

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**VARIACIÓN DE LA REACCIÓN DEL SUELO A LA APLICACIÓN DE CAL DE
DIFERENTE GRANULOMETRÍA EN LA ENCAÑADA – CAJAMARCA**

TESIS

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Presentada por el Bachiller:

TASILLA SALAZAR, LUCIO

ASESOR:

Dr. EDÍN ALVA PLASENCIA

CAJAMARCA – PERÚ

2021



ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los veintitrés días del mes de agosto del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 164-2021-FCA-UNC, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: "**VARIACIÓN DE LA REACCIÓN DEL SUELO A LA APLICACIÓN DE CAL DE DIFERENTE GRANULOMETRÍA EN LA ENCAÑADA - CAJAMARCA**", ejecutado(a) por el Bachiller en Agronomía, don LUCIO TASILLA SALAZAR para optar el Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO**.

A las once horas y cinco minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando a la sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación** por **unanimidad**, con el calificativo de **Quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de **Ingeniero Agrónomo**.

A las **once horas y cincuenta y cinco minutos** del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Dr. Eduardo Torres Carranza
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. Attilio Cadenillas Martínez
SECRETARIO

Dr. Edin Alva Plasencia
VOCAL

DEDICATORIA

A toda mi familia por el apoyo incondicional,
en especial a mis padres, Rosalía y Manuel por
su apoyo desinteresado, también a mi hermano Roy;
a Carmen, Dafne y Jack, quienes son el incentivo para
mejorar como persona y hacer cosas constructivas cada día.

AGRADECIMIENTO

- Agradezco primeramente a Dios por darme la voluntad e iluminación para concluir con este proyecto.

-A la Universidad Nacional de Cajamarca y a la facultad de ciencias agrarias en donde me brindaron los conocimientos científicos necesarios para formarme como profesional.

- Al Dr. Edín Alva Plasencia por su asesoramiento durante la instalación del experimento en campo y gabinete.

- Al técnico del laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Facultad de Ciencias Agrarias, en donde se dio el uso de los equipos de laboratorio.

- A la Sra. Marina Culqui, habitante de la Comunidad Campesina de la Encañada, por haberme facilitado el área para la instalación del experimento en campo.

INDICE

Contenido	
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	ix
ABSTRAC	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos de la investigación	3
1.1.1. General	3
1.1.2. Específicos	3
CAPÍTULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Internacional	4
2.1.2. Nacional	4
2.1.3. Local	5
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Acidez del Suelo	5
2.2.2. Acidificación del suelo	6
2.2.3. pH	7
2.2.4. Fuentes de acidez	9
2.2.4.1. Alta caída pluviométrica	9
2.2.4.2. Altos contenidos de materia orgánica y laboreo del suelo	9
2.2.4.3. Uso de fertilizantes nitrogenados de reacción ácida	9
2.2.4.4. Aluminio intercambiable	10
2.2.5. Efecto de acidez (H^+ y Al^{+3})	10
2.2.6. Encalado	11
2.2.7. Fuentes de encalado	11
2.2.7.1. Óxido de calcio (CaO)	11
2.2.7.2. Hidróxido de calcio (Ca (OH)₂)	12
2.2.7.3. Carbonatos o cales agrícolas	12
2.2.7.4. Dolomita	12

2.2.7.5.	Óxido de magnesio.....	13
2.2.7.6.	Magnesita	13
2.2.7.7.	Características de la cal	13
2.2.7.7.1.	Granulometría.....	13
2.2.8.	Reacciones de la cal en el suelo	15
2.2.9.	Definición de términos	16
CAPÍTULO III.....		19
MATERIALES Y MÉTODOS		19
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación		19
3.1.2.	Periodo de duración del estudio y encalado.	20
3.1.3.	Condiciones climatológicas	21
3.1.3.1.	Clima.....	21
3.2.	Características del suelo	22
3.3.	Instrumentos, equipo y materiales utilizados	22
3.3.1.	Materiales y equipos de campo	22
3.3.2.	Materiales y equipos de laboratorio	22
3.3.3.	Materiales y equipos de gabinete.....	23
3.3.4.	Reactivos y equipos de laboratorio.....	23
3.4.	Procedencia del material encalante.	23
3.4.1.	Cal (Hidróxido de calcio).....	23
3.5.	Metodología.....	24
3.5.1.	Diseño Estadístico	24
3.6.	Instalación del experimento.....	25
3.6.1.	Delimitación del área de estudio	25
3.6.2.	Limpieza del área de estudio.....	25
3.6.3.	Diseño	25
3.6.4.	Muestreo	26
3.6.5.	Preparación agrotécnica.....	26
3.6.6.	Aplicación de la cal	26
3.7.	Evaluaciones realizadas.	27
3.7.1.	Tratamientos	27
3.8.	Trabajo de laboratorio.....	28
3.8.1.	Secado de las muestras.	28

3.8.2. Tamizado de las muestras.	28
3.8.3. Pesado del suelo.....	28
3.8.4. Mezcla del suelo con el reactivo.....	28
3.8.5. Lectura del pH.....	28
3.9. Proceso de datos	29
CAPÍTULO IV	30
RESULTADOS Y DISCUSIONES	30
4.1. Resultado de la evaluación en la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en cada intervalo de tiempo.....	30
4.1.1. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH) ₂) de diferente granulometría en la primera evaluación.	30
4.1.2. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH) ₂) de diferente granulometría en la segunda evaluación.	33
4.1.3. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH) ₂) de diferente granulometría en la tercera evaluación.	36
4.1.4. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH) ₂) de diferente granulometría en la cuarta evaluación.	39
CAPÍTULO V.....	43
CONCLUSIONES.....	43
CAPÍTULO VI.....	44
RECOMENDACIONES	44
CAPÍTULO VII	45
BIBLIOGRAFIA.....	45
ANEXOS.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia relativa granulométrica de la enmienda según tamaño de partículas determinado en base a mallas.	14
Tabla 2. Datos meteorológicos registrados durante el periodo de investigación (agosto – octubre 2019).	21
Tabla 3. pH de la evaluación inicial.....	26
Tabla 4. Fecha de aplicación y evaluación de la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	27
Tabla 5. Representación de tratamientos, cantidad de cal y granulometría.....	27
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) para ver la reacción del suelo a la primera evaluación realizada a los 15 días después de la aplicación de la cal.....	30
Tabla 7. Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría.....	31
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría a los 30 días.	33
Tabla 9. Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.	34
Tabla 10. Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría a los 45 días.	36
Tabla 11. Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.	37
Tabla 12. Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría a los 60 días.....	39
Tabla 13. Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.	20
Figura 2. Croquis de la ubicación de las repeticiones y sus respectivos tratamientos.	25
Figura 3. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 15 días.	31
Figura 4. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 30 días.	34
Figura 5. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 45 días.	37
Figura 6. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 60 días.	40

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue analizar la variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría. Se consideró una granulometría de: 2mm – 1mm; 1mm – 0.5mm; 0.5mm – 0.3mm; y < 0.3mm. El estudio se realizó en el Caserío de Rodacocha, Distrito de la Encañada, Provincia y Departamento de Cajamarca; ubicado a 3470 msnm. En campo el diseño estadístico fue el Diseño en Bloques Completamente Randomizado (DBCR), con 09 tratamientos experimentales y 03 repeticiones. Con respecto a la dosis de cal, se aplicó 1 tha-1 y 2 tha-1 de la misma granulometría por tratamiento para observar la reacción del suelo a la finura y a la dosis de cal. La evaluación se realizó con un intervalo de tiempo cada 15 días, haciendo un total de 04 evaluaciones; las muestras fueron conducidas al Laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, en donde se dio el proceso de secado, tamizado, pesado y la mezcla correspondiente con la solución para luego llevarlo al agitador eléctrico y realizar la lectura con el peachímetro. Los datos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA) donde se observa que existe significación estadística para los tratamientos, dado que, el valor de significación (p-valor = <0.0244) es menor al 0.05 (5 %), es decir, los resultados obtenidos de cada aplicación de cal con diferente granulometría (tratamientos), causaron un efecto significativo en la corrección del pH del suelo, donde el T9 (2 t ha-1 de cal Ca (OH)2), con un pH promedio de 5.57 en la primera evaluación; 5.69 en la segunda; 6.61 en la tercera y 6.79 en la cuarta evaluación, con una granulometría < 0.3 mm, fue superior estadísticamente al resto de tratamientos, en las 4 evaluaciones.

El coeficiente de variación (CV = 9.13 %), es adecuado, lo cual indica la variabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos, en sus tres repeticiones.

Palabras clave: Reacción del suelo, granulometría.

ABSTRAC

The objective of the present investigation was to analyze the variation of the reaction of the soil to the application of lime of different granulometry. A granulometry of: 2 mm - 1 mm was considered; 1mm - 0.5mm; 0.5mm - 0.3mm; and < 0.3mm. The study was carried out in the Hamlet of Rodacocha, Encañada District, Province and Department of Cajamarca; located at 3470 m.s.n.m. In the field, the statistical design was the Completely Randomized Block Design (DBCR), with 09 experimental treatments and 03 repetitions. Regarding the lime dose, 1 tha-1 and 2 tha-1 of the same granulometry per treatment were applied to observe the reaction of the soil to the fineness and the lime dose. The evaluation was carried out with a time interval every 15 days, making a total of 04 evaluations; the samples were taken to the Soil Laboratory of the Faculty of Agrarian Sciences of the National University of Cajamarca, where the drying, sieving, weighing and the corresponding mixture with the solution took place, and then it was taken to the electric agitator and read with the tester. The updated data was analyzed using the analysis of variance (ANOVA) where it is observed that there is statistical significance for the treatments, since the significance value (p-value = <0.0244) is less than 0.05 (5%), is that is, the results obtained from each application of lime with different granulometry (treatments), caused a significant effect in the correction of soil pH, where the T9 (2 t ha-1 of lime Ca (OH) 2, with granulometry <0.3 mm) is superior to the rest of treatments with an average pH of 5.57; 5.69; 6.61 and 6.79 above the other treatments in the 4 evaluations.

The coefficient of variation (CV = 9.13%) is adequate, which indicates the variability of the results, the frequency of the treatments, in its three repetitions.

Key words: Soil reaction, granulometry.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Debido a que los suelos ácidos, sin lugar a dudas constituyen una limitante para la actividad agrícola, especialmente en lugares ubicados a gran altitud. Por ello mismo la presente investigación es de gran importancia porque con sus resultados obtenidos contribuirá a la elección adecuada del material encalante para corregir el pH de los suelos ácidos.

En muchas áreas del mundo, la acidez del suelo limita la producción agrícola. El bajo contenido de bases cambiables, especialmente calcio; y la toxicidad de aluminio, afectan el crecimiento radicular y la absorción de agua y nutrientes por las plantas, causando una reducción en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos (Sumner et al., 1986) citado por (Asqui, 2018).

Las prácticas de manejo que conllevan al mejoramiento químico de suelos afectados en diferente grado por problemas de acidez deben contemplar el uso de materiales de encalado. Estos materiales que se utilizan como correctivos de acidez son productos comerciales tipificados como fuentes minerales de origen natural o industrial, que portan en su composición carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio o magnesio. Todos los materiales de encalado difieren en su capacidad de neutralizar la acidez del suelo (Castro y Munevar, 2013).

El encalado trae una serie de efectos directos e indirectos que tienen efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas como son la mejora de la aireación, el movimiento del agua y de la estructura del suelo; la mayor disponibilidad de nutrientes (P, Mo, Ca, Mg, K), el mayor desarrollo de microorganismos y con ello el aumento de los procesos de mineralización, amonificación, nitrificación y fijación de nitrógeno entre otros (Fassbender 1984) citado por (Asqui, 2018).

En general, el pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad. El pH de un suelo ácido se puede mejorar gradualmente mediante el manejo apropiado y con aplicación de cal. El pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos

no se encuentren en niveles adecuados. Por otra parte, valores extremos del pH pueden afectar la estructura del suelo (Castillo *et al.*, 2009).

De acuerdo a las circunstancias expuestas y teniendo en cuenta la necesidad de corregir la acidez del suelos para la utilización en la agricultura, se instaló el experimento en un suelo ácido para evaluar la variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en el distrito de La Encañada – Cajamarca, el cual es importante porque contribuirá en estudios posteriores relacionado con dicho experimento y también de esta manera también aportar en la lucha que se viene haciendo para corregir los suelos ácidos destinados a la agricultura.

1.1. Objetivos de la investigación

1.1.1. General

- Analizar la variación de la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría

1.1.2. Específicos

- Analizar la variación de la reacción del suelo cada 15 días.
- Determinar la dosis y granulometría de mayor reactividad en el suelo.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacional

Para Calva y Espinoza (2017) en su investigación titulada “Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana”.

Los resultados de los análisis de suelos para evaluar el efecto de las dosis de las enmiendas en el comportamiento del pH, acidez intercambiable y aluminio intercambiable demostraron que todas las enmiendas utilizadas tuvieron el mismo comportamiento. Como era de esperarse, el pH se incrementó y los contenidos de acidez intercambiable y aluminio intercambiable se redujeron, sin embargo, fue claro que las dosis altas (2, 3, 4 y 6 t ha⁻¹) no eran necesarias para precipitar la mayor parte del Al³⁺, mejorar el ambiente radicular y promover la mayor acumulación de biomasa. Las dosis que logran estos efectos benéficos están de nuevo entre 1.0 y 1.5 t ha⁻¹ de dolomita y carbonato de calcio. • La evaluación de las interacciones pH - acidez intercambiable y pH - aluminio intercambiable también permite concluir que las mejores dosis para lograr la mayor acumulación de biomasa están entre 1.0 y 1.5 t ha⁻¹ de dolomita y carbonato de calcio, sin embargo, la interacción con aluminio intercambiable detecta mejor el rango de dosis adecuadas.

2.1.2. Nacional

Vega (2014) al realizar su experimento, “Efecto de la materia orgánica y encalado del suelo en cebada (*hordeum vulgare* L.) Variedad una 96 cultivado en invernadero – lima”, indicó que existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin la aplicación de encalado se obtengan resultados diferentes en el pH del suelo al término de la campaña tanto si no se usa ninguna de las fuentes orgánicas estudiadas, estiércol de cuy y compost. El pH inicial de 4.30 del suelo es llevado a 6.89 por el proceso de encalado haciendo significativa la aplicación de carbonato de calcio (CaCO₃).

2.1.3. Local

Nazar (2015) en su investigación titulada “Efecto del encalado en el crecimiento de la valeriana pilosa r&p en Huanico, Cajamarca”, llegó a la conclusión que:

1. La dosis de mayor influencia en el crecimiento de la valeriana lo obtuvo el tratamiento T4 con 4 tha-1 de óxido de calcio aplicado en el suelo.
2. En el tratamiento T4, las plantas de la valeriana mostraron mejores resultados en las variables morfológicas tales como: altura de la planta (7.13 cm), número de hojas (6 unidades), longitud de raíces (9.95 cm) y materia seca (10.35 g), debido al efecto del encalado (óxido de calcio) que ha incrementado los nutrientes en el suelo para una mayor disponibilidad de absorción por las plantas.
3. El encalado ha incrementado las propiedades químicas del suelo para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, tales como: pH, potasio, fosforo, cationes cambiabiles (calcio y magnesio) y al mismo tiempo ha disminuido la acidez cambiabie de 66.06 a 6.32 % para el tratamiento T4.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Acidez del Suelo

En muchas áreas del mundo, la acidez del suelo limita la producción agrícola. El bajo contenido de bases cambiabiles, especialmente calcio; y la toxicidad de aluminio, afectan el crecimiento radicular y la absorción de agua y nutrientes por las plantas, causando una reducción en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos. La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis, según (Sumner *et al.*, 1986) citado por (Asqui 2018).

2.2.2. Acidificación del suelo

La acidez del suelo, es uno de los principales problemas que se está empleando en los sistemas de clasificación de suelos, sea estimado como pH, saturación de bases, o simplemente dominancia de elementos como Al y Fe, la acidez causa necrosamiento en las raíces de la planta, que se inicia en la parte apical de la raíz y con el tiempo se acerca a la base de la planta, de acuerdo con (Alvarado y Fallas 2004) citado por (Nazar 2015).

Durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e incremento concomitante de cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. Simultáneamente, ocurre una salida de silicio del suelo en forma de $Si(OH)_4$, durante el proceso. Esta hidrólisis produce en el suelo un pH de hasta 4.2. Valores más bajos de pH se pueden alcanzar naturalmente cuando se drenan suelos que contienen formas reducidas de azufre o cuando se descomponen restos orgánicos y producen ácidos orgánicos de cadena corta. Igualmente, los suelos se pueden acidificar cuando reciben ácidos provenientes de procesos antrópicos como lluvia ácida, por la fertilización con materiales que dejan residuos ácidos y por lixiviación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ en zonas de alta precipitación, entre otros (Zapata, 2004) citado por (Asqui 2018).

Además, en los suelos ácidos existe una mayor adsorción catiónica que aniónica, ya que las cargas negativas son mucho más abundantes que las positivas esto tiene gran importancia agronómica, puesto que el complejo adsorbente permita dejar en reserva los cationes esenciales para la nutrición vegetal: K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} y diversos oligoelementos. Si este almacenamiento de reserva no tuviera lugar, las lluvias de invierno podrían originar suelos estériles (Navarro 2003) citado por (Nazar 2015).

Para Vega (2014) la acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis. Durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalinos y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e incremento concomitante de

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

2.2.3. pH

Para Toledo (2016) el pH significa potencial de hidrógeno (pondus hydrogenii) y nos da la concentración de hidrógeno en la solución del suelo. Este se mide en una escala que va de 1 a 14, donde siete es la mitad y significa un pH neutro (figura 10). Cuando el pH es neutro, el contenido de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos (OH^-). Cuando el pH está por abajo de siete, el suelo es ácido y, en la medida que el pH desciende, el suelo se va volviendo aún más ácido. Cuando el pH está por arriba de siete, el suelo es alcalino o básico y se volverá más alcalino en la medida que el pH se incrementa. El pH es un importante índice para diagnóstico del estado de disponibilidad de los nutrientes para las plantas. Aunque las especies de plantas cultivadas tienen ciertas diferencias en cuanto al pH en que se desarrollan mejor, se acepta que, en general, habrá mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas a pH del suelo entre 6.0 y 7.0.

Vega (2014) indica que el pH crítico en el cual el Al se vuelve soluble o cambiante en concentraciones tóxicas depende de muchos factores, incluyendo las arcillas minerales predominantes; Nivel de materia orgánica; concentración de otros cationes y aniones y sales totales; especies y variedades de cultivo.

a. **pH ÁCIDO**

Para Toledo (2016) cuando el pH se reduce por debajo de 5.5, los niveles de acidez son tan altos que nutrientes como el calcio, magnesio, molibdeno y fósforo pueden no estar tan disponibles para las plantas, las que sufrirán deficiencia nutricional. Además, algunos nutrientes y otros elementos del suelo llegan a volverse tóxicos para las plantas como el hierro, aluminio y manganeso. Además, y en el caso de muchos de los suelos tropicales con altos contenidos de coloides de carga variable, la acidez puede causar pérdidas de nutrientes catiónicos (como el calcio, magnesio, potasio, amonio) por lavado ya que bajo esta condición de acidez muchos de los coloides de los suelos se vuelven de carga positiva, siendo incapaces de retener los nutrientes de carga positiva o cationes (debido a que las cargas iguales se repelen).

b. **pH ALCALINO O BÁSICO**

Para Toledo (2016) en la medida en que el pH se incrementa por arriba de 7, volviéndose más alcalino, la disponibilidad de nutrientes como hierro, zinc, boro, manganeso y fósforo se reduce, limitándose fuertemente el crecimiento de las plantas. El fósforo es especialmente afectado por la condición del pH del suelo. Este nutriente es más aprovechado por las plantas cuando el rango del pH está entre 6 y 6.5. Por arriba y por debajo de este rango, gran proporción del fósforo forma compuestos no absorbibles por las plantas con elementos como el aluminio, hierro, manganeso y zinc (cuando el pH es ácido) y con calcio (cuando el pH es alto). Esto causa que, para lograr que las plantas absorban algo de este nutriente, se tengan que hacer altas aplicaciones de fertilizantes fosfóricos, lo que viene a encarecer mucho los cultivos sembrados en suelos con el pH fuera del rango adecuado.

2.2.4. Fuentes de acidez

2.2.4.1. Alta caída pluviométrica

Uno de los factores de mayor importancia que causa acidez en los suelos, es la lluvia. El peso de la capa de agua dejada por una fuerte lluvia, hace que esta atraviese el suelo hasta estratos profundos para, finalmente, depositarse en algún acuífero subterráneo. Esta capa de agua arrastra consigo nutrientes del suelo, en especial nutrientes catiónicos como el calcio, magnesio y potasio. Estos espacios dejados por los nutrientes son ocupados por hidrógeno (que también tiene carga positiva, H⁺), muchos de los cuales provienen directamente del agua o de reacción química, que se dan en el interior del suelo (por ejemplo, cuando el dióxido de carbono reacciona con el agua se libera hidrógeno). Este hidrógeno que queda paulatinamente va volviendo el suelo ácido (Toledo 2016).

La acidez aparece normalmente en suelos localizados en regiones de alta pluviometría, los cuales están sometidos a un continuo y amplio lavado de los cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) desde el suelo. El continuo lavado va provocando la aparición de una acidez que viene incrementada, al mismo tiempo por la segregación de las raíces y por los compuestos ácidos que se originan en la degradación de la materia orgánica por los microorganismos (Navarro 2003) citado por (Nazar 2015).

2.2.4.2. Altos contenidos de materia orgánica y laboreo del suelo

El hecho de dejar el suelo descubierto aumenta las pérdidas por lixiviación, por otro lado, la preparación de suelo provoca un aumento en la tasa de descomposición de la materia orgánica, la que en su descomposición genera iones hidrógeno (Aguirre 2001) citado por (Asqui 2018).

2.2.4.3. Uso de fertilizantes de reacción ácida.

Dentro de estos destacan como los más usados los amoniacales, que afectan tanto el pH del suelo como la pérdida de cationes básicos (Aguirre 2001) citado por (Asqui 2018).

Actualmente el mercado de los fertilizantes ofrece variados productos que aportan nitrógeno (N) a cultivos y praderas.

El N que se encuentra en los fertilizantes puede estar como nitrato (NO_3^-), como amonio (NH_4^+) o como amida (NH_2), en el caso de la urea.

Las plantas absorben el N preferentemente como nitrato, aunque también absorben amonio. Cuando las plantas absorben N en forma de amonio no se produce la reacción de nitrificación que libera H^+ (Bernier y Alfaro 2006).

2.2.4.4. Aluminio intercambiable

Vega (2014) menciona que en los suelos minerales existen una relación entre el Al en la solución del suelo y el porcentaje de saturación de Al, mientras que, en los suelos orgánicos, sin embargo, la concentración de Al en la solución del suelo estuvo más relacionada a la cantidad de Al cambiante que al porcentaje de saturación del Al de los suelos.

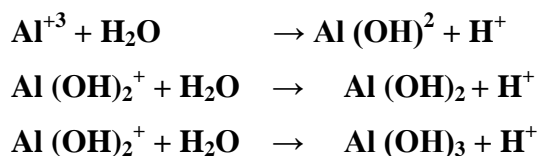
2.2.5. Efecto de acidez (H^+ y Al^{+3})

El aluminio (Al^{3+}) presente en el suelo, es una fuente productora de H^+ y parece dominar la situación en condiciones muy ácidas ($\text{pH} < 5$), pero a medida que el pH se eleva al nivel normal de los suelos agrícolas, los H^+ adsorbidos se consideran los más importantes en el proceso de acidificación (Navarro 2003) citado por (Nazar 2015).

Los problemas de crecimiento de cultivos en relación con la penetración deficiente de las raíces en los subsuelos ácidos, con frecuencia se asocian con las altas concentraciones de aluminio o manganeso solubles, estos iones son tóxicos para la mayoría de los cultivos (Bohn et al. 1993) citado por (Nazar 2015).

El aluminio intercambiable (Al^{+3}) presente en la solución del suelo es conocido como uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo. Los iones Al^{+3} desplazados desde las arcillas por otros cationes se hidrolizan (reaccionan con una molécula de agua) para formar complejos

hidroxialumínicos. La hidrólisis de las formas monoméricas de Al se ilustran en las siguientes reacciones:



Cada una de las reacciones libera H^+ contribuyendo a la acidificación del suelo (Bernier y Alfaro 2006).

La presencia de cantidades tóxicas de iones H^+ en los suelos orgánicos en materia orgánica, también pueden constituirse en una causa de infertilidad del suelo (Molina 1998) citado por (Nazar 2015).

2.2.6. Encalado

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

La adición de cal, es la adición al suelo de algún compuesto conteniendo calcio, o calcio y magnesio, que es capaz de reducir la acidez, correctamente la cal se refiere tan sólo al óxido cálcico. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente: carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de Ca y/o Mg. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable (Werner y Tisdale 1993) citado por (Nazar 2015).

2.2.7. Fuentes de encalado

2.2.7.1. Óxido de calcio (CaO).

Se le denomina “cal viva” y se obtiene calcinando el carbonato de calcio. Es uno de los materiales más usados para encalar, debido a su mayor velocidad de reacción. Tiene un alto contenido de calcio, hasta 71 %, sin

embargo, su manejo debe hacerse con cuidado, ya que puede causar quemaduras a la piel (Toledo 2016).

2.2.7.2. Hidróxido de calcio (Ca (OH)₂).

Se conoce también como cal apagada o cal hidratada. Es una sustancia blanca, polvorienta, difícil y desagradable de manejar. Se prepara hidratando la cal viva. Este material también reacciona también rápidamente en el suelo (Compillo 2014).

Se le denomina “cal apagada” y se obtiene hidratando la cal viva. Por lo general, tiene un contenido del 95 % de óxido de calcio (CaO). Su velocidad de reacción es un tanto menor que el de la cal viva, aunque mucho mayor que el de la caliza (Toledo 2016).

2.2.7.3. Carbonatos o cales agrícolas.

Carbonato de calcio: (CaCO₃). A este material se le denomina “caliza” y tiene un equivalente de óxido de calcio (CaO) entre 24 % y 38 %. Se obtiene a partir de las rocas calizas, de la cual forma parte en proporciones entre 60 % y 96 %. El producto empacado puede llevar cierto grado de impurezas como arena, limo y arcilla (Toledo 2016).

Carbonato doble de calcio y de magnesio: generalmente conocido como cal dolomítica y su fórmula es CaCO₃ MgCO₃ (Compillo 2014).

2.2.7.4. Dolomita

Cal dolomítica [(CaMg(CO₃)₂)]. Este material contiene alrededor de 21 % de calcio y 13 % de magnesio. Tiene una velocidad de reacción menor al carbonato de calcio. Sin embargo, tiene la ventaja de suplir magnesio, lo cual es ventajoso si vamos a usarlo en los suelos de la zona alta de Intibucá, donde la mayoría de los suelos son también deficientes en magnesio. En Honduras existen yacimientos de cal dolomítica, cerca de Potrerillos, Cortés, al norte de Honduras, por lo que es encontrado fácilmente en el comercio (Toledo 2016).

2.2.7.5. Óxido de magnesio

Este material está compuesto solo por magnesio (60 %) obtenido a partir de la roca magnesita. Además de ser fuente de magnesio, es ideal para usarse como enmienda para mejorar los suelos ácidos, ya que tiene una capacidad de neutralización de la acidez alta. Se considera que el poder neutralizante del MgO es 19 puntos mayor que el CaCO₃, por lo que si el CaCO₃ tiene 100 % de poder neutralizante, el del MgO es del 119 % (Toledo 2016).

2.2.7.6. Magnesita

Es un material a base de carbonato de magnesio (MgCO₃), que en su forma pura contiene aproximadamente un 28 % de Mg (Bernier y Alfaro 2006).

2.2.7.7. Características de la cal

2.2.7.7.1. Granulometría

La fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto (Molina 1998) citado por (Encina 2017).

Las cales con finura mayor a 100 mallas (mallaje establecido por la industria americana), son de alta eficiencia agronómica, mientras que las partículas retenidas por la malla 10 no tienen valor como enmienda (sin efectividad agronómica). Las partículas retenidas por la malla 60 ya presentan limitaciones; en cambio, las partículas que pasan por malla 60 y superiores son de adecuada eficiencia (Compillo 2014).

El tamaño de las partículas o finura del material encalante determina su velocidad de reacción. A menor tamaño de la partícula hay mayor superficie de contacto con el suelo. Esto se denomina superficie específica. Mientras más superficie específica presente una enmienda con mayor rapidez reacciona al contacto con el suelo.

La finura o eficiencia granulométrica (EG) de una enmienda se determina utilizando cribas o tamices de diferentes tamaños o mallas (mesh). Generalmente se usan tamices de 8, 20, 40, 60 y 80 mesh (Bernier y Alfaro 2006).

Tabla 1
Eficiencia relativa granulométrica de la enmienda según tamaño de partículas determinado en base a mallas.

Numero de Malla	tamaño de los orificios	eficiencia
mesh	mm	relativa
		%
< 8	>2.36	0
8-20	2.36 – 0.85	20
20 – 40	0.85 – 0.42	40
20 – 60	0.85 – 0.25	60
>60	< 0.25	100

Fuente: Bernier y Alfaro (2006).

Los materiales que son retenidos en la malla 8 mesh o menos no son efectivos. Los que pasan por 8 y no por 20 mesh tienen una eficiencia relativa de 20 %. Los que pasan por 20 y no por 60 mesh son 60 % efectivos. Finalmente, todos los materiales que pasan los 60 mesh tienen una efectividad relativa del 100% (Bernier y Alfaro 2006).

Para valorar en forma conjunta la pureza química y la fineza de los materiales se utiliza un parámetro denominado Índice de Eficiencia conocido también como Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT). Este parámetro también se obtiene multiplicando la eficiencia granulométrica por el equivalente químico y este producto se divide entre 100. El PRNT indica que porcentaje de la cal expresada por su EQ, es capaz de reaccionar en un lapso de 3 meses.

Este es el real poder de neutralización de la cal (Molina 1998) citado por (Encina 2017).

2.2.8. Reacciones de la cal en el suelo

Para Bernier y Alfaro (2006) por lo general las enmiendas calcáreas tienen muy baja solubilidad y deben ser finamente molidas para facilitar su hidrólisis. El uso eficiente de la cal requiere la observación de algunas normas o tecnologías de aplicación, dentro de las cuales el más importante es el tiempo de incubación. El tiempo de incubación es el tiempo que debe transcurrir para que la enmienda reaccione con las partículas de suelo y ejerza su acción neutralizante. La velocidad de reacción, por tanto, depende del tamaño de las partículas de la enmienda, de la temperatura del suelo y de su humedad.

En el caso de praderas permanentes la aplicación se debe realizar en cobertera, sobre la vegetación. La acción neutralizante, en este caso, es más lenta debido a que no existe contacto íntimo entre las partículas de la enmienda y las partículas del suelo.

Una vez aplicada la cal sobre la pradera se debe esperar un tiempo prudencial (4 a 6 meses) para que se solubilice y reaccione con el suelo antes de aplicar los fertilizantes fosfatados. El contacto de la cal con estos fertilizantes podría causar pérdidas de fósforo debido a la formación de fosfatos de calcio que son compuestos insolubles.

Durante el periodo de incubación se producen las reacciones que se detallan y se esquematizan.

Bernier y Alfaro (2006) mencionan que el carbonato de calcio se hidroliza en presencia de agua y temperatura templada, disociando en iones de calcio, ión bicarbonato y iones de hidroxilos.

La fuerte afinidad entre los iones bicarbonatos y los iones hidrógeno (H^+) hace que estos sean traídos desde el complejo coloidal (arcillas) formando ácido carbónico (H_2CO_3) inestable que rápidamente disocia en anhídrido carbónico (gas) y agua. Los iones calcio producto de la hidrólisis de la cal pasan a ocupar los sitios liberados por los H^+ y los iones (OH^-) se unen a los iones Al^{3+} que provienen del complejo coloidal produciéndose un

precipitado de hidróxido de aluminio $\text{Al}(\text{OH})_3$, quedando de ese modo neutralizando el efecto tóxico.

Los suelos ácidos se generan una pérdida de cationes básicos (calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), y sodio (Na)) y una acumulación de cationes (aluminio (Al) e hidrogeno (H)). El encalado consiste en agregar al suelo cualquier compuesto de calcio o de calcio y magnesio que sea capaz de reducir la acidez e incrementar el pH. El objetivo central de las enmiendas calcáreas es desplazar el aluminio intercambiable en las partículas del suelo y neutralizar el aluminio libre en la solución del suelo.

Los mecanismos de la reacción de los materiales encalantes permiten la neutralización de la acidez al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo.

Los iones hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{+3}) liberados a la solución de suelo por el intercambio con Ca, reaccionan con los iones bicarbonato (HCO_3^-) provenientes de la hidrólisis de la cal, formando agua y precipitando el aluminio, con liberación de anhídrido carbónico (CO_2) que se disipa como gas. De esta manera, el aluminio toxico de la solución de suelo queda neutralizado y químicamente inerte (Compillo 2014).

2.2.9. Definición de términos

Ácido. Un ácido es una sustancia que tiende a dar protones (iones hidrógeno) a alguna otra sustancia (Werner y Tisdale 1993) citado por (Nazar 2015).

Acidez actual. Se expresa por la concentración de iones H^+ actualmente disociados en la solución suelo y se expresa por el pH (Zavaleta 1992) citado por (Nazar 2015).

Acidez total o potencial. Corresponde a los iones H^+ de cambio adsorbidos (o al Al^{3+} que libera iones H^+) que se disocian progresivamente en la solución suelo (Zavaleta 1992) citado por (Nazar 2015).

Acidez del suelo. - La acidez de los suelos afecta algunas de sus características químicas y biológicas, que reducen el crecimiento de las plantas, tales como la disminución en la disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, K y P, y la proliferación de elementos como el Al y Mn que en cantidades altas pueden ser tóxicos para las plantas (Molina y Rojas 2005).

Encalado. - Es una práctica para reducir problema de la acidez de los suelos. Su acción radica en que produce un desplazamiento de los iones predominantes de los suelos ácidos hacia la solución, también incorporan al suelo grupos de hidroxilo, los cuales son responsables directos de la precipitación del aluminio (A. Jackson 1967) citado por (Nazar 2015).

Granulometría. - la fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto (Molina 1998) citado por (Encina 2017).

Hidrólisis. Es el reemplazamiento de cationes en la estructura de los silicatos primarios, por los iones de hidrógeno desde la solución suelo y llegando a la completa descomposición de los minerales (Navarro 2003) citado por (Nazar 2015).

pH. El pH significa potencial de hidrógeno (*pondus hydrogenii*) y nos da la concentración de hidrógeno en la solución del suelo. Este se mide en una escala que va de 1 a 14, donde siete es la mitad y significa un pH neutro (figura 10). Cuando el pH es neutro, el contenido de hidrógeno (H⁺) en la solución del suelo es igual al contenido de hidróxidos (OH⁻). Cuando el pH está por debajo de siete, el suelo es ácido y, en la medida que el pH desciende, el suelo se va volviendo aún más ácido. Cuando el pH está por arriba de siete, el suelo es alcalino o básico y se volverá más alcalino en la medida que el pH se incrementa (Toledo 2016).

Suelos ácidos. Los suelos ácidos contienen una cantidad considerable de cationes hidrógenos a efectos de la acidificación, el cual tiende a disminuir la disponibilidad de nutrientes (magnesio, calcio, fosforo, potasio) en los lugares donde suelen ser absorbidos por las plantas (Navarro 2003) citado por (Nazar 2015).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Caserío de Rodacocha, distrito de la Encañada, provincia y departamento de Cajamarca, a una altitud de 3470 msnm. Cuyas coordenadas UTM son: 794071m y 794047m Este y 9223107m y 9223081m Norte (figura 1).

El experimento se realizó en un área total de 190.80 m² de terreno. La instalación se realizó en campo con suelo ácido de jalca, al cual se dio la preparación agrotécnica correspondiente y se agregó la cal con una granulometría de: 2mm – 1mm; 1mm – 0.5mm; 0.5mm – 0.3mm; y < 0.3mm. A la muestra inicial de suelo se evaluó para tener un resultado de pH con el cual se pueda comparar los resultados posteriores de los análisis y analizar cuál es la variación y la reacción del suelo con respecto a la granulometría de la cal. El método de evaluación consistió en la recolección de muestras cada 15 días y conducidas al laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Cajamarca, en donde se dio el tratamiento correspondiente.

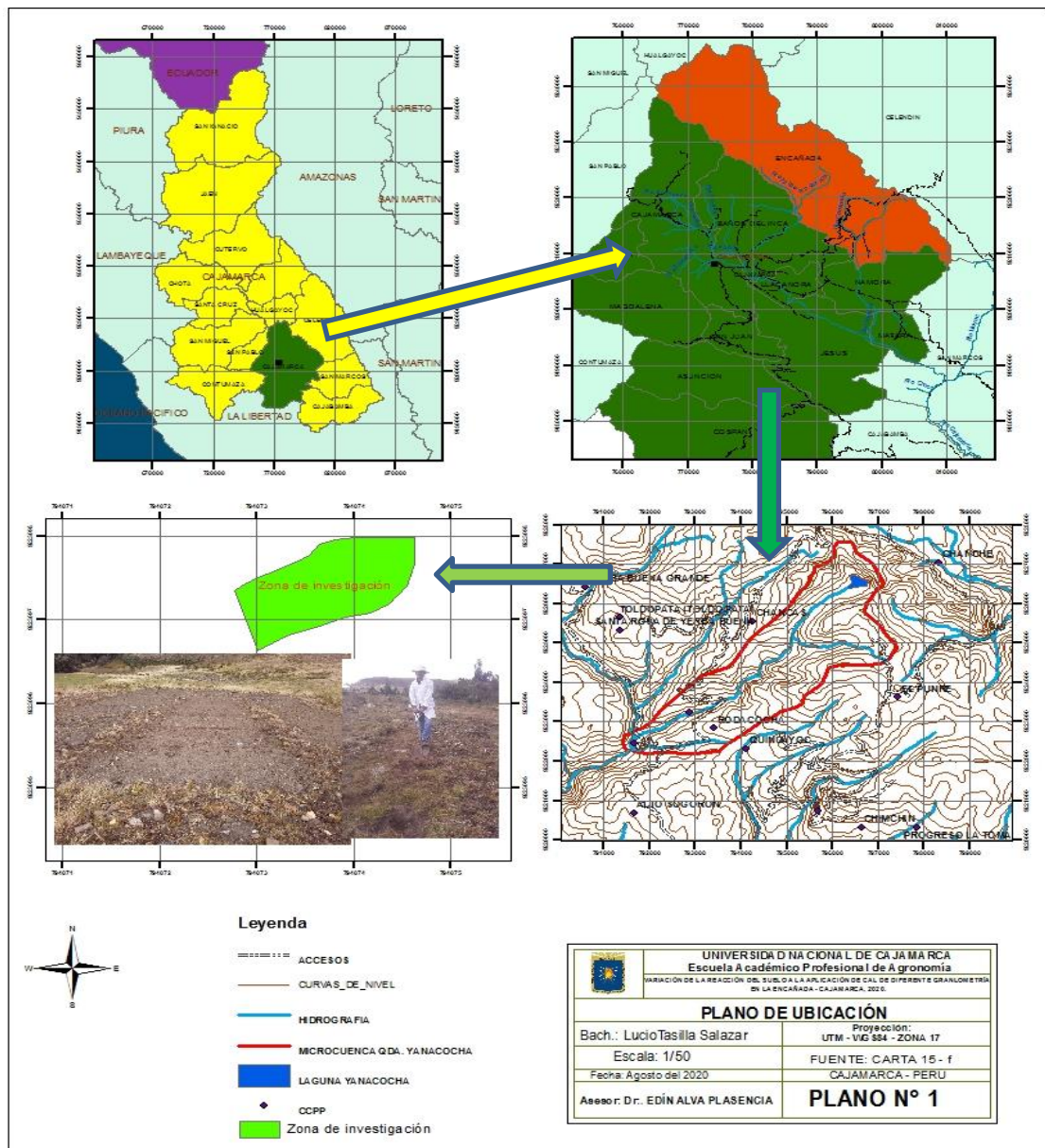


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

3.1.2. Periodo de duración del estudio y encalado.

El trabajo de investigación se realizó, durante los meses de agosto a octubre del 2019. Iniciando con la preparación del área de estudio, el día 01 hasta el 14 de agosto del 2019. El proceso de encalado a cada uno de los tratamientos se realizó el día 15 de agosto del 2019.

3.1.3. Condiciones climatológicas

3.1.3.1. Clima

El clima en la Micro cuenca La Encañada en la zona de valle tiene características de templado, frío subhúmedo con precipitación media del orden de 900 mm variando a frío húmedo en la zona de jalca donde las precipitaciones son mayores a 1000 m. Pero temporalmente mal distribuido. Frecuentemente ocurren heladas en las planicies y zonas de valle, con variaciones interanuales de precipitación muy grande. Existen dos épocas bien diferenciadas, la época de lluvias que se presenta entre los meses de octubre a abril, y la época de sequías entre los meses de mayo a septiembre (CODISEC - ENCAÑADA 2019).

Tabla 2

Datos meteorológicos registrados durante el periodo de investigación (agosto – octubre 2019).

Factores Meteorológicos	Meses (2019)		
	Agosto	Septiembre	Octubre
Precipitación (mm)	0	0.6	4.4
Humedad relativa (%)	73.6	75.5	80.1
Temperatura mínima (°C)	3.4	6.6	8.3
temperatura máxima (°C)	19.6	19.6	19.1

Fuente: SENAMHI / DRD, 2019.

Durante el periodo de la instalación del experimento, entre los meses de agosto, septiembre y octubre del 2019, según el SENAMHI se presentó una precipitación pluvial promedio de 1.66 mm; la humedad relativa promedio de 76.4 % y con temperaturas entre 6.1 a 19.43 °C.

3.2. Características del suelo

En La Encañada los suelos son ácidos, con pH 4.8 a 5.5 (1:2.5), materia orgánica 2.20 a 4.50%, P ppm 6 -12 y K ppm 70 - 270. Los cultivos principales son: trigo, papa, oca, cebada, maíz, haba, arveja olluco y chocho. El agricultor caracteriza al suelo de moderadamente superficial o profundo (30 - 60 cm) para suelos de terrazas de formación lenta y como delgados amarillentos a los suelos de laderas, (CIP, 1995; Poma, 1996) citado por (Aguero 2018).

3.3. Instrumentos, equipo y materiales utilizados

3.3.1. Materiales y equipos de campo

a. Materiales

- Balanza de campo
- Wincha (m)
- Bolsas del plástico
- Libreta de campo
- Lápiz
- Rafia
- Pico
- Palana
- Estacas
- Cal

b. Equipos

- GPS
- Cámara fotográfica semi profesional

3.3.2. Materiales y equipos de laboratorio

a) Materiales

- Agua destilada
- Kcl
- Matraz
- Proveta
- Agitadores
- Lápiz

b) Equipos

- Balanza analítica
- Tamiz
- Agitadores eléctricos
- Cronómetro

3.3.3. Materiales y equipos de gabinete

A. Materiales

- Papel A4
- Lápiz

B. Equipos

- Papel A4
- Laptop
- Impresora
- USB

3.3.4. Reactivos y equipos de laboratorio

A) Reactivos

- Agua destilada
- Solución de KCl 1N
- Solución tampón o Buffer pH 7

B) Equipos de laboratorio

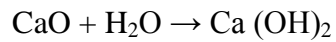
- Peachímetro
- Agitadores eléctricos
- Estufa
- Balanza analítica

3.4. Procedencia del material encalante.

3.4.1. Cal (Hidróxido de calcio)

El material encalante (Hidróxido de calcio) utilizado en el experimento es proveniente de la provincia de Bambamarca.

Según Barnier y Alfaro (2006) el hidróxido de calcio se conoce como cal apagada o cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se obtiene a partir de la reacción del óxido de calcio con agua, produciéndose lo siguiente:



Es un producto de color blanco difícil de manejar. Reacciona rápidamente con el agua del suelo, recomendándose su rápida incorporación. En forma pura contiene un 56% de Ca.

Tanto el óxido como el hidróxido de calcio son recomendables para su aplicación en cobertera para praderas permanentes por su acción rápida. Su difícil manejo y elevado costo serían limitantes a considerar.

3.5. Metodología

El trabajo de investigación se instaló realizando previamente los trabajos agrotécnicos correspondientes en campo, luego se procedió con la aplicación de la cal a cada tratamiento. La evaluación se realizó con un muestreo respectivo de cada tratamiento, donde las muestras fueron dirigidas al laboratorio para el análisis correspondiente y obtener resultados esperados. Dichos resultados fueron procesados estadísticamente.

La instalación se realizó en campo con suelo ácido de jalca, al cual se dio la preparación agrotécnica correspondiente y se agregó la cal con una granulometría de: 2mm – 1mm; 1mm – 0.5mm; 0.5mm – 0.3mm; y < 0.3mm. A la muestra inicial de suelo se evaluó para tener un resultado de pH con el cual se pueda comparar los resultados posteriores de los análisis y analizar cuál es la variación y la reacción del suelo con respecto a la granulometría de la cal. El método de evaluación consistió en la recolección de muestras cada 15 días y conducidas al laboratorio de análisis de suelos y plantas de la Universidad Nacional de Cajamarca, en donde se dio el tratamiento correspondiente.

3.5.1. Diseño Estadístico

Los tratamientos de esta Investigación se realizaron mediante un Diseño en Bloques Completamente Randomizado (DBCR), el cual consta de 09 tratamientos experimentales y 03 repeticiones. El área de experimento tiene un área de 190.80 m² (18 m x 10.60 m), cada repetición consta de 09 tratamientos y cada tratamiento un área de 6 m² (2 m de ancho por 3 m de largo).

3.6. Instalación del experimento

3.6.1. Delimitación del área de estudio

Este proceso consistió en delimitar un área de 190.80 m² (18 m x 10.60 m) con una cinta métrica y fijando estacas en los puntos correspondientes.

3.6.2. Limpieza del área de estudio

Luego de la delimitación, se prosiguió con la limpieza del área de estudio, como vegetación, piedras que se encontraban en la superficie del suelo.

3.6.3. Diseño

Se procedió con el diseño de los 3 bloques y también con los 27 tratamientos respectivos, los cuales tienen medidas de 2 m de ancho por 3 m de largo, cada tratamiento. Entre los bloques se dejó una calle de 0.80 m de ancho.

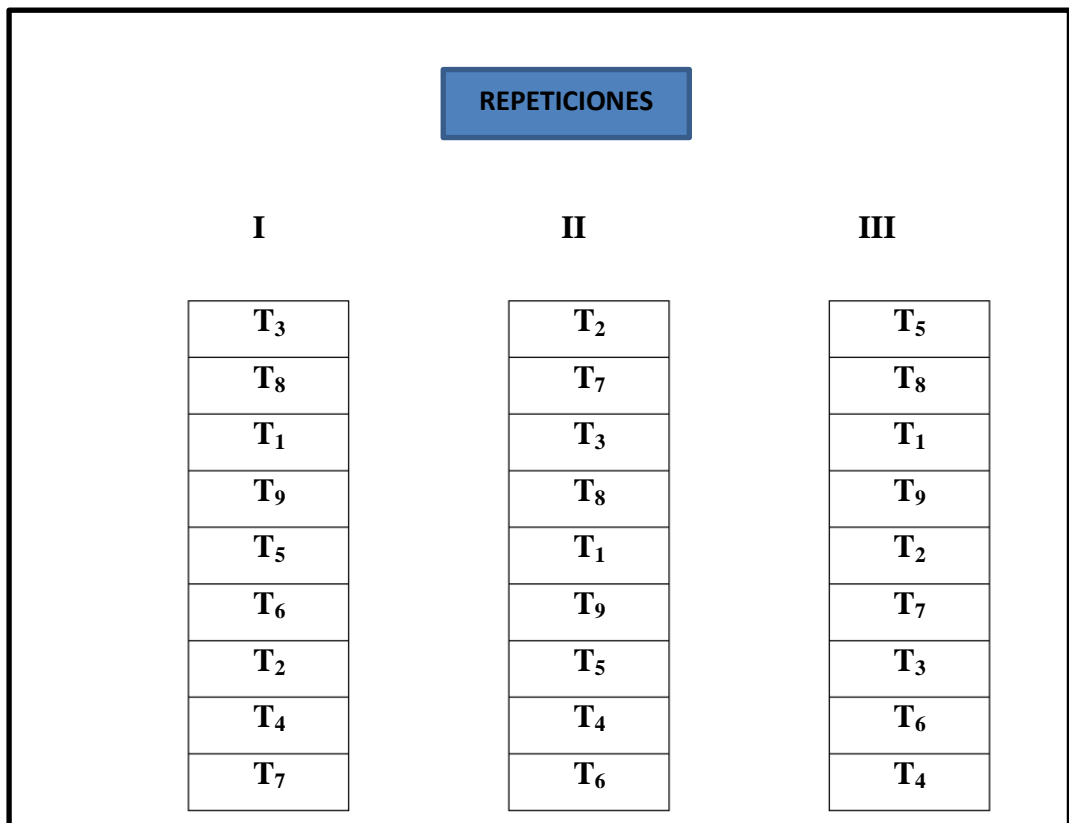


Figura 2. Croquis de la ubicación de las repeticiones y sus respectivos tratamientos.

3.6.4. Muestreo

El muestreo se realizó sacando una sub muestra de 30 cm de profundidad de cada tratamiento en un total de 27, a las cuales se juntó y homogenizó para sacar una 1 Kg de suelo. Dicha muestra fue conducido al laboratorio para su respectivo análisis y saber cuánto de pH tiene los tratamientos antes de la aplicación de la cal.

Tabla 3
pH de la evaluación inicial

Rango	Clase de pH
4.1	Ácido

Fuente: Elaboración propia, 2020.

3.6.5. Preparación del campo experimental

La preparación del área de estudio inició con la preparación agrotécnica de cada unidad experimental, con una profundidad de 30 cm que es la capa arable, luego se habilitó las calles entre cada bloque.

3.6.6. Aplicación de la cal

Terminada la preparación de las unidades experimentales se procedió con la aplicación de la fuente encalante de la siguiente forma:

1° Tratamiento = testigo, al cual no se aplicó ninguna dosis de cal Ca (OH)₂.

2° Tratamiento = 1 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 2 – 1 mm.

3° Tratamiento = 2 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 2 – 1 mm.

4° Tratamiento = 1 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 1 – 0.5 mm.

5° Tratamiento = 2 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 2 – 1 mm.

6° Tratamiento = 1 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 0.5 – 0.3 mm.

7° Tratamiento = 2 tha⁻¹ de cal con una granulometría de 0.5 – 0.3 mm.

8° Tratamiento = 1 tha⁻¹ de cal con una granulometría < 0.3 mm.

9° Tratamiento = 2 tha^{-1} de cal con una granulometría < 0.3 mm.

La aplicación de la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) a cada uno de los tratamientos se realizó el día 15 de agosto del 2019. Después de la aplicación de la cal $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a los tratamientos, se dejó por un periodo de 15 días, antes de la primera evaluación.

3.7. Evaluaciones realizadas.

Tabla 4
Fecha de aplicación y evaluación de la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

EVALUACIONES	FECHA
Primera evaluación	31 de Agosto del 2019.
Segunda evaluación	16 de Septiembre del 2019.
Tercera evaluación	02 de Octubre del 2019.
Cuarta evaluación	18 de Octubre del 2019.

Fuente: elaboración propia, 2020.

Como se muestra en la tabla 4, las evaluaciones se realizaron cada 15 días, siendo el periodo total de evaluación de dos meses.

3.7.1. Tratamientos

Tabla 5
Representación de tratamientos, cantidad de cal y granulometría.

Tratamientos	Cantidad de Cal (Tha^{-1}) cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Granulometría
1	Testigo	
2	1 tha^{-1} cal	2mm – 1mm
3	2 tha^{-1} cal	2mm – 1mm
4	1 tha^{-1} cal.	1mm – 0.5mm

5	2 tha^{-1} cal.	1mm – 0.5mm
6	1 tha^{-1} cal.	0.5mm – 0.3mm
7	2 tha^{-1} cal.	0.5mm – 0.3mm
8	1 tha^{-1} cal.	< 0.3mm
9	2 tha^{-1} cal.	< 0.3mm

Fuente: elaboración propia, 2020.

3.8. Trabajo de laboratorio.

3.8.1. Secado de las muestras.

Las mezclas traídas del campo de experimento al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Cajamarca, se llevó a la estufa por 24 horas a 105 C°.

3.8.2. Tamizado de las muestras.

Después de sacar las muestras de la estufa se procedió con el tamizado, en un tamiz de 2 mm para separar las impurezas provenientes del campo y además para que exista uniformidad de la muestra se suelo.

3.8.3. Pesado del suelo

Seguidamente se procedió con el pesado del suelo, la cantidad de 20 gramos para mezclar con el reactivo

3.8.4. Mezcla del suelo con el reactivo

En un matraz de 100 ml. Se agregó 50 ml de la solución de KCl 1N con agua destilada, se agregó los 20 gramos de suelo y se agitó 3 minutos en el agitador eléctrico para luego dejar reposar por 30 minutos.

3.8.5. Lectura del pH.

Finalmente, después de dejar que repose la solución por 30 minutos, la mezcla se llevó al peachímetro para realizar la lectura.

3.9. Proceso de datos

Después del proceso de lectura de las muestras con el peachímetro, los datos obtenidos de los tratamientos se llevaron al proceso estadístico correspondiente para su análisis respectivo y evaluación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultado de la evaluación en la reacción del suelo a la aplicación de cal de diferente granulometría en cada intervalo de tiempo.

4.1.1. Reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría en la primera evaluación.

Se presenta los resultados obtenidos de los análisis de varianza para cada variable evaluada a los 15 días después de la aplicación de la cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) para ver la reacción del suelo a la primera evaluación realizada a los 15 días después de la aplicación de la cal

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	2	0.35	0.17	4.45*	0.029
Tratamiento	8	4.46	0.56	14.3**	<0.0001
Error	16	0.62	0.04		
Total	26	5.44			

NS = no significativa; * = significativo ** = altamente significativo

CV = 4.14 %

La tabla 6, del análisis de varianza (ANOVA), nos muestra claramente que existe alta significación estadística para los tratamientos, dado que, el valor de significación (p-valor = <0.0001) es menor al 0.05 (5 %), es decir, los resultados obtenidos de cada aplicación de cal con diferente granulometría (tratamientos), causaron un efecto significativo en la corrección del pH del suelo.

El coeficiente de variación (CV = 4.14 %), es adecuado, lo cual indica la variabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos, en sus tres repeticiones. Concluyendo que el ensayo es muy confiable. Para saber que

tratamiento o tratamientos es el mejor se aplicó la prueba de Duncan al 5% de probabilidades.

Tabla 7
Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH)₂) de diferente granulometría

Tratamiento	pH promedio del suelo	Significación estadística de Duncan al 5%			
T9	5.57	A			
T7	5.02	B			
T8	4.98	B			
T5	4.93	B			
T4	4.85	B	C		
T2	4.56		C	D	
T6	4.53		C	D	
T3	4.45			D	
T1(Testigo)	4.06				E

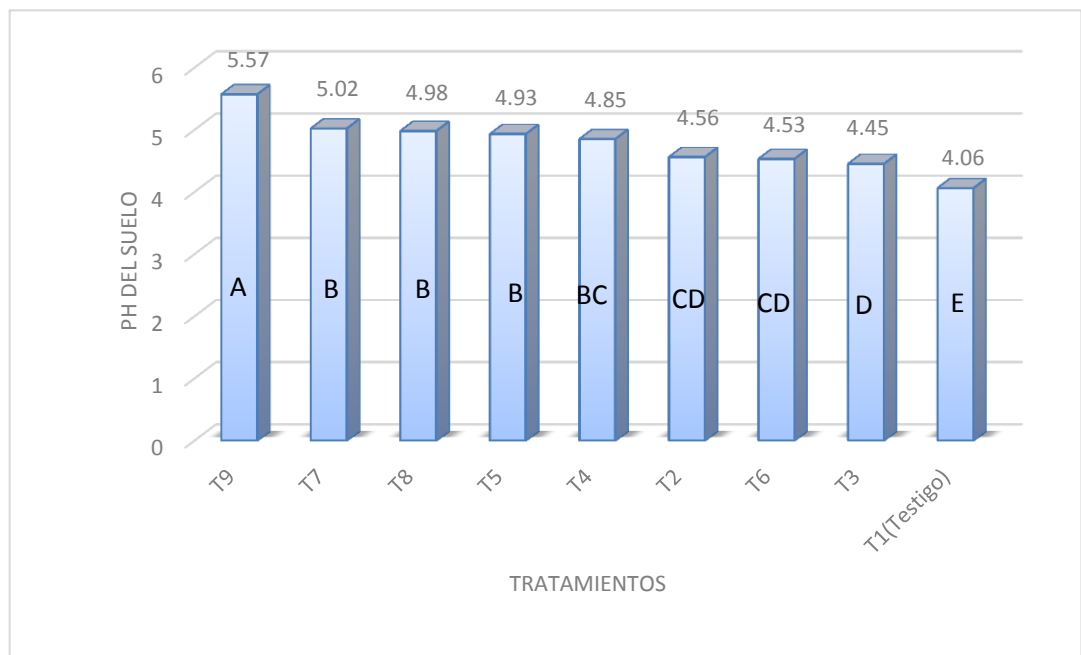


Figura 3. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 15 días

Estadísticamente T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), es superior al resto de tratamientos con un pH promedio de 5.57

También no hay diferencia estadística en los tratamientos: T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), pero el tratamiento T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm) supera a los tratamientos T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y T1(testigo).

El tratamiento T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), es igual estadísticamente con el tratamiento T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), y T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), pero superior a los tratamientos T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y T1 (testigo).

El tratamiento T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), es igual estadísticamente con el tratamiento T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), y T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) pero superior al T1 (testigo).

El tratamiento T1 (testigo) estadísticamente ocupa el último lugar, el cual no recibió ninguna dosis de cal.

Según la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (tabla 7), para la variable corrección del pH del suelo, nos indica que el T9 (2 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), es superior al resto de tratamientos con un pH promedio de 5.57, es decir, que corrige el suelo con mayor eficiencia en comparación al resto de tratamientos; el tamaño de las partículas o finura del material encalante determina su velocidad de reacción. A menor tamaño de la partícula hay mayor superficie de contacto con el suelo (Bernier y Alfaro 2006). El último lugar ocupó el

testigo (T1), con un pH promedio de 4.06, el cual no tuvo aplicación alguna, tal como se muestra en la figura 3.

4.1.2. Reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría en la segunda evaluación.

Tabla 8
Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de diferente granulometría a los 30 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P-valor
Bloque	2	1.84	0.92	4.64*	0.0258
Tratamiento	8	4.98	0.62	3.15*	0.0244
Error	16	3.17	0.2		
Total	26	9.99			

NS = no significativa; * = significativo ** = altamente significativo

CV = 9.13 %

La tabla 8, muestra el análisis de varianza (ANOVA), donde se observa que existe significación estadística para los tratamientos, dado que, el valor de significación (p-valor = <0.0244) es menor al 0.05 (5 %), es decir, los resultados obtenidos de cada aplicación de cal con diferente granulometría (tratamientos), causaron un efecto significativo en la corrección del pH del suelo.

El coeficiente de variación (CV = 9.13 %), es adecuado, lo cual indica la variabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos, en sus tres repeticiones.

Tabla 9

Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.

Tratamiento	pH promedio del suelo	Significación estadística de Duncan al 5%		
T9	5.69	A		
T7	5.39	A	B	
T8	5.06	A	B	C
T4	4.91	A	B	C
T5	4.76		B	C
T6	4.74		B	C
T2	4.66		B	C
T3	4.34			C
T1 (Testigo)	4.31			C

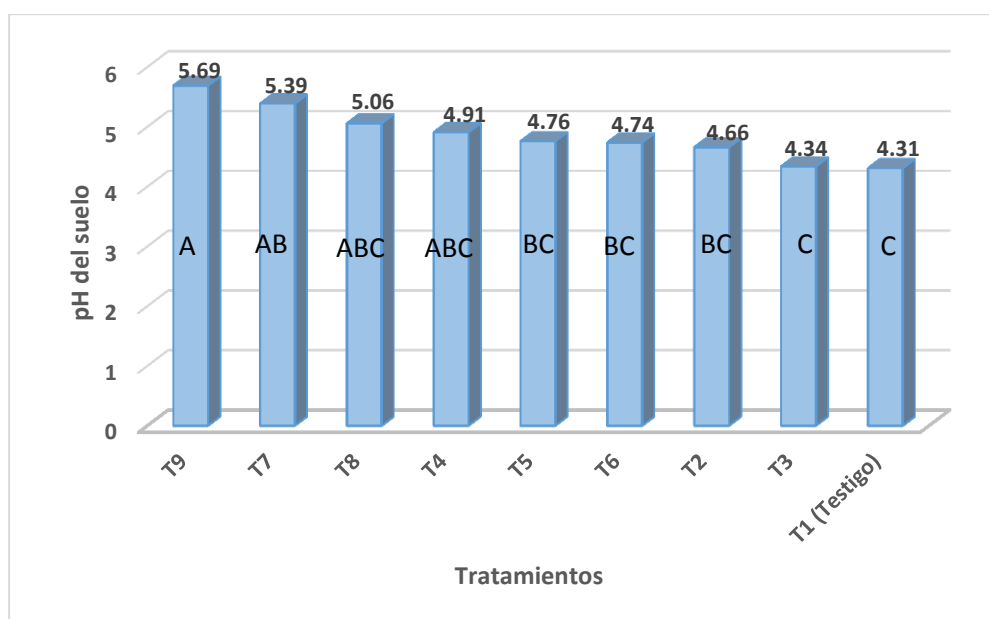


Figura 4. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 30 días.

Estadísticamente el tratamiento T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm) es igual con los tratamientos

T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T4 (1 t ha⁻¹ de cal

(Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), pero superior a los tratamientos T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm , T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y T1(testigo).

El tratamiento T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm) es igual estadísticamente con los tratamientos T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm , T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), pero superior a los tratamientos T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y T1 (testigo).

El tratamiento T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm) estadísticamente es igual que los tratamientos T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm , T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), pero superior a los tratamientos T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y al T1 (testigo).

Según la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (tabla 9 y figura 4), para la variable corrección del pH del suelo, nos indica que el T9 (2 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), con un pH de 5.69 siendo superior a los tratamientos, debido a que el hidróxido de calcio, el cual se disocia en calcio y en moléculas de hidroxilo (2OH⁻), y es la encargada de neutralizar las cargas positivas del hidrogeno aumentando el pH del suelo (Nazar 2015); seguido de el T7 (2 t ha⁻¹ con granulometría 0.5mm - 0.3 mm) con pH 5.39; T8 (1 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm) con pH 5.06 y el T4 (1 t ha⁻¹ con granulometría 1 – 0.5 mm) con pH 4.91; y del tratamiento testigo (T1), cuyo valor fue de 4.31, el cual no recibió ningún tipo de dosis de cal.

Nazar (2015) Así mismo, la acidez cambiante de 66.06%, ha disminuido a 6.32% para el tratamiento T4 a una dosis de 4 tha-1, a comparación del T0, T1, T2 y T3 que presentan altos porcentajes de acidez cambiante (de 66.06% a 10.61 %), debido a que el óxido de calcio reacciona con el agua y forma el hidróxido de calcio, el cual se disocia en calcio y en moléculas de hidroxilo (2OH-), y es la encargada de neutralizar las cargas positivas del hidrogeno aumentando el pH del suelo.

Bernier y Alfaro (2006) indican que la velocidad de reacción, depende del tamaño de las partículas de la enmienda, de la temperatura del suelo y de su humedad.

4.1.3. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH)₂) de diferente granulometría en la tercera evaluación.

Tabla 10
Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH)₂) de diferente granulometría a los 45 días.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	2	0.01	0.01	0.05NS	0.9557
Tratamiento	8	10.61	1.33	9.86**	0.0001
Error	16	2.15	0.13		
Total	26	12.77			

NS = no significativa; * = significativo ** = altamente significativo

CV = 6.00 %

En la tabla 10, se observa los resultados del análisis de varianza (ANOVA), los cuales indican que existe alta significación estadística para los tratamientos, dado que, el valor de significación (p-valor = 0.0001) es menor al 0.05 (5 %), es decir, los resultados obtenidos de cada aplicación de cal con diferente granulometría (Tratamientos), causaron un efecto significativo en la corrección del pH del suelo.

El coeficiente de variación (CV = 6 %), es adecuado, lo cual indica la variabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos, en sus tres repeticiones.

Tabla 11
Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.

Tratamientos	pH promedio del suelo	Significación estadística de Duncan al 5%
T9	6.61	A
T8	6.56	A
T5	6.51	A
T7	6.42	A
T3	6.22	A
T4	6.17	A
T2	6.14	A
T6	5.93	A
T1(Testigo)	4.44	B

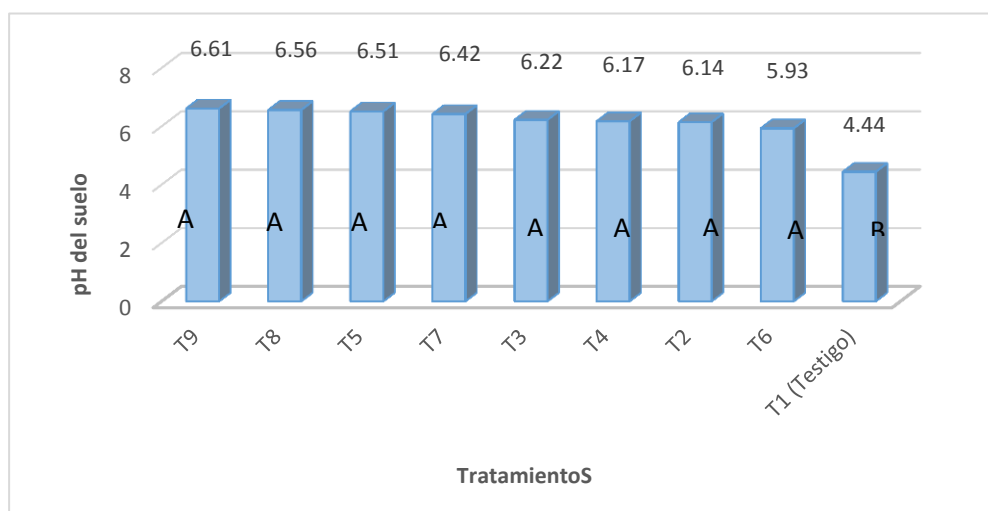


Figura 5. pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 45 días

Estadísticamente el tratamiento T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm) es igual con los tratamientos T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm, pero superior al tratamiento T1(testigo).

El tratamiento T1 (testigo) estadísticamente ocupa el último lugar, el cual no recibió ninguna dosis de cal.

Según la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (tabla 10 y figura 5), para la variable corrección del pH del suelo nos indica que todos los tratamientos T9, T8, T5, T7, T3, T4, T2, T6, T1; asimismo existiendo una tendencia de que el T9 es superior estadísticamente con un promedio de 6.61, señalando que este resultado es por la dosis de 2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) y con una granulometría < 0.3 mm.

En donde estos resultados concuerdan con los datos que reporta Nazar (2015), el pH para el testigo T0 (sin dosis de cal) con un resultado de 4.44, es bastante ácido a comparación de los tratamientos T9, T8, T5, T7, T3, T4, T2, T6, ascendieron su pH acercándose a neutro, debido a que el proceso de la hidrólisis (disolución del óxido de calcio en el suelo) incrementa a los iones hidroxilo, por el cual se eleva el pH, y a la vez disminuye la acidez del suelo.

4.1.4. Reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH)₂) de diferente granulometría en la cuarta evaluación.

Tabla 12

Análisis de varianza (ANOVA) para la reacción del suelo a la aplicación de cal (Ca (OH)₂) de diferente granulometría a los 60 días

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	p-valor
Bloque	2	0.58	0.29	0.87NS	0.4363
Tratamiento	8	10.73	1.34	4.06**	0.0083
Error	16	5.29	0.33		
Total	26	16.6			

NS = no significativa; * = significativo ** = altamente significativo

CV = 9.61 %

La tabla 12, del análisis de varianza (ANOVA), nos muestra claramente que existe alta significación estadística para los tratamientos, dado que, el valor de significación (p-valor = <0.0083) es menor al 0.05 (5 %), es decir, los resultados obtenidos de cada aplicación de cal con diferente granulometría (tratamientos), difieren uno del otro en cuanto a su reacción con el suelo (pH).

El coeficiente de variación (CV = 9.61%), es adecuado, lo cual indica la variabilidad de los resultados obtenidos en los tratamientos, en sus tres repeticiones.

Tabla 13
Prueba de significación de Duncan al 5 % de probabilidad para la corrección del pH del suelo.

Tratamiento	pH promedio del suelo	Significación estadística de Duncan al 5%		
T9	6.79	A		
T7	6.43	A		
T4	6.32	A	B	
T8	6.29	A	B	
T6	6.2	A	B	
T5	6.18	A	B	
T2	5.76	A	B	
T3	5.3		B	C
T1 (Testigo)	4.6			C

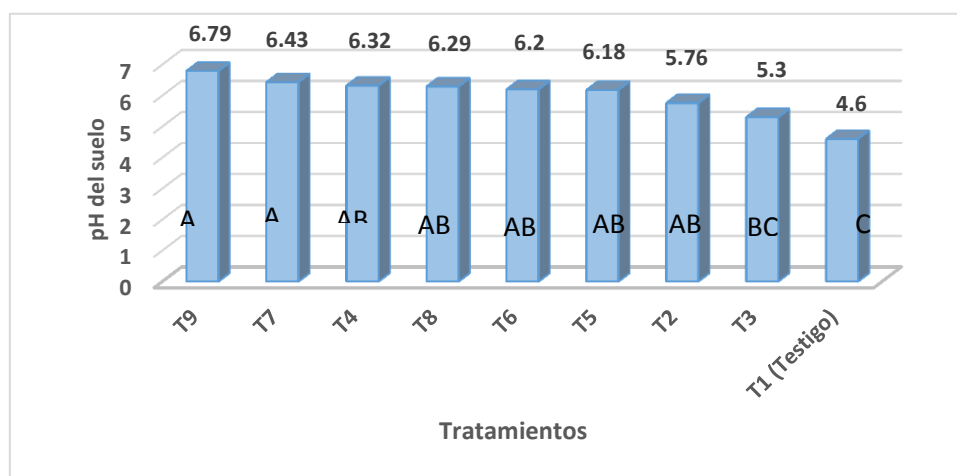


Figura 6. *pH promedio alcanzado por los tratamientos, a los 60 días.*

Estadísticamente el tratamiento T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm) es igual con los tratamientos T7 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) pero superior a los tratamientos T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) y T1 (testigo).

El tratamiento T4 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), es igual estadísticamente con los tratamientos T8 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), T6 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 0.5 – 0.3 mm), T5 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 1 – 0.5 mm), T2 (1 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm), pero superior a los tratamientos T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) pero superior al tratamiento T1 (testigo).

El tratamiento T3 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría 2 – 1 mm) es igual estadísticamente con el tratamiento T1 (testigo).

En esta última medición los resultados tienden a tener una igualdad por lo que contrastando lo que Compillo (2014) indica que los mecanismos de la reacción de los materiales en calates permiten la neutralización de la acidez al ponerse en contacto la cal con el agua del suelo. Los iones hidrógeno (H⁺) y aluminio (Al⁺³) liberados a la solución de suelo por el intercambio con Ca, reaccionan con los iones bicarbonato (HCO₃⁻) provenientes de la hidrólisis de la cal, formando agua y precipitando el aluminio, con liberación de anhídrido carbónico (CO₂) que se disipa como gas. De esta manera, el aluminio tóxico de la solución de suelo queda neutralizado y químicamente inerte. Y tomando en cuenta los datos meteorológicos registrados en la tabla..., durante el periodo de investigación, según el SENAMHI, la precipitación (mm) durante los meses de septiembre y octubre del 2019 aumentó.

Debido a que el proceso de la hidrólisis (disolución del óxido de calcio en el suelo) incrementa a los iones hidroxilo, por el cual se eleva el pH, y a la vez disminuye la acidez del suelo (Nazar 2015), por ese motivo se aprecia que la última medición tiende a tener una igualdad.

Según la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (tabla 13 y figura 6), para la variable corrección del pH del suelo, nos indica que el T9 (2 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), es superior al resto de tratamientos, seguido del T7 (1 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), T8 (1 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm) y el T4 (1 t ha⁻¹ con granulometría 1 – 0.5 mm) cuyos pH promedios son de 5.59, 5.39, 5.06 y 4.91 respectivamente, siendo estadísticamente iguales

y superiores al resto. El menor pH se encontró con el tratamiento testigo (T1), cuyo valor fue de 4.31.

Según la prueba de significación de Duncan al 5% de probabilidad (tabla 13) para la variable corrección del pH del suelo, nos indica que el T9 (2 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), es superior al resto de tratamientos, con un pH promedio de 6.79, el cual es un valor muy cercano a la neutralidad para un desarrollo óptimo de los cultivos. Como menciona Encina (2017), la fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. Es por tal motivo que el T9 (2 t ha⁻¹ con granulometría < 0.3 mm), ha reaccionado más rápido con el suelo subiendo el pH, porque sus partículas son más finas que los demás tratamientos.

El menor pH se encontró con el tratamiento testigo (T1), cuyo valor fue de 4.6, tal como se puede apreciar en la figura 6.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se concluye que el tratamiento el T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con una granulometría < 0.3 mm) ha superado a los demás tratamientos después de 02 meses, alcanzando el pH un valor de 6.79, ubicándose dentro del rango de un suelo neutro (6,6 a 7,3).
2. En la medición de los tratamientos hubo alta significación en cada uno de los intervalos de tiempo, el T9 (2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), subió el pH de 4.1 a 5.57 a los 15 días; 5.69 a los 30 días; 6.61 a los 45 días y 6.79 a los 60 días, superando al resto de tratamientos en cada medición.
3. También hubo alta significación estadística en la dosis de cal a los tratamientos, el tratamiento T9 al que se aplicó 2 t ha⁻¹ de cal (Ca (OH)₂) con granulometría < 0.3 mm), superó estadísticamente al resto de tratamientos.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos que mostraron significancia para el tratamiento T9, se debe utilizar enmiendas calcáreas (Ca (OH)_2) con una granulometría < 0.3 mm, para corregir los suelos con problemas de acidez en un tiempo más acelerado.
2. Continuar con los estudios de encalado con esta variable en suelos ácidos con esta altitud, utilizando otras fuentes calcáreas y también analizar el costo y beneficio al utilizar dichas enmiendas.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFIA

- Asqui, CR. 2018. Efecto de encalado en la producción de papa (*solanum tuberosum* l.) var. imilla negra en un suelo ácido del CIP. TESIS. Camacani, Puno.
Disponible en: [file:///C:/Asqui_Saraza_Christiam_Rudy%20\(1\).pdf](file:///C:/Asqui_Saraza_Christiam_Rudy%20(1).pdf)
- Agüero, SD. 2018. “Sistemas de producción de *lupinus mutabilis* sweet ‘chocho’ en terrazas y laderas con fertilización fosfatada en Cajamarca”. Tesis. Lima, Perú.
Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3090/aguero-aguilar-silvia-doris.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Bernier, R; Alfaro, M. 2006. Acidez de los suelos y efecto del encalado. Osorno, Chile.
Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33824.pdf>
- Bernet, T; Tapia, M. 1999. Análisis de los Sistemas de Producción en la Microcuenca de la Encañada: Documento Base para Investigaciones y Acciones Futuras en la Sierra Norte del Perú. Departamento de Ciencias Sociales, Documento de Trabajo No. 1999-1. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. Impreso en el Centro Internacional de la Papa, Apartado Postal 1558, Lima 12, Perú.
Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48031318.pdf>
- Calva, C; Espinosa J. 2017. Efecto de la aplicación de cuatro materiales de encalado en control de la acidez de un suelo de Loreto, Orellana. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central del Ecuador. Quito – Ecuador.
Disponible en: [file:///C:/Users/Lucio2/Downloads/505-Manuscrito-1918-1-10-20180908%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/Lucio2/Downloads/505-Manuscrito-1918-1-10-20180908%20(6).pdf)
- Castro H; Munevar Ó. 2013. Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales. Disponible en: <https://repository.udca.edu.co/jspui/bitstream/11158/1754/1/Art%C3%ADculo.pdf>
- Castillo et al. 2009. Distribución espacial del pH de los suelos agrícolas de Zapopan. Jalisco, México. Disponible en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-5172009000300003

Compillo, R. 2014. Corrección de suelos acidificados mediante enmiendas calcáreas en la región de la Araucanía. Temuco, Chile. Disponible en:

<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40224.pdf>

Encina, KM. 2017. “Escoria básica y carbonato de calcio en la recuperación de un suelo ácido de tingo María, en maíz (*zea mays*) pm 213 en invernadero”. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2682/P36-E55-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Espinosa, J. 1999. Acidez y encalado de los suelos. Quito, Ecuador.

Disponible en: www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado

INRENA. 1998. estudio integrado de caracterización de recursos naturales renovables en microcuencas alto andinas para el alivio a la pobreza en sierra. Lima, Perú.

Disponible en:

<http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/1677/ANA00005981.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Magno, VC. 2014. Efecto de la materia orgánica y encalado del suelo en cebada (*hordeum vulgare* L) variedad una 96 cultivado en invernadero. Tesis Ing. Agr. Lima, Perú. 78 p. Disponible en:

<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1502/t006823.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Molina, E; Rojas, A. 2005. Efecto del encalado en el cultivo de naranja valencia en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* (en línea). Costa Rica. Consultado 26 de nov. 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43626961012>

Municipalidad Distrital De La Encañada. 2019. Plan Local de Seguridad Ciudadana y convivencia social 2019. Secretaría Técnica Del Codisec Encañada. Disponible en:

https://www.municaj.gob.pe/coprosec/documentos/planes/distrito/2019/plsc_encañada2019.pdf

Nazar, J. 2015. Efecto del encalado en el crecimiento de la valeriana pilosa r&p en huanico, Cajamarca. Tesis Mg. Sc. Cajamarca, Perú. 85p. Disponible en:

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1555/Tesis%20Javier%20Naz%20ar%20pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Poma W; Alcántara GH.2012. Estudio de suelos y capacidad de uso mayor de las tierras departamento de Cajamarca. 82 p. Disponible en:

http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria_Descriptiva_Suelos_CUM.pdf

Toledo, M. 2016. Manejo de suelos ácidos en las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos. Tegucigalpa, Honduras. Disponible en:

<http://repositorio.iica.int/bitstream/11324/3108/1/BVE17069071e.pdf>

Vidarte, AF.1998. “Influencia del encalado en las propiedades de un suelo ácido y en el cultivo de maíz a nivel de invernadero”. Tesis. Cajamarca- Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 69 p.

ANEXOS

Imágenes mostrando el proceso de las actividades que se realizó durante la investigación

ANEXO 1: Panorama del área de estudio en un inicio.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2: Tomando sub muestras al azar de cada tratamiento



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3: Mezcla homogénea de las sub muestras.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 4: Muestra de suelo representativa de toda el área de estudio



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5: Labor agrotécnico de las repeticiones con sus respectivos tratamientos.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 6: Tamizado de la cal en el laboratorio de suelos.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 7: Tamices con diferente granulometría de cal.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 8: Pesado de la dosis de cal para cada tratamiento.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 9: Dosis de cal para cada tratamiento respectivo.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10: Tratamiento T4 con su respectiva dosis de cal, antes del encalado.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 11: Tratamiento T5 en momentos del encalado.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 12: Muestras de los tratamientos en la estufa para el secado respectivo.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 13: pesado de las muestras de suelo.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 14: Solución de la muestra de suelo con KCL y agua destilada.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 15: Proceso de la mezcla de la solución.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 16: Agitación de las muestras con los agitadores eléctricos.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 17: Lectura de las muestras con el potenciómetro



Fuente: Elaboración propia