59.57	66.29

Kg/m²: Kilógramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A: Alfalfa super lechera.

REGISTRO DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA DE :
CONDORPAQCHA

Cuadro N°04: RENDIMIENTO EN MS (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	4.28	4.77	4.02	4.22	4.25	4.72
	T	0.94	1.04	0.83	0.93	0.09	0.43
	A	1.00	1.11	0.99	0.13	0.40	0.11
TOTAL(17/04/2009)		6.22	6.92	5.84	5.28	4.74	5.26
2	R	4.65	5.39	3.79	4.04	3.72	3.86
	T	1.00	1.17	0.78	0.88	0.22	0.33
	A	1.25	1.45	1.07	1.07	0.54	0.45
TOTAL(30/08/2009)		6.90	8.01	5.64	5.99	4.48	4.64
3	R	4.88	6.18	4.04	4.34	3.41	3.60
	T	1.17	1.47	0.83	0.98	0.56	0.59
	A	1.07	1.37	0.85	1.00	0.54	0.57
TOTAL(12/11-01/12/2009)		7.12	9.02	5.72	6.32	4.51	4.76
4	R	19.99	22.25	13.56	16.06	8.08	10.41
	T	4.82	5.36	3.07	3.64	1.54	1.98
	A	5.09	5.67	3.66	4.33	2.12	2.73
TOTAL(18/02/2010)		29.90	33.28	20.29	24.03	11.74	15.12
5	R	6.00	6.49	5.91	5.65	4.42	5.11
	T	1.58	1.71	1.21	1.49	1.08	1.24
	A	2.65	2.86	1.70	2.50	1.41	1.63
TOTAL(22/04/2010)		10.23	11.06	8.82	9.64	6.91	7.98
6	R	1.74	1.81	2.06	1.58	0.98	1.34
	T	0.84	0.87	0.52	0.76	0.21	0.33
	A	1.19	1.24	0.86	1.08	0.40	0.55
TOTAL(15/07/2010)		3.77	3.92	3.44	3.42	1.60	2.22
7	R	8.28	9.03	7.73	7.10	4.33	4.90
	T	5.98	6.52	4.61	5.13	2.71	1.81
	A	9.30	10.13	5.61	7.97	6.42	7.27
TOTAL(18/11/2010)		23.56	25.68	17.95	20.20	13.46	13.98
SU87.70MATORIA TOTAL		87.70	97.89	67.70	74.87	47.44	53.96
PROMEDIO TOTAL		12.52	13.98	9.67	10.69	6.77	7.70

Kg/m²: Kilógramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A: Alfalfa super lechera.

REGISTROS DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA: CONDORCCOCHA

Cuadro 05: RENDIMIENTO EN MS (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	13.46	14.4	13.54	13.89	12.38	12.88
	T	1.82	1.58	0.69	0.71	0.83	0.74
	A	1.00	1.02	0.59	0.61	-----	-----
TOTAL(27/07/2009)		16.28	17.00	14.82	15.21	13.21	13.62
2	R	2.37	2.81	1.78	2.25	1.20	1.45
	T	0.32	0.38	0.08	0.09	0.05	0.09
	A	0.17	0.24	0.09	0.09	-----	-----
TOTAL(21/08/2009)		2.86	3.43	1.95	2.43	1.25	1.54
3	R	7.42	7.58	6.56	7.76	4.25	4.98
	T	1.44	1.41	0.98	0.97	0.45	0.35
	A	0.88	1.27	0.66	0.86	0.19	0.16
TOTAL(15/11/2009)		9.74	10.26	8.18	9.59	4.89	5.49
4	R	14.96	15.11	12.48	13.51	11.43	12.36
	T	2.63	2.56	1.69	1.53	1.09	0.79
	A	1.78	2.47	1.20	1.51	0.52	0.41
TOTAL(19/02/2010)		19.37	20.14	15.37	16.55	13.04	13.56
5	R	11.51	11.74	10.53	10.72	9.85	9.86
	T	1.63	1.65	1.20	1.19	0.61	0.50
	A	1.68	2.28	1.12	1.59	0.14	0.51
TOTAL(01/06/2010)		14.82	15.67	12.85	13.50	10.60	10.87
6	R	10.54	10.85	9.92	9.88	9.67	9.69
	T	2.52	2.39	2.10	2.33	1.29	1.74
	A	2.77	3.10	2.09	2.43	0.69	0.50
TOTAL(02/09/2010)		15.83	16.34	14.11	14.64	11.65	11.93
7	R	7.35	7.02	6.61	6.66	6.23	5.94
	T	1.76	2.62	1.86	1.82	1.45	1.74
	A	3.23	3.24	2.28	2.71	0.67	0.96
TOTAL(18/12/2010)		12.34	12.88	10.75	11.19	8.35	8.64
SUMATORIA TOTAL		91.24	95.72	78.03	83.11	62.99	65.65
PROMEDIO TOTAL		13.03	13.67	11.14	11.87	8.99	9.37

Kg/m²: Kilógramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3: Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A: Alfalfa super lechera.

REGISTRO DE EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE PASTOS CULTIVADOS ASOCIADOS

ZONA: ÑUÑUNHUAYCCO

Cuadro 06: RENDIMIENTO EN MS (t.ha⁻¹)

<i>TRATAMIENTO</i>		T1	T2	T3	T4	T5	T6
<i>No CORTES</i>	<i>ESPECIE</i>						
1	R	11.60	11.34	11.62	11.94	11.08	11.30
	T	1.19	2.12	1.11	1.14	0.11	0.35
	A	0.68	0.71	0.03	0.04	-----	0.23
TOTAL(13/06/2009)		13.47	14.17	12.76	13.12	11.19	11.88
2	R	7.63	7.48	7.78	7.73	6.77	6.93
	T	1.27	1.64	0.81	0.93	0.54	0.82
	A	0.72	0.96	0.18	0.49	0.24	0.34
TOTAL(02/10/2009)		9.62	10.08	8.77	9.15	7.55	8.09
3	R	11.12	11.50	9.82	9.65	9.26	9.18
	T	1.38	2.25	1.33	1.52	0.56	1.25
	A	2.30	2.18	0.98	1.37	0.36	0.81
TOTAL(07/12/2009)		14.80	15.93	12.13	12.54	10.08	11.24
4	R	18.43	16.40	10.69	11.88	11.19	10.63
	T	1.92	3.04	2.87	2.52	0.95	1.85
	A	4.43	4.99	2.48	2.21	1.37	1.42
TOTAL(20/02/2010)		24.78	24.43	16.04	16.61	13.51	13.90
5	R	17.90	17.67	11.76	13.65	8.68	9.18
	T	3.26	4.58	4.63	3.67	1.33	2.43
	A	8.41	8.56	3.60	4.08	0.93	1.70
TOTAL(16/05/2010)		29.58	30.81	19.99	21.40	10.94	13.31
6	R	16.38	14.75	10.71	13.75	8.11	7.96
	T	4.49	5.17	3.63	4.00	1.53	2.52
	A	6.58	9.81	3.62	5.30	1.07	1.84
TOTAL(21/08/2010)		27.45	29.73	17.96	23.05	10.71	12.32
7	R	10.29	10.76	5.95	6.86	7.18	7.16
	T	4.49	5.54	6.22	4.03	1.64	2.37
	A	11.12	10.85	5.17	8.87	1.20	2.09
TOTAL(20/11/2010)		25.90	27.15	17.34	19.76	10.02	11.62
SUMATORIA TOTAL		145.60	152.30	104.99	115.63	74.00	82.16
PROMEDIO TOTAL		20.80	21.75	14.99	16.51	10.57	11.73

Kg/m²: Kilógramo por metro cuadrado; No CORTES: Número de cortes; T1: Tratamiento 1; T2: Tratamiento 2; T3:

Tratamiento 3;

T4: Tratamiento 4; T5: Tratamiento 5; T6: Tratamiento 6; R: Rye grass Italiano tamma; T: Trébol rojo queñiquely; A:

Alfalfa super lechera.

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 01: Rye grass italiano, variedad Grassland Tama.



Fotografía 02: Trébol rojo, variedad Quiñequeli – INIA.



Fotografía 03: Alfalfa, variedad Súper lechera.



Fotografía 04: Pastos cultivados asociados.



Fotografía 05: Encalado de los suelos con Dolomita.



Fotografía 06: Siembra de pastos al voleo.



Fotografía 07: Tapado de semillas con ovino.



Fotografía 08: Establecimiento de la pastos cultivados asociados



Fotografía 09: Aplicación de ME en la pastos cultivados asociados.



Fotografía 10: Muestreo para calcular el rendimiento de la pastos cultivados asociados.



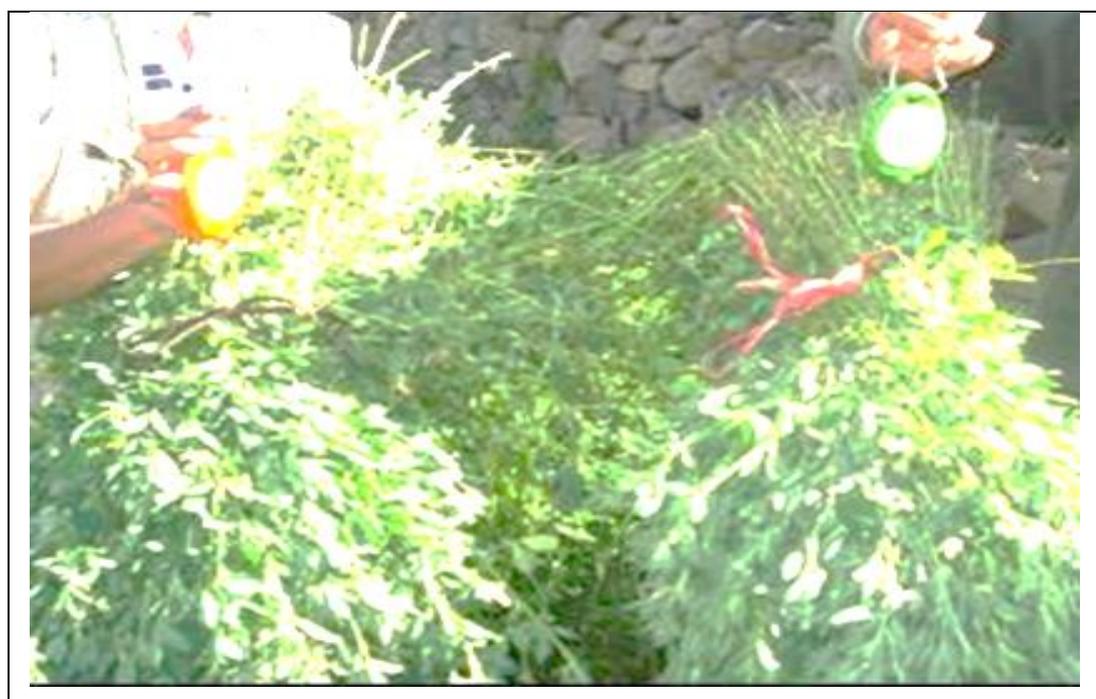
Fotografía 11: Muestreo para calcular el rendimiento de la pastos cultivados asociados.



Fotografía 12: Corte de la pastos cultivados asociados.



Fotografía 13: Recorte de leguminosas.



Fotografía 14: Pesado en campo de la pastos cultivados asociados, por especies.



Fotografía 15: Pesado y secado de las especies forrajeras en laboratorio.



Fotografía 16: Evaluación de la composición florística de las parcelas demostrativas.



Fotografía 17: Medición de la altura de los pastos cultivados asociados.