

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“USO DE LA CÁSCARA DE HUEVO MOLIDA COMO MATERIAL
ENCALANTE EN SUELOS ÁCIDOS DEL PERÚ”**

Presentada por:

ANTONI FERNANDO HUANCA BIZARRO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima-Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“USO DE LA CÁSCARA DE HUEVO MOLIDA COMO MATERIAL
ENCALANTE EN SUELOS ÁCIDOS DEL PERÚ”**

Presentada por:

ANTONI FERNANDO HUANCA BIZARRO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Alberto Julca Otiniano
PRESIDENTE

Dr. Sady Javier García Bendezú
ASESOR

Ing. Mg. Sc. Braúlio La Torre Martínez
MIEMBRO

Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello
MIEMBRO

Lima-Perú

2018

DEDICATORIA

A mis padres por estar siempre a mi lado en todo momento, por los valores y la educación que me han brindado, por haberme dado todo lo necesario para tener una hermosa vida y sobre todo por ser un gran ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Dionisia y Fernando por el apoyo incondicional que ha sido fundamental para poder terminar esta investigación

A mi asesor de tesis Dr. Sady García Bendezú por la confianza depositada en mí, por su tiempo brindando, por el apoyo, y sobre todo por la constante enseñanza durante todo este tiempo.

A la empresa avícola San Fernando y al programa de cofinanciamiento Innóvate Perú por haber patrocinado esta tesis y apostado por la investigación en residuos industriales.

A todo el equipo del laboratorio de suelos, por brindarme apoyo cuando lo necesite.

A Henry, Michell, Ruth y Tomas que me apoyaron de alguna u otra manera a poder terminar esta tesis.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo principal	2
Objetivos específicos	2
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 RESIDUOS AGRÍCOLAS	3
2.2 LA CÁSCARA DE HUEVO DE GALLINA.....	3
2.2.1 Composición del huevo de gallina.	3
2.2.2 Estructura de la cascara de huevo de gallina	3
2.3 ACIDEZ DEL SUELO	4
2.3.1 Generalidades	4
2.3.2 Formación de los suelos ácidos	4
2.3.3 Importancia del pH en los suelos.....	5
2.4 FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS ÁCIDOS	5
2.5 ALUMINIO INTERCAMBIABLE DEL SUELO	6
2.5.1 Efectos del aluminio en el suelo	6
2.5.2 Efectos del aluminio en la planta.....	7
2.6 ENCALADO DE SUELOS ÁCIDOS	7
2.6.1 Requerimiento de encalado	7
2.6.2 Materiales encalantes.....	8
2.6.3 Tamaño de partículas de enmiendas cálcicas.	8
2.6.4 Pureza química de los materiales encalantes.....	8
2.6.5 La temperatura del suelo.....	9

2.7	EL CALCIO EN LOS SUELOS ÁCIDOS	9
2.7.1	Calcio en el suelo.....	9
2.8	DISPONIBILIDAD DE CALCIO EN EL SUELO	9
2.8.1	Calcio cambiable y calcio soluble	9
2.9	DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO.....	10
2.10	DETERMINACIÓN DE CALCIO Y ALUMINIO CAMBIABLE	10
2.11	CALCIO EXTRACTABLE.....	10
2.11.1	Método del acetato de amonio.....	10
2.11.2	Extractante Mehlich-3	11
2.12	ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	11
III.	METODOLOGÍA.....	12
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	12
3.2	PREPARACIÓN DE LOS SUELOS ÁCIDOS	12
3.2.1	Procedencia.....	12
3.2.2	Muestreo y preparación de los suelos ácidos	12
3.3	PREPARACIÓN DEL MATERIAL ENCALANTE	13
3.4	FACTORES EN ESTUDIO.....	13
3.4.1	Fracción de molienda de la cáscara de huevo.....	13
3.4.2	Dosis de aplicación de carbonato de calcio (cáscara molida de huevo).....	14
3.5	DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE APLICACIÓN DE CÁSCARA MOLIDA DE HUEVO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LA ACIDEZ CAMBIABLE.....	15
3.5.1	Características del material encalante.....	15
3.5.2	Neutralización teórica de la acidez cambiable con carbonato de calcio.....	16
3.5.3	Dosis de aplicación en base al poder relativo de neutralización total (PRNT) de la cáscara molida de huevo.....	17
3.6	INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	17
3.6.1	Instalación.....	17

3.7	INCUBACIÓN	18
3.8	VARIABLES EVALUADAS.....	18
3.8.1	pH en agua	18
3.8.2	Determinación de acidez cambiable	18
3.8.3	Determinación de calcio cambiable.....	18
3.8.4	Determinación Calcio extractable	18
3.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	19
3.9.1	Diseño experimental	19
3.9.2	Tratamiento estadístico.....	20
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	21
4.1	PH EN EL SUELO	25
4.2	ACIDEZ CAMBIABLE	37
4.3	CALCIO CAMBIABLE	41
4.4	CALCIO CAMBIABLE Y CALCIO EXTRACTABLE	44
4.5	EXTRACTABILIDAD.....	50
V.	CONCLUSIONES	53
VI.	RECOMENDACIONES.	54
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	55
XIII.	ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reacción de las enmiendas cálcicas en función de su tamaño de partícula	8
Tabla 2. Suelos ácidos de diferentes procedencias.....	12
Tabla 3. Fracciones de tamizado obtenidos del material molido.	13
Tabla 4. Tratamientos ensayados en cada uno de los suelos ácidos procedentes de Jauja, Pangoa y Ucayali.....	15
Tabla 5. Contenido de nitrógeno y carbonato de calcio del material cáscara molida de huevo	15
Tabla 6. Características químicas de la acidez de los suelos en estudio	16
Tabla 7. Dosis de cáscara de huevo, en base al poder relativo de neutralización (PRNT), en cada unidad experimental de 200 gramos de suelo.	17
Tabla 8. Distribución de grados de libertad por fuente de variación.....	20
Tabla 9. Evolución temporal de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante, el calcio disponible en un suelo ácido de Jauja.....	22
Tabla 10. Evolución en el tiempo de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante, el calcio disponible en un suelo ácido de Pangoa.....	23
Tabla 11. Evolución en el tiempo de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante y el calcio disponible en un suelo ácido de Ucayali.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fracción fina (a) y sin tamizar (b) de la cáscara de huevo molida.....	14
Figura 2. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracción de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiabile)	25
Figura 3. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiabile)	26
Figura 4. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiabile)	27
Figura 5. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiabile).	28
Figura 6. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiabile).	29
Figura 7 . Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiabile).	30
Figura 8. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiabile).	31
Figura 9. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiabile).	32
Figura 10. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiabile).	33
Figura 11. Evaluación del pH en los suelos ácidos de Jauja, Pangoa y Ucayali durante un periodo de incubación de 135 días, donde se aplicó las dosis al 0, 100, 200 y 400 por ciento de neutralización de la acidez cambiabile, con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara molida de huevo.....	35

Figura 12. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de acidez cambiabile (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Jauja, durante un periodo de incubación de 135 días	38
Figura 13.Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiabile (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Pangoa, durante un periodo de incubación de 135 días.	39
Figura 14.Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiabile (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Ucayali, durante un periodo de incubación de 135 días.....	40
Figura 15. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiabile (al 0, 100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiabile del suelo de Jauja, durante un periodo de incubación de 135 días.....	41
Figura 16. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiabile (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiabile del suelo de Pangoa, durante cada momento de evaluación (45, 90 y 135 días).....	42
Figura 17. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiabile (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiabile del suelo de Ucayali, durante un periodo de incubación de 135 días.....	43
Figura 18. Correlación entre los valores calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiabile (cloruro de potasio 1N) en el suelo ácido de Jauja.	45
Figura 19 Correlación entre los valores calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiabile (cloruro de potasio 1N) del suelo ácido de Pangoa.	47
Figura 20. Correlación entre calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiabile (cloruro de potasio 1N) del suelo ácido de Ucayali.	49
Figura 21 Comparación entre el calcio cambiabile y las soluciones extractoras (KCl 1N, Ac.Na. pH 7 y Mehlich-3) en la evaluación a los 45 de incubación.	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.	59
Anexo 2. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.....	59
Anexo 3. Prueba de ANVA para el calcio cambiabile del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.....	59
Anexo 4. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.....	60
Anexo 5. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.	60
Anexo 6. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.....	60
Anexo 7. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.....	60
Anexo 8. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.....	61
Anexo 9. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 135 días de incubación... ..	61
Anexo 10. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.....	61
Anexo 11. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.....	61
Anexo 12. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.	62
Anexo 13. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.	62
Anexo 14. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.....	62
Anexo 15. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.....	62
Anexo 16. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.	63
Anexo 17. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.	63

Anexo 18. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.....	63
Anexo 19. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.....	63
Anexo 20. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.	64
Anexo 21. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.	64
Anexo 22. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.....	64
Anexo 23. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.....	64
Anexo 24. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.	65
Anexo 25. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.	65
Anexo 26. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.....	65
Anexo 27. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.....	65
Anexo 28. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.....	66
Anexo 29. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.	66
Anexo 30. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.....	66
Anexo 31. Prueba de ANVA para la calcio cambiabile del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.....	66
Anexo 32. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.....	67
Anexo 33. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.	67
Anexo 34. Prueba de ANVA para la acidez cambiabile del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.....	67

Anexo 35. Prueba de ANVA para la calcio cambiante del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.....	67
Anexo 36. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.	68

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo condiciones de laboratorio con el objetivo de determinar la factibilidad del uso de la cáscara de huevo molida como fuente de calcio disponible y material encalante. Tres suelos ácidos de diferentes zonas del Perú (Jauja, Pangoa y Ucayali) fueron enmendados con cáscara de huevo molida de dos tamaños de partícula: sin tamizar (< 1.7 mm) y tamizada (53 – 106 μ m). La cáscara fue aplicada en dosis suficientes para neutralizar 100, 200 y 400% de la acidez cambiante. Un tratamiento sin enmienda fue incluido como control. Los suelos fueron humedecidos a capacidad de campo e incubados a temperatura ambiente. El pH de los suelos, la acidez cambiante y los contenidos de calcio cambiante y extractable fueron determinados sin reemplazo a los 45, 90 y 135 días de incubación. El incremento de pH en los tres suelos fue estadísticamente similar con ambas fracciones de molienda. La dosis de neutralización a 400% de la acidez cambiante permitió alcanzar valores de pH de 5.0, 5.5 y 7.5 en los suelos de Jauja, Pangoa y Ucayali, respectivamente. A los 135 días de incubación con la dosis de neutralización a 200% el calcio cambiante en los suelos de Jauja y Ucayali disminuyó, y en Pangoa se incrementó. El calcio extractable (con Mehlich-3) explicó bien los cambios de calcio cambiante en los suelos de Pangoa y Ucayali, en el suelo de Jauja la relación entre ellos fue baja. En conclusión la cáscara de huevo molida es un material que puede usarse en el encalado de suelos ácidos.

Palabras clave: cáscara de huevo, suelos ácidos, incubación de suelos, encalado de suelos.

ABSTRACT

The present research work was carried out under laboratory conditions with the objective of determining the feasibility of the use of the milled eggshell as a source of available calcium and liming material. Three acidic soils from different zones of Peru (Jauja, Pangoa and Ucayali) were amended with milled eggshell of two particle sizes: without sifting (<1.7 mm) and sifted (53 - 106 μ m). The shell was applied in sufficient doses to neutralize 100, 200 and 400% of the exchangeable acidity. A treatment without amendment was included as a control. The soils were moistened to field capacity and incubated at ambient temperature. The pH of the soils, the exchangeable acidity and the exchangeable and extractable calcium contents were determined without replacement at 45, 90 and 135 days of incubation. The increase in pH in the three soils was statistically similar with both milling fractions. The dose of neutralization to 400% of the exchangeable acidity allowed to reach pH values of 5.0, 5.5 and 7.5 in the soils of Jauja, Pangoa and Ucayali, respectively. At 135 days of incubation with the neutralization dose at 200% the exchangeable calcium in the soils of Jauja and Ucayali decreased, and in Pangoa it increased. The extractable calcium (with Mehlich-3) explained well the changes of exchangeable calcium in the soils of Pangoa and Ucayali, in the soil of Jauja the relationship between them was low. In conclusion the milled eggshell is a material that can be used in the liming of acid soils.

Key Word: eggshell, acid soils, soils incubation, liming soils.

I. INTRODUCCIÓN

El sector avícola en el Perú ha experimentado un notable crecimiento durante las últimas décadas, debido al incremento de la producción de carne y huevos. La avicultura tiene una participación del 23 por ciento del total de la producción agropecuaria nacional, ubicando al Perú dentro de los 20 principales productores avícolas del mundo. Durante el año 2016 la producción de aves alcanzó los 256.5 millones de unidades (Contreras, 2016) produciéndose en promedio un total de 1280 toneladas de cáscara de huevo, como residuo dentro de la industria. Según Javier (2013) la relación producto/residuo más frecuente en la industria convencional es de 9/1, en la industria avícola en nuestro país esta relación puede ser mayor y generar serios problemas ambientales, sin embargo, el residuo de cáscara de huevo tiene un potencial de reutilización aún sin explotar; un huevo de ave doméstica estándar (gallina) contiene aproximadamente de 9 a 12 por ciento de cáscara, donde se considera también la membrana. Asimismo, el carbonato de calcio en la cáscara de huevo puede llegar hasta 98% del peso total (Buxadé, 1993; Rose, 1997).

Gracias al surgimiento de nuevos mercados y mayor competitividad, han provocado un interés económico latente en base al aprovechamiento y revalorización de residuos de la industria avícola como la cáscara de huevo, entre muchos otros residuos (Díaz, 2004). La globalización intensificará cada vez más el desarrollo de tecnologías y con ello nuevos mercados competitivos, las posibilidades que el Perú tienen para aprovechar este nuevo contexto en el escenario agrario, depende de la capacidad que tenga nuestro país de adaptarse (Ferrucci, 1993). Es por ello que la investigación aplicada en residuos, como la disponibilidad de diferentes minerales de la cáscara de huevo, es necesaria para dinamizar su utilización en mercados como el agrícola o alimentario. Las cáscaras de huevo pueden enfrentar sosteniblemente la problemática de los suelos ácidos del Perú; entre otras muchas posibles aplicaciones, tenemos el escenario adecuado para apostar por el desarrollo de su investigación. En el presente trabajo de investigación se propone que la aplicación de cáscara molida de huevo podría incrementar el pH del suelo y disminuir la acidez cambiante del suelo, causada por el aluminio, hasta niveles adecuados, y así mejorar la fertilidad de los suelos ácidos. Es por ello que se realizó el siguiente trabajo de investigación a nivel de laboratorio.

OBJETIVOS

Objetivo principal

Determinar la factibilidad del uso de la cáscara molida de huevo como material encalante y fuente de calcio disponible para los suelos ácidos de sierra y selva peruana.

Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad encalante de la cáscara molida de huevo aplicada en dos tamaños de partícula resultantes de la molienda (tamizado fino y sin tamizar), a partir de la variación del pH en tres suelos ácidos procedentes de sierra y selva peruana en un periodo de incubación de 135 días.
- Determinar el efecto de cuatro dosis de aplicación de cáscara molida de huevo (equivalentes a 0, 100, 200 y 400 por ciento de neutralización), sobre el pH y la acidez cambiante en los suelos anteriores.
- Determinar el efecto de las dosis anteriores de cáscara molida de huevo, sobre la disponibilidad del calcio en los suelos evaluados a partir de las fracciones cambiante y extractable durante el periodo de incubación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 RESIDUOS AGRÍCOLAS

A lo largo de las últimas décadas, la producción avícola incremento su importancia en la industria alimentaria nacional, pasando la población de aves de 5.1 millones (1961) a 81.7 millones (2012). Este crecimiento ha sido acompañado por un incremento en sus efectos contaminantes en el ambiente (Huamani, 2014; North, 1986). Las empresas avícolas generan residuos que ocasionan perjuicios ambientales, por ese motivo, el gobierno peruano está promoviendo la responsabilidad social empresarial y una estrategia es procesar los residuos para generar valor agregado. Estos residuos de origen animal pueden transformarse en un subproducto de importante valor económico, y algunos tienen aprovechamiento agrícola, como enmienda orgánica o fertilizante (Gonzales, 2013).

2.2 LA CÁSCARA DE HUEVO DE GALLINA

2.2.1 Composición del huevo de gallina.

Un huevo de ave doméstica estándar (gallina) contiene aproximadamente del 56 a 64 por ciento de clara, de 27 a 32 por ciento de yema y de 9 a 12 por ciento de cáscara, la membrana generalmente se incluye en el peso de la cáscara, y representa aproximadamente el 0.75 a 1 por ciento el total del huevo de ave domestica (Rose, 1997; Allcroft, 1962; Buxadé, 1993).

2.2.2 Estructura de la cascara de huevo de gallina

La cáscara de huevo de ave doméstica contiene hasta 98 por ciento de carbonato de calcio y solo 2 por ciento de proteína, además de trazas de magnesio y fosforo. El espesor comprende entre 300 a 400 μm , que consiste en cristales de carbonato en forma cónica con un diámetro de 0.1 mm. Entre los cristales hay una serie de túneles que permiten el intercambio gaseoso entre la parte interna del huevo y el ambiente exterior (Buxadé, 1993; Rose, 1997). Además, existen dos membranas que están juntas; la membrana interna está fuertemente adherida a la cáscara, por lo que la separación es muy difícil (Allcroft, 1962).

2.3 ACIDEZ DEL SUELO

2.3.1 Generalidades

El trópico contiene muchas áreas con suelos ácidos, consecuentemente, el área cultivada en su gran mayoría está bajo estos suelos. En América tropical hay más suelos ácidos que Asia y África tropical, tomando como ejemplo al país de Colombia, el cual presenta el 70 por ciento de sus suelos con problemas de acidez (Sánchez, 1981). Asimismo, Los suelos ácidos están fuertemente relacionados con el contenido de aluminio intercambiable, lo que demuestra la importancia de este elemento en la fertilidad de los suelos (Coleman et al., 1958; Kamprath, 1973).

2.3.2 Formación de los suelos ácidos

El origen de los suelos ácidos es parte del proceso natural de pedogénesis, el intemperismo en el material parental disuelve partes de él que consecuentemente participará en la formación de los suelos, cuando los materiales parentales tienen una proporción de $Al/(Ca + Mg + K)$ elevada, aparecerán los suelos ácidos, lo cual sucede también por lixiviación de bases, sin embargo, la causa más importante en las últimas décadas es la acidificación antropomórfica, por fertilización de reacción acida, donde el amonio al reaccionar se oxida hasta nitrato liberando iones hidronio que incrementan la acidez de los suelos que poseen una escasa capacidad tampón o de amortización (Kass, 1998; Porta et al., 2005).

La acidez de los suelos es consecuencia de diversos factores (Kass, 1998):

- La lixiviación o el lavado de bases, como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), y sodio (Na^+)
- La fertilización de suelos agrícolas, cuando se usan fertilizantes que generan acidez en el suelo.
- El comportamiento químico del hierro y del aluminio en la solución suelo.
- El efecto residual de compuestos húmicos derivados de la mineralización y humificación de residuos orgánicos aportados al suelo por organismos (animales o plantas) débiles en el suelo, que producen grupos carboxílicos y fenólicos los cuales general ácidos.

2.3.3 Importancia del pH en los suelos

Al elevarse el pH del suelo, el Fe (hierro) gradualmente pierde su poder agregante, por lo tanto se forman agregados más pequeños que reducen la tasa de infiltración y pueden favorecer la erosión. Por otro lado, el aluminio precipita cuando el pH está alrededor de 5.5 y 6, en suelos con estos valores de pH o mayores, no se encuentra aluminio intercambiable en el complejo de cambio, sin embargo, al disminuir el pH por debajo de 5.5 se da una importante saturación de aluminio intercambiable en el complejo de cambio que disminuye la fertilidad natural del suelo, todo esto nos da una idea de que cambios no tan drásticos en el pH pueden dificultar el crecimiento de muchos cultivos. Además, en diferentes tipos de suelos los iones ácidos varían en su comportamiento (Sánchez, 1981; Usón et al., 2010). Asimismo, un pH dado, el porcentaje de saturación de bases varía en función del tipo de suelo, siendo más específico, en función de los minerales de arcillas presentes y el contenido de materia orgánica del suelo (Mehlich, 1942; citado por Fassbender, 1975). En los suelos ácidos con pH menor a 5.5, las bacterias del género *Rizhobium* que establecen una relación simbiótica con el trébol y frejol del género *Medicago* y *Phaseolus* no persisten, pues se presentan problemas de nodulación y consecuentemente un desarrollo menos vigoroso (Bornemisza y Alvarado, 1974).

2.4 FÍSICA Y QUÍMICA DE LOS SUELOS ÁCIDOS

La acidez del suelo no solo afecta la fertilidad química, sino que ocasiona diferentes problemas de carácter físico como una alta densidad y una mala distribución de poros que generan una pobre aireación e impiden la percolación del agua (Aguilar et al., 1994). La reacción del suelo está en función de la concentración de iones hidrogeno (H) y de iones hidroxilos (OH), si hay mayor concentración de iones hidrogeno, se dice que la reacción es ácida, y consecuentemente se formará un suelo con características ácidas (Arias, 2007). Asimismo Sánchez (1981), indicó que la escasa fertilidad de los suelos ácidos se debe a uno o más de los siguientes factores: toxicidad y competencia alumínica, deficiencia de calcio o magnesio y toxicidad del manganeso, siendo el aluminio el elemento de mayor importancia. Porta et al. (2013) mencionaron que no es necesario reducir totalmente la acidez para corregir un suelo ácido, sino es llegar a un intervalo de pH que resulte el más adecuado para el cultivo, así mismo, en suelos ácidos el mejor método para llegar a un pH adecuado para la mayoría de los cultivos es cuantificar la saturación de aluminio del complejo de cambio para luego neutralizarlo mediante encalado, hasta un nivel que no presente problemas para el cultivo.

2.5 ALUMINIO INTERCAMBIABLE DEL SUELO

Lo suelos donde hay alta precipitación y la materia orgánica se acumula, normalmente adquieren características ácidas, ya que presentan altos contenidos de aluminio intercambiable (Ortiz et al., 2004). Asimismo, el porcentaje de saturación de aluminio es una medida útil para estimar el nivel de acidez del suelo, siendo esta una relación entre el aluminio intercambiable extraído por una sal no amortiguada y la suma de bases cambiables más el aluminio intercambiable (Salinas y García, 1985). En los oxisoles y ultisoles de zonas con altas precipitaciones y buen drenaje, la saturación de aluminio intercambiable es superior al 50 por ciento (Sánchez y Kamprath, 1973). A pesar de las limitaciones que impone el aluminio en estos suelos, hay cultivos como el maíz que tienen un buen rendimiento a una saturación de aluminio en el complejo de cambio de hasta 55 por ciento (Rincón, 1998).

2.5.1 Efectos del aluminio en el suelo

El pH en el cual el aluminio del suelo alcanza un nivel perjudicial, depende tanto de la planta como de una serie de factores del suelo, tales como: la mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica, la presencia de otros cationes y aniones y la salinidad total del suelo. Asimismo, existe una relación entre la concentración de aluminio en la solución del suelo y el porcentaje de saturación de aluminio en el complejo de cambio, para comprobar esta relación se hicieron diversos experimentos donde se muestra que hay un fuerte aumento del aluminio en la solución suelo cuando la saturación del complejo de cambio en el suelo es superior al 40 por ciento, lo que explica su efecto tóxico, esto corresponde a un pH de aproximadamente 4.4, en la práctica comúnmente este valor indica serios problemas en la producción de muchos cultivos (Fassbender, 1975). A partir de la saturación de arcillas por hidrógeno, se logra la saturación parcial o completa de los sitios de intercambio con aluminio trivalente Kass (1998) En diversos ensayos la mayor concentración de aluminio se encontró en el horizonte B de muchos oxisoles, además, se demostró que en el suelo la solubilidad del aluminio aumentó con la disminución del pH y la reactividad de la materia orgánica. Por otro lado, la actividad del aluminio monomérico en la solución está en equilibrio con la fase hidrolítica, no obstante, la fase monomérica (Al^{3+}) es la más tóxica para las plantas (Casierra y Niño, 2007). Otro efecto perjudicial del aluminio es que reacciona con el fósforo del suelo formando AlPO_4 , el cual es insoluble, esto limita la disponibilidad de fósforo en los suelos (Rodríguez y Rodríguez, 2011).

2.5.2 Efectos del aluminio en la planta

La forma en que el aluminio se encuentra en el suelo está fuertemente relacionada con el pH del mismo. La forma soluble, en suelos con pH ácido, inhibe el desarrollo radicular (menor elongación, menor penetración en el suelo, menor absorción de agua y nutrientes), disminuye la disponibilidad de fósforo y afectan la translocación de otros nutrientes en la planta (Porta et al., 2013). García (2000), encontró una relación inversa entre la producción de materia seca y el aluminio cambiante en cultivo de maíz, con lo que concluyó que, en suelos de selva con altos contenidos de aluminio cambiante, se ejerce un efecto fitotóxico en las raíces.

2.6 ENCALADO DE SUELOS ÁCIDOS

Los suelos ácidos no son favorables para el desarrollo de la mayoría de las plantas cultivadas, por lo que se precisa corregirlos hasta conseguir un pH adecuado, esta práctica se realiza incorporando materiales que neutralicen la acidez, estos materiales reciben el nombre genérico de cales por lo que se suele denominar *encalado* a la acción de incorporar cales al suelo (Fuentes, 1989). Asimismo, la aplicación de caliza basada en la neutralización del Al^{+3} intercambiable es un enfoque razonable. Sin embargo, las cantidades requeridas para lograrlo pueden estar influenciadas por la textura del suelo, la materia orgánica, y la naturaleza de la fracción mineral (Bornemiza y Alvarado, 1974)

2.6.1 Requerimiento de encalado

El propósito del encalado es primariamente neutralizar el aluminio intercambiable, y que el pH aumente hasta ser igual o superior a 5.5 unidades, cuando se sospecha de toxicidad por manganeso, el pH debe subirse a 6. Los factores a considerar son: 1) cantidad necesaria de cal para disminuir el porcentaje de saturación de aluminio a un nivel en el cual en cultivo particular y la variedad crezcan bien; 2) la calidad de la cal; y el 3) método de colocación. En base al aluminio intercambiable que se expresa en $cmol_c\ kg^{-1}$ se puede calcular la cantidad de cal para neutralizar, este método tiene una eficiencia del 85 a 95 por ciento en suelos con 2 a 7 por ciento de materia orgánica, por lo tanto, en el caso de los suelos ácidos, los análisis de suelos son herramientas importantes para cuantificar la necesidad de cal a adicionar (Sánchez, 1981).

Lama (2013) comprobó en sus ensayos que el encalado en suelos ácidos incrementa de manera significativa el rendimiento de materia seca de la parte aérea, ya que la absorción mineral mejora después de elevarse el pH.

2.6.2 Materiales encalantes

Los materiales encalantes más comunes que son capaces de reaccionar en el suelo y elevar el pH son (Navarro y Navarro, 2014):

- a) Oxido de calcio (cal viva, CaO)
- b) Hidróxido de calcio [cal apagada, Ca(OH)₂]
- c) Carbonato de calcio (cal agrícola o calcita, CaCO₃)

2.6.3 Tamaño de partículas de enmiendas cálcicas.

La condición ideal es que el 100 por ciento de material pase por una malla N° 8 (2.38 mm) y el 70 a 80 por ciento pase por una malla N° 60 (0.250 mm). Los requisitos mínimos de calidad en Brasil son los siguientes: el 95 por ciento de la cal debe pasar por una malla N° 10 (2 mm), el 70 por ciento del material debe pasar por una malla N° 20 (0.841 mm) y al menos un 50 por ciento del material debe pasar por una malla No. 60 (Usón et al., 2010).

Tabla 1. Reacción de las enmiendas cálcicas en función de su tamaño de partícula

Tamaño de partícula del material (mm)	Efectividad	Reacción
>2.38	No efectivo	No hay reacción aparente
2.38-0.841	20% efectivo	Reaccionan muy poco
0.841-0.25	60% efectivo	Reaccionan en 10 a 18 meses
0.25-0.177	100 % efectivo	Reaccionan en 3 a 6 meses
<0.177	100 % efectivo	Reaccionan en 1 a 3 meses

2.6.4 Pureza química de los materiales encalantes

La pureza es una de las características fundamentales de los materiales que se utilizan en el encalado, ya que la capacidad de neutralización de la acidez del suelo depende de la composición química y de la pureza del material. La pureza se establece mediante el criterio de equivalente químico (EQ), que mide el poder de neutralización de un determinado producto, y que se define como la capacidad del material para neutralizar la acidez comparada con el poder de neutralización del CaCO₃ químicamente puro, al que se le asigna un valor del 100 por ciento (Navarro y Navarro, 2014; Usón et al., 2010).

2.6.5 La temperatura del suelo

La temperatura del suelo determina los procesos que suceden en él, como la germinación, la absorción de nutrientes y el desarrollo radicular (Navarro y Navarro, 2013; Casanova, 2005). Además, debemos considerar a la humedad del suelo y la textura como factores importantes que influyen en la temperatura del suelo. La temperatura y alta humedad favorecen la reacción de la cal. Por ello, los materiales de encalado son más reactivos en los suelos de zonas tropicales que en sitios fríos y templados (Navarro y Navarro, 2014).

2.7 EL CALCIO EN LOS SUELOS ÁCIDOS

2.7.1 Calcio en el suelo

El material parental y el grado de evolución del suelo determinan el contenido de calcio en el suelo, así mismo el calcio es predominante entre las bases cambiables del suelo, en la región amazónica alcanza un promedio de 0.56 cmol/kg la cual es afectada por la meteorización y el lavado del calcio, lo que causa una disminución del calcio cambiante (Fassbender, 1975).

Vargas (2006), concluyó que el calcio a pesar de su bajo contenido en las plantas en comparación con el nitrógeno, tiene una gran importancia por sus efectos sobre la química del suelo. Asimismo, Oliveira et al. (2006), mencionaron que el calcio es responsable de varias propiedades del suelo: (1) favorece la estabilidad estructural del suelo, ya que mantiene floclada las arcillas y el humus; (2) reduce la acidez; (3) es antagonista de algunos elementos nutritivos, reduciendo su asimilación (K, Fe, Mn, B, Zn); (4) favorece la transformación de la materia orgánica y estimula la acción de los microorganismos fijadores de nitrógeno y nitrificadores; (5) forma fosfohumatos de cal con ácidos húmicos y fosfóricos, lo que permite la inmovilización temporal del fósforo, impidiendo su retrogradación.

2.8 DISPONIBILIDAD DE CALCIO EN EL SUELO

2.8.1 Calcio cambiante y calcio soluble

La capacidad del suelo para adsorber los cationes en sitios activos de carga negativa, entre ellos el calcio, está afectada por el tipo de arcilla y el porcentaje de materia orgánica (Vargas, 2006). El calcio naturalmente se encuentra unido al complejo coloidal o a los compuestos húmicos, donde es más abundante y de fácil disponibilidad para la planta (Monge et al., 1994). El calcio en forma iónica se encuentra en la solución suelo y está en constante equilibrio con el calcio absorbido por el complejo de cambio (Oliveira et al., 2006).

2.9 DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO

La determinación del pH con cloruro de potasio (KCl) permite obtener un valor más preciso que el determinado con solo agua, el cual es afectado por pequeñas cantidades de sal presentes en los suelos (Raij et al., 2001). No obstante, una medición en agua es práctica y válida, teniendo en cuenta que el resultado varía levemente con respecto a usar una sal neutra como el cloruro de potasio (Salinas y García, 1985).

2.10 DETERMINACIÓN DE CALCIO Y ALUMINIO CAMBIABLE

Para remover los cationes de cambio en suelos de América Latina se usa generalmente una sal neutra como cloruro de potasio, ya que estos suelos tienen carga variable (Fassbender, 1975). Por consiguiente, esta solución a una concentración de 1 normal (KCl 1N) se usa para determinar el calcio y aluminio intercambiable y también para determinar la capacidad de intercambio de cationes (Rodríguez y Rodríguez, 2011). De tal manera que luego de la extracción del calcio y aluminio por esta solución se puede cuantificar cada elemento por espectrofotometría de absorción atómica (Silva, 1999), otro método para determinar el calcio y el aluminio intercambiable que se menciona en la literatura es el método del aluminón (sal de amonio de ácido tricarboxílico de aurina) el cual se cuantifica por titulación (Chapman y Prat, 1988).

2.11 CALCIO EXTRACTABLE

Para determinar la disponibilidad de un catión o nutriente es necesario un extractante adecuado, estos extractantes basan su acción en la utilización una especie catiónica que por efecto del exceso es capaz de intercambiarse con otro catión adsorbido. La planta absorbe el catión intercambiable y parte del no intercambiable, por ello bajo diferentes condiciones del suelo se debe utilizar la sustancia extractante que estime mejor la disponibilidad del catión de interés (Mengel y Kirkby, 1987).

2.11.1 Método del acetato de amonio

El método de acetato de amonio a pH 7 disuelve los carbonatos presentes en los suelos, incrementando la cantidad de cationes realmente cambiables, y esta liberación es superior a la verdadera cantidad utilizable por la planta. Además, este método modifica el pH de la solución intermicelar lo cual a su vez modifica la capacidad de intercambio catiónico (CIC) al pH natural del suelo, por lo tanto, se genera un resultado que no se ajuste a la realidad del suelo (Henríquez et al., 2005; Jackson, 1982). A pesar de ello Chapman y Prat (1988), mencionaron al acetato de amonio como extractante para determinar calcio cambiabile, sin

embargo, este método se usó rutinariamente por desconocimiento del mejor efecto de otros métodos con extractantes no tamponados.

2.11.2 Extractante Mehlich-3

La solución extractante Mehlich-3 se desarrolló para extraer fósforo (P), pero su gran versatilidad le permite extraer diversos nutrientes, como el calcio, tanto en suelos ácidos como neutros (Castellanos et al., 2000). Asimismo, la cantidad de cationes de calcio (Ca^{2+}) desplazados por Mehlich-3 está altamente correlacionada (94 %) con la cantidad desplazada por cloruro de amonio (NH_4Cl), ambos con una relación de extracción de 1:1, esta similitud se debe a que ambos métodos usan como solución extractante a sales de amonio (Rodríguez et al., 2005). Silva (1999) mencionó que Mehlich-3 usa el ion fluoruro, que es muy eficiente en la formación de un complejo fuerte con el ion aluminio, modificaciones recientes han sustituido al anión cloruro por el nitrato, eliminando el efecto corrosivo del extracto, además se ha adicionado EDTA para una mejor complejación, lo cual ha mejorado su extractabilidad.

2.12 ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

El método de espectroscopia de absorción atómica para cuantificar la cantidad de un determinado catión en un extracto, como el calcio, representa una significativa reducción en el tiempo en que se obtienen las lecturas, además se comprobó que no presenta diferencias significativas comparado con el método de determinación complexométrica con EDTA 0.02 N en la determinación de calcio y magnesio (Abadía et al., 1981). La espectrofotometría de absorción atómica presenta buena reproducibilidad y repetitividad en las texturas: arcillosas, arenoso franco, franco arcillosas, franco arcillo arenoso y arenoso (Vargas, 2006).

III. METODOLOGÍA

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental se llevó a cabo a nivel de laboratorio en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). La incubación de los suelos se realizó en el laboratorio de microbiología del suelo y los análisis químicos en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF), pertenecientes al departamento de suelos de la facultad de Agronomía.

3.2 PREPARACIÓN DE LOS SUELOS ÁCIDOS

3.2.1 Procedencia

Para fines de la investigación se utilizó tres suelos ácidos procedentes de diversas regiones del país (Tabla 2), que fueron seleccionados por su fuerte acidez (pH menor a 5.5) y sus diferentes características físicas y químicas, las cuales se obtuvieron mediante un análisis de caracterización de suelos (Tabla 6).

Tabla 2. Suelos ácidos de diferentes procedencias

Procedencia	Cultivo	Textura
Jauja – Junín	Maca, cebada	Fr. Ar
Pangoa – Junín	Café	Fr. Ar
Ucayali - Coronel Portillo	Cacao	Fr

3.2.2 Muestreo y preparación de los suelos ácidos

Para lograr un análisis representativo de cada suelo en estudio, se necesitó tomar muestras representativas de diferentes puntos del campo, además de tener en cuenta que no haya ocurrido una fertilización reciente, ni tampoco un riego pesado o estar en estación de lluvias. Se recomendó hacer un muestreo en un área no mayor de 10 hectáreas y recoger de 15 a 20 sub-muestras, todas dispuestas en zig-zag alrededor del campo.

Los materiales contaminantes encontrados en los suelos como pedazos de rastrojos o materiales extraños fueron removidos, posteriormente se llevó a cabo el secado y el tamizado de los suelos en mallas de 2 mm de diámetro, y se tamizó en exceso (aproximadamente 25 kg por cada tipo de suelo).

3.3 PREPARACIÓN DEL MATERIAL ENCALANTE

El material en estudio, cáscara de huevo de gallina, que se obtuvo en grandes cantidades procedentes de una planta de incubación donde se procesan cientos de kilogramos diarios, llegando a producir alrededor de 300 kg por día, se limpió separando lo mejor posible los residuos diferentes al material, posteriormente se molió en el molino de discos de la planta de alimentos balanceados de la facultad de zootecnia de la UNALM.

Luego de la molienda se obtuvo un material fino (fracción sin tamizar), pero con fracciones de diferentes tamaños de la membrana y remanentes de material grueso poco reactivo (material > 250µm) que alcanzó alrededor del 5% del total, luego se tamizó para obtener varias fracciones de la molienda (Tabla 3), por medio de tamices de diámetros 53, 106 y 256 µm, de las fracción obtenidas se eligió la que se obtuvo en mayor cantidad (fracción fina).

Tabla 3. Fracciones de tamizado obtenidos del material molido.

Fracciones de la molienda (µm)	Porcentaje obtenido (%)
>246	5.2
106 – 246	17.4
53 – 106	72.9
<53	4.5

3.4 FACTORES EN ESTUDIO.

3.4.1 Fracción de molienda de la cáscara de huevo.

Del material encalante (cáscara de huevo) después de haber sido molido en un molino de discos, se obtuvo la primera fracción de molienda, la fracción sin tamizar (T2), luego una parte de este material molido se tamizo para obtener la segunda fracción de molienda, la fracción fina (T1).

- a. Fracción fina (T1): Partículas cien por ciento entre 53 y 106 µm.
- b. Fracción sin tamizar (T2): Partículas molidas (molino de discos)

Figura 1. Fracción fina (a) y sin tamizar (b) de la cáscara de huevo molida.



3.4.2 Dosis de aplicación de carbonato de calcio (cáscara molida de huevo)

Para la neutralización de la acidez, se estimó la cantidad equivalente de carbonato de calcio que debería neutralizar la acidez de cada tipo de suelo de la siguiente manera:

1. Dosis 1 (D1): Sin aplicación de encalado
2. Dosis 2 (D2): Neutralizando el 100 % de acidez cambiante (aplicación que cubre la necesidad calculada)
3. Dosis 3 (D3): Neutralizando el 200 % de acidez cambiante (aplicación que cubre dos veces la necesidad calculada)
4. Dosis 4 (D4): Neutralizando el 400 % de acidez cambiante (aplicación que cubre cuatro veces la necesidad calculada)

La interacción de los factores fracción de molienda y dosis de aplicación (de la neutralización de la acidez) definieron en total 8 tratamientos que se aplicaron por igual a cada uno de los suelos ácidos (Tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos ensayados en cada uno de los suelos ácidos procedentes de Jauja, Pangoa y Ucayali.

Tratamiento	Fracción de molienda	Dosis de Ca (en función a acidez cambiabile)
T ₁ D ₁	Sin tamizar	100
T ₁ D ₂	Sin tamizar	200
T ₁ D ₃	Sin tamizar	300
T ₁ D ₄	Sin tamizar	400
T ₂ D ₁	Fina	100
T ₂ D ₂	Fina	200
T ₂ D ₃	Fina	300
T ₂ D ₄	Fina	400

3.5 DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS DE APLICACIÓN DE CÁSCARA MOLIDA DE HUEVO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE LA ACIDEZ CAMBIABLE

3.5.1 Características del material encalante

La cáscara molida de huevo que se utilizó puede llegar a alcanzar una pureza del 98 por ciento de carbonato de calcio, no obstante, podemos encontrar valores tan bajos como de 85 por ciento, todo debido condiciones de alimentación y genética del animal. Por otro lado la cantidad de membrana y la contaminación por excretas, plumas y materia orgánica que no se logró separar también afectaron la pureza química del material (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de nitrógeno y carbonato de calcio del material cáscara molida de huevo

Fracción de molienda	Tamaño de partícula (µm)	Nitrógeno (%)	Carbonato de calcio (%)
Sin tamizar	Todas	2.1	73
Gruesa	> 246 µm	5.4	53
Media	106-246 µm	1.9	71
Fina	53-106 µm	1.8	70
Muy fina	< 53 µm	1.8	69

3.5.2 Neutralización teórica de la acidez cambiabile con carbonato de calcio

El carbonato de calcio contiene 40 por ciento de calcio, la aplicación de este material a los suelos ácidos (Tabla 6) se realizó para corregir la acidez del suelo y por consiguiente elevar el pH. Conocida la acidez cambiabile del suelo, se realizó los cálculos respectivos para la neutralización, lo cual también significó alcanzar un valor igual o mayor a las 5.5 unidades de pH. Se necesitó la aplicación de 0.06, 0.11 y 0.32 g de carbonato de calcio químicamente puro por cada 200 g de los suelos de Jauja, Pangoa y Ucayali respectivamente, con el fin lograr el 100 por ciento de neutralización teórica de la acidez de estos suelos. Posteriormente se realizó los cálculos para el 200 y 400 por ciento de neutralización de acidez cambiabile.

Tabla 6. Características químicas de la acidez de los suelos en estudio

Características		Procedencia		
		Jauja	Pangoa	Ucayali
Arena	(%)	41	41	41
Limo	(%)	22	23	36
Arcilla	(%)	37	36	23
Clase textural		Fr. Ar	Fr. Ar	Fr.
pH (H ₂ O)	(----)	4.28	4.54	4.01
C.E. _{1:1} (dS/m)		0.63	0.03	0.05
CaCO ₃	(%)	0	0	0
M.O.	(%)	1.65	0.65	0.55
Fósforo extractable	(ppm)	52.9	2.6	3.5
Potasio extractable	(ppm)	494	72	27
CIC	(cmol _c kg ⁻¹)	22.40	9.92	9.28
Ca ²⁺	"	8.75	1.02	1.02
Mg ²⁺	"	1.72	0.65	0.27
K ⁺	"	1.19	0.45	0.23
Na ⁺	"	0.17	0.10	0.16
H ⁺ + Al ³⁺	"	0.60	1.10	3.20
SC	"	12.13	3.32	4.87
SB	"	11.83	2.22	1.67
PSB	(%)	53	22	18

3.5.3 Dosis de aplicación en base al poder relativo de neutralización total (PRNT) de la cáscara molida de huevo.

Para conocer el efecto real de un material encalante sobre un suelo ácido, se evaluó la eficiencia química y eficiencia granulométrica del material, por medio de la ecuación de poder relativo de neutralización total (PRNT), que nos permitió hallar la dosis más adecuada del encalante. Las fracciones de molienda fina y sin tamizar obtuvieron un mismo valor de 75 por ciento de eficiencia química, en base al análisis químico y al material distinto al carbonato de calcio en el material, respecto a la eficiencia granulométrica la fracción fina obtuvo un 100 por ciento y la fracción sin tamizar un 95 por ciento, con lo cual el poder relativo de neutralización total de la fracción fina y sin tamizar fue de 75 y 71 por ciento. Consecuentemente a los cálculos que obtuvimos para lograr el 100, 200 y 400 por ciento de neutralización de acidez cambiante se les aplicó el poder relativo de neutralización total, y así se ajustó las dosis de aplicación para la neutralización de la acidez cambiante de cada tratamiento (Tabla 7).

Tabla 7. Dosis de cáscara de huevo, en base al poder relativo de neutralización (PRNT), en cada unidad experimental de 200 gramos de suelo.

Factores en estudio		Tratamientos	Aplicación de cascara de huevo (g/200g de suelo)		
Fracción	Dosis (%)		JAUJA	PANGOYA	UCAYALI
Fina (T1)	0 (D1)	Tratamiento 1	0	0	0
	100 (D2)	Tratamiento 2	0.08	0.15	0.43
	200 (D3)	Tratamiento 3	0.16	0.30	0.86
	400 (D4)	Tratamiento 4	0.32	0.60	1.72
Sin tamizar (T2)	0 (D1)	Tratamiento 5	0	0	0
	100 (D2)	Tratamiento 6	0.09	0.16	0.45
	200 (D3)	Tratamiento 7	0.18	0.32	0.90
	400 (D4)	Tratamiento 8	0.36	0.64	1.80

3.6 INSTALACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.6.1 Instalación

Con las tres evaluaciones sin reemplazo a lo largo del experimento y las cuatro repeticiones se obtuvo un total de 12 unidades experimentales por tratamiento por tipo de suelo, donde para instalar cada tratamiento se hizo una mezcla homogénea del tipo de suelo y la cantidad de enmienda necesaria (cáscara molida de huevo), luego de homogenizar esta mezcla se

preparó cada unidad experimental del tratamiento, cada una de ellas con 200 g de suelo. Las unidades experimentales se instalaron en frascos blancos de cierre hermético con doble tapa, con capacidad de 200 ml, posteriormente se llevó a capacidad de campo. Se necesitaron un total de 288 unidades experimentales para todo el diseño experimental.

3.7 INCUBACIÓN

Los frascos (unidades de evaluación) fueron instalados en un ambiente de incubación, todos estos se colocaron aleatoriamente en un área con temperatura controlada, aproximadamente a 25 °C, donde permanecieron hasta las respectivas evaluaciones.

3.8 VARIABLES EVALUADAS

Se realizaron tres de momentos de evaluación a lo largo del experimento, a los 45 días, a los 90 días y a los 135 días, se hicieron cuatro repeticiones y las evaluaciones fueron sin reemplazo.

3.8.1 pH en agua

El pH se determinó mezclando el suelo con agua destilada en proporción 1:1. Porciones de 20 g de suelo fueron mezcladas con 20 ml de agua destilada y sometidas a agitación mediante in agitador de varillas por 15 minutos. Luego de un reposo de 15 minutos, se hizo la lectura con un potenciómetro Consort® C1080, calibrado.

3.8.2 Determinación de acidez cambiabile

La acidez cambiabile se determinó con cloruro de potasio (sal neutra) para extraer el aluminio e hidrogeno cambiabile de los coloides del suelo, luego la solución obtenida se tituló con hidróxido de sodio en presencia de fenolftaleína, hasta el viraje a rosado; el gasto de hidróxido de sodio nos indicó la acidez cambiabile del suelo. Para la extracción se usó 2.5 gramos de suelo el cual se filtró con 25 ml de KCl 1N, luego se procedió la titulación con hidróxido de sodio 0.01N.

3.8.3 Determinación de calcio cambiabile

Se usó una alícuota de 1ml de la solución que se obtuvo en la determinación de acidez total del suelo, con la cual se determinó el calcio cambiabile por medio de espectroscopia de absorción atómica.

3.8.4 Determinación Calcio extractable

Este ensayo consistió en determinar una solución extractante que estime mejor el calcio del suelo que puede estar disponible para los cultivos y que sea aplicable a los diferentes suelos

ácidos en estudio, la prueba se realizó en la evaluación a los 45 días (primer momento de evaluación)

Se usaron las siguientes soluciones extractantes:

1. Cloruro de potasio (KCl 1N)
2. Solución extractante Mehlich-3.
3. Acetato de sodio (CH₃COONa 1N, pH 8.2)

De estas soluciones extractantes, solo se utilizó en cada momento de evaluación, la que logro la extracción esperada.

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.9.1 Diseño experimental

Cada suelo ácido fue trabajado como un experimento separado. En cada experimento se empleó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo factorial de dos tamaños de partícula de cáscara de huevo por cuatro dosis de aplicación de cáscara molida de huevo (Tabla 8). Se instaló un total de 288 unidades experimentales, con cuatro repeticiones por tratamiento. El modelo aditivo lineal fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + (\epsilon)_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Resultados obtenidos en el k-ésimo frasco con el suelo que recibió la i-ésima dosis de aplicación de cáscara molida de huevo y la j-ésima fracción de molienda.

μ = Efecto de la media general

τ_i = Efecto de la i-ésima dosis de aplicación de cáscara molida de huevo

β_j = Efecto de la j-ésima fracción de molienda de cáscara de huevo

$(\tau\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de la i-ésima dosis aplicación de cáscara molida de huevo por la j-ésima fracción de molienda de cáscara de huevo

ϵ_{kij} = Efecto debido del k-ésimo frasco que recibió la i-ésima dosis de cáscara molida de huevo y la j-ésima fracción de molienda de cáscara de huevo (error experimental).

Tabla 8. Distribución de grados de libertad por fuente de variación

Fuente de variación	Grados de libertad (G.L)
Fracción de molienda (T)	F – 1
Dosis de aplicación (D)	D – 1
Interacción : Fracción de molienda (F) x Dosis de aplicación (D)	(F – 1)(D – 1)
Error experimental	TF(R-1)
Total	TFR-1

3.9.2 Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA). Los promedios fueron comparados mediante la Prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significación de 0.05. El análisis estadístico será realizado empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para cómputo estadístico R, versión 3.3.3 (R Core Team, 2016).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los objetivos planteados al inicio de esta tesis se lograron analizando la información recolectada mediante el programa estadístico R, donde se realizó las pruebas de comparación de medias de HDS de Tukey. Los tres suelos ácidos en estudio, tuvieron diferentes reacciones al encalado con cáscara molida de huevo, pudiéndose observar estas diferencias en los resultados obtenidos de pH, acidez cambiante, calcio cambiante (KCl) y extractable (Mehlich-3) durante cada momento de evaluación (45, 90 y 135 días), los 8 tratamientos obtenidos por la combinación entre cuatro dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante y dos diferentes fracciones de molienda, evaluados en cada tipo de suelo y cada intervalo de tiempo (3 evaluaciones), nos proporcionó la suficiente información para conocer los efectos del encalado con cascara molida de huevo en suelos ácidos.

Tabla 9. Evolución temporal de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante, el calcio disponible en un suelo ácido de Jauja.

Dosis de aplicación (% en base a AC)	Fracción de molienda	pH	Acidez cambiante (cmol _c kg ⁻¹)	Calcio cambiante (ppm)	Calcio extractable (ppm)
45 días después de la instalación					
0	Fina	4.18 ^a	0.62 ^a	1787 ^a	1898 ^a
	Sin tamizar	4.23 ^a	0.61 ^a	1762 ^a	1990 ^a
100	Fina	4.43 ^b	0.41 ^b	1966 ^{ab}	2059 ^{abc}
	Sin tamizar	4.46 ^b	0.51 ^c	2091 ^b	2275 ^{bd}
200	Fina	4.72 ^c	0.38 ^{bd}	2511 ^c	2278 ^{cd}
	Sin tamizar	4.57 ^d	0.35 ^d	2232 ^b	2060 ^{abd}
400	Fina	5.33 ^e	0.26 ^e	3112 ^d	2537 ^{dce}
	Sin tamizar	5.10 ^f	0.26 ^e	2658 ^c	2541 ^e
C.V. (%)		8.396	32.172	19.489	11.327
90 días después de la instalación					
0	Fina	4.22 ^a	0.60 ^a	1289 ^a	1388 ^{ab}
	Sin tamizar	4.28 ^a	0.59 ^a	1356 ^a	1278 ^a
100	Fina	4.42 ^b	0.31 ^b	1461 ^{ab}	1444 ^{abc}
	Sin tamizar	4.47 ^b	0.31 ^b	1462 ^{abc}	1464 ^{bc}
200	Fina	4.67 ^c	0.10 ^c	1765 ^{bcd}	1537 ^c
	Sin tamizar	4.58 ^c	0.10 ^c	1674 ^{bcd}	1474 ^{bc}
400	Fina	5.21 ^d	0.10 ^c	1841 ^{cd}	1768 ^d
	Sin tamizar	5.13 ^d	0.10 ^c	1892 ^d	1774 ^d
C.V. (%)		7.646	74.429	15.633	11.388
135 días después de la instalación					
0	Fina	4.23 ^a	0.76 ^a	1318 ^a	1386 ^{ab}
	Sin tamizar	4.24 ^a	0.72 ^a	1356 ^{ab}	1357 ^a
100	Fina	4.35 ^{ab}	0.30 ^b	1362 ^{ab}	1445 ^{abc}
	Sin tamizar	4.35 ^{ab}	0.30 ^b	1352 ^{ab}	1493 ^{bd}
200	Fina	4.52 ^c	0.18 ^c	1540 ^{cd}	1510 ^{cd}
	Sin tamizar	4.49 ^{cb}	0.20 ^c	1481 ^{bd}	1619 ^{de}
400	Fina	5.07 ^d	0.10 ^d	1631 ^c	1764 ^e
	Sin tamizar	4.94 ^e	0.10 ^d	1652 ^c	1699 ^e
Fracción		n.s	n.s	n.s	n.s
Dosis		***	***	***	***
Fracción x Dosis		n.s	n.s	n.s	*
C.V. (%)		6.872	75.374	9.375	9.63

Los valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

Tabla 10. Evolución en el tiempo de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante, el calcio disponible en un suelo ácido de Pangoa

Dosis de aplicación (% en base a AC)	Fracción de molienda	pH	Acidez cambiante (cmol _c kg ⁻¹)	Calcio cambiante (ppm)	Calcio extractable (ppm)
45 días después de la instalación					
0	Fina	4.56 ^{ab}	1.42 ^a	269 ^a	355 ^a
	Sin tamizar	4.56 ^{ab}	1.31 ^b	277 ^{ac}	351 ^{ae}
100	Fina	4.68 ^{ab}	0.97 ^c	364 ^{cd}	477 ^{bc}
	Sin tamizar	4.51 ^{ac}	0.94 ^c	340 ^{ac}	458 ^{be}
200	Fina	4.75 ^{ab}	0.36 ^d	483 ^e	606 ^d
	Sin tamizar	4.83 ^{bd}	0.71 ^e	455 ^{de}	577 ^{cd}
400	Fina	5.91 ^e	0.11 ^f	741 ^f	796 ^f
	Sin tamizar	5.87 ^e	0.11 ^f	796 ^f	1049 ^g
C.V. (%)		11.475	65.618	41.94	37.942
90 días después de la instalación					
0	Fina	4.57 ^a	1.30 ^a	326 ^a	424 ^{ab}
	Sin tamizar	4.55 ^a	1.21 ^a	340 ^{ab}	378 ^b
100	Fina	4.77 ^b	0.54 ^b	461 ^b	518 ^a
	Sin tamizar	4.69 ^{ab}	0.55 ^b	413 ^{ab}	524 ^a
200	Fina	5.03 ^c	0.19 ^c	604 ^c	616 ^c
	Sin tamizar	4.98 ^c	0.19 ^{cd}	586 ^c	617 ^c
400	Fina	6.02 ^d	0.10 ^{ce}	898 ^d	838 ^d
	Sin tamizar	6.21 ^e	0.10 ^{de}	809 ^d	896 ^d
C.V. (%)		12.16	89.034	36.834	28.68
135 días después de la instalación					
0	Fina	4.43 ^{ab}	1.03 ^a	470 ^{ab}	535 ^a
	Sin tamizar	4.41 ^a	1.10 ^a	375 ^a	500 ^a
100	Fina	4.62 ^b	0.49 ^b	505 ^{ab}	627 ^b
	Sin tamizar	4.56 ^{ab}	0.45 ^b	465 ^{ab}	568 ^{ab}
200	Fina	4.90 ^c	0.10 ^c	592 ^{bc}	742 ^c
	Sin tamizar	4.82 ^c	0.10 ^c	621 ^{bc}	727 ^c
400	Fina	5.61 ^d	0.10 ^c	748 ^c	929 ^d
	Sin tamizar	5.51 ^d	0.10 ^c	766 ^c	923 ^d
Fracción		*	n.s	n.s	*
Dosis		***	***	***	***
Fracción x Dosis		n.s	n.s	n.s	n.s
C.V. (%)		9.211	93.097	26.271	23.294

Los valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

Tabla 11. Evolución en el tiempo de los valores medios del pH, la acidez cambiante, el calcio cambiante y el calcio disponible en un suelo ácido de Ucayali.

Dosis de aplicación (% en base a AC)	Fracción de molienda	pH	Acidez cambiante ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	Calcio cambiante (ppm)	Calcio extractable (ppm)
45 días después de la instalación					
0	Fina	4.07 ^a	2.78 ^a	188 ^a	376 ^a
	Sin tamizar	4.00 ^a	2.60 ^b	200 ^a	365 ^a
100	Fina	5.04 ^b	0.24 ^{cd}	549 ^b	737 ^b
	Sin tamizar	5.15 ^b	0.25 ^c	546 ^b	750 ^b
200	Fina	6.56 ^c	0.11 ^{ed}	885 ^c	1121 ^c
	Sin tamizar	6.80 ^c	0.10 ^e	891 ^c	1012 ^c
400	Fina	7.11 ^d	0.12 ^{ce}	1177 ^d	2064 ^d
	Sin tamizar	7.14 ^d	0.12 ^{ce}	1104 ^d	1604 ^e
C.V. (%)		22.034	141.585	49.288	56.302
90 días después de la instalación					
0	Fina	4.20 ^a	2.23 ^a	240 ^a	289 ^a
	Sin tamizar	4.19 ^a	2.18 ^a	260 ^a	314 ^a
100	Fina	5.30 ^b	0.11 ^b	719 ^b	663 ^b
	Sin tamizar	5.34 ^b	0.10 ^b	712 ^b	696 ^b
200	Fina	6.90 ^c	0.10 ^b	1030 ^c	1083 ^c
	Sin tamizar	6.92 ^c	0.10 ^b	998 ^c	1056 ^c
400	Fina	7.56 ^d	0.10 ^b	1300 ^d	1674 ^d
	Sin tamizar	7.57 ^d	0.10 ^b	1335 ^d	1735 ^d
C.V. (%)		22.469	147.368	49.065	56.551
135 días después de la instalación					
0	Fina	4.02 ^a	2.18 ^a	228 ^a	379 ^a
	Sin tamizar	4.02 ^a	2.17 ^a	237 ^a	389 ^a
100	Fina	5.02 ^b	0.10 ^b	600 ^b	686 ^b
	Sin tamizar	5.18 ^b	0.10 ^b	546 ^b	739 ^b
200	Fina	6.66 ^c	0.10 ^b	836 ^c	1004 ^c
	Sin tamizar	6.95 ^d	0.10 ^b	816 ^c	1011 ^c
400	Fina	7.45 ^e	0.10 ^b	985 ^d	1112 ^d
	Sin tamizar	7.63 ^e	0.10 ^b	980 ^d	1065 ^{dc}
Fracción		***	n.s	n.s	n.s
Dosis		***	***	***	***
Fracción x Dosis		*	n.s	n.s	*
C.V. (%)		23.825	147.542	44.342	36.908

Los valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

4.1 PH EN EL SUELO

En el suelo de Jauja el análisis de varianza (ANVA) con respecto al pH, demostró que a los 45 días de incubación las fracciones de molienda, las dosis de aplicación y la interacción dosis de aplicación - fracción de molienda, presentaron diferencias estadísticamente significativas, a los 90 días de incubación, las fracciones de molienda no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, sin embargo, en la dosis de neutralización y en la interacción dosis de aplicación - fracción de molienda se observaron diferencias estadísticamente significativas, con valor de $p = < 2.2e-16$ *** y $p = 0.001416$ **. A los 135 días de incubación solamente las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas. Todas las diferencias estadísticamente significativas entre los siguientes tratamientos se han obtenido según la prueba de comparación de medias de Tukey.

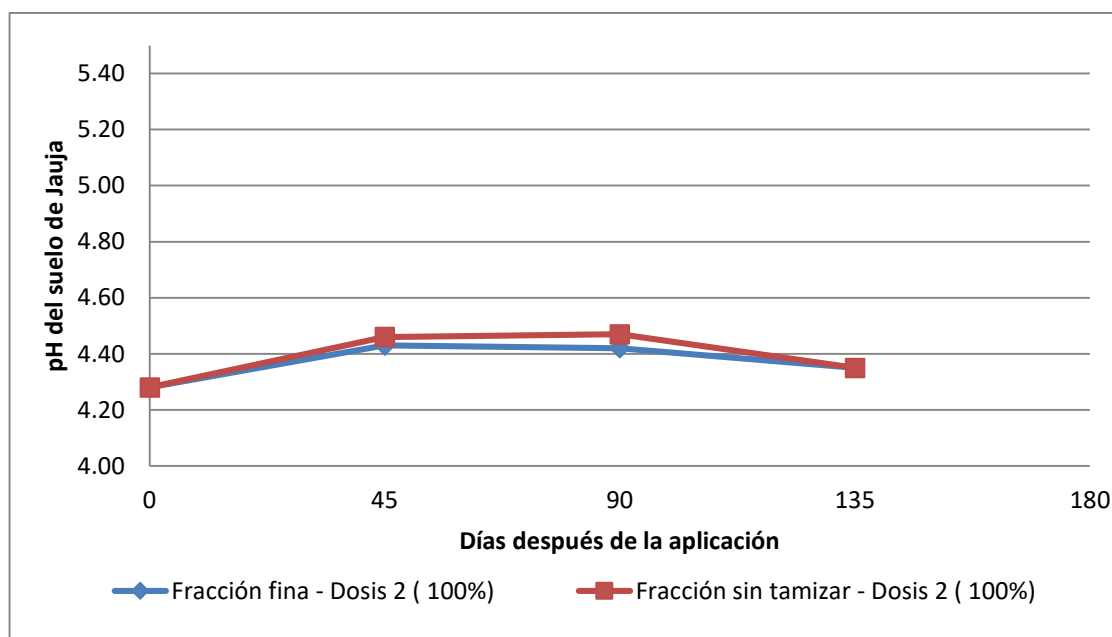


Figura 2. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracción de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiante)

En el suelo de Jauja, cuando la dosis de aplicación fue al 100 por ciento de neutralización (Figura 1), a los 45 días de incubación en la fracción fina y sin tamizar el pH en el suelo se elevó ligeramente hasta valores de 4.43 y 4.46 respecto al pH a los 0 días de incubación de 4.28, no se mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambas fracciones de molienda, a los 90 días de incubación éstas mostraron valores de 4.42 y 4.47

respectivamente, tampoco se presentaron diferencias estadísticamente significativas y no hubo una variación importante de pH en los tratamientos respecto a la evaluación a los 45 días de incubación, a los 135 días de incubación, ambas fracciones de molienda redujeron ligeramente su pH hasta 4.35, obteniéndose un valor muy parecido a los 0 días de incubación, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas fracciones de molienda, En conclusión a lo largo del tiempo de evaluación, para la aplicación de encalado a una dosis al 100 por ciento de neutralización, se observó que ambas fracciones de molienda fueron estadísticamente iguales, por otra parte, el ligero aumento del pH en éstas no se mantuvo constante en el tiempo, observándose una reducción evidente de pH a los 135 días de incubación. A pesar del cálculo previo es evidente el escaso efecto del encalado sobre el pH de este suelo ácido.

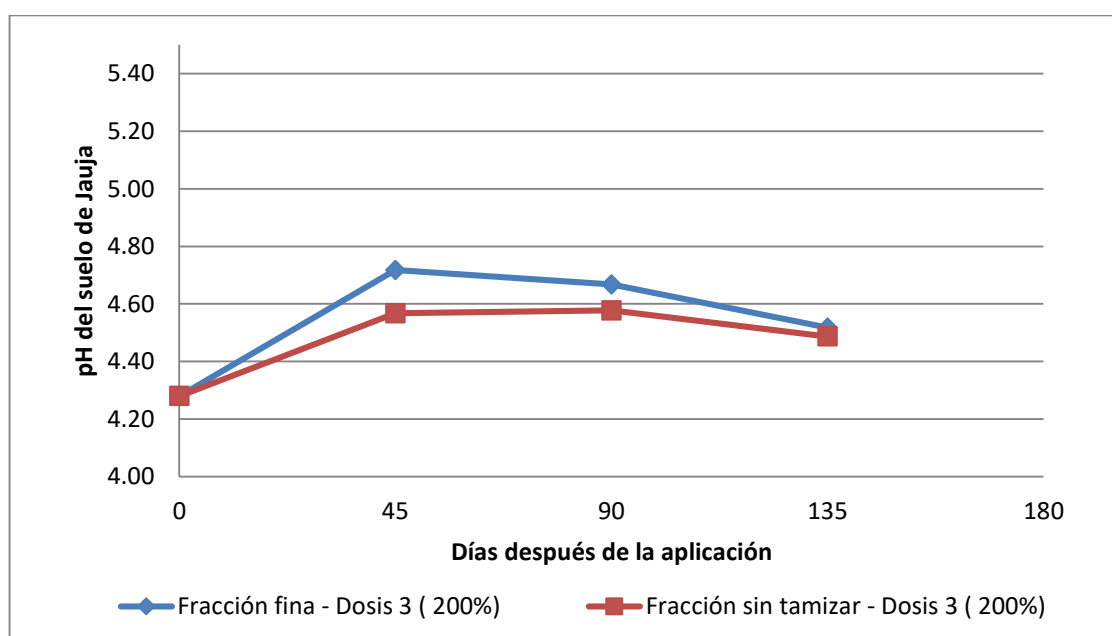


Figura 3. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiante)

En el suelo de Jauja, cuando la dosis de aplicación fue al 200 por ciento de neutralización (Figura 2), a los 45 días de incubación la fracción fina y sin tamizar alcanzaron valores de pH en suelo de 4.72 y 4.57, los cuales presentaron diferencias estadísticamente significativas, respecto al pH de 4.28 a los 0 días de incubación, a los 90 días de incubación ambas fracciones de molienda redujeron ligeramente el pH sin mostrar diferencias estadísticamente significativas entre ellas, con valores de 4.67 y 4.58, a los 135 días de incubación el pH se redujo ligeramente en ambas fracciones de molienda y no se presentaron diferencias estadísticamente significativas. Podemos observar que en las aplicaciones de

ambas fracciones de molienda al suelo de Jauja existe una inestabilidad del pH a lo largo tiempo parecida a la que se dio en la figura 1, sin embargo, el pH de estos tratamientos alcanzaron mayores valores a partir de los 45 días de incubación, esta respuesta fue un indicio no significativo de un mayor efecto sobre la acidez del suelo. El valor más alto de pH a lo largo del tiempo se observó en la fracción fina a los 45 días de incubación, el cual logró elevarse 0.44 unidades de pH respecto al pH a los 0 días de incubación, sin poder alcanzar las 5 unidades de pH.

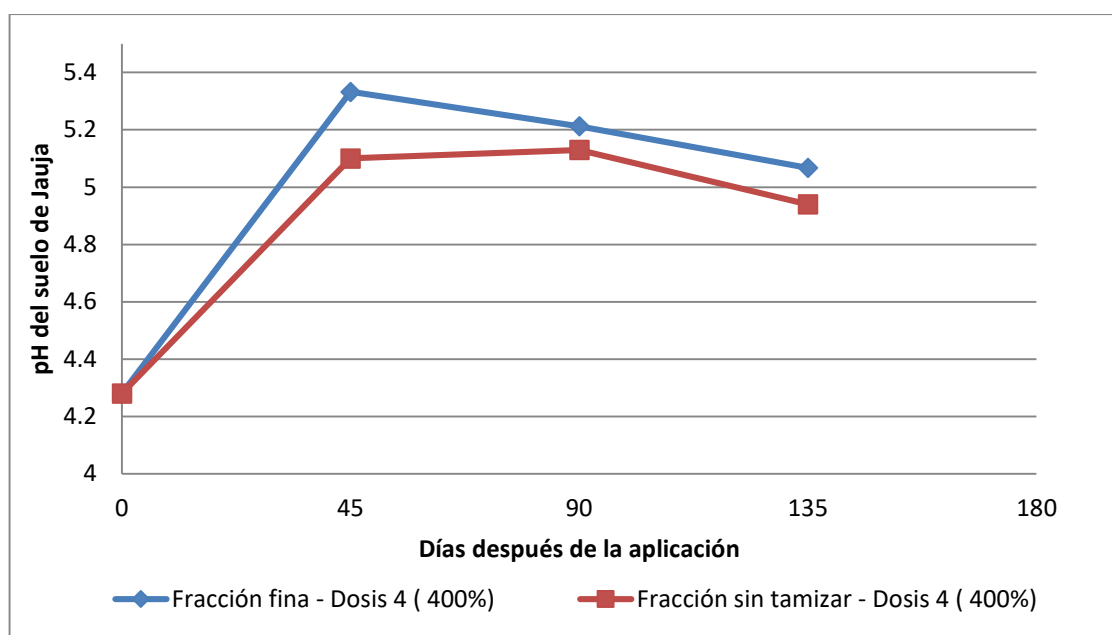


Figura 4. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Jauja luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiante)

En el suelo de Jauja, cuando la dosis de aplicación fue al 400 por ciento de neutralización (Figura 3), a los 45 días de incubación las fracciones fina y sin tamizar presentaron diferencias estadísticamente significativas en el pH del suelo, con valores de 5.33 y 5.1, ambas fracciones de molienda mostraron una considerable elevación del pH respecto a los 0 días de incubación, a los 90 y 135 días de incubación ambas fracciones de molienda no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En general se observó una elevación inicial rápida en ambas fracciones de molienda, donde la fracción fina alcanzó el mayor valor de pH, no obstante, en las evaluaciones siguientes (90 y 135 días) el pH disminuyó como en las figuras 1 y 2, probablemente debido a que el aporte de hidroxilos por parte del carbonato

de calcio de la cáscara de huevo fue superado rápidamente por la liberación de átomos de hidrogeno en el suelo, asimismo, no se pudo alcanzar las 5.5 unidades de pH que se tenía como objetivo. Observamos que con la dosis más elevada (al 400 por ciento de neutralización) se presentó una elevación de pH superior a las dosis inferiores en ambas fracciones de molienda, donde la fracción de molienda fina presento un efecto ligeramente superior (no significativo).

En el suelo de Pangoa el análisis de varianza (ANVA) con respecto al pH, demostró que a los 45 días de incubación solamente las dosis de aplicación presentaron diferencias significativas con un $p = <2e-16$ ***, a los 90 días de incubación las dosis de aplicación y la interacción dosis de aplicación - fracción de molienda presentaron diferencias significativas, sin embargo, las fracciones de molienda no mostraron diferencias significativas. A los 135 días de incubación las dosis de aplicación y las fracciones de molienda presentaron diferencias significativas con valores de $p = < 2e-16$ *** y $p = 0.02531$ *, la interacción dosis de aplicación – fracción de molienda no presento diferencias significativas. Todas las diferencias significativas entre los siguientes tratamientos se han obtenido según la prueba de comparación de medias de Tukey.

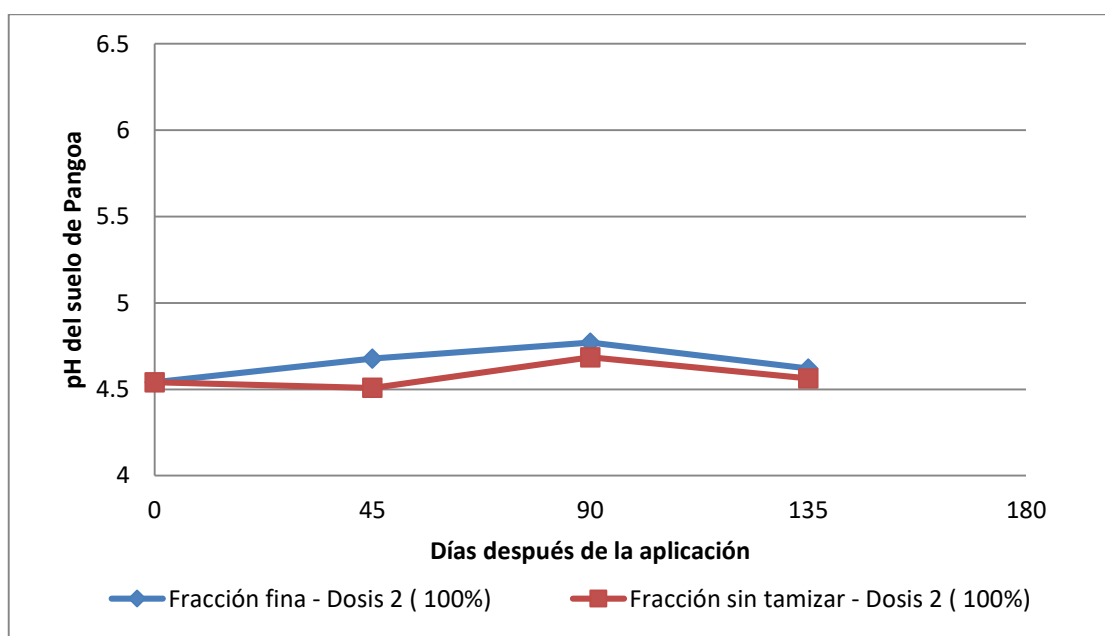


Figura 5. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiante).

En el suelo de Pangoa, cuando la dosis de aplicación fue al 100 por ciento de neutralización (Figura 4), las fracciones fina y sin tamizar presentaron valores de pH en suelo ligeramente diferentes entre sí durante los 135 días de incubación, donde la fracción fina fue superior, sin embargo, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en ningún momento de evaluación (45, 90 y 135 días de incubación), no obstante, a los 90 días de incubación se observó la mayor elevación de pH en ambas fracciones de molienda, posteriormente, a los 135 días de incubación en ambas fracciones de molienda el pH se redujo hasta estar muy cercano al pH de inicio de la incubación. En conclusión las fracciones de molienda fina y sin tamizar no presentaron efectos importantes sobre el pH, ambas con un comportamiento muy parecido.

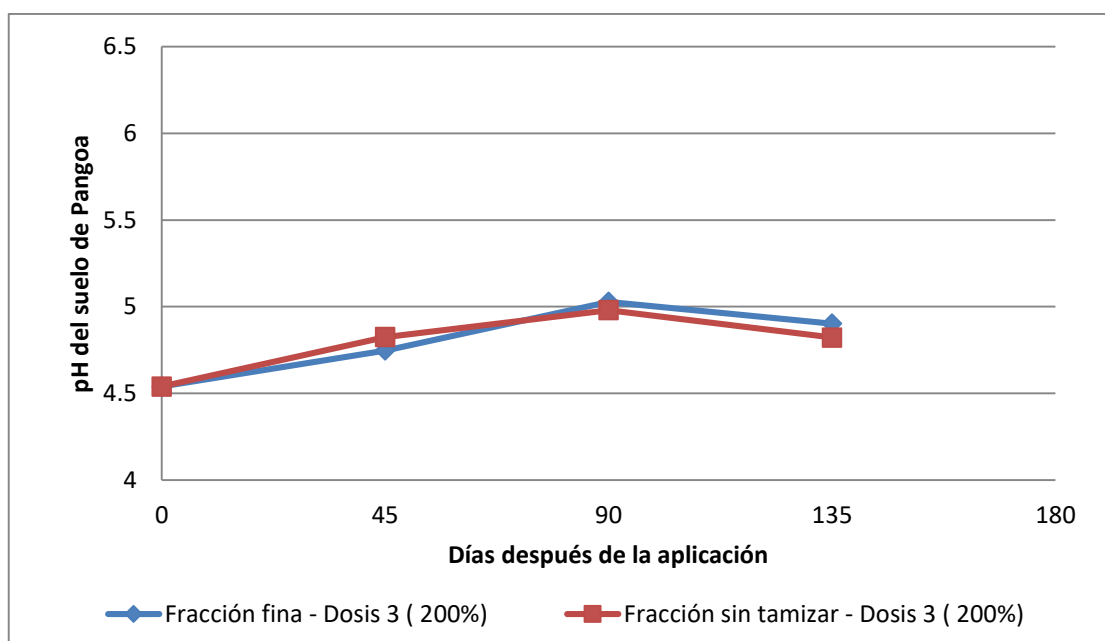


Figura 6. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiante).

El suelo de Pangoa, cuando la dosis de aplicación fue al 200 por ciento de neutralización (Figura 5), a los 45 días de incubación las fracciones fina y sin tamizar presentaron 4.75 y 4.83 de pH en suelo, a los 90 días de incubación presentaron un ligero aumento con 5.03 y 4.98 de pH en el suelo, observamos un aumento progresivamente del pH respecto al pH a los 0 días de incubación, llegando ambos hasta alrededor de las 5 unidades de pH, no obstante, a los 135 días de incubación en ambas fracciones de molienda el pH en suelo se redujo repentinamente. Podemos concluir que en cada momento de evaluación no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las fracciones de molienda, por lo tanto, ambas mostraron efectos muy parecidos sobre el pH del suelo, por otro lado, los efectos de

las fracciones de molienda sobre el pH del suelo después de los 90 días fue muy parecido a la dosis de aplicación al 100 por ciento de neutralización (figura 4), donde el poder encalante del material no fue suficiente y el pH en el suelo se redujo progresivamente.

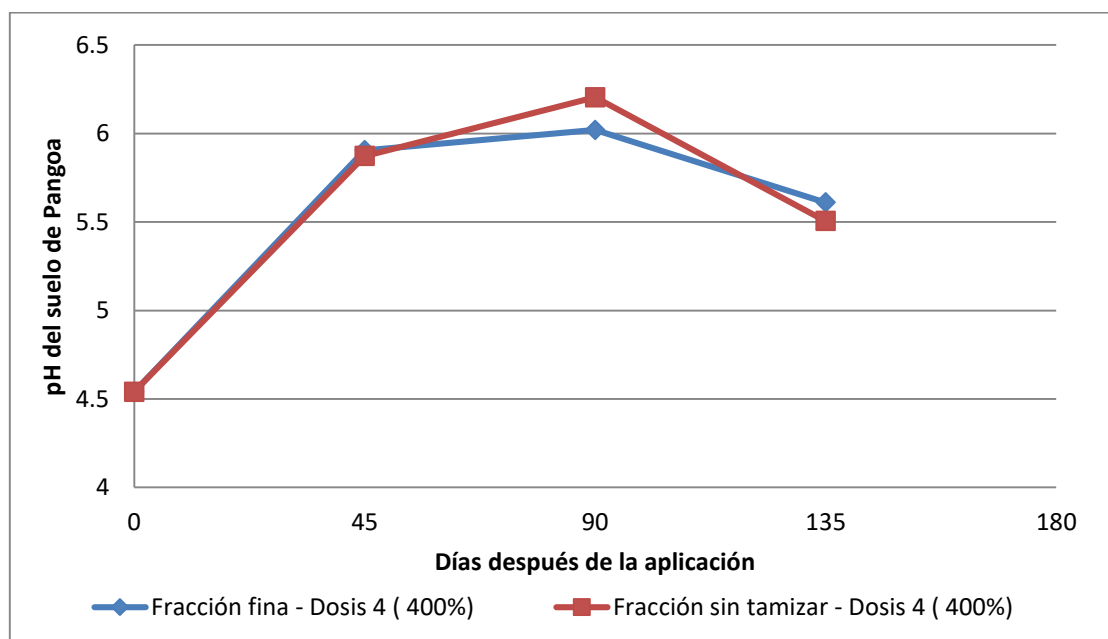


Figura 7 . Evolución temporal del pH de un suelo acido de Pangoa - Junín luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiante).

En el suelo de Pangoa, cuando la dosis de aplicación fue al 400 por ciento de neutralización (Figura 6), a los 45 días de incubación las fracciones fina y sin tamizar alcanzaron 5.91 y 5.87 de pH en el suelo respecto a 4.54 de pH a los 0 días de incubación, a los 90 días de incubación estas fracciones de molienda aumentaron ligeramente el pH en el suelo con valores de 6.02 y 6.2, superando las 6 unidades, no obstante, a los 135 días de incubación el pH en el suelo disminuyó hasta valores muy parecidos de 5.61 y 5.51 respectivamente para cada fracción de molienda, sin llegar a descender por debajo de 5.5 de pH. La tendencia que siguieron ambos tratamientos a lo largo de las evaluaciones fue muy parecida. A los 45 y 135 de incubación no se dieron diferencias estadísticamente significativas entre las fracciones de molienda, pero a los 90 días de incubación se presentó diferencias significativas entre ambas. Podemos concluir que en ambas fracciones de molienda se logró alcanzar 5.5 de pH en el suelo, lo cual era el principal objetivo a igualar o superar por su relación inversa con la acidez del suelo. Las dosis de aplicación con las fracciones de molienda fina y sin tamizar en suelo de Pangoa alcanzaron valores de pH del suelo más elevados que los que se presentaron en el suelo de Jauja, además, es evidente que en el suelo

de Pangoa el pH comenzó a reducirse mucho después de la aplicación de la cáscara molida de huevo comparado con el suelo de Jauja.

Para el suelo de Ucayali a los 45 días de incubación, con respecto al pH el análisis de varianza (ANVA) demostró que las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas con un $p = <2e-16$ ***. Las fracciones de molienda y la interacción dosis de aplicación - fracción de molienda no presentaron diferencias estadísticamente significativas, aunque sus valores están muy cerca al nivel de significación de 0.05. A los 90 días de incubación solo las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas, con valor de $p = <2e-16$ ***, las fracciones de molienda y la interacción dosis de aplicación - fracción de molienda no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En la evaluación a los 135 días las dosis de aplicación, las fracciones de molienda y la interacción dosis de aplicación – fracción de molienda presentaron diferencias estadísticamente significativas. Todas las diferencias estadísticamente significativas entre los siguientes tratamientos se han obtenido según la prueba de comparación de medias de Tukey.

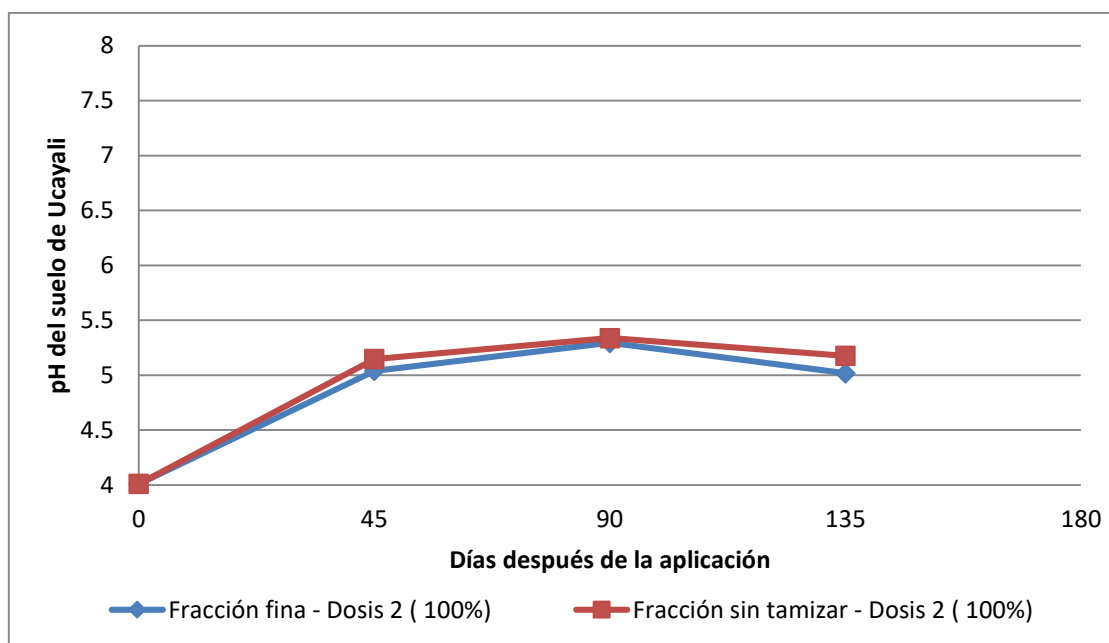


Figura 8. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 100 % de la acidez cambiante).

En el suelo de Ucayali, cuando la dosis de aplicación fue al 100 por ciento de neutralización (Figura 7), a los 45 días de incubación las fracciones fina y sin tamizar elevaron rápidamente el pH del suelo hasta 5.04 y 5.15 de pH respecto al pH de 4.01 a los 0 días de incubación, a los 90 días de incubación el pH del suelo se elevó aún más en ambas fracciones de molienda. A los 135 días de incubación el pH del suelo en ambas fracciones disminuyó ligeramente hasta cerca de las 5 unidades de pH, presentado comportamientos muy parecidos, por lo tanto, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las fracciones de molienda en ningún momentos de evaluación, aun así, se puede notar una leve superioridad de pH en el suelo con la fracción de molienda sin tamizar. Podemos concluir que la fracción fina y sin tamizar no presentan diferencias importantes sobre su efecto el pH del suelo y en ningún momento de evaluación se alcanzó las 5.5 unidades de pH que se tiene como objetivo, además, se observó una rápida elevación del pH respecto a los tratamientos correspondientes a los suelos de Jauja y Pangoa, lo que podría estar relacionado directamente con adecuadas características químicas del suelo de Ucayali que permitieron la efectividad del encalado.

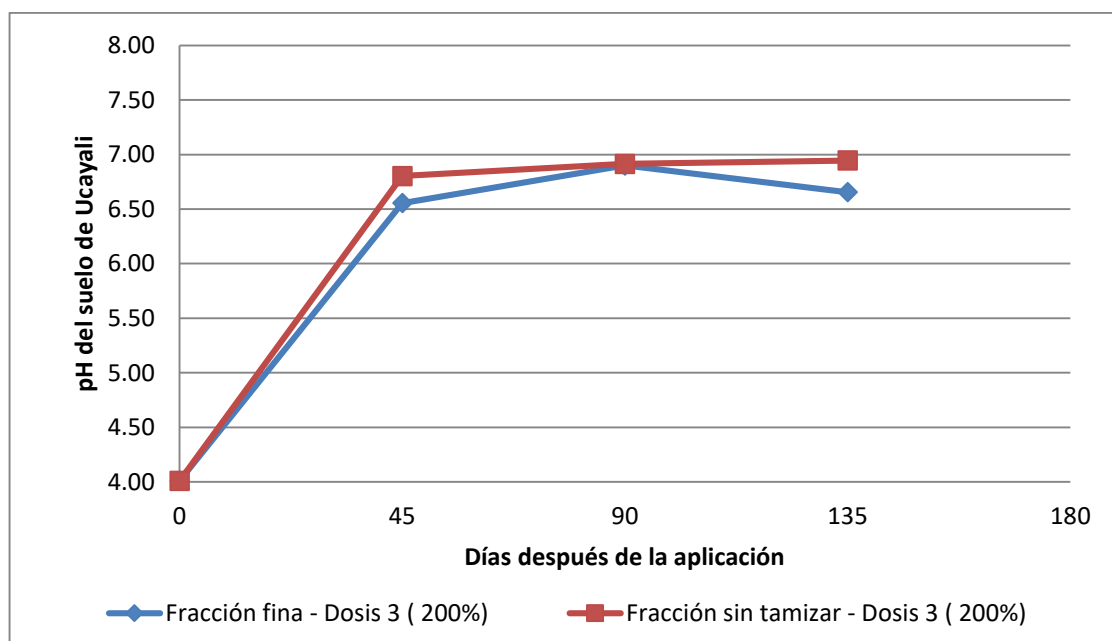


Figura 9. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 200 % de la acidez cambiante).

En el suelo de Ucayali, cuando la dosis de aplicación fue al 200 por ciento de neutralización (Figura 8), a los 45 días de incubación en las fracciones fina y sin tamizar el pH del suelo se elevó rápidamente hasta 6.56 y 6.8 respecto al pH de 4.01 a los 0 días de incubación, superando grandemente el pH de 5.5 que se tenía como objetivo, a los 90 días de incubación

en ambas fracciones de molienda el pH del suelo se elevó hasta 6.90 y 6.92, y a los 135 días de incubación se obtuvo 6.66 y 6.95 de pH, donde solamente en la fracción fina el pH disminuyó, ambas fracciones alcanzaron un pH del suelo cercano a la neutralidad durante cada evaluación, presentándose únicamente diferencias estadísticamente significativas entre ambas fracciones de molienda a los 135 días de incubación, cuando la fracción de molienda sin tamizar alcanzo el pH más elevado de 6.95, prácticamente neutro. Podemos concluir que las fracciones de molienda fina y sin tamizar no presentaron diferencias estadísticamente significativas en sus efectos sobre el pH del suelo, sin embargo, observamos que la fracción de molienda sin tamizar, presentó una ligera superioridad no significativa durante todos los momentos de evaluación.

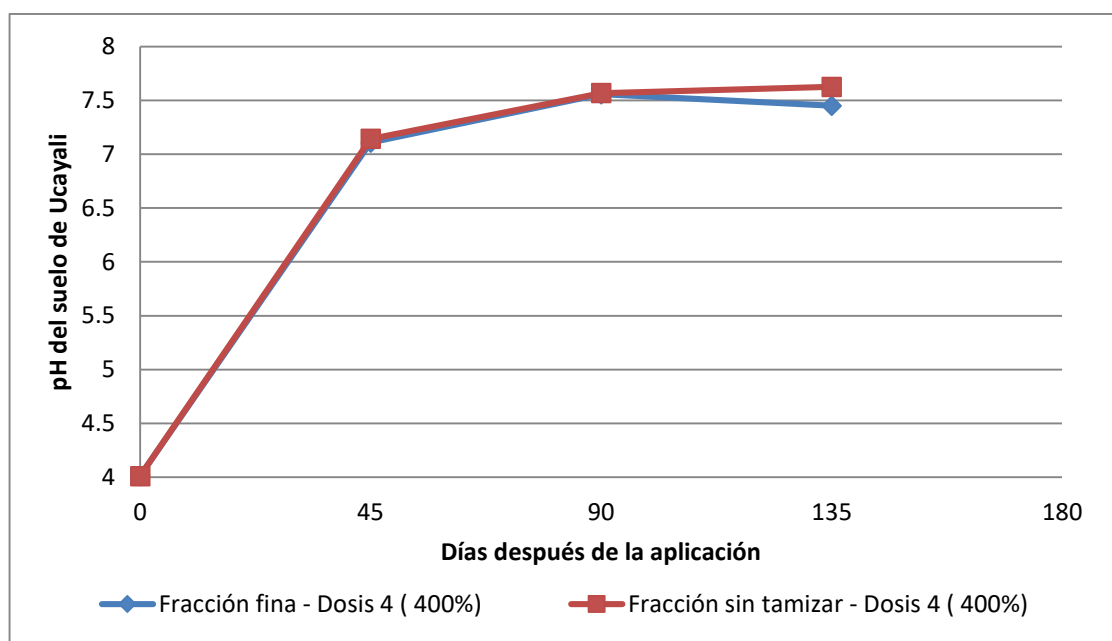


Figura 10. Evolución temporal del pH de un suelo ácido de Ucayali luego de la aplicación de cáscara de huevo molida a dos fracciones de molienda (fina y sin tamizar) durante un periodo de incubación 135 días (a dosis de 400 % de la acidez cambiante).

En el suelo de Ucayali, cuando la dosis de aplicación fue al 400 por ciento de neutralización (Figura 9), a los 45 días de incubación las fracciones fina y sin tamizar presentaron 7.11 y 7.14 de pH en el suelo, superando ligeramente la neutralidad, a los 90 días de incubación se alcanzó un incremento muy significativo, donde estas fracciones de molienda obtuvieron 7.56 y 7.57 de pH del suelo, a los 135 de incubación el pH en el suelo fue similar al pH a los 90 días de incubación para ambas fracciones de molienda, en conclusión no se presentaron diferencias significativas entre los efectos de las fracciones de molienda sobre el pH del suelo en el transcurso de la incubación, por otro lado, en estos tratamientos el pH se elevó más allá de nivel óptimo para los cultivos en general, ocurriendo sobreencalado con efectos

perjudiciales sobre la fertilidad del suelo. En las figuras 7, 8 y 9 pertenecientes al suelo de Ucayali, el pH se elevó rápidamente y se mantuvo relativamente estable en el tiempo en las dosis de aplicación al 200 y 400 por ciento de neutralización para ambas fracciones de molienda, no se presentó una disminución de pH con el tiempo como sucedió con los tratamientos de los suelos de Jauja y Pangoa. En el suelo de Ucayali los efectos de las fracciones de molienda en general no presentaron diferencias importantes.

Entre los suelos en estudio se han presentado suelos con diferentes respuestas al encalado, pero en ninguno la dosis de aplicación al 100 por ciento de neutralización de la acidez cambiante alcanzó o superó las 5.5 unidades de pH, en el suelo de Ucayali se logró superar las 5.5 unidades de pH con la dosis de aplicación al 200 por ciento de neutralización con ambas fracciones de molienda, por otro lado, la respuesta al encalado en el suelo de Ucayali fue más rápida comparado a los suelos de Jauja y Pangoa, alcanzando valores superiores a la neutralidad y manteniendo una mayor estabilidad del pH a lo largo del tiempo. En el suelo de Pangoa con ambas fracciones de molienda se logró superar las 5.5 unidades de pH solo con la dosis de aplicación al 400 por ciento de neutralización. En el suelo de Jauja con la menor respuesta al encalado, se logró alcanzar solamente las 5 unidades de pH con la dosis de aplicación de neutralización más elevada, además, el pH comenzó a disminuir a los 45 días de incubación.

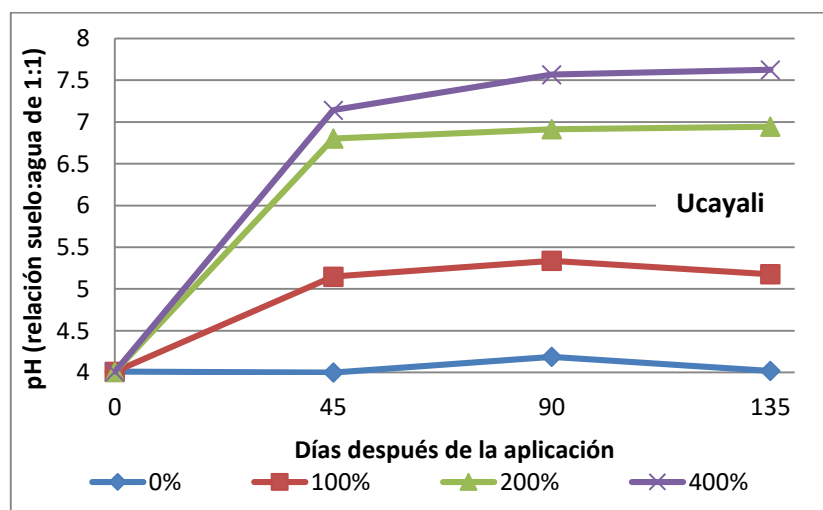
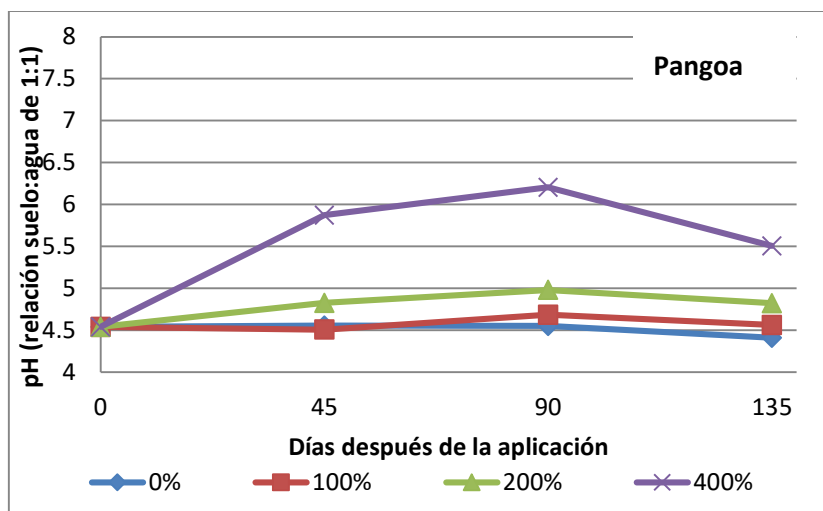
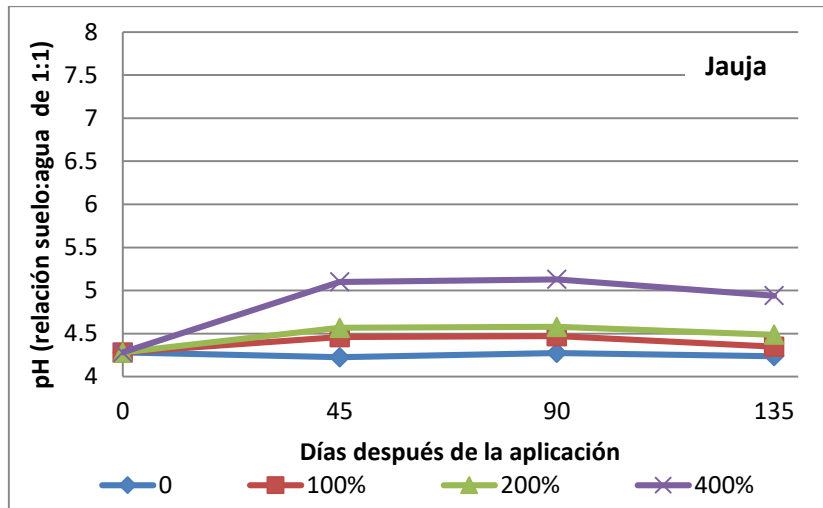


Figura 11. Evaluación del pH en los suelos ácidos de Jauja, Pangoa y Ucayali durante un periodo de incubación de 135 días, donde se aplicó las dosis al 0, 100, 200 y 400 por ciento de neutralización de la acidez cambiante, con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara molida de huevo.

De las discusiones anteriores podemos inferir que las fracciones de molienda no presentaron diferencias importantes a lo largo de la incubación en ningún suelo en estudio, sin embargo, la fracción de molienda sin tamizar represento el menor costo energético a la hora de encalar por no pasar por el proceso de tamizado, así que para comparar los efectos entre las diferentes dosis sobre el pH de los suelos ácidos se consideró solo la fracción de molienda sin tamizar (Figura 10). En el suelo de Jauja, a los 45 días de incubación las dosis de aplicación al 100 y 200 por ciento de neutralización obtuvieron valores de pH similares (4.47 y 4.57 respectivamente), no obstante, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ambas, la mayor dosis de aplicación (al 400 por ciento) logró el mayor incremento de pH con un valor de 5.1, por otro lado, todas las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, a los 90 días de incubación la dosis al 400 por ciento de neutralización presentó el valor de pH de suelo más elevado respecto a las demás dosis de aplicación, a pesar de que todas las dosis de aplicación son estadísticamente diferentes presentaron valores de pH muy cercanos, a los 135 días de incubación, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dosis de aplicación al 0 y 100 por ciento de neutralización y 100 y 200 por ciento de neutralización, no obstante, la dosis de aplicación más elevada, que alcanzó el mayor valor de pH, presentó diferencias estadísticamente significativas frente a los demás dosis de aplicación. En conclusión la dosis al 400 por ciento quien obtuvo valores de pH significativamente mayores a las demás, pero su efecto, como en las demás dosis de aplicación, se vio reducido conforme transcurrió el tiempo, lo que podría implicar que el suelo presentó una resistencia a la modificación de pH (poder buffer).

En el suelo de Pangoa, a los 45 días de incubación la dosis de aplicación más elevada casi alcanzó las 6 unidades de pH, y superó grandemente a las demás dosis de aplicación, las cuales casi no elevaron el pH del suelo, a los 90 de incubación la dosis de aplicación más elevada siguió siendo muy superior a las demás dosis de aplicación, está superó las 6 unidades de pH, sin embargo, a los 135 de incubación disminuyó, en todos los momentos de evaluación las dosis al 0 y al 100 por ciento de neutralización no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Por otra parte, la dosis aplicación más elevada obtuvo el mayor pH durante todos los momentos de evaluación, no obstante, en esta dosis de aplicación se observó una evidente disminución del pH, comparada a las demás dosis de aplicación, a partir de los 90 días de incubación.

En el suelo de Ucayali, a los 45 días de incubación se obtuvo grandes incrementos de pH del suelo a mayor dosis de aplicación, a los 90 días de incubación los valores de pH del suelo en cada dosis de aplicación se incrementaron ligeramente con respecto a los 45 días de incubación, en ambos momentos de evaluación solo la dosis al 200 y 400 por ciento lograron superar al pH de 5.5, por otro lado, a los 135 días de incubación la dosis de aplicación al 100 por ciento de neutralización obtuvo 5.18 de pH, no obstante, en la misma dosis de aplicación a los 90 días de incubación se presentó un valor de pH mayor (5.34), lo cual represento una ligera reducción de pH (la única disminución de pH que se observó en el suelo de Ucayali), esto contrasto con las dosis de aplicación al 200 y 400 por ciento, en las cuales el pH continuo elevándose ligeramente en cada momento de evaluación, El aumento significativo de pH del suelo en cada momento de evaluación es quizás debido a la reacción de un suelo con escaso poder buffer frente a la cáscara molida de huevo (prácticamente carbonato de calcio). A los 45, 90 y 135 días de incubación todas las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Podemos concluir que la dificultad para elevar el pH en el suelo de Jauja, tiene relación con el alto poder buffer del suelo, el cual es menor en los suelos de Pangoa y Ucayali, asimismo, las características físicas y químicas del suelo de Pangoa y Ucayali (suelos de Selva) que contrastan con el suelo de Jauja (suelo de Sierra) podrían estar relacionado con la facilidad que tiene estos suelos para elevar su pH, sobretodo en el suelo de Ucayali, donde en las dosis de aplicación más elevadas, el pH continuo elevándose aparentemente aun después de los 135 días de incubación.

4.2 ACIDEZ CAMBIABLE

Para el suelo de Pangoa, Jauja y Ucayali, a los 45, 90 y 135 días de incubación, las pruebas de ANVA demostraron que hay evidencias altamente significativas para aceptar que por lo menos una dosis de aplicación es diferente a las demás en su efecto sobre la acidez cambiabile. Todas las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos se han obtenido según la prueba de comparación de medias de Tukey.

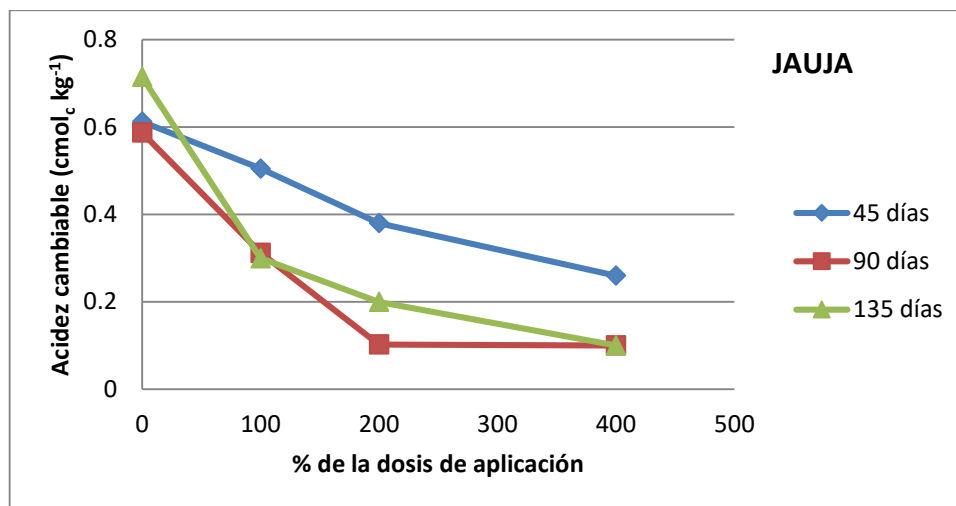


Figura 12. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de acidez cambiante (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Jauja, durante un periodo de incubación de 135 días

En el suelo de Jauja (Figura 11), a los 45 días de incubación, la acidez cambiante se redujo gradualmente a mayores dosis de aplicación, llegando hasta 0.26 cmol_c kg⁻¹ con la dosis de aplicación más elevada, a los 90 días de incubación, la acidez cambiante se redujo totalmente (< 0.1 cmol_c kg⁻¹) con la dosis de aplicación al 200 y 400 por ciento de neutralización, asimismo, todas las dosis de aplicación presentaron valores de acidez menores que en la evaluación a los 45 días. A los 135 días de incubación, la evolución de la acidez cambiante en función de la dosis de aplicación fue semejante a los 90 días de incubación, sin embargo, en las dosis al 0 (testigo) y 200 por ciento de neutralización se presentaron valores más elevados de la acidez cambiante, aun cuando se esperaba obtener menores valores de acidez cambiante por el mayor tiempo transcurrido. En la dosis al 0 por ciento de neutralización (testigo) la acidez fue prácticamente igual durante los primeros 90 días con un valor promedio de 0.59 cmol_c kg⁻¹, luego se elevó ligeramente hasta 0.73 cmol_c kg⁻¹ a los 135 días de incubación, causado probablemente por la reacción de la materia orgánica o por el tipo de mineral presente en el suelo. En conclusión, en el suelo de Jauja se presentó una gran resistencia a la reducción de la acidez cambiante.

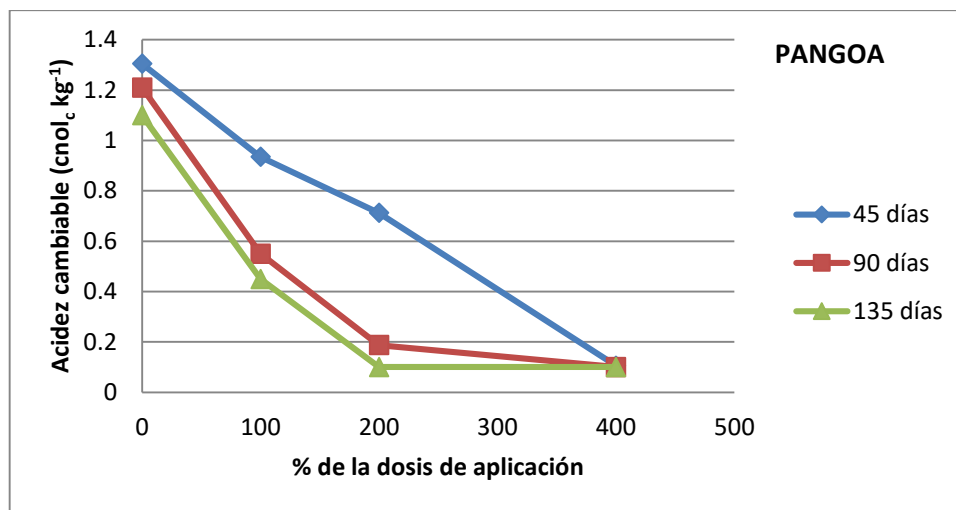


Figura 13. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante (al 0, 100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Pangoa, durante un periodo de incubación de 135 días.

En el suelo de Pangoa (Figura 12), a los 45 días de incubación la acidez cambiante se redujo a medida que la dosis de aplicación fue más elevada, para las dosis de aplicación al 0 (testigo), 100 y 200 por ciento de neutralización de la acidez cambiante se alcanzó valores de 1.31, 0.94 y 0.71 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, solamente se llegó a la neutralización total con la dosis al 400 por ciento de neutralización de la acidez cambiante, a los 90 días de incubación en todas las dosis de aplicación la acidez cambiante se redujo aun en mayor grado que a los 45 días de incubación, las dosis de aplicación al 200 y 400 por ciento de neutralización consiguieron reducir la acidez cambiante hasta 0.19 y 0.11 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, siendo este último valor correspondiente a una neutralización total, a los 135 días de incubación, todas las dosis de aplicación excepto la más elevada (400 por ciento) presentaron valores de acidez cambiante ligeramente menores que en la evaluación a los 90 días, solo las dosis de aplicación más elevadas (200 y 400 por ciento) alcanzaron la neutralización total de la acidez. En la dosis al 0 por ciento de neutralización la acidez cambiante presentó un valor de 1,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ a los 45 días de incubación, el cual se redujo hasta 1.21 y 1.1 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ a los 90 y 135 días de incubación, esta reducción causada por la propia naturaleza química del suelo cuando este se llevó a capacidad de campo.

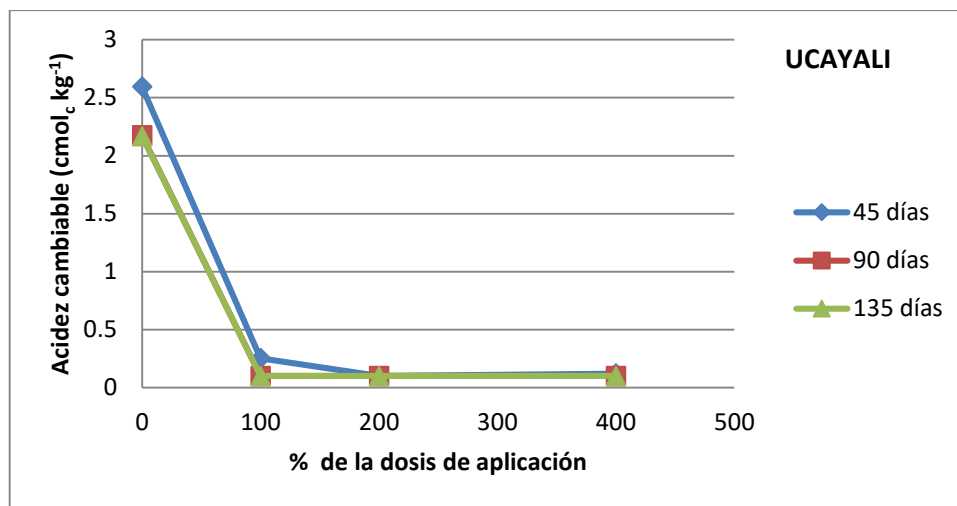


Figura 14. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante (al 0, 100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el suelo ácido de Ucayali, durante un periodo de incubación de 135 días.

En el suelo de Ucayali (Figura 13), a los 45 días de incubación la dosis de aplicación al 100 por ciento de neutralización redujo la acidez cambiante del suelo hasta 0.25 cmol_c kg⁻¹, las dosis al 200 y 400 por ciento de neutralización alcanzaron la neutralización total, a los 90 y 135 días de incubación todas las dosis de aplicación excepto la dosis al 0 por ciento (testigo) redujeron la acidez cambiante del suelo hasta niveles de neutralización total. En cada momento de evaluación las dosis de aplicación de cáscara molida de huevo causaron una drástica reducción de la acidez cambiante, incluso en la dosis de aplicación al 0 por ciento de neutralización (testigo), la acidez cambiante se redujo de 2.6 cmol_c kg⁻¹ a los 45 días de incubación, a 2.17 cmol_c kg⁻¹ a los 135 días de incubación.

El comportamiento de los suelos ácidos (no encalados), demostró claras diferencias entre el suelo de Jauja (sierra) y los suelos de Pangoa y Ucayali (selva); en el suelo de Jauja, al contrario de los otros dos suelos, la acidez cambiante aumentó con el tiempo.

4.3 CALCIO CAMBIABLE

Para el suelo de Pangoa, Jauja y Ucayali, a los 45, 90 y 135 días de incubación, la prueba de ANVA demostró que hay evidencias altamente significativas para aceptar que por lo menos una de las dosis de aplicación es diferente a las demás en su efecto sobre el calcio disponible. Todas las diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos se han obtenido según la prueba de comparación de medias de Tukey.

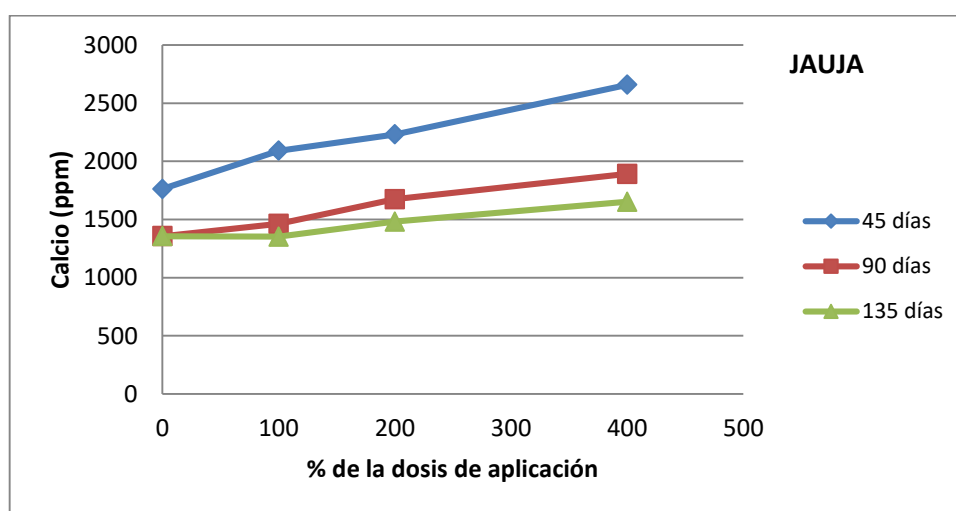


Figura 15. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante (al 0, 100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiante del suelo de Jauja, durante un periodo de incubación de 135 días.

En el suelo de Jauja (Figura 14) a los 45 días de incubación, solo las dosis de aplicación al 100 y al 200 por ciento de neutralización no presentaron diferencias estadísticamente significativas en los valores obtenidos de calcio cambiante del suelo, sin embargo, el calcio cambiante del suelo se elevó gradualmente a mayor dosis de aplicación de cáscara molida de huevo, por otro lado, entre la dosis de aplicación al 0 por ciento (testigo) y la más elevada (400 por ciento) se obtuvo una diferencia de 896 ppm de calcio cambiante del suelo (calcio ganado por el complejo del suelo). Además, en la dosis de aplicación al 400 por ciento de neutralización se alcanzó 2658 ppm de calcio cambiante del suelo. A los 90 días de incubación, entre la dosis de aplicación al 0 por ciento de neutralización y la más elevada se obtuvo una diferencia de 536 ppm de calcio cambiante del suelo, por otro lado, solo la dosis al 200 y 400 por ciento de neutralización presentaron diferencias significativas con respecto

a la dosis de aplicación 0 por ciento (testigo), sin embargo, los valores de calcio cambiante aumentaron en función del crecimiento de las dosis de aplicación, no obstante, los valores que se obtuvieron de calcio cambiante del suelo fueron menores que a los 45 días de incubación. A los 135 días de incubación, entre la dosis de aplicación al 0 por ciento y la más elevada se obtuvo solo una diferencia de 296 ppm de calcio cambiante del suelo, por otro lado, solo el calcio cambiante del suelo obtenido con la dosis de aplicación más elevada fue estadísticamente diferente a la dosis de aplicación al 0 por ciento de neutralización. A los 135 días de incubación, en todas las dosis aplicación el calcio cambiante del suelo fue significativamente menor a los valores de calcio cambiante del suelo a los 45 días de incubación y solo ligeramente menor a los valores de calcio cambiante del suelo a los 90 días de incubación. Se puede concluir que a medida que transcurrió el tiempo, para todas las dosis de aplicación el calcio cambiante disminuyó por alguna propiedad de este suelo, lo cual podría atribuirse en cierta medida a la materia orgánica y/o otras características químico-físicas.

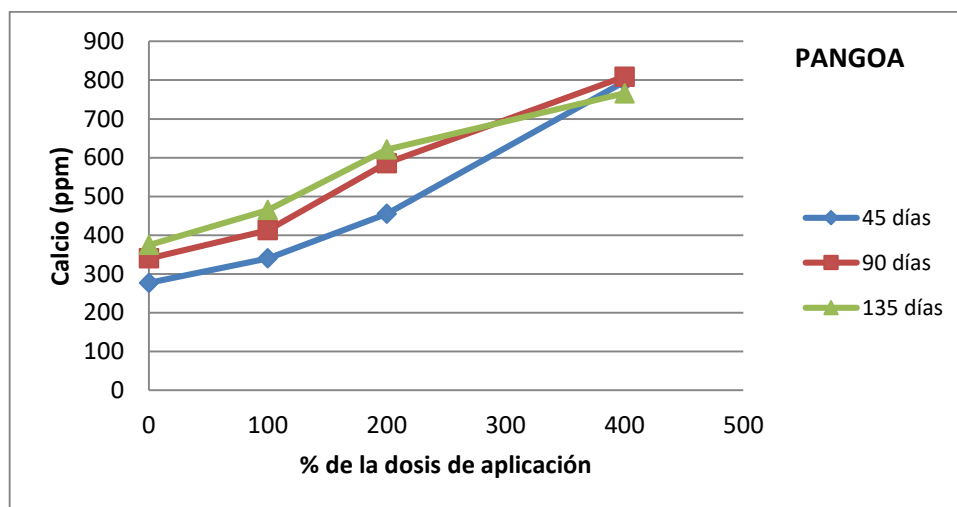


Figura 16. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiante del suelo de Pangoa, durante cada momento de evaluación (45, 90 y 135 días).

En el suelo de Pangoa a los 45, 90 y 135 días de incubación (Figura 15), no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre la dosis de aplicación al 0 y al 100 por ciento de neutralización respecto al calcio cambiante del suelo. A los 45 días de incubación, el

calcio cambiante del suelo aumentó a mayores dosis de aplicación, a los 90 días de incubación, las dosis de aplicación presentaron valores más elevados de calcio cambiante del suelo que a los 45 días de incubación, sin embargo, en la dosis de aplicación más elevada (400 por ciento) el calcio cambiante del suelo fue semejante al obtenido a los 45 días de incubación. A los 135 días de incubación los valores de calcio cambiante del suelo obtenidos en cada dosis de aplicación fueron ligeramente superiores a los obtenidos a los 90 días de incubación, no obstante, en la dosis de aplicación más elevada el calcio cambiante del suelo obtenido fue semejante a los 45 y 90 días de incubación con un valor de 766 ppm. Podemos concluir que a medida que transcurrió el tiempo, a mayores dosis de aplicación hubo incrementos del calcio cambiante del suelo, no obstante, solo en la dosis de aplicación más elevada el calcio cambiante no aumento.

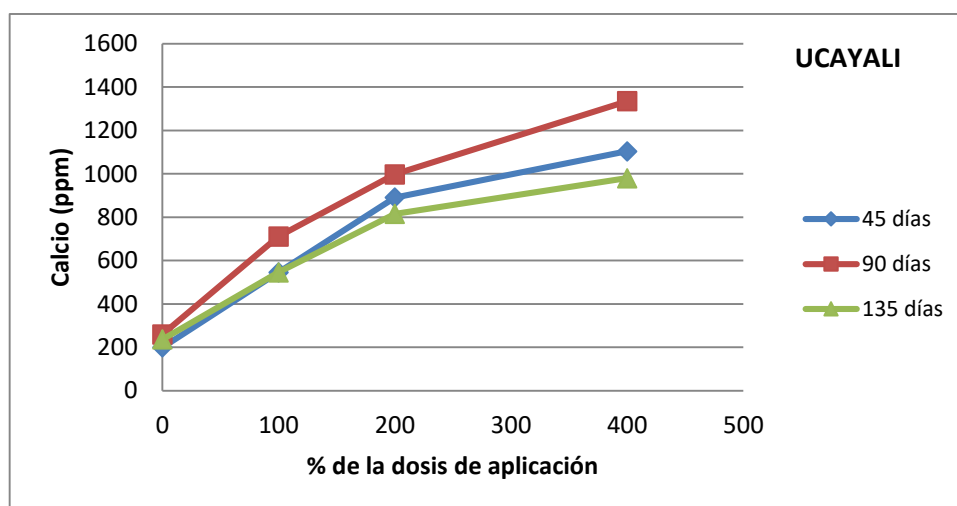


Figura 17. Efectos de las dosis de aplicación de la neutralización de la acidez cambiante (al 0,100, 200 y 400 por ciento) con la fracción de molienda sin tamizar de la cáscara de huevo, sobre el calcio cambiante del suelo de Ucayali, durante un periodo de incubación de 135 días.

En el suelo de Ucayali, a los 45, 90 y 135 días de incubación (Figura 16), todas las dosis de aplicación presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí con respecto al calcio cambiante del suelo, a los 45 días de incubación se dio un rápido crecimiento del calcio cambiante del suelo a mayores dosis de aplicación, la diferencia entre el calcio cambiante del suelo obtenido con la dosis de aplicación al 0 (testigo) y al 400 por ciento de neutralización fue de 904 ppm, además esta última dosis de aplicación alcanzó de 1104 ppm.

A los 90 días de incubación, la diferencia entre el calcio cambiante obtenido con las dosis de aplicación al 0 y al 400 por ciento de neutralización fue de 1075 ppm, la dosis más elevada alcanzó 1335 ppm de calcio cambiante, a mayores dosis de aplicación se alcanzaron mayores niveles de calcio cambiante del suelo que a los 45 días de incubación. A los 135 días de incubación la diferencia entre el calcio cambiante del suelo con las dosis de aplicación al 0 y al 400 por ciento fue de 743 ppm, además, esta última alcanzó 980 ppm a los 135 días de incubación, si bien el calcio cambiante del suelo aumentó en función de la dosis de aplicación, los valores obtenidos fueron inclusive menores que en la evaluación a los 45 días. Podemos decir que en algún momento en el tiempo, a partir de los 90 días de incubación, el calcio cambiante comenzó a ser fuertemente retenido en el suelo.

Normalmente los materiales ricos en calcio al ser aplicados a suelos ácidos suelen liberar calcio gradualmente, y los valores de calcio cambiante tienden a incrementarse en el tiempo, sin embargo, este comportamiento puede variar en función de naturaleza del suelo a encalar. En general los suelos de Jauja, Pangoa y Ucayali presentaron mayores valores de calcio cambiante del suelo a mayores dosis de aplicación de neutralización, sin embargo, para el suelo de Jauja y Ucayali en algún momento en el tiempo, en todas las dosis de aplicación, el calcio cambiante del suelo comenzó a disminuir notoriamente.

4.4 CALCIO CAMBIANTE Y CALCIO EXTRACTABLE

La posible relación entre el calcio cambiante y extractable del suelo, podría demostrar la dependencia de una de estas variables respecto a la otra, en cada momento de evaluación y en cada tipo de suelo se identificaron cambios importantes en la relación del calcio cambiante y extractable del suelo.

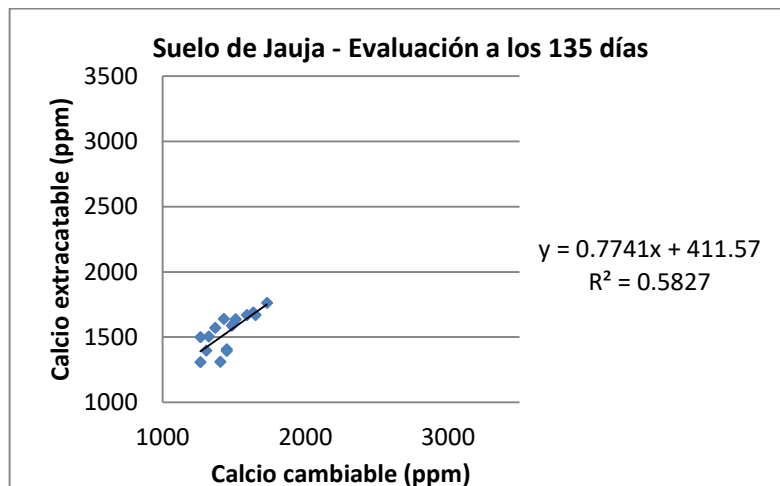
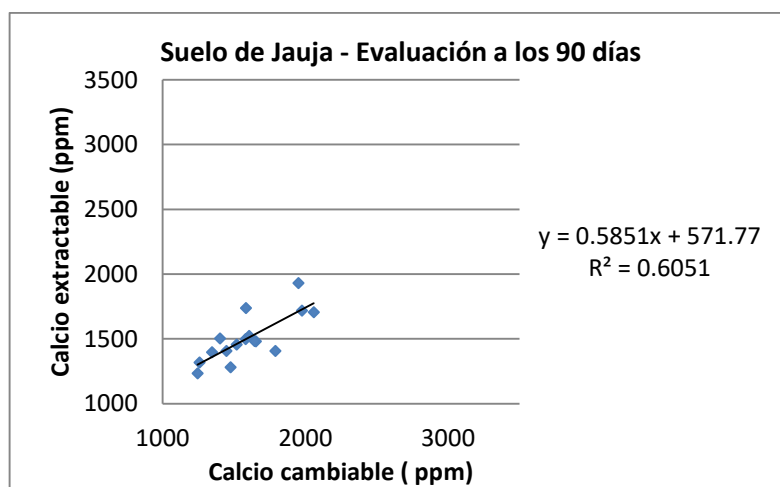
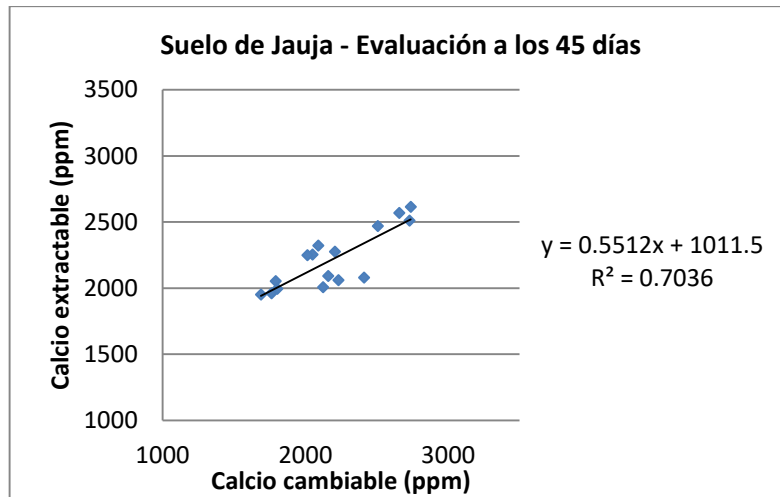


Figura 18. Correlación entre los valores calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiante (cloruro de potasio 1N) en el suelo ácido de Jauja.

En cada suelo los valores obtenidos de calcio cambiante y extractable (el calcio extractable es mayor o igual al cambiante) aumentaron en función de las dosis de aplicación, en el suelo de Jauja (Figura 17), a los 45 días de incubación la tasa de cambio (crecimiento) del calcio extractable fue de 0.55 ppm por cada ppm de calcio cambiante, por lo que la diferencia entre el calcio extractable y cambiante disminuyó conforme aumentó la dosis de aplicación, aquí el calcio cambiante y extractable se incrementaron respecto a los 0 días de incubación. A los 90 días de incubación la tasa de cambio del calcio extractable fue de 0.59 ppm por cada ppm de calcio cambiante, sin embargo, a pesar que la tasa de cambio fue relativamente semejante a los 45 días de incubación, los valores obtenidos de calcio cambiante y extractable fueron menores. A los 135 días de incubación la tasa de cambio del calcio extractable fue de 0.77 ppm por cada ppm de calcio cambiante, lo que significó un mayor crecimiento de calcio extractable, a medida que se incrementó la dosis de aplicación, respecto a los 45 y 90 días de incubación, por otro lado, aquí los niveles de calcio cambiante se redujeron evidentemente y el calcio extractable no cambió mucho con respecto a los 90 días de incubación. Podemos deducir en términos generales que en cada momento de evaluación la diferencia entre el calcio extractable y calcio cambiante se fue haciendo menor a mayores dosis de aplicación. Por otro lado, en algún momento de la incubación el calcio cambiante y extractable del suelo comenzó a disminuir. Los coeficientes de determinación que se obtuvieron entre la comparación del calcio cambiante y extractable a lo largo de los tres momentos de evaluación fueron semejantes, el promedio fue de 0.63, lo cual indicó que el 63 por ciento de la variación del calcio cambiante del suelo se debe a su relación con el calcio extractable del suelo.

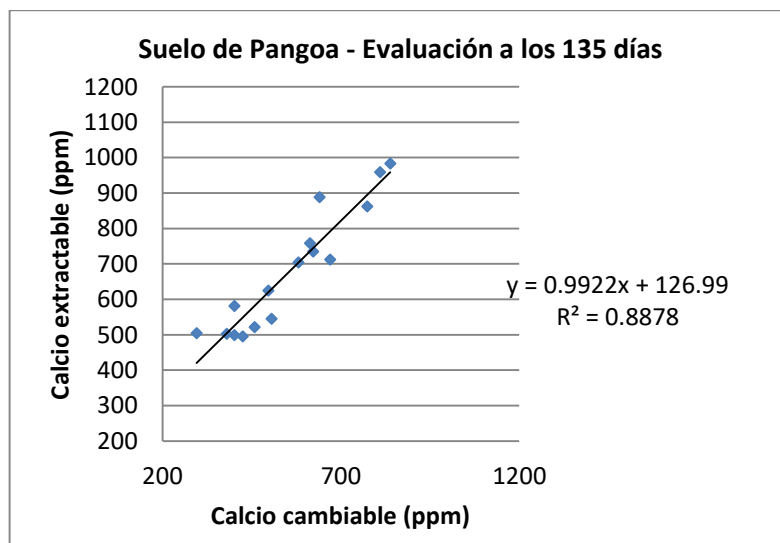
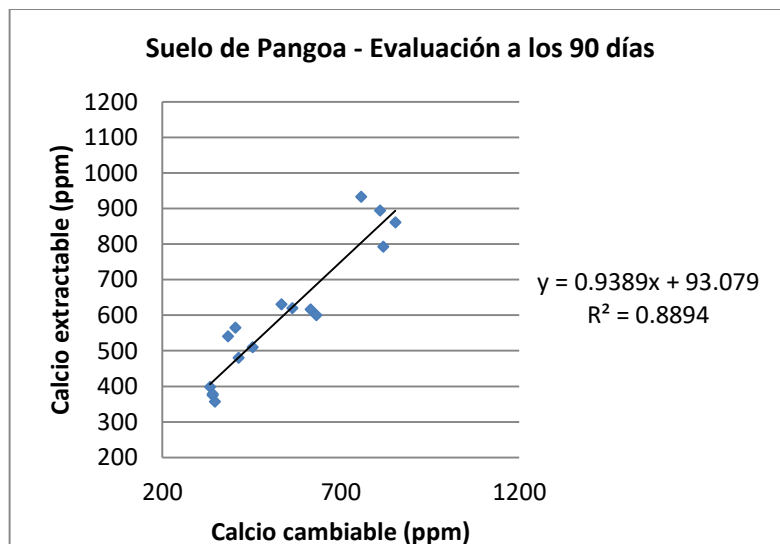
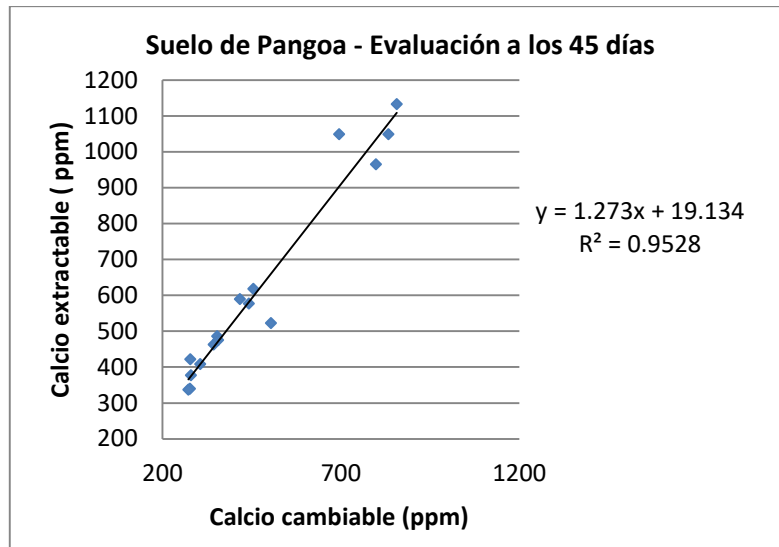


Figura 19 Correlación entre los valores calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiable (cloruro de potasio 1N) del suelo ácido de Pangoa.

Los valores obtenidos de calcio cambiable y extractable en cada suelo aumentaron a mayores dosis de aplicación, en el suelo de Pangoa (Figura 18), a los 45 días de incubación, la tasa de cambio del calcio extractable fue de 1.27 ppm por cada ppm de calcio cambiable, lo que indicó que la diferencia entre calcio extractable y cambiable del suelo fue mayor conforme aumentó la dosis de aplicación, a los 90 días de incubación, la tasa de cambio del calcio extractable fue de 0.94 ppm por cada ppm de calcio cambiable, esta tasa de cambio a diferencia de la anterior, demostró que el calcio cambiable y extractable aumentaron casi en la misma proporción, no obstante, los valores de calcio cambiable y extractable del suelo obtenidos fueron muy parecidos a los obtenidos a los 45 días de incubación, sin embargo, en la dosis más elevada los valores de calcio cambiable y extractable del suelo fueron menores. A los 135 días de incubación la tasa de cambio del calcio extractable fue de 0.99 ppm por cada ppm de calcio cambiable, redondeando esta tasa de cambio fue igual a la unidad, lo que indicó que la diferencia entre calcio extractable y cambiable fue igual en todas las dosis de aplicación, por otro lado, la dosis de aplicación al 0 por ciento (testigo) presentó mayores valores de calcio cambiable y extractable del suelo que a los 45 y 90 días de incubación.

En el suelo de Pangoa las tasas de cambio entre calcio extractable y cambiable del suelo están cercanas a la unidad, por lo que los aumentos en calcio extractable son relativamente iguales a los aumentos en calcio cambiable conforme aumentó la dosis de aplicación en cada momento de evaluación, por otro lado los niveles de calcio cambiable y extractable se incrementaron en el transcurso de la incubación. Los coeficientes de determinación que se obtuvieron entre la comparación del calcio cambiable y extractable a lo largo de los tres momentos de evaluación fueron semejantes, el promedio de estos fue 0.91, lo cual indicó que el 91 por ciento de la variación del calcio cambiable del suelo se debe a su relación con el calcio extractable del suelo.

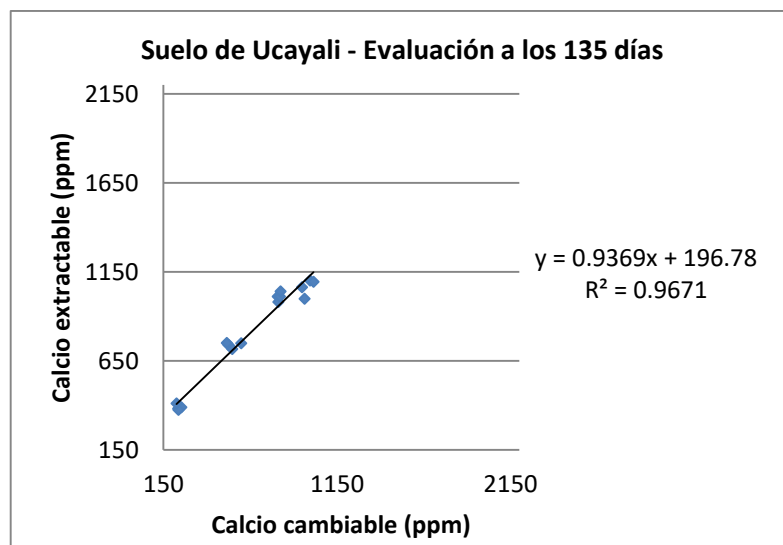
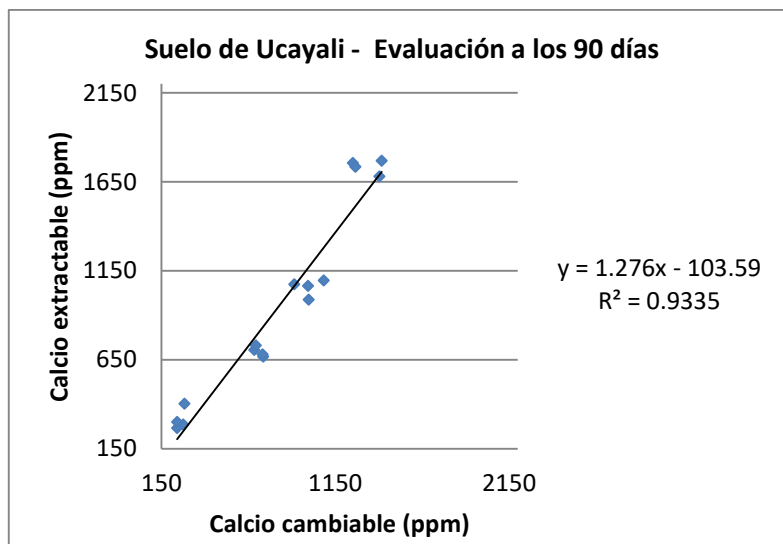
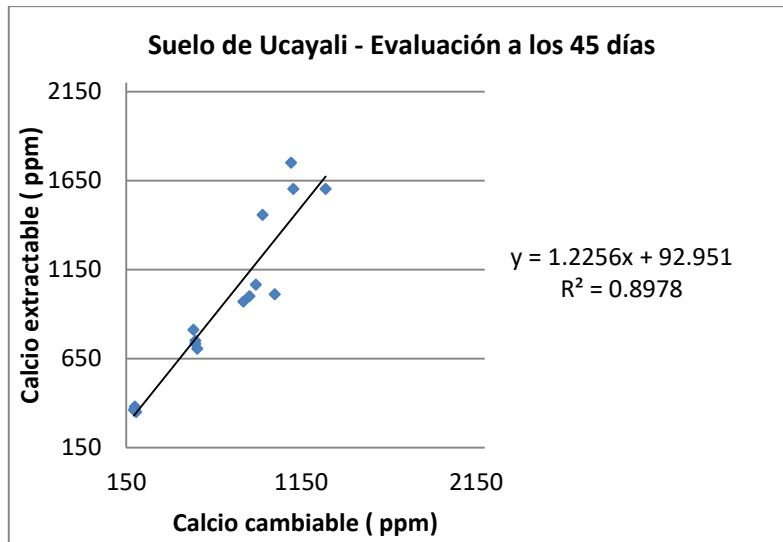


Figura 20. Correlación entre calcio extractable (Mehlich-3) y calcio cambiante (cloruro de potasio 1N) del suelo ácido de Ucayali.

Los valores obtenidos de calcio cambiable y extractable del suelo en cada suelo en estudio aumentaron a mayores dosis de aplicación, en el suelo de Ucayali (Figura 19), a los 45 días de incubación la tasa de cambio del calcio extractable fue de 1.23 ppm por cada ppm de calcio cambiable, lo que indicó que la diferencia entre calcio extractable y cambiable fue mayor conforme aumentó la dosis de aplicación. A los 90 días de incubación, la tasa de cambio del calcio extractable fue de 1.28 ppm por cada ppm de calcio cambiable, esta tasa fue semejante a los 45 días de incubación. A los 135 días de incubación la tasa de cambio del calcio extractable fue de 0.97 ppm por cada ppm de calcio cambiable, lo que represento prácticamente la unidad, donde la diferencia entre calcio extractable y cambiable del suelo fue igual en todas las dosis de aplicación, por otro lado, en las dosis de aplicación al 200 y 400 por ciento de neutralización (más elevadas), las cantidades obtenidas de calcio cambiable y extractable del suelo fueron menores a las obtenidas en las evaluaciones a los 45 y 90 días. Podemos decir que entre mayor fue la cantidad de cáscara molida de huevo que se aplicó como enmienda al suelo ácido de Ucayali el calcio extractable tendió a incrementarse en mayor medida que el calcio cambiable, sin embargo, a lo largo del tiempo los niveles de calcio cambiable se incrementaron para luego reducirse, y los de calcio extractable se mantuvieron casi constantes excepto en la dosis de aplicación al 400 por ciento de neutralización. Los coeficientes de determinación que se obtuvieron entre la comparación del calcio cambiable y extractable a lo largo de los tres momentos de evaluación fueron semejantes, el promedio fue 0.93, lo cual indicó que el 93 por ciento de la variación del calcio cambiable se debe a su relación con el calcio extractable.

4.5 EXTRACTABILIDAD

La prueba de extractabilidad se realizó a los 45 días de incubación, con el fin de encontrar una solución para determinar calcio extractable del suelo, que a diferencia del método con cloruro de potasio para determinación calcio cambiable del suelo, pueda extraer calcio de una fracción menos lábil, como la asociada a la materia orgánica y/o a la fracción mineral, que también puedan estar disponible para la planta, para la elección de la solución extractora se evaluó su efecto sobre los suelos en estudio (Figura. 20).

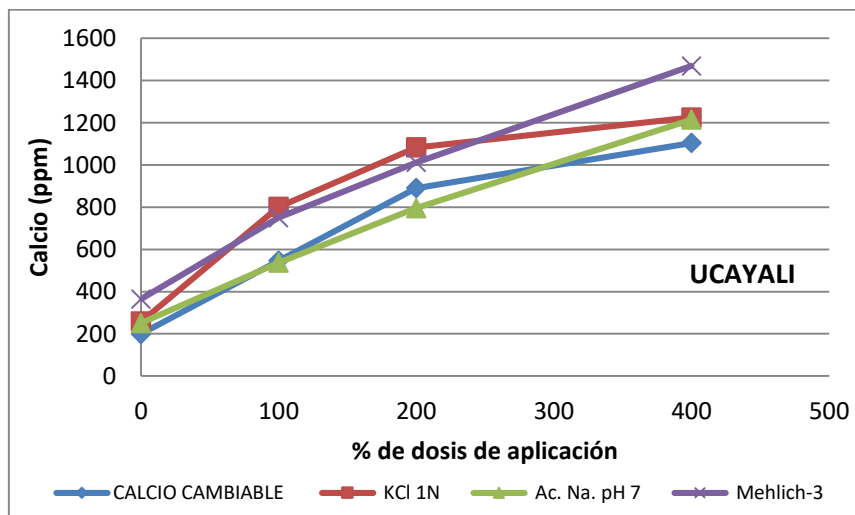
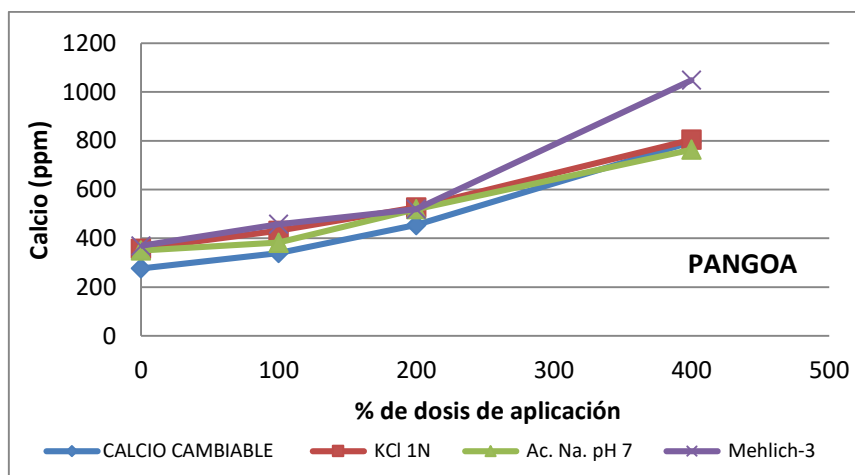
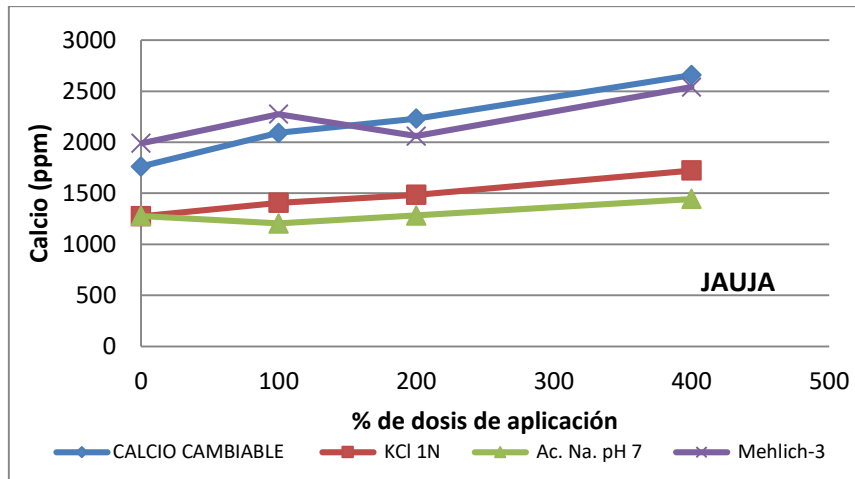


Figura 21 Comparación entre el calcio cambiante y las soluciones extractoras (KCl 1N, Ac.Na. pH 7 y Mehlich-3) en la evaluación a los 45 de incubación.

En el suelo de Jauja el calcio cambiabile del suelo, obtenido con cloruro de potasio 1N, fue muy superior al calcio obtenido por las soluciones extractoras de acetato de sodio (Ac.Na. pH 7) y cloruro de potasio 1N (mayor tiempo de agitación que en el calcio cambiabile) en todas las dosis de aplicación, por otro lado, la solución Mehlich-3 extrajo una cantidad de calcio que superó al calcio cambiabile del suelo en las dosis de aplicación al 0 y al 100 por ciento de neutralización, no obstante, en las dosis al 200 y 400 por ciento de neutralización el calcio extraído por la solución Mehlich 3 fue ligeramente menor. En el suelo de Pangoa, la solución Mehlich-3 fue ligeramente superior a las demás soluciones extractoras con respecto al calcio extractable y completamente superior al calcio cambiabile en cada dosis de aplicación. En el suelo de Ucayali solo las soluciones extractoras KCl 1N y Mehlich-3 extrajeron suficiente calcio para superar al calcio cambiabile del suelo en todas las dosis de aplicación, no obstante, la solución Mehlich-3 logró extraer una mayor cantidad de calcio en la dosis de aplicación al 400 por ciento de neutralización.

V. CONCLUSIONES

- Las fracciones fina y sin tamizar de cáscara molida de huevo mostraron efectos similares sobre el incremento del pH de los suelos ácidos (Jauja, Pangoa y Ucayali).
- Cuando se empleó la cáscara de huevo sin tamizar, las dosis de aplicación presentaron diferencias concluyentes entre ellas. Se superó el valor de pH 5.5 a partir de los 45 días de incubación solo para los suelos de Pangoa y Ucayali, pero cuando las dosis de aplicación fueron las más elevadas.
- La acidez cambiante se redujo rápidamente en el suelo de Ucayali, sin embargo, los suelos de Pangoa y sobretodo Jauja necesitaron más tiempo y mayor cantidad de enmienda para alcanzar la neutralización total.
- El calcio extractable (con Mehlich -3) explica muy bien los cambios en el calcio cambiante en los suelos de Pangoa y Ucayali, sin embargo, en el suelo de Jauja la relación entre ellos es baja.
- La enmienda obtenida por la molienda de cáscara de huevo tiene efectos satisfactorios como encalante de suelos, liberando calcio e hidroxilos que participan en la restauración de la fertilidad de los suelos ácidos.

VI. RECOMENDACIONES.

- La cáscara molida de huevo es un material que puede ser usado como encalante en la recuperación de la fertilidad de los suelos ácidos.
- Se recomienda hacer un ensayo a nivel de laboratorio y campo comparando la cáscara molida de huevo con cal (carbonato de calcio), evaluando las mismas variables que en el presente ensayo.
- En el suelo de Jauja y Pangoa el calcio quedó en alguna fracción del suelo a medida que transcurrió el tiempo, por lo cual se recomienda realizar un trabajo que pueda explicar a donde fue el calcio que no pudo ser extraído.
- El poder buffer de los suelos en estudio tuvo una gran influencia en los resultados obtenidos, por lo que se recomienda considerar su impacto en trabajos posteriores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Abadía, A; Millán, F; Abadía, J. 1981. Determinación de calcio y magnesio en un extracto de saturación de suelos. *Aula Dei*. 15(3-4): 273-280.
- Aguilar, A; Alcantar, G; Etchevers, JD. 1994. Acidez del suelo y encalado en México.. México. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 54 p.
- Allcroft, WM. 1962. Incubadoras e incubación. Sandoval, J (trad.). Zaragoza. Acribia. 124p.
- Arias, AC. 2007. Suelos tropicales. Zamora-murillo, CF (ed.). San José, Costa Rica. UEAD. 157 p (Producción de materiales didácticos)
- Bornemiza, E; Alvarado, A. 1974. Manejo de suelos en la América tropical. Carolina del Norte, Estados Unidos de América. UCST. 582 p.
- Buxadé C, C. 1993. El huevo para consumo: Bases productivas. Madrid. Mundi-prensa. v. 2, p. 263- 276
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia el suelo. 2 ed. Caracas, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 453 p. (colección de estudios)
- Casierra P, F; Niño M, RC. 2007. Solubilidad y reacción del aluminio en el suelo. *Ciencias y Agricultura*. 5(2): 7-17.
- Castellanos, JZ; Uvalle, JX; Aguilar S, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2 ed. Chapingo, México. s.e. 226 p.
- Chapman, H D; Pratt, P F. 1988. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Contín, A (Trad.). México. Trillas. 172 p. (Reg. Núm. 138)
- Coleman, NT; Kamprath, EJ; Weeds, SB. 1958. Liming. *Advances in Agronomy X*: 475-517.
- Contreras F, ST. 2016. Boletín estadístico mensual de la producción y comercialización avícola. Lima, Perú. SIEA. 38 p.

- Díaz B, EJ. 2004. La relación Universidad-Empresa en materia de investigación. Sevilla, España. Editorial Universidad de Sevilla. p. 12. (Ciencias económicas y empresariales No 64)
- Fassbender, HW. 1975. Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina. De la Cruz, M (ed.). Turrialba, Costa Rica. IICA. 385 p. (Serie: Libros y Materiales Educativos No. 24.)
- Ferrucci P, F. 1993. Diagnóstico y perspectiva de la agroexportación en el Perú. Lima, Perú. IICA. 46 p. (serie de publicaciones misceláneas)
- Fuentes, J. 1989. El suelo y los fertilizantes. 3 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. 283 p.
- García C, JR. 2000. Influencia de la materia orgánica en la reducción de la toxicidad del aluminio en un suelo ácido de Pucallpa. Tesis Mg. Sc. Suelos EPG-UNALM. Lima-Perú. 55 p.
- Gonzales M, FJ. 2013. Ecoeficiencia: propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental. Guadalajara, México. Editorial Universitaria-Libros UDG. 86 p.
- Henríquez, M; Pérez, J; Gasco, JM; Rodríguez, O. 2005. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. *Bioagro* 17(1): 59- 62.
- Huamani, NR. 2014. Crianza, producción y comercialización de pollos de engorde. Lima, Perú. Macro. 198 p. (colección agro).
- Jackson L, M. 1982. Análisis químico de los suelos. 4 ed. Beltrán, J (trad.). Barcelona, España. Omega. 653 p.
- Kamprath, EJ. 1973. Resumen de las investigaciones edafológicas en América tropical. North Carolina Agricultural Experimental Station Tech. Bulletin 219. 137-176.
- Kass, DCL. 1998. Fertilidad de suelos. Nuñez, J (ed.). Turrialba, Costa Rica, EUNED. 233 p.
- Lama I, DA. 2013. Efectos del encalado y niveles de fósforo en cultivos de maíz (*Zea mays*) en dos suelos ácidos de Tingo María. Tesis Mg. Sc. Suelos EPG-UNALM Lima, Perú. 59 p.
- Mengel, K; Kirkby, EA. 1987. Principios de nutrición vegetal. 4 ed. Melgar, RJ (trad.). Madrid, España. International potash institute. 607 p.

- Monge, E; Val, J; Sanz, M; Blanco, A; Montanes, L. 1994. El calcio nutriente para las plantas. Estación experimental Aula Dei. 21(3): 189- 201.
- Navarro G, G; Navarro G., S. 2013. Química agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3 ed. Madrid, España. Mundi- Prensa. 639 p.
- Navarro G, G; Navarro G., S. 2014. Fertilizantes. Química y acción. 3 ed. Madrid, España. Mundi-Prensa. p. 195- 207.
- North, MO. 1986. Manual de producción avícola. 3 ed. Carroll, M (trad.). México. Manual Moderno. p. 827.
- Oliveira P, JA; Afif K, E; Mayor L, M. 2006. Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado. Asturias, España. OVIEDO. 147 p.
- Ortiz E, ME; Zapata H, RD; Sadeghian K, S; Franco A, HF. 2004. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. Cenicafé. 55(2): 101- 110.
- Porta, J; López-Acevedo, M; Poch, MR. 2013. Edafología: uso y protección de los suelos. Madrid, España. Mundi-Prensa. 608 p.
- Raij V, B; Andrade, JC; Cantarella, H; Quaggio, JA. 2001. Análise Química para Avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Brasil. IAC. 285 p.
- Rincón C, A. 1998. Producción de maíz en una pradera asociada de *Brachiaria decumbens* con maní forrajero (*A. pintoii*) en la altillanura colombiana. ACHAGUA 5(7): 28-36
- Rodriguez F, H; Rodriguez A, J. 2011. Métodos de análisis de suelos y plantas: criterios de interpretación. 2 ed. México. Trillas. 239 p.
- Rodríguez, P; Lema, MJ; Gonzáles, G; Gonzáles P, S. 2005. Evaluación de reactivos Mehlich 3 como extractante multielemental. V Congresso Ibérico de Ciências Hortícolas 3: 449-445.
- Rose, SP. 1997. Principios de la ciencia avícola. Maluenda, PD (trad.). Zaragoza, España. Acribia. 151 p.
- Salinas, JG; García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Cali, Colombia. CIAT. 79 p.
- Sánchez, PA. 1981. Suelos del trópico: Características y manejo. Camacho, E (trad.). San José, Costa Rica. IICA. 660 p. (serie de libros y materiales educativos; 48)

- Sánchez, PA; Kamprath, E J. 1973. Un resumen de las investigaciones edafológicas en la América latina tropical. Costa Rica. North Carolina State University. 215 p. (Technical Bulletin No 219)
- Silva, F. 1999. Manual de Análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasilia, Brasil. EMBRAPA. 369 p.
- Usón, A; Boixadera, J; Bosch, A; Enrique, A. 2010. Tecnología de suelos: Estudio de casos. Zaragoza, España. Prensas Universitarias de Zaragoza. 515 p. (colección de textos docentes; 179)
- Vargas C, O. 2006. Estudio comparativo de la determinación de calcio y magnesio, intercambiable en el suelo por los métodos de espectrometría de absorción atómica y complexometria con el ácido etilendiaminotetraacetico. Santander, Colombia. UIS. 72 p.
- Xavier E. 2013. Reciclaje de residuos industriales. 2 ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos. p. 18- 19

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	4.4826	1.49420	979.806	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.0480	0.04805	31.508	8.883e-06	***
Dosis: Tamaño	3	0.1106	0.03688	24.180	1.971e-07	***
Residual	24	0.0366	0.00153			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 2. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	0.54832	0.182775	577.1842	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.00151	0.001513	4.7763	0.03885	*
Dosis: Tamaño	3	0.01871	0.006237	19.6974	1.163e-06	***
Residual	24	0.00760	0.000317			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 3. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	4859562	1619854	122.6766	2.716e-14	***
Tamaño	1	167392	167392	12.6771	0.0016634	**
Dosis: Tamaño	3	373872	124624	9.4382	0.0002972	***
Residual	23	303698	13204			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 4. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1339112	446371	36.8080	9.477e-09	***
Tamaño	1	8339	8339	0.6876	0.415873	
Dosis: Tamaño	3	184031	61344	5.0584	0.008149	**
Residual	22	266794	12127			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 5. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	3.7860	1.26201	695.8823	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.0023	0.00228	1.2562	0.273467	
Dosis: Tamaño	3	0.0386	0.01286	7.0919	0.001416	**
Residual	24	0.0435	0.00181			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 6. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1.31046	0.43682	1839.2456	<2e-16	***
Tamaño	1	0.00005	0.00005	0.2105	0.6505	
Dosis: Tamaño	3	0.00027	0.00009	0.3860	0.7641	
Residual	24	0.00570	0.00024			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 7. Prueba de ANVA para la calcio cambiante del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.

Response: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1449040	483013	26.2989	9.253e-08	***
Tamaño	1	392	392	0.0213	0.8851	
Dosis: Tamaño	3	30521	10174	0.5539	0.6505	
Residual	24	440790	18366			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 8. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 90 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	830079	276693	64.8403	1.177e-11	***
Tamaño	1	2831	2831	0.6635	0.4233	
Dosis: Tamaño	3	8667	2889	0.6770	0.5746	
Residual	24	102415	4267			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 9. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	2.77526	0.92509	242.1509	<2e-16	***
Tamaño	1	0.01074	0.01074	2.8117	0.1071	
Dosis: Tamaño	3	0.02373	0.00791	2.0702	0.1320	
Residual	23	0.08787	0.00382			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 10. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1.90504	0.63501	970.7197	<2e-16	***
Tamaño	1	0.00011	0.00011	0.1720	0.682	
Dosis: Tamaño	3	0.00434	0.00145	2.2102	0.113	
Residual	24	0.01570	0.00065			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 11. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	489707	163236	48.3057	2.542e-10	***
Tamaño	1	43	43	0.0127	0.9113	
Dosis: Tamaño	3	10890	3630	1.0742	0.3787	
Residual	24	81101	3379			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 12. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Jauja a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	565262	188421	62.5350	1.728e-11	***
Tamaño	1	1985	1985	0.6586	0.4250	
Dosis: Tamaño	3	36961	12320	4.0890	0.0177	*
Residual	24	72313	3013			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 13. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	9.5182	3.1727	174.5653	<2e-16	***
Tamaño	1	0.0084	0.0084	0.4649	0.5019	
Dosis: Tamaño	3	0.0635	0.0212	1.1651	0.3436	
Residual	24	0.4362	0.0182			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 14. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	6.9774	2.326	1054.68	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.0195	0.020	8.8441	0.006602	**
Dosis: Tamaño	3	0.2533	0.084	38.2896	2.623e-09	***
Residual	24	0.0529	0.002			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 15. Prueba de ANVA para la calcio cambiante del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1056314	352105	225.982	<2e-16	***
Tamaño	1	2	2	0.0013	0.9712	
Dosis: Tamaño	3	7901	2634	1.6903	0.1969	
Residual	23	35837	1558			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 16. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	122198	407327	194.128	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	13009	13009	6.1998	0.02044	*
Dosis: Tamaño	3	103255	34418	16.4035	6.415e-06	***
Residual	23	48260	2098			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 17. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	11.7399	3.9133	976.542	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.0007	0.0007	0.1755	0.679028	
Dosis: Tamaño	3	0.0872	0.0291	7.2501	0.001256	**
Residual	24	0.0962	0.0040			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 18. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	6.6072	2.2024	980.664	<2e-16	***
Tamaño	1	0.0028	0.0028	1.2523	0.2742	
Dosis: Tamaño	3	0.0128	0.0043	1.9017	0.1563	
Residual	24	0.0539	0.0023			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 19. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	1114916	371639	181.391	3.597e-15	***
Tamaño	1	8512	8512	4.1546	0.05431	.
Dosis: Tamaño	3	10056	3352	1.6361	0.21121	
Residual	21	43025	2049			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 20. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 90 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	844507	281502	188.190	< 2e-16	***
Tamaño	1	520	520	0.3477	0.56096	
Dosis: Tamaño	3	12478	4159	2.7806	0.06286	.
Residual	24	35900	1496			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 21. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	6.0186	2.0062	331.316	< 2e-16	***
Tamaño	1	0.0345	0.0345	5.6898	0.02531	*
Dosis: Tamaño	3	0.0078	0.0026	0.4299	0.73345	
Residual	24	0.1453	0.0061			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 22. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	4.9546	1.6515	615.718	<2e-16	***
Tamaño	1	0.0007	0.0007	0.2621	0.6133	
Dosis: Tamaño	3	0.0134	0.0045	1.6602	0.2021	
Residual	24	0.0644	0.0027			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 23. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	521039	173680	28.6471	4.217e-08	***
Tamaño	1	3868	3868	0.6379	0.4323	
Dosis: Tamaño	3	19547	6516	1.0747	0.3785	
Residual	24	145506	6063			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 24. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Pangoa a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	769342	256447	201.524	<2e-16	***
Tamaño	1	6555	6555	5.1512	0.0325	*
Dosis: Tamaño	3	3257	1086	0.8530	0.4787	
Residual	24	30541	1273			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 25. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	48.992	16.331	1220.215	< 2e-16	***
Tamaño	1	0.051	0.0512	3.8257	0.06221	.
Dosis: Tamaño	3	0.107	0.0356	2.6569	0.07127	.
Residual	24	0.321	0.0134			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 26. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	38.542	12.847	3803.075	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.016	0.0158	4.6633	0.041025	*
Dosis: Tamaño	3	0.053	0.0177	5.2356	0.006363	**
Residual	24	0.081	0.0034			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 27. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	3505866	1168622	193.809	1.842e-15	***
Tamaño	1	2058	2058	0.3413	0.5653	
Dosis: Tamaño	3	8705	2902	0.4812	0.6988	
Residual	21	126625	6030			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 28. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 45 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	7830194	2610065	625.414	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	108962	108962	26.109	4.041e-05	***
Dosis: Tamaño	3	232902	77634	18.602	3.074e-06	***
Residual	22	91814	4173			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 29. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	56.031	18.6771	2212.4941	<2e-16	***
Tamaño	1	0.002	0.0018	0.2132	0.6484	
Dosis: Tamaño	3	0.003	0.0009	0.1017	0.9583	
Residual	24	0.203	0.0084			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 30. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	26.4077	8.8026	12519.222	<2e-16	***
Tamaño	1	0.0020	0.0020	2.7778	0.1086	
Dosis: Tamaño	3	0.0034	0.0011	1.5926	0.2172	
Residual	24	0.0169	0.0007			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 31. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	4966884	1655628	406.3073	<2e-16	***
Tamaño	1	99	99	0.0244	0.8772	
Dosis: Tamaño	3	5278	1759	0.4318	0.7321	
Residual	24	97796	4075			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 32. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 90 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	8535423	2845141	952.1660	<2e-16	***
Tamaño	1	4015	4015	1.3438	0.2583	
Dosis: Tamaño	3	8033	2678	0.8961	0.4581	
Residual	23	68726	2988			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 33. Prueba de ANVA para el pH del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.

Respuesta: pH						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	54.882	18.2939	3269.322	< 2.2e-16	***
Tamaño	1	0.184	0.1842	32.9241	1.074e-05	***
Dosis: Tamaño	3	0.080	0.0266	4.7607	0.011	*
Residual	21	0.118	0.0056			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 34. Prueba de ANVA para la acidez cambiante del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.

Respuesta: acidez cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	25.7405	8.5802	1.199e+04	<2e-16	***
Tamaño	1	0.0000	0.0000	3.930e-02	0.8445	
Dosis: Tamaño	3	0.0001	0.0000	3.930e-02	0.9893	
Residual	24	0.0172	0.0007			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 35. Prueba de ANVA para el calcio cambiante del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio cambiante						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	2572512	857504	858.5182	<2e-16	***
Tamaño	1	2574	2574	2.5771	0.1215	
Dosis: Tamaño	3	4455	1485	1.4867	0.2434	
Residual	24	23972	999			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.

Anexo 36. Prueba de ANVA para el calcio extractable (por Mehlich-3) del suelo de Ucayali a los 135 días de incubación.

Respuesta: calcio extractable						
	g.l.	S.C.	M.C.	F-valor	P-valor	Significación
Dosis	3	2304547	768182	908.4602	< 2e-16	***
Tamaño	1	226	226	0.2678	0.61025	
Dosis: Tamaño	3	8662	2887	3.4145	0.03622	*
Residual	21	17757	846			
Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

FUENTE: Elaboración propia.