

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
E.A.P. DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**“DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL
CARBONATO DE CALCIO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE HUEVO
PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS DEL VALLE DEL
SANTA”.**

**PRESENTADO POR Bach. ERIKA JANETH SANCHEZ BERMUDEZ. Y
Bach. LILIBET NILA HUANIO ESTRADA.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

Chimbote – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado “DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL CARBONATO DE CALCIO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE HUEVO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS DEL VALLE DEL SANTA” para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por Bach. ERIKA JANETH SANCHEZ BERMUDEZ y Bach. LILIBET NILA HUANIO ESTRADA, que tienen como Asesor al docente M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta designado por resolución N° 959-2015-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 10 de octubre del 2017 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N° 164-2017-UNS- CFI.

M.Sc. Saúl Eusebio Lara
Presidente

M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta
Secretario (Asesor)

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 18:00 p.m. del diez de octubre del dos mil diecisiete se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 164-2017-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saúl Eusebio Lara** (Presidente)
- **M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta** (Secretario)
- **Dr. Daniel Sánchez Vaca** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL CARBONATO DE CALCIO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE HUEVO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS DEL VALLE DEL SANTA”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **HUANIO ESTRADA LILIBET NILA**
- **SANCHEZ BERMUDEZ ERIKA JANETH**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta

Finalizada la sustentación, el (os) Tesistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
SANCHEZ BERMUDEZ ERIKA JANETH	19	EXCELENTE

Siendo las 18:30 p.m. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 10 de octubre del 2017

M.Sc. Saúl Eusebio Lara
Presidente

M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta
Secretario

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 18:00 p.m. del diez de octubre del dos mil diecisiete se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 164-2017-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **M.Sc. Saúl Eusebio Lara** (Presidente)
- **M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta** (Secretario)
- **Dr. Daniel Sánchez Vaca** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA ÓPTIMA DEL CARBONATO DE CALCIO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE HUEVO PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS ÁCIDOS DEL VALLE DEL SANTA”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **HUANIO ESTRADA LILIBET NILA**
- **SANCHEZ BERMUDEZ ERIKA JANETH**

Asimismo, tienen como Asesor al docente: M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta

Finalizada la sustentación, el (os) Tesisistas respondió (eron) las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
HUANIO ESTRADA LILIBET NILA	19	EXCELENTE

Siendo las 18:30 p.m. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 10 de octubre del 2017

M.Sc. Saúl Eusebio Lara
Presidente

M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta
Secretario

Dr. Daniel Sánchez Vaca
Integrante

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la vida, salud y por permitir haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación académica. El que me ha dado la fortaleza para continuar en la lucha por alcanzar mis metas.

A mis queridos padres, Rosalía y Marcos; con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo, en reconocimiento a todo el sacrificio puesto, para que yo pueda estudiar; por haberme apoyado moral, espiritual; dándome ejemplos dignos de superación; y económicamente a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en toda esta dura carrera profesional, que siempre creyó y confió en mi capacidad de poder concluir mi carrera profesional, convirtiéndose parte de este logro.

Erika Sanchez Bermudez.

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la vida, salud y la capacidad de cumplir nuestros objetivos trazados.

A mis queridos padres, Isaac y Segundina; por haberme apoyado moral, espiritual y económicamente a lo largo de la carrera universitaria

A mi familia, fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en toda esta dura carrera profesional, que siempre creyó y confió en mi capacidad de poder concluir mi carrera profesional, convirtiéndose parte de este logro.

Lilibet Huanio Estrada.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, porque sin él, nada de esto hubiera sido posible; y a todas las personas que formaron parte de este proyecto, y lograron junto a nosotras culminarlo, gracias al Dr. Daniel Sánchez Vaca, al Msc. Saul Eusebio Lara, al Ing. Rogger Romero Usquiano, al Ing. Berenice Cordova Chang y un agradecimiento especial a nuestro querido y estimado asesor M.Sc. Jenaro Paredes Zavaleta.

Además, agradecemos a nuestra Universidad Nacional del Santa, especialmente a la escuela de Ingeniería Agroindustrial, donde nos hemos formado profesionalmente, gracias a cada docente que hizo parte de este proceso integral de formación.

Las tesoristas

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	15
II.	MARCO TEÓRICO	21
2.1.	GENERALIDADES DE LA CÁSCARA DE HUEVO	21
2.1.1.	ESTRUCTURA DEL HUEVO	22
2.1.2.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE HUEVO	23
2.2.	CARBONATO DE CALCIO	28
2.2.1.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO	28
2.3.	SUELOS ÁCIDOS:.....	30
2.3.1.	DESARROLLO DE LA ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS.....	32
2.4.	ENCALAMIENTO DE SUELO ÁCIDO	39
2.4.1.	CALIDAD DE LOS MATERIALES ENCALADOS.....	42
III.	MATERIALES Y METODOS	48
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	48
3.2.	MATERIALES.....	48
3.2.1.	MATERIA PRIMA	48
3.2.2.	Reactivos.....	49
3.2.3.	MATERIALES DE VIDRIO.....	52
3.2.4.	OTROS MATERIALES	55
3.2.5.	EQUIPOS	59
3.3.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO	63
3.3.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DEL CARBONATO DE CALCIO (CaCO ₃)	63
3.3.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO.....	67
3.4.	MÉTODOS.....	70
3.4.1.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA INICIAL Y FINAL ...	70
3.5.	DISEÑO EXPERIMENTAL	88
3.5.1.	Modelo estadístico	89
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	90
4.1.	CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.....	90
4.1.1.	CARBONATO DE CALCIO (CaCO ₃).....	90

4.1.2. SUELO	92
4.2. DETERMINACIÓN DEL PH EN EL SUELO	97
4.3. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ DEL SUELO	100
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1. RECOMENDACIONES	104
VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	105
VII. ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Análisis químico de cáscara de huevo.	25
Cuadro 2: Concentración de carbonato de calcio en la cáscara de huevo	27
Cuadro 3: pH de una solución y el grado de acidez o basicidad.	31
Cuadro 4: Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalado puros	42
Cuadro 5: Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla.	46
Cuadro 6: Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm (μ l). Para la preparación de la curva de calibrado.	76
Cuadro 7: Parámetros de digestión y lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica	79
Cuadro 8: Representación del experimento factorial	88
Cuadro 9: ANOVA (Análisis de Varianza).....	89
Cuadro 10: Características Fisicoquímicas del carbonato de calcio (CaCO_3) a partir de la cáscara de huevo.....	90
Cuadro 11: Características Fisicoquímicas del suelo.....	92
Cuadro 12: Variación del pH a diferentes tiempos y granulometrías	97
Cuadro 13: Variación de la acidez a diferentes tiempos y granulometrías	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cáscara de huevo	21
Figura 2: Partes del huevo	23
Figura 3: Distribución porcentual de las formas de Al en una solución al pH	38
Figura 4: Tamaño de las partículas de cal al pasar por diferentes tamices.....	47
Figura 5: Cáscara de huevo	48
Figura 6: Suelo ácido	49
Figura 7: Ácido o nítrico HNO ₃ al 68 %	49
Figura 8 : Amoníaco NH ₃	49
Figura 9: Buffer (pH >10)	50
Figura 10: Cloruro de amonio (NH ₄ Cl).....	50
Figura 11: EDTA	50
Figura 12: Ericromo	51
Figura 13: Fenolftaleína	51
Figura 14 : Hidróxido de Sodio (NaOH 1M)	51
Figura 15: Murexida (C ₈ H ₈ N ₆ O ₆).....	52
Figura 16 : Pellets de Hidróxido de sodio (NaOH).....	52
Figura 17: Bureta de 25 ml	52
Figura 18: Depósitos de vidrio	53
Figura 19: Embudo de vidrio	53
Figura 20: Fiolas	53
Figura 21: Matraz Erlenmeyer de 250ml	54
Figura 22: Placa petri	54
Figura 23: Pipetas volumétricas de 10 ml y 25 ml.....	54
Figura 24: Probetas	55
Figura 25: Vasos Precipitados	55
Figura 26: Bandeja de plástico	55
Figura 27: Campana de desecación.....	56
Figura 28: Capsula de porcelana.....	56
Figura 29: Cinta de pH.....	56

Figura 30: Micropipeta.....	57
Figura 31: Mortero.....	57
Figura 32: Papel Filtro.....	57
Figura 33: Pinzas de metal.....	58
Figura 34: Tamices.....	58
Figura 35: Vasos de plástico.....	58
Figura 36: Absorción atómica.....	59
Figura 37: Agitador magnético.....	59
Figura 38: Agitador Digital.....	59
Figura 39: Balanza Digital.....	60
Figura 40: Balanza Digital.....	60
Figura 41: Balanza de triple brazo.....	61
Figura 42: Cámara Extractora.....	61
Figura 43: pH metro.....	61
Figura 44: Estufa.....	62
Figura 45: Mufla.....	62
Figura 46: Recepción de la Materia Prima.....	64
Figura 47: Extracción de la materia orgánica.....	64
Figura 48: Lavado de la cascara de huevo.....	65
Figura 49: Desinfectado de la cáscara de huevo.....	65
Figura 50: Secado de la cascara de huevo.....	65
Figura 51: Obtención del CaCO_3	66
Figura 52: Tamizado de CaCO_3	66
Figura 53: Extracción de suelo.....	68
Figura 54: Muestras de suelo ácido en cajas de vidrio.....	69
Figura 55: análisis de pH de muestras de suelo.....	69
Figura 56: Peso de 6.8gr NH_4Cl	70
Figura 57: Adición de NaOH	70
Figura 58: Pesado 1 g de CaCO_3	71
Figura 59 : Añadiendo buffer.....	71
Figura 60: Añadiendo ericromo.....	71

Figura 61: Titular con EDTA (Rojo vino hasta azul puro)	72
Figura 62: peso 1 g de CaCO ₃	72
Figura 63: Añadiendo murexida	73
Figura 64: Titulación con EDTA (De rosado a purpura)	73
Figura 65: Calibración del espectrofotómetro de Absorción atómica con solución de cobre (Cu)	75
Figura 66: Diluciones.	75
Figura 67: Agitando la muestra	76
Figura 68: tamizado y pesado del CaCO ₃	77
Figura 69: adición de ácido nítrico en tubos de digestión	77
Figura 70: Tubos de digestión en el microondas	77
Figura 71: Microondas	78
Figura 72: Determinación de humedad en cáscara de huevo	80
Figura 73: Determinación de cenizas en cáscara de huevo	81
Figura 74: Agitando muestra de suelo en un vaso	84
Figura 75: Analizando pH de suelo.....	84
Figura 76: Peso de suelo ácido	85
Figura 77: filtración de muestra.....	85
Figura 78: Secando el suelo en la estufa	86
Figura 79: Añadiendo muestra seca en la probeta	86
Figura 80: Probeta con muestra añadida	87
Figura 81: Variación del pH del suelo a diferentes tiempos y granulometrías.....	98
Figura 82: Días y pH.....	99
Figura 83: Variación de acidez del suelo a diferentes tiempos y granulometrías.	101
Figura 84: Variación de la acidez con respecto al tiempo	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	108
Anexo 2: CÁLCULOS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA	111

RESUMEN

Mediante el presente proyecto de investigación se determinó la granulometría óptima del carbonato de calcio a partir de la cáscara de huevo para el mejoramiento de suelos ácidos del valle del Santa.

Para brindar una posible solución y dar un valor agregado al sector agrícola, en cuanto al efecto productivo agroindustrial, al aplicar el carbonato de calcio a partir de la cascara de huevo, para ello emplearemos varias granulometrías del producto en el suelo del valle del Santa.

El diseño estadístico que se aplicó en el proyecto de investigación consiste en un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3x3, 3 valores de granulometría (1, 0.250 y 0.125mm) y 3 tiempos diferentes (20, 15 y 10 días) para cada una de ellas, es decir, tratamientos con 3 repeticiones para cada interacción, siendo un total de 27 experimentos; tanto para ph y acidez haciendo un total de 54 experimentos , cuyos resultados fueron evaluados estadísticamente en el Excel a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos.

En la evaluación se logró determinar claramente el incremento del pH, a mayor tiempo, t= 20, y a una granulometría menor de 0,125 mm, se logra mejorar el suelo de un pH inicial de 5.5 y acidez inicial de de $0.8 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ a un pH de 7,6 con una acidez final de $0.28 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$

También se observó en dicho tratamiento que a un tiempo t =20, en una granulometría de 0,250 y 1mm se obtiene un pH de 7.3 y 7 respectivamente, lo cual demuestra una diferencia significativa mínima en el resultado.

Palabras claves: Granulometría, carbonato de calcio.

ABSTRACT

The objective of this research project was to determine the optimal granulometry of calcium carbonate from the eggshell for the improvement of acid soils in the Santa Valley.

In order to provide a possible solution and give added value to the agricultural sector, in terms of the agroindustrial production effect, when applying calcium carbonate from the eggshell, we will use several granulometries of the product in the soil of the Santa Valley.

The statistical design applied in the research project consists of a completely randomized design (DCA), with a factorial arrangement of 3x3, 3 values of granulometry (1, 0.250 and 0.125mm) and 3 different times (20, 15 and 10 days) for each of them, that is to say, treatments with 3 repetitions for each interaction, being a total of 27 experiments; both for pH and acidity making a total of 54 experiments, whose results were evaluated statistically in Excel in order to determine the significant differences between them.

In the evaluation, it was possible to determine clearly the pH increase, at a greater time, $t = 20$, and to a granulometry of less than 0.125 mm, it is possible to improve the soil of an initial pH of 5.5 and initial acidity of $0.8 \text{ cmol} + \text{kg}^{-1}$ a pH of 7.6 with a final acidity of $0.28 \text{ cmol} + \text{kg}^{-1}$

It was also observed in this treatment that at time $t = 20$, in a granulometry of 0.250 and 1mm a pH of 7.3 and 7 respectively is obtained, which demonstrates a minimal significant difference in the result.

Key words: Granulometry, calcium carbonate

.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años en todo el mundo ha aumentado notable y considerablemente el interés de las personas por llevar un estilo de vida más saludable que, generalmente, empieza por la alimentación (Espinosa, 2014).

Las cáscaras de huevos siempre se han considerado indebidamente como un desperdicio o residuo sólido procedente, entre otros, de las plantas de incubación de huevos, de las industrias que procesan los huevos para otros fines.

En el mundo agrícola y agroindustrial, el análisis de suelo es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas nutricionales y establecer recomendaciones de fertilización, entre sus ventajas se destaca por ser un método rápido y de bajo costo que le permite ser utilizado ampliamente por los agricultores y empresas, también permite determinar el grado de fertilidad del suelo.

El carbonato de calcio puede neutralizar o impedir que la acidez se desarrolle, cuando es aplicado al suelo aumenta el contenido de calcio y potasio disponible para las plantas, fija el aluminio y recuperan el fósforo.

Disminuye además los niveles tóxicos de aluminio y manganeso, evitando la alteración de procesos microbianos y neutralizando los suelos que han sido acidificados por los tipos de fertilizantes aplicados. Este proceso es denominado encalado de suelos. Es por ello que el carbonato de calcio es usado para neutralizar la acidez de suelos, además de brindar calcio para la nutrición de los cultivos. De acuerdo a la granulometría del carbonato de calcio es que la velocidad de reacción varía. Así, a menor tamaño de grano, mayor velocidad de reacción con el suelo ácido y viceversa. (Sadzawka y Campillo 1993)

Para la estructuración del proyecto nos basamos en los siguientes antecedentes:

Guzmán (2009) en sus estudios de “**Obtención del citrato de calcio de la cáscara de huevo y su utilización en diferentes dosis (0.1, 0.2 y 0.3%) para la elaboración de salchichas frankfurt**” Riobamba- ecuador. Estudio los diferentes niveles de citrato de calcio obtenido a partir del casarón de huevo. Determinándose en sus resultados que la calidad organoléptica color sabor, aroma y textura no se vió afectada estadísticamente por efecto de la adición de citrato de calcio. Las propiedades físicas de la salchicha como el pH y acidez, fueron incrementados a niveles de citrato de calcio hasta 0.3%.

Gómez (2011) analizó en su investigación “**Cuantificación de calcio de calcio en soluciones caseras que contienen cáscara pulverizada de huevo de gallina (gallus gallus)**” Universidad de san Carlos de Guatemala- Facultad de ciencias químicas y farmacia Guatemala, evaluó la posibilidad de extraer el 10% o más de calcio a la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus*) en 5 soluciones caseras; jugo de limón, jugo de naranja, leche, vinagre (ácido acético al 5%), y agua hirviendo a 100°C por 5 minutos. Los resultados indican que es posible extraer más del 10% de calcio de la cáscara de huevo a la solución de vinagre y jugo de naranja en reposo por 20 minutos y a la solución de agua hirviendo por 5 minutos, se extrae en promedio por cada 10ml de solución, 26.48% de calcio a la solución de vinagre 14.57% al jugo de naranja y 19.20% al agua hervida. En las soluciones caseras de jugo de limón y leche en reposo por 20 minutos se extrajo más del 10% de calcio, extrayendo en promedio 10ml de solución, 8.90 y 0.13% respectivamente.

Acon et al. (2013), Presentó un proyecto que lleva por título “**Tratamiento de los residuos sólidos del procesamiento de la concha de abanico (*Agropectum***

***Purpuratus*) para la obtención de carbonato de calcio**” para la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo de Chiclayo, en la investigación presenta que el carbonato de calcio es utilizado en diferentes grandes industrias y que tiene diferentes demandas de cada una de ellas. También la investigación presenta la composición química y nutricional de la concha de abanico para ello sometió a esta a una serie de pruebas como el análisis proximal la cual determina la humedad, la grasa, la proteína, las sales minerales y las calorías de estas. En la investigación se presentó el siguiente objetivo general “Determinar la viabilidad del tratamiento del residuo que genera el procesamiento de la concha de abanico en la producción de carbonato de calcio”. Entre los objetivos específicos presento: “Evaluar el proceso de tratamiento adecuado para el aprovechamiento de la valva de concha de abanico en la elaboración de carbonato de calcio”. No llegando a concluir su investigación. Se eligió esta investigación como antecedente ya que presenta las demandas del carbonato de calcio en las diferentes industrias las cuales más adelante nos ayudarán a evaluar qué tipos de carbonato de calcio y que cantidad necesita cada una de estas industrias.

Vásquez (2012), presentó un proyecto titulado, **“Obtención de calcio y magnesio a partir de conchas de choro (*aulacomya ater molina*) para enriquecer un néctar de durazno (*prunus persica l.*) Variedad blanquillo**”, para la Universidad Nacional Agraria La Molina. La investigación tiene el objetivo de obtener sales de citrato de calcio y magnesio como ingrediente alimentario a partir de conchas de choro, se procedió a disolver los minerales mediante lixiviación ácida en ebullición. Los rendimientos de lixiviación analizados en un diseño completamente al azar con arreglo factorial: 3 x 3 ($\alpha= 0,05\%$) (concha de choro molido: 3, 4 y 5% y ácido clorhídrico: 3,

5 y 7 %), señalaron como mayor rendimiento al conseguido con 4% (conchas de choro molido) y 7% (ácido clorhídrico) con 95,94% (p/p) de elementos en disolución, principalmente: Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, K, Na y P y Si, Pb y As, en la fracción no disuelta de 4,06%. La adición de ácido cítrico al 60% (p/v) e hidróxido de potasio al 60% (p/v) en ebullición permitió precipitar de esta disolución las sales blancas de Ca y Mg, las que fueron sometidas a lavado, secado y molienda en molino de martillos. El néctar de durazno elaborado contiene 1,71% de sales de citrato, cumplió con las recomendaciones físicoquímicas y microbiológicas y mostró alta aceptabilidad sensorial y biodisponibilidad in vitro de 27,65 y 27,63% para el Ca y Mg, respectivamente.

Castro (2013), presento un artículo científico titulado “**Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes**”. Grupo de Investigación Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat-Uptc. En la investigación presenta que según el carácter ácido del suelo, se exploraron experimentalmente dosis de CaCO_3 , incorporadas en forma pura y mediante combinación de materiales encalantes comerciales (cal viva, dolomita y escorias Thomas), bajo una relación porcentual 50:40:10, respectivamente. Se evaluó el efecto correctivo en dos suelos con diferentes procesos de acidificación: un suelo sulfatado ácido improductivo (SSAI) de origen orgánico y un suelo mineral (Horizonte Óxico). Los parámetros examinados para calificar el grado de mejoramiento químico del suelo fueron pH, Al^{3+} , S y P.

Los resultados muestran que los requerimientos de encalado están relacionados directamente con los procesos químicos, que caracterizan la acidez de cada suelo. El mejor efecto correctivo de la acidez, se presentó con $16\text{t ha}^{-1}\text{CaCO}_3$, en SSAI y 4t ha^{-1}

1CaCO₃, para el suelo de características óxicas, dosis con las cuales fue posible, en los suelos estudiados, neutralizar el aluminio y llevar el pH a valores cercanos a 5,5. Para similares efectos en el control de acidez, disminuyeron las necesidades de encalamiento, cuando las dosis de CaCO₃ exploradas fueron suministradas mediante la combinación de materiales encalantes comerciales; de esta manera, se comprobó la acción más efectiva de las enmiendas complejas en el mejoramiento de suelos ácidos desaturados, limitados en su fertilidad.

Molina (2013), presentó un artículo científico titulado, “**Acidez de suelo y encalado**”, Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica. En la investigación presenta que la acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes: CO₃⁻², OH⁻, y SiO₃⁻². Los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo (Espinosa 1995) las sales básicas se disocian y generan cationes y OH⁻. Los OH⁻ generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como Al(OH)₃ y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la naturaleza, y además estos dos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas. Por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso.

El problema formulado para este proyecto fue: ¿Es posible determinar la granulometría óptima del carbonato de calcio (CaCO₃) obtenida de la cascara de huevo para el mejoramiento de suelo ácido en el valle del santa?.

En función al problema planteado, se determinó como objetivo general: Determinar la granulometría óptima del carbonato de calcio (CaCO_3) obtenida de la cáscara de huevo, para el mejoramiento de suelo ácido en el valle del Santa, y como objetivos específicos: Obtener el carbonato de calcio (CaCO_3) a partir de la cáscara de huevo, determinar la concentración de calcio en la cáscara de huevo, caracterizar la fisicoquímica de la cáscara de huevo, evaluar las características fisicoquímicas del suelo del Valle del Santa, determinar la granulometría óptima de carbonato de calcio (CaCO_3) en el mejoramiento de suelos ácidos.

Como solución al problema, se formuló el hipótesis siguiente: Si es posible determinar la granulometría óptima del carbonato de calcio en un rango de 0.125 mm, 0.250mm a 1.0mm a partir de la cáscara de huevo en un periodo de 10 a 20 días para el mejoramiento de suelos ácidos en el valle del Santa.

Como todo trabajo de investigación, este proyecto fue realizado con un fin, un objetivo, o en busca de soluciones. Por ende, se formuló la siguiente justificación para la elaboración de este trabajo de investigación: Mediante el presente proyecto de investigación se desea brindar una posible solución para dar un valor agregado al sector agrícola, en cuanto al efecto productivo agroindustrial, al aplicar el carbonato de calcio a partir de la cáscara de huevo, para ello emplearemos varias granulometrías del producto en el suelo del valle del Santa. El proyecto se ha realizado debido a la problemática existente y por la demanda de la localidad donde se realiza la investigación (Santa).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LA CÁSCARA DE HUEVO

La cáscara es la cubierta exterior del huevo que mantiene su integridad física y actúa como barrera bacteriológica. Está constituida, por una matriz cálcica con un entramado orgánico, en el que el calcio es el elemento más abundante y de mayor importancia. También se encuentran en su composición otros minerales como sodio, magnesio, Zinc, manganeso, hierro, cobre, aluminio y boro, en menores concentraciones (Atenas. 2006). Abarca y Quintana (2011), mencionan que el cascarón está compuesto en un 94% de carbonato de calcio (en forma de cristales de calcita), además de otros compuestos en menor cantidad como carbonato de magnesio, fosfato de calcio, sodio potásico y otros componentes orgánicos.



Figura 1: Cáscara de huevo

2.1.1. ESTRUCTURA DEL HUEVO

a. Cáscara:

Contiene carbonato de calcio. Su color (blanco o moreno) depende del plumaje de la gallina ponedora. Los huevos de mayor tamaño tienen cáscaras más frágiles. La cáscara posee internamente 2 membranas exterior e interior, que a su vez rodean la clara del huevo. Estas membranas sirven de barreras protectoras contra la penetración de bacterias. Entre estas membranas se forman celdas o cámaras de aire. Las pequeñas celdas de aire que se suelen encontrar en las membranas de la cáscara, y en la parte más ancha del huevo, son causadas por la contracción del contenido cuando baja la temperatura del huevo después de que lo pone la gallina. Por lo tanto esas cámaras de aire aumentan de tamaño con el tiempo, por lo que se considera que cuando los huevos pierden frescura la cámara de aire va aumentando.

b. Chalaza:

Son dos ligamentos que mantienen la yema del huevo en medio de la clara. Si son prominentes y espesos indican que el huevo es fresco y de alta calidad.

c. Clara (o albúmina):

Es espesa y transparente, soluble y coagulable.

d. Yema:

Su color depende de la alimentación de la gallina. Contiene proteínas, vitaminas y agua. Su estructura está basada en un sistema de aros concéntricos, aunque cuando se cocinan se fusionan en uno solo. Está envuelta por una membrana incolora llamada membrana vitelina

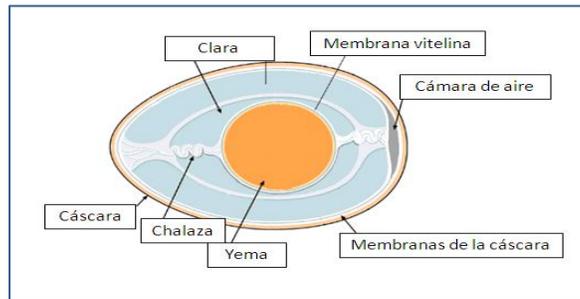


Figura 2: Partes del huevo

2.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CÁSCARA DE HUEVO

Según la Revista Cubana Aliment Nutr (2009). La calidad de la cáscara se juzga con base en la textura, color, forma, solidez y limpieza. Debe ser liso, limpio, libre de grietas, de color, forma y tamaño uniformes. El primer paso en el proceso de control de calidad es la segregación de los huevos que presenten defectos evidentes para luego realizar pruebas más específicas. Debido a que existe una fuerte correlación entre el grosor del cascarón y su ruptura, se han desarrollado varios métodos para su cálculo, entre ellos los métodos directos, como la medición del cascarón mediante la utilización de un micrómetro. El cascarón

del huevo debe poseer alrededor de 0.3 mm de espesor, y con la cutícula y membranas se incrementa a valores cercanos a 0.4mm. Además, se ha observado que los huevos sin cutícula o con daños en ésta, no son tan resistentes a la pérdida de agua o ingreso de microorganismos.

a. Función

Según Atenas (2006), la superficie de la cáscara se encuentra recubierta por una cutícula orgánica formada principalmente por proteínas (90%) y pequeñas cantidades de lípidos y carbohidratos. La principal función de esta película de mucina consiste en cerrar los poros, formando una barrera física contra la penetración de microorganismos. También evita la pérdida de agua y da un aspecto brillante al huevo.

Al respecto Valdés (2009) menciona que la cáscara constituye la cubierta protectora del huevo, que la defiende de la acción de los agentes externos y el medio a través del cual pueden realizarse intercambios gaseosos y líquidos con el ambiente que le rodea, siendo una estructura mineralizada altamente especializada, permeable, posee un alto contenido de agua, funciona como lubricante en la postura, su forma es hereditaria y es la primera barrera de defensa del huevo.

b. Características químicas de la cáscara de huevo

Alais y Linden (1990) comentan que la cáscara de huevo de gallina está compuesta de: agua 1,6%, minerales 95,1 %, de los cuales 93,6% corresponden a carbonato de calcio en forma de calcita. Al respecto Gómez (2011) toma como referencia la composición de la cascara de gallina.

Cuadro 1: Análisis químico de cáscara de huevo.

Ensayo	Análisis	Unidad de medida mg/L
pH	12.1	
Arsénico	<3.0	ppm
Antimonio	<0.10	ppm
Metales pesados	<20	ppm
Mercurio	0.025	ppm
Selenio	0.0055	ppm
Plata	8.29	ppm
Sulfuro	0.034	%
Aluminio	<20	ppm
Bario	30.9	ppm
Cadmio	<5	ppm
Calcio	655000	ppm
Cromo	<10	ppm
Cobalto	<5	ppm
Cobre	<2.5	ppm
Hierro	10	ppm
Magnesio	5440	ppm
Manganeso	<1.5	ppm
Niquel	<4	ppm
Fosforo	1470	ppm
Potasio	<500	ppm
Sodio	610	ppm
Vanadio	<5	ppm
Zinc	3.04	ppm

FUENTE: El Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP/ OPS, 2007)

c. Valor agregado de la cáscara de huevo

Abarca y Quintana (2011) señalan que el cascarón de huevo se ha empleado como harina para alimento de animales por su fuente de calcio. Es una excelente fuente de calcio y proteína, ya que contiene las membranas testáceas. Asimismo, presenta una alta calidad, comparable con la concha de ostra o la piedra caliza. Se ha empleado también el polvo de cascarón como aditivo para pasta de dientes debido a sus características abrasivas, que pueden brindar limpieza sin dañar el esmalte.

d. Calcio

Entre los componentes que tiene la cáscara de huevo debe citarse el Calcio en forma de carbonato que, al ser extraído, reconcentrado, bioactivado e ionizado cumple múltiples funciones fisiológicas y metabólicas importantes en todos los organismos vivos. El calcio que se deposita sobre la cáscara se obtiene de la sangre, no existe un almacenamiento de calcio en la glándula de la cáscara antes de la calcificación (Hodges, 1969). La formación de la cáscara implica la exportación de 2 g de calcio lo que corresponde a 8 a 10% del contenido corporal de calcio. El 98% de calcio se encuentra en los huesos, pero la participación de estos últimos está limitada por el aporte directo de calcio alimentario absorbido a nivel intestinal. El depósito de calcio en la cáscara (150 mg/h) obliga

a la renovación total del calcio sanguíneo cada 12 h por día (Nys, 1990), Sauvers y Reviers, (1992).

e. Concentración de carbonato de calcio en la cascara de huevo

La cáscara de huevo químicamente está compuesta de 1,6% de agua, 95,1 % de minerales, de los cuales 93,6% corresponden a carbonato de calcio CaCO_3 en forma de calcita, 0,8% de carbonato de magnesio MgCO_3 y 0,73% de fosfato tricálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, y finalmente 3,3% de materia orgánica. (Fernández y Arias, 2010, p.2; Solomon, 1999, p.7)

Cuadro 2: Concentración de carbonato de calcio en la cáscara de huevo

COMPOSICIÓN	%
Agua	1,6%
Minerales	95,1 %
Calcita	93,6%
carbonato de magnesio	0,8%
fosfato tricálcico	0,73%
materia orgánica	3,3%

FUENTE: La cáscara de huevo: Un modelo de biomineralización. (2010)

2.2. CARBONATO DE CALCIO

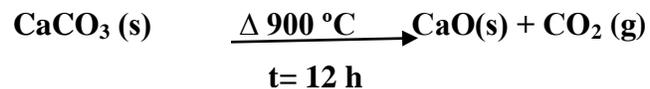
Carbonato de calcio, viene a ser un compuesto químico ternario, es decir formado por tres elementos distintos: Calcio, Carbono y Oxígeno; representado por la fórmula química CaCO_3 . Es también una sustancia muy abundante en la naturaleza ya que es el componente principal de algunas rocas y también de los esqueletos, valvas de ciertos organismos como los corales y conchas, también la cascara de huevo.

2.2.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO

A continuación, se describe el proceso de obtención de carbonato de calcio inorgánico a partir de la piedra caliza, el cual no es que se realizará en el proyecto, pero servirá de guía para una mejor comprensión del proceso obtención de carbonato de calcio orgánico a partir de la cáscara de huevo. Como se mencionó anteriormente, el carbonato de calcio es el componente principal de ciertas rocas, conchas, esqueletos de organismos y cascara de huevo. Actualmente, se obtiene principalmente de la molienda fina o sincronización de piedras caliza con pureza superior del 98,5 % de contenido de CaCO_3 . Comercialmente el carbonato de calcio se presenta de dos formas: molido y precipitado. El carbonato de calcio obtenido por molienda requiere de un proceso menos complejo al obtenido por precipitación ya que solo es necesaria la

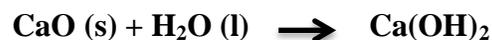
transformación física de la materia prima. Por otro lado, el carbonato de calcio precipitado, denominado como PPC (Precipitated Calcium Carbonate), es aquel que se obtiene por precipitación del calcio en forma de carbonato. Esta precipitación requiere de procesos físico-químicos como la calcinación, hidratación y carbonatación. (Los procesos de obtención del carbonato de calcio, 2006). A continuación, se detallan los procesos requeridos:

– **Calcinación:** La piedra caliza es calcinada a temperatura mayor de los 900°C por hornos verticales en su mayoría (Special Chem, n.d.). El material es desintegrado según la ecuación química:



Los productos resultantes de la calcinación son el Óxido de calcio o Cal viva CaO y Dióxido de Carbono CO₂ en forma de gas que será utilizado luego en la carbonatación.

– **Hidratación:** En este proceso, la Cal viva es hidratada en un hidratador continuo para obtener Hidróxido de Calcio o cal apagada Ca(OH)₂.



2.3. SUELOS ÁCIDOS:

Un ácido es una sustancia que tiende a entregar protones (iones hidrógeno). Por otro lado, una base es cualquier sustancia que acepta protones. La acidez de una solución ésta determinada entonces por la actividad de los iones hidrogeno (H^+). Haciendo uso de estos principios químicos, la acidez en el suelo se determina midiendo la actividad del H^+ en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrogeno (pH). Los ácidos se disocian poco y en soluciones acuosas se presentan concentraciones muy bajas de iones H^+ , tan bajas que es difícil presentarlas numéricamente en términos de molaridad. Por esta razón se define el pH es forma logarítmica. En realidad, el pH se define como el inverso del logaritmo de la actividad de iones H^+ de acuerdo a la siguiente formula:

$$pH = \log 1/(H^+)$$

Así, a pH 7.0 por ejemplo, la actividad (concentración) de iones H^+ es igual a 1×10^{-6} moles de H^+ por litro. El inverso de 1×10^{-6} es igual a 1×10^7 y el logaritmo de este número es 7. La escala del pH cubre un rango que va de 0 a 14. (la suma de iones H^+ y OH^- en la solución). Un valor de 7.0 es neutro, mientras que valores menores que 7.0 son ácidos y valores mayores que 7.0 son básicos.

El significado práctico de la expresión logarítmica del pH radica en el hecho de que cada unidad de cambio de pH corresponde a un incremento de 10 veces en la cantidad de acidez o basicidad del suelo. En otras

palabras, un suelo con pH 5.0 tiene 10 veces más H⁺ activo que un suelo con pH 6.0. Esto tiene mucho significado en la nutrición de los cultivos y en el manejo efectivo de los fertilizantes y otros insumos. En el cuadro 3 se compara el grado de acidez o basicidad con relación al pH neutro (7.0).

Cuadro 3: pH de una solución y el grado de acidez o basicidad.

pH del suelo	Acidez/Basicidad comparadas con pH 7.0	
9.0	Basicidad	100
8.0		10
7.0	Neutro	
6.0	Acidez	10
5.0		100
4.0		1000

FUENTE: (Acidez y encalado de suelos, 1999)

La acidificación de los suelos es un proceso dinámico que engloba la acción de factores naturales (adácticos, climáticos y biológicos) y antropogénicos (derivados de la acción del hombre), que se traducen en un incremento de la acidez natural del suelo. Se ha establecido que los fenómenos naturales de la declinación de la fertilidad y acidificación del suelo pueden ser acelerados con la práctica de la agricultura.

2.3.1. DESARROLLO DE LA ACIDIFICACIÓN DE LOS SUELOS.

Los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos (Calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y Sodio (Na)) y una acumulación de cationes ácidos (Aluminio (Al) e hidrogeno (H)). La acidez de los suelos limita el crecimiento de la planta debido a una combinación de factores que incluye la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrogeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente el calcio, magnesio, fosforo, y molibdeno. Pero, el factor limitante del crecimiento más importante en estos suelos ácidos, es la toxicidad del aluminio soluble e intercambiable. (Sadzawka y Campillo, 1963).

a. Medición de la acidez del suelo

La acidez del suelo se puede medir de dos formas diferentes. Una de ellas utiliza papel indicador como un método de diagnóstico rápido en el campo. Este método debe ser utilizado por operadores con experiencia para evitar errores, pero es un buen índice de campo que permite hacer un diagnóstico bastante aproximado del pH del suelo.

El método más preciso y ampliamente utilizado usa el potenciómetro para medir el pH del suelo. Esta determinación se puede hacer en el laboratorio, pero actualmente existen equipos portátiles que miden

El pH con la misma precisión de los equipos convencionales utilizados en el laboratorio. En este caso se determina el pH al poner en contacto una suspensión, hecha con suelo y agua destilada, con un electrodo de vidrio y otro de referencia conectados a un equipo electrónico (potenciómetro) que mide la concentración de iones H^+ e interpreta y entrega el resultado en la escala calibrada del aparato. En realidad, el aparato mide el pH de la suspensión al transformar la lectura de los milivoltios del potencial eléctrico generado cuando se colocan los dos electrodos en la suspensión de suelo. El potenciómetro se calibra con soluciones tampón de pH conocido.

Si bien esta determinación de laboratorio es bastante confiable existen ciertos factores que afectan la determinación del pH en suspensiones de suelo. Un error en la medición del pH se produce por el denominado efecto de suspensión. Cuando se mide el pH en suspensiones suelo agua, los resultados son más bajos inmediatamente después de la agitación. Cuando se suspende la agitación, con los electrodos dentro de la suspensión y las partículas de suelo en proceso de decantación, el pH medido es gradualmente más alto debido a que los electrodos solamente miden la actividad del H^+ presente en la solución de equilibrio. La medición de pH es también influenciada por la dilución de la suspensión suelo-agua.

Cuanto más diluida es la suspensión mayor es el pH. Por esta razón se aconseja ser consistente en la relación suelo agua utilizada en la determinación de pH. Las relaciones más comunes son 1:1 y 1:2.5 suelo agua. La acumulación de sales en el suelo también afecta las mediciones de pH. Esto puede ocurrir por procesos naturales como la mineralización de la materia orgánica o por la aplicación de fertilizantes. Esta es la razón por la que las lecturas de pH cambian cuando se toma una muestra de un mismo sitio en diferentes épocas del año. La presencia de sales reduce el pH debido al incremento de concentración de los electrolitos. Por esta razón, se aconseja determinar el pH de suelos que tienden a acumular sales en una solución de CaCl_2 0.01M. Esto se debe a que el pH medido en CaCl_2 no es afectado por la relación suelo agua. La cantidad de CaCl_2 adicionada es lo suficientemente alta como para nivelar el efecto de las sales que normalmente se encuentran en el suelo, sin embargo, la concentración de CaCl_2 utilizada no es diferente a las concentraciones normalmente encontradas en la solución del suelo, en suelos de alta fertilidad y/o fertilizados abundantemente. Otro factor que influye en la determinación del pH es la concentración (presión parcial) de dióxido de carbono CO_2 en la atmósfera. Antes que un efecto directo en la medición de pH de la suspensión suelo- agua, el efecto de la

presencia de CO_2 se observa en el pH del agua en el laboratorio y esto siempre causa confusiones. La atmósfera contiene alrededor de 0.03% de CO_2 y éste se disuelve fácilmente en el agua utilizada en las determinaciones de laboratorio formando ácido carbónico H_2CO_3 . Por esta razón, aun el agua pura (destilada o deionizada) en equilibrio con el CO_2 del aire tiene un pH de alrededor de 5.7. Sin embargo, en condiciones de laboratorio con mala ventilación o con presencia de muchas personas, la concentración de CO_2 se incrementa y el pH del agua es aún más bajo. Cuando se mide el pH en la solución suelo agua, los dos componentes se mezclan mediante la agitación de modo que la solución entra en equilibrio con el CO_2 del aire, a la concentración presente en el laboratorio. Un suelo ácido tiene una capacidad mucho mayor de suplir H^+ que el CO_2 en el aire y por lo tanto este factor prácticamente no tiene efecto en la medición del pH de la solución. Solamente en suelos donde la concentración de H^+ es muy baja (pH mucho más alto que 7.0) y particularmente aquellos suelos que tienen CaCO_3 libre, el CO_2 del aire afecta apreciablemente la medición del pH.

b. Naturaleza de la acidez del suelo

Existen varios procesos en el suelo que promueven la reducción del pH. Todos estos procesos ocurren naturalmente

dependiendo del tipo de suelo, del tipo de cultivo y de las condiciones de manejo. Un conocimiento adecuado de estos procesos en el suelo permite un mejor control de los parámetros que conducen a condiciones ácidas.

c. Remoción de nutrientes

Un suelo con pH neutro tiene saturada la fase de intercambio con cationes básicos (K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+). Estos cationes satisfacen la carga eléctrica de la superficie de los coloides del suelo. La acidificación se inicia con la pérdida de estos cationes debido en parte a la acción de las raíces. La planta, al absorber cationes, libera H^+ para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo. Por otro lado, el movimiento de cationes a capas inferiores (lixiviación) contribuye también a la acidificación del suelo. Este movimiento de cationes se debe a la presencia de aniones que formando pares iónicos se encargan de arrastrar los cationes del perfil del suelo con el movimiento del agua. En el inicio, el aporte de aniones a la solución del suelo se produce por medio de la mineralización de la materia orgánica que produce aniones como nitrato NO_3^- , sulfato SO_4^{-2} y cloruro Cl^- que son los que arrastran los cationes básicos del perfil al formar los respectivos pares iónicos. Además, la materia orgánica del suelo se descompone con la ayuda de

microorganismos produciendo un constante suplemento de CO_2 que fácilmente se transforma en bicarbonato HCO_2^- de acuerdo a la siguiente reacción:



Esta reacción aporta H^+ , que reduce el pH, y bicarbonato HCO_3^- que se combina fácilmente con los cationes básicos lavándolos del perfil, promoviendo de esta forma condiciones favorables para acidez. La materia orgánica del suelo contiene también grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian liberando iones H^+ a la solución del suelo. El contenido de materia orgánica varía de sitio a sitio y por lo tanto su contribución a la acidez del suelo es también variable.

d. Aluminio Intercambiable

Es reconocido ampliamente que uno de los principales factores en el desarrollo de la acidez del suelo es la presencia de aluminio (Al^{3+}) en la solución del suelo. Los iones Al^{3+} desplazados de los minerales arcillosos por otros cationes se hidrolizan (reaccionan con una molécula de agua) para formar complejos monoméricos y poliméricos hidroxialumínicos. Las reacciones de hidrólisis del Al^{3+} son similares a la reacción de un ácido fuerte como el ácido acético que libera iones H^+ .

Cada una de estas reacciones libera H^+ y contribuye a la acidez del suelo. Este incremento en acidez promueve la presencia de más Al^{3+} listo para reaccionar nuevamente. La Figura 3 describe el comportamiento de las diferentes formas monoméricas del Al con respecto al pH de una solución. Se observa que el Al^{3+} aparece en la solución a pH 5.3 y que arriba de este pH se inicia la formación de $Al(OH)_3$ que se precipita, eliminando el Al de la solución. Estas reacciones son importantes en el control de acidez como se discute más adelante.

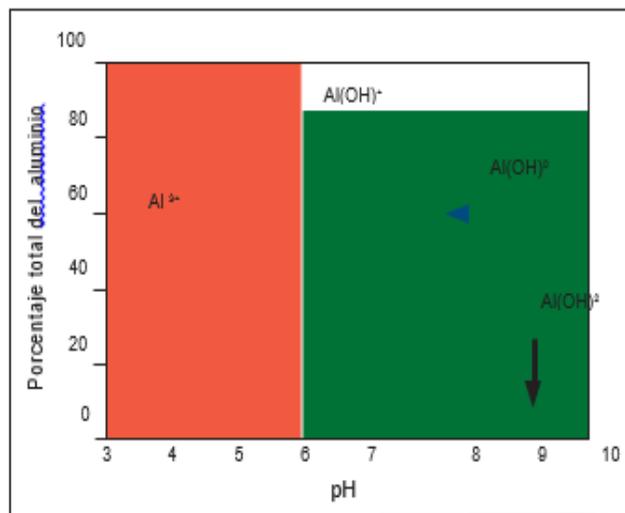


Figura 3: Distribución porcentual de las formas de Al en una solución al pH

e. Clasificación de la acidez

La acidez proveniente de las fuentes mencionadas anteriormente se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Acidez activa:** Hidrógeno H^+ disociado en la solución del suelo y proveniente de diferentes fuentes.
- **Acidez intercambiable:** Hidrógeno y aluminio intercambiables H^+ , Al^{3+} retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas.
- **Acidez no intercambiable:** Hidrógeno en enlace covalente en la superficie de los minerales arcillosos de carga variable.
- **Acidez potencial:** Acidez intercambiable + acidez no intercambiable.

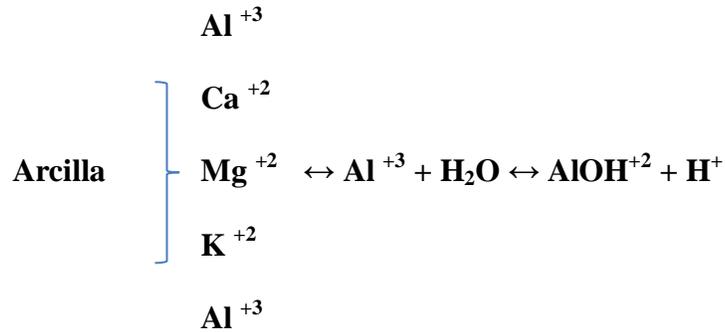
2.4. ENCALAMIENTO DE SUELO ÁCIDO

El encalado consiste en la aplicación al suelo de sales básicas que neutralizan la acidez. Los materiales que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de acidez son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio Ca y/o magnesio Mg. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una variable capacidad de neutralización.

El carbonato de calcio es también usado para neutralizar la acidez de suelos, además de brindar calcio para la nutrición de los cultivos. De acuerdo a la granulometría del carbonato de calcio es que la velocidad de reacción varía. Así, a menor tamaño de grano, mayor velocidad de reacción con el suelo ácido y viceversa (IPNI). El encalado consiste en la

aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno y aluminio. Los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio. Debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable. La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes: CO_3^{-2} , OH^- , y SiO_3^{-2} . Los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo (Espinosa 1995), las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- . Los OH^- generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la naturaleza, y además estos dos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas. Por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso. Las reacciones de la neutralización de la acidez del suelo se pueden ilustrar de la siguiente forma (Tisdale et al , 1993):

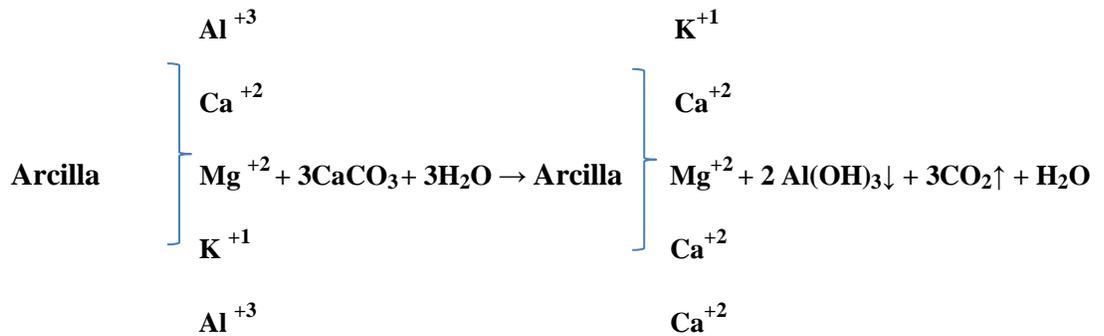
Suelo ácido:



Material Encalante:



Reacción de encalado:



En el esquema anterior se deduce que el Ca no interviene en la neutralización de la acidez, sino más bien es el anión CO_3^{-2} el que al hidrolizarse produce iones OH^- que neutralizan los iones H^+ provenientes del hidrólisis del Al y precipitan al mismo Al. El proceso reverso también puede ocurrir, debido a que los iones básicos como Ca, Mg y K pueden

ser removidos del suelo por la absorción de las plantas o lixiviación, siendo reemplazados por Al. A medida que ocurre este proceso, se incrementa la actividad del H y se reduce el pH del suelo. La acidificación progresiva del suelo es favorecida cuando se utilizan dosis altas de fertilizantes nitrogenados o amoniacales.

2.4.1. CALIDAD DE LOS MATERIALES ENCALADOS

Cuadro 4: Equivalentes químicos y composición química de materiales de encalado puros

Material	Equivalente Químico (EQ)	Fórmula	Contenido de Ca (%)	Contenido de Mg (%)
Carbonato de Calcio	100	CaCO ₃	40	--
Dolomita	108	CaCO ₃	21	131
Oxido de calcio	179	CaO	71	--
Hidróxido de calcio	138	Ca(OH) ₂	54	--
Hidróxido de magnesio	172	Mg(OH) ₂	--	41
Carbonato de magnesio	119	MgCO ₃	--	28.5
Oxido de magnesio	248	MgO	--	60
Silicato de calcio	86	CaSiO ₃	34.4	--
Silicato de magnesio	100	MgSiO ₃	--	24

FUENTE: Nicholaides, 1983

Uno de los aspectos más importantes al considerar la eficiencia agronómica es la calidad de los materiales de encalado. La calidad se fundamenta en los siguientes factores: pureza del material, forma química, tamaño de las partículas y poder relativo de neutralización total.

a. Pureza química

La pureza es una característica importante de los materiales de encalado que reconoce su composición química y los contaminantes presentes (arcilla, materia orgánica y otros minerales). La capacidad de neutralizar la acidez del suelo depende de la composición química y de la pureza del material. Para determinar la pureza se utiliza el criterio del equivalente químico (EQ) que es una medida del poder de neutralización de una cal en particular. El EQ se define como la capacidad del material para neutralizar la acidez comparado con el poder de neutralización del CaCO_3 químicamente puro, al cual se le asigna un valor de 100%. Para determinar el poder de neutralización se debe pesar una cantidad del material y disolverla en una cantidad conocida de ácido, luego el exceso de ácido es titulado con una base. Se presentan los valores de poder de neutralización de varios materiales de encalado en su forma pura, los óxidos e hidróxidos tienen mayor capacidad para neutralizar la acidez que el carbonato de calcio. El óxido de magnesio constituye la forma química más eficiente para neutralizar la acidez del suelo, siendo aproximadamente 2.5 veces más efectivo que el carbonato de calcio. Los materiales de

encalado que contienen Mg son más efectivos que aquellos que contienen Ca debido a que el Mg tiene menor peso molecular que el Ca. Los materiales con menos de 80% de EQ (32% de Ca) son de baja calidad, de acuerdo con los criterios utilizados en diferentes países. La legislación norteamericana, por ejemplo, establece los siguientes contenidos mínimos: Oxido de calcio, EQ=140 (56% Ca); hidróxido de calcio, EQ=110 (44% Ca). La legislación brasileña acepta un valor mínimo de 67% de EQ para cales molidas (Nicholaides, 1983; Alcarde, 1992).

El EQ de un material de encalado se puede calcular utilizando las siguientes fórmulas:

$$EQ \text{ CaCO}_3 = \text{CaO} (\%) \times 1.79 + \text{MgO} (\%) \times 2.48$$

$$EQ \text{ CaCO}_3 = \text{CaCO}_3(\%) \times 1 + \text{MgCO}_3(\%) \times 1.19$$

Algunos factores de conversión para materiales de encalado importantes de tener a mano son los siguientes:

$$\text{Ca} \times 1.4 = \text{CaO}$$

$$\text{Ca} \times 1.85 = \text{Ca(OH)}_2$$

$$\text{Ca} \times 2.5 = \text{CaCO}_3$$

$$\text{Mg} \times 1.67 = \text{MgO}$$

$$\text{Mg} \times 2.42 = \text{Mg(OH)}_2$$

$$\text{Mg} \times 3.5 = \text{MgCO}_3$$

b. Tamaño de partícula

La fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. 1m^3 de cal sólida sólo tiene 6 m^2 de superficie. Esa misma cantidad molida y cernida en un tamiz de malla 100, tiene 60000 m^2 de área superficial. Entre más superficie específica tenga el material, más rápido reacciona la cal en el suelo.

Para estimar la fineza o eficiencia granulométrica (EG) de un material de encalado, se pesa una cantidad determinada del material y se cierne en una secuencia de mallas o cribas de diferente tamaño. Es normal utilizar la siguiente secuencia de mallas: 8 ó 10, 20, 40, 60 y 80 mesh. Esto permite retener en cada tamiz una cantidad de material, separando de esta forma los diferentes tamaños de partículas presentes. Cada tamaño en particular tiene una específica eficiencia granulométrica como se indica en el cuadro 5.

Cuadro 5: Eficiencia relativa granulométrica de la cal con base en el tipo de malla.

Número de malla	Tamaño de los orificios	Eficiencia relativa
< 8	> 2.36	0
8 – 20	2.36 - 0.85	20
20 – 40	0.85 - 0.42	40
20 – 60	0.85 - 0.25	60
> 60	< 0.25	100

* Número de orificios por pulgada cuadrada

c. Poder relativo de neutralización total

Para valorar en forma conjunta la pureza química y la fineza de los materiales de encalado se utiliza un parámetro denominado Índice de Eficiencia conocido también como Poder Relativo de Neutralización Total (PRNT). Este parámetro se obtiene multiplicando la eficiencia granulométrica por el equivalente químico y este producto se divide entre 100.

Los materiales que son retenidos en malla de 8 no son efectivos. Los que pasan la malla 8 pero se retienen en malla 20 son 20% efectivos ya que reaccionan muy lentamente. Los que pasan la malla 20 pero se retienen en la 60 son 60% efectivos y pueden reaccionar en un período de 10-18 meses. Por último, todos los materiales que pasan completamente

malla 60 tienen 100% de efectividad y reaccionan entre 3 y 6 meses. La cal que pasa por una malla 80 es demasiado fina, pero puede reaccionar en 1-3 meses. La condición ideal es que el 100% del material pase por una malla 8 y 70- 80% pase por una malla 60 como se ilustra en la Figura 4. (Alcarde, 1992).

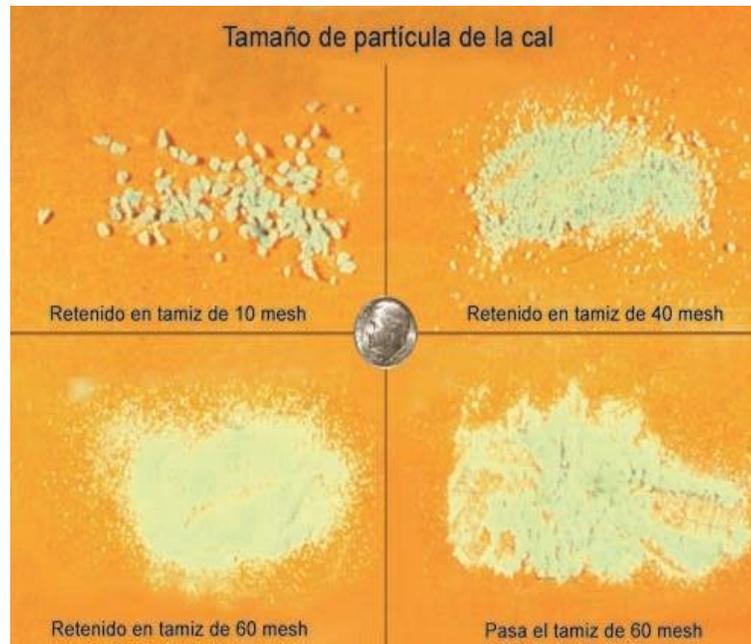


Figura 4: Tamaño de las partículas de cal al pasar por diferentes tamices

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución del proyecto se realizó en:

- Departamento : Ancash
- Provincia : Santa
- Distrito : Nuevo Chimbote

Utilizando los siguientes laboratorios de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA:

- Laboratorio de Química Analítica
- Instituto Agroindustrial

3.2. MATERIALES

3.2.1. MATERIA PRIMA

a. Cáscara de huevo



Figura 5: Cáscara de huevo

b. Suelo ácido



Figura 6: Suelo ácido

3.2.2. Reactivos

a. Ácido nítrico HNO_3 al 68 %,

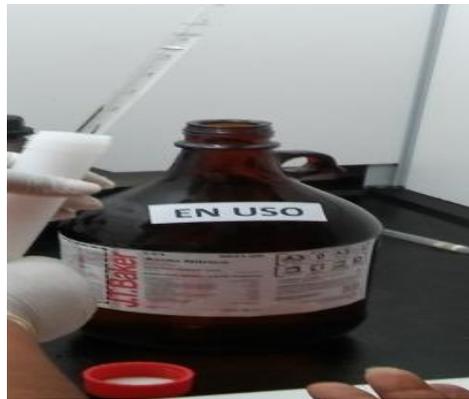


Figura 7: Ácido o nítrico HNO_3 al 68 %

b. Amoníaco NH_3

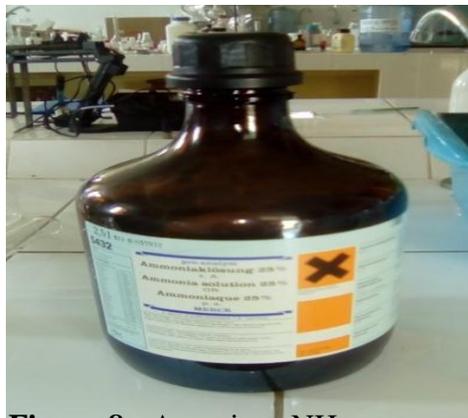


Figura 8 : Amoníaco NH_3

c. Buffer (pH >10)



Figura 9: Buffer (pH >10)

d. Cloruro de amonio NH_4Cl



Figura 10: Cloruro de amonio (NH_4Cl)

e. EDTA



Figura 11: EDTA

f. Ericromo



Figura 12: Ericromo

g. Fenolftaleína



Figura 13: Fenolftaleína

h. Hidróxido de Sodio (NaOH 1M)

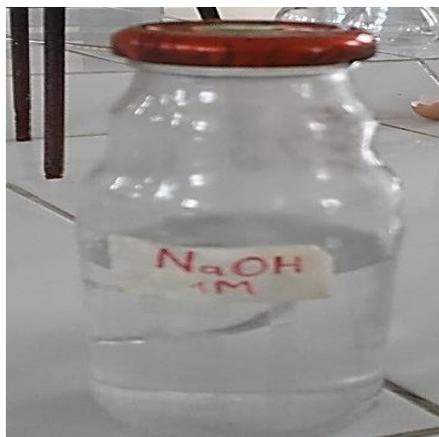


Figura 14 : Hidróxido de Sodio (NaOH 1M)

i. Murexida ($C_8H_8N_6O_6$)



Figura 15: Murexida ($C_8H_8N_6O_6$)

j. Óxido Nítrico (N_2O)

k. Pellets de Hidróxido de sodio ($NaOH$)

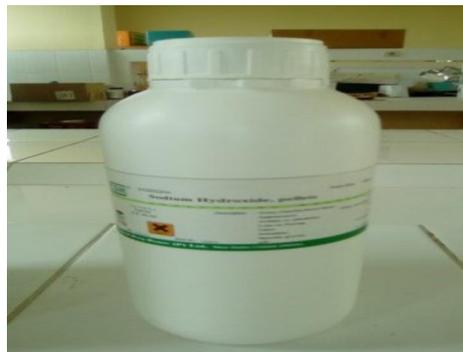


Figura 16 : Pellets de Hidróxido de sodio ($NaOH$)

3.2.3. MATERIALES DE VIDRIO

a. Bureta de 25 ml



Figura 17: Bureta de 25 ml

b. 9 depósitos de vidrio



Figura 18: Depósitos de vidrio

c. Embudo de vidrio de vástago largo.



Figura 19: Embudo de vidrio

d. Fiolas de 100, 250 y 500ml



Figura 20: Fiolas

e. Matraz Erlenmeyer de 250ml

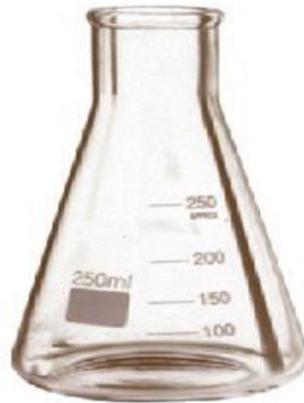


Figura 21: Matraz Erlenmeyer de 250ml

f. Placa Petri



Figura 22: Placa petri

g. Pipetas volumétricas de 10 ml y 25 ml



Figura 23: Pipetas volumétricas de 10 ml y 25 ml

h. Probeta de 10, 25,50 y 100ml



Figura 24: Probetas

i. Vasos precipitados 40 y 250ml



Figura 25: Vasos Precipitados

3.2.4. OTROS MATERIALES

a. Bandeja de plástico



Figura 26: Bandeja de plástico

b. Campana de desecación



Figura 27: Campana de desecación

c. Cápsula de porcelana



Figura 28: Capsula de porcelana

d. Cinta de pH



Figura 29: Cinta de pH

e. Micropipetas



Figura 30: Micropipeta

f. Mortero



Figura 31: Mortero

g. Papel filtro



Figura 32: Papel Filtro

h. Pera de succión

i. Pinzas



Figura 33: Pinzas de metal

j. Tamiz



Figura 34: Tamices

k. Vasos



Figura 35: Vasos de plástico

3.2.5. EQUIPOS

a. Absorción atómica



Figura 36: Absorción atómica

b. Agitador magnético

Marca: Nahita -STIRRER



Figura 37: Agitador magnético

c. Agitador Digital

Marca: Ika MS3



Figura 38: Agitador Digital

d. Balanza Analítica

Marca: Precisa Gravimetrics

Modelo: 12VDC6W

Serie: 321LX



Figura 39: Balanza Digital

e. Balanza digital



Figura 40: Balanza Digital

f. Balanza triple brazo



Figura 41: Balanza de triple brazo

g. Cámara Extractora



Figura 42: Cámara Extractora

h. pH metro

Marca: SPARK



Figura 43: pH metro

i. Estufa

Marca : Blue-M

Modelo : SW-17TC-1

Serie : SW- 1990



Figura 44: Estufa

j. Mufla

Marca: Thermolyne

Serie: 1300 Furnace



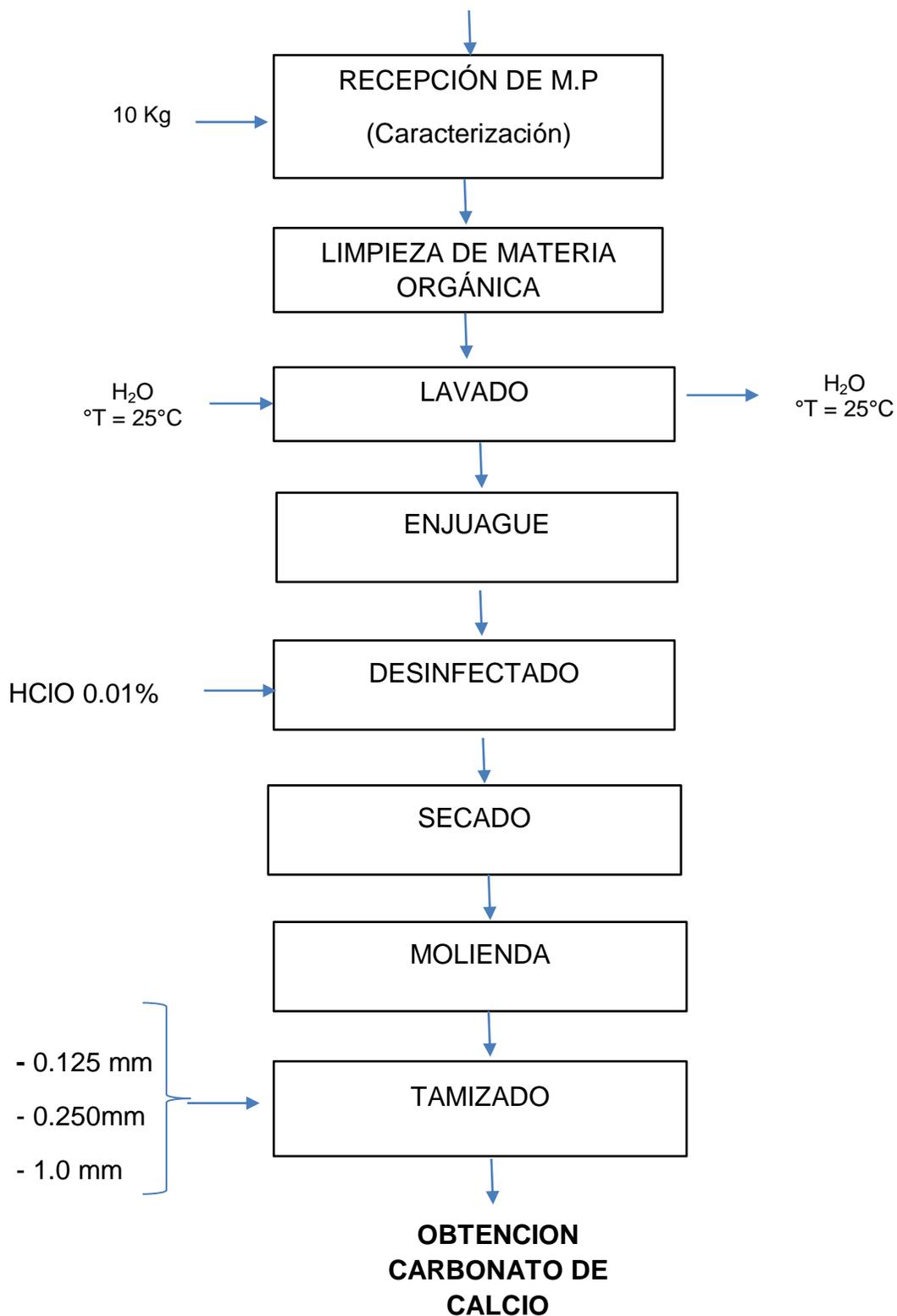
Figura 45: Mufla

3.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO

3.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO DEL CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

MATERIA PRIMA

Cáscara de huevo



a. Recepción

La materia prima fue recepcionada en el laboratorio de química Analítica, realizando una inspección visual del producto.



Figura 46: Recepción de la Materia Prima

b. Extracción de la materia orgánica

Se extrajo la materia orgánica con mucho cuidado, esto es para que la cascara quede libre de proteínas y posteriormente obtener solo carbonato de calcio.



Figura 47: Extracción de la materia orgánica.

c. Lavado

El lavado de la cascara de huevo se realizó por inmersión, con abundante agua a 25°C para eliminar la suciedad y contaminantes físicos.



Figura 48: Lavado de la cascara de huevo.

d. Desinfectada

Se desinfecto la cascara de huevo con HClO 0.01%, se agregó 6ml de HClO en 6 lt de H₂O por un tiempo de 2 minutos para evitar la proliferación de microorganismo y eliminar residuos orgánicos



Figura 49: Desinfectado de la cáscara de huevo

e. Secado

Este procedimiento consiste en dejar secar la cáscara de huevo a temperatura ambiente.



Figura 50: Secado de la cascara de huevo

f. Molienda

Este proceso de molienda se realizó utilizando un molino convencional, en esta etapa trituramos la cascara de huevo obteniendo el CaCO_3 .



Figura 51: Obtención del CaCO_3 .

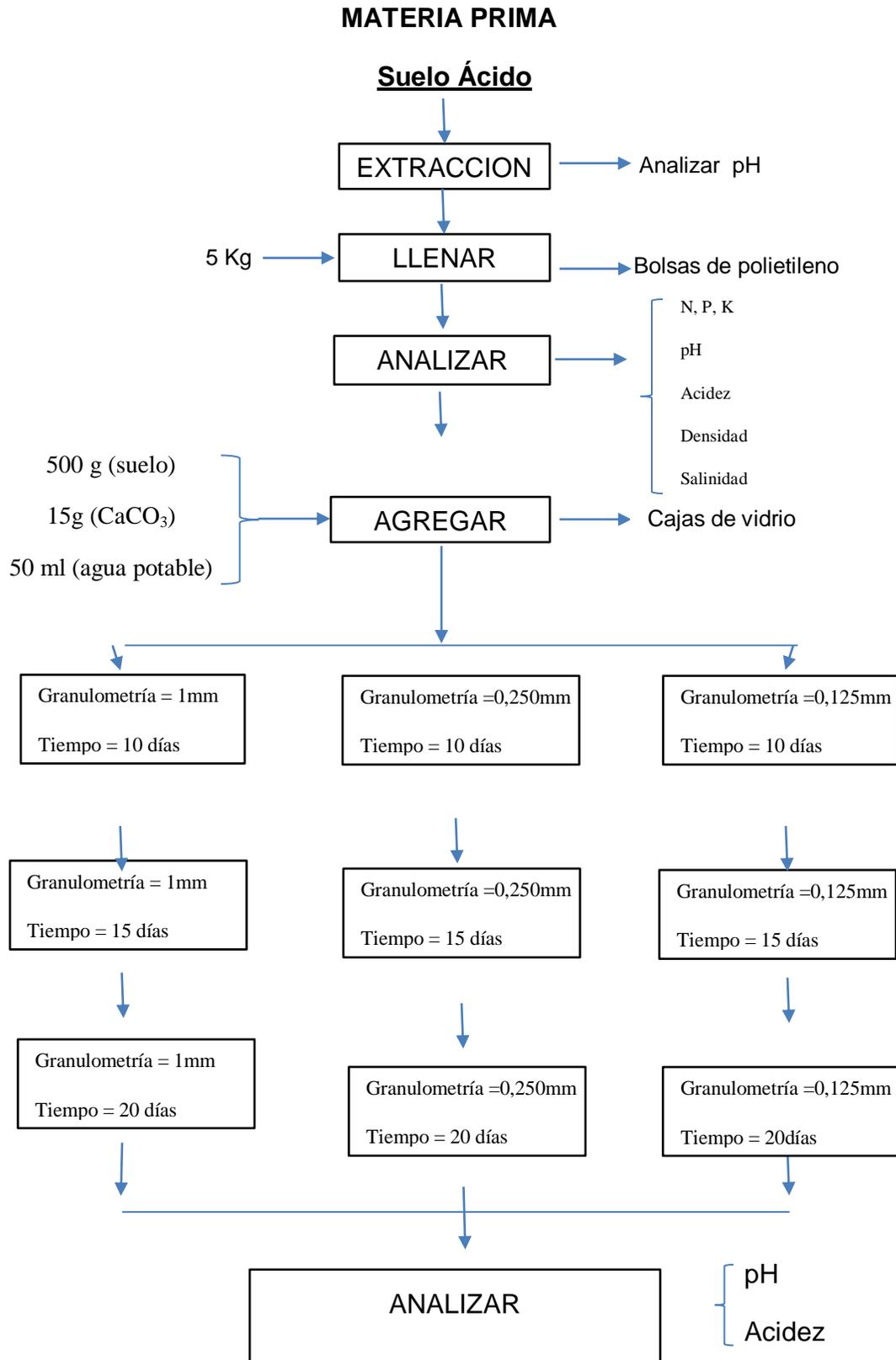
g. Tamizado

Consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz. Las de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las de mayor tamaño quedan retenidas por el mismo.



Figura 52: Tamizado de CaCO_3 .

3.3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO



a. Extracción

Tomar muestra de suelo, limpiando la superficie del terreno y depositándola en el balde. Las muestras deben ser tomadas entre 20 y 30 cm de profundidad.



Figura 53: Extracción de suelo

b. Llenar

Luego de evaluar una muestra de suelo con cintas de pH para constatar que sea ácido, llenamos en bolsas de polietileno para su previo análisis en el laboratorio

c. Analizar

Los análisis que se realizaron son:

N, P, K, pH, Acidez, Densidad, Salinidad.

Luego del análisis hecho en el laboratorio, las muestras de suelo ácido se colocarán en cajas de vidrio, conteniendo 500g de suelo, 15g de CaCO_3 , y 50 ml de agua potable. Previo CaCO_3 en diferentes granulometrías (1mm, 0.250mm, 0.125mm) respectivamente.



Figura 54: Muestras de suelo ácido en cajas de vidrio

Por cada tiempo de sacaremos muestras en vasos de plásticos para la previa evaluación de pH y acidez



Figura 55: análisis de pH de muestras de suelo

3.4. MÉTODOS.

3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA INICIAL Y FINAL

a. Análisis del Carbonato de Calcio Por el método volumétrico (EDTA)

Preparación del buffer.

- Pesar 6.8gr. Cloruro de amonio NH_4Cl



Figura 56: Peso de 6.8gr NH_4Cl

- Llevar a un vaso de 250ml y agregar 40ml de agua destilada.
- Llevar a una fiola de 100ml y agregar 57ml Amoniaco (NH_3)
- Adicionar 6 pellets de Hidróxido de sodio (NaOH) y aforar con agua destilada.



Figura 57: Adición de NaOH

b. Determinación de la dureza Total (Valoración de EDTA)

- Pesar 1gr de carbonato de calcio (CaCO_3)



Figura 58: Pesado 1 g de CaCO_3

- Llevar a un matraz y agregar 50ml de agua destilada.
- Agregar a una probeta 10ml de buffer y agregar al matraz.



Figura 59 : Añadiendo buffer

- Y un poco de ericromo (EBT).



Figura 60: Añadiendo ericromo

- Titular con EDTA de color rojo vino hasta azul puro, gasto v_1 ml de EDTA.
- Hacer prueba en blanco; gastó v_2 ml.
- El de valoración en ml es $V = v_1 - v_2$



Figura 61: Titular con EDTA (Rojo vino hasta azul puro)

- Para los cálculos se utiliza la siguiente fórmula:

$$DUREZA\ TOTAL = 4000 \times M \times V$$

Dónde:

M= molaridad de EDTA

V= ml de EDTA gastados

La dureza total se expresa en ppm de CaCO_3

c. Determinación de la dureza Cálcica

- Pesar 1gr de carbonato de calcio (CaCO_3)



Figura 62: peso 1 g de CaCO_3

- Llevar a un matraz y agregar 50ml de agua destilada.
- Agregar a una probeta 10ml de buffer y agregar al matraz.
- Añadir de 0.1 a 0.2 g de murexida (indicador en polvo).



Figura 63: Añadiendo murexida

- Titular con EDTA de rosado a purpura. Considerar el gasto V_1 .



Figura 64: Titulación con EDTA (De rosado a purpura)

- Hacer prueba en blanco con 50 ml de agua destilada. Considerar el gasto V_2 ml.
- El gasto de titulación en ml es $V = V_1 - V_2$

– Para los cálculos se utiliza la siguiente fórmula:

$$DUREZA\ CÁLCICA = 4000xMxV$$

Donde:

M= molaridad de EDTA en la titulación

V= ml de EDTA gastado.

d. Determinación de la dureza de calcio

$$ppm\ de\ Ca = Dureza\ Cállica\ (PM\ de\ Ca) / (PM\ de\ CaCO_3)$$

$$ppm\ de\ Ca = 0.400x\ (Dureza\ Cállica)$$

e. Determinación de Magnesio

$$ppm\ de\ Mg = Dureza\ Magnésica\ (PM\ de\ Mg) / (PM\ de\ CaCO_3)$$

$$ppm\ de\ Mg = 0.243\ x\ (Dureza\ Magnésica)$$

f. Determinación de Dureza Magnésica

$$DUREZA\ MAGNÉSICA = DUREZA\ TOTAL - DUREZA\ CÁLCICA$$

g. Análisis de calcio por el método de espectrofotómetro de absorción atómica a la llama. Método A.O.A.C 985.35

Calibración del equipo con solución de cobre (Cu) a 5ppm.

– Se preparó una solución diluida a 5ppm de cobre desde una solución estándar a 1000ppm de Cu, utilizando agua ultra pura UP para dilución.

- Se realizó la lectura de la solución de Cu a 5ppm en el espectrofotómetro de absorción atómica, calibrando la altura, ángulo y movimiento horizontal del mechero, el flujo de combustible, microajuste de la bola de impacto en la cámara de nebulización, para lograr obtener una absorbancia de 0.5 a más.



Figura 65: Calibración del espectrofotómetro de Absorción atómica con solución de cobre (Cu)

Preparación de la curva de calibrado de calcio.

- Se utilizó un estándar de calcio a una concentración de 1000ppm, del cual se extrajo pequeñas cantidades para la preparación de soluciones a diferentes concentraciones.
- Las concentraciones de las soluciones de calcio fueron de 0.5ppm, 1ppm y 1.5ppm



Figura 66: Diluciones.

Cuadro 6: Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm (μl). Para la preparación de la curva de calibrado.

Concentración de solución de calcio (ppm)	Volumen extraído del estándar de calcio a 1000ppm(μl)
1	12.5
2	25
3	37.5

FUENTE: Propio

- La cantidad calculada de solución estándar para cada punto se colocó en un vaso de 25ml con HNO_3 al 1% para luego agregar a cada fiola, luego aforamos con agua ultra pura y agitamos.



Figura 67: Agitando la muestra

Digestión del carbonato de calcio en un horno microondas.

- Se tamizo el carbonato de calcio, posteriormente se pesó 0.12 de muestra. Esto para cada tratamiento.



Figura 68: tamizado y pesado del CaCO_3

- Se agregó 10ml de ácido nítrico (HNO_3) concentrado, en el tubo de digestión. Este procedimiento se realizó en la cámara de extracción dejándolo reposar por un $t= 15$ min, con la tapa abierta para la expulsión de gases.



Figura 69: adición de ácido nítrico en tubos de digestión

- Se agregó la muestra previamente homogenizada y pesada al tubo de digestión, colocando de manera adecuada la cantidad de tubos permitidos por el equipo.



Figura 70: Tubos de digestión en el microondas

- Se dejó digerir por un tiempo de 15 min. A una temperatura de 210°C y luego enfriar automáticamente con el mismo equipo hasta una temperatura máxima de 75°C.



Figura 71: Microondas

- Después de la digestión, los tubos se destaparon en la cámara de extracción de gases.
- Posteriormente la mezcla de digestión se colocó a tubos cubitados de 50ml, completamente con ácido nítrico (HNO_3) hasta 10 ml (esto si hubo evaporación del ácido), para luego aforar con agua pura hasta un volumen total de 50ml.

Lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica.

- Se realizó la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica a una longitud de onda de $\lambda = 219,3$, así mismo se calculó la concentración de calcio en cada muestra.

Cuadro 7: Parámetros de digestión y lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica

Parámetros	Muestra solida (CaCO₃)
Relación muestra:	0.12g
Ácido nítrico	muestra + 10ml Ácido nítrico (HNO ₃)
°T de digestión (min)	210
Tiempo de digestión	15
Longitud de onda para determinación de calcio (nm)	219.3
Flujo de toma muestra (ml/seg)	0.12
Flujo de combustible(L/min)	1.2
Longitud del mechero (nm)	50
Altura de mechero (mm)	10.2
Presión de aire UHP (psi)	30
Presión de gas Acetileno (psi)	10
Presión de gas Óxido Nitroso (psi)	40

h. Determinación del % de humedad en la cáscara de huevo

- La determinación del contenido de humedad se determinó por efecto de la gravimetría en la estufa a temperatura de 115 °C por un tiempo de 3 horas, según el método descrito por la A.O.A.C (1991), descrito por Pearson.

$$\%Humedad = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Dónde:

P₁ = Peso del crisol más muestra

P₂ = Peso del crisol más muestra seca

m = Peso de muestra



Figura 72: Determinación de humedad en cáscara de huevo

i. Determinación del % de cenizas en la cáscara de huevo

- La determinación del % de cenizas en seco es el método más común para determinar la cantidad total de minerales y este método se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra, se determinó por incineración de la muestra por 12 horas según A.O.A.C (1995).

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de ceniza (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Dónde:

P_1 = Peso del crisol más muestra

P_2 = Peso del crisol más muestra seca

m = Peso de la muestra



Figura 73: Determinación de cenizas en cáscara de huevo

j. Determinación de acidez en el suelo

- Se determina mediante una valoración (volumetría) con un reactivo básico. El resultado (para el índice de acidez) se expresa como el % del ácido predominante en el material.
- Principio y aplicación Metodología para la determinación de la acidez intercambiable por el método de Barnhisel y Bertsch que utiliza cloruro de potasio. Además de las bases (Ca, Mg, Na y K) también hay una cantidad de acidez que puede ser desplazada del complejo intercambiable del suelo

Soluciones:

- Cloruro de potasio 1 M. Pesar 74.55 g de KCl en un matraz volumétrico de un litro, disolverlo y aforar con agua. Finalmente ajustar el pH a 7.0
- Hidróxido de sodio 0.1 M. Pesar 4 g de NaOH y disolverlos en 1 L de agua (valorarlo con HCl 0.1 M de referencia certificado).
- Ácido clorhídrico 0.1 M. (valorado). 4. Fenolftaleína a 0.5% (p/v) en etanol. Pesar 0.5 g de fenolftaleína en un matraz volumétrico de 100 ml, disolverlo con etanol y aforar. 5. Solución de fluoruro de potasio 1 M. Pesar 58.1 g de fluoruro de potasio en un matraz volumétrico de 1 L y aforar con agua.

Procedimientos

- Pesar 5 g de suelo en un tubo de polietileno.
- Adicionar 50 ml de la solución de KCl 1 M.

- Tapar el tubo y agitar mecánicamente durante 30 minutos.
- Destapar los tubos y centrifugar durante 10 minutos a 2 500 rpm.
- Filtrar el sobrenadante en un vaso de precipitado de 100 ml.
- Tomar una alícuota de 40 ml con una pipeta volumétrica, y transvasarla en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- Agregar cinco gotas de fenolftaleína a 0.5% y titular con hidróxido de sodio 0.1 M valorado, hasta un punto final de rosa permanente.
- Titular un blanco (igual volumen que muestra, de cloruro de potasio 1 M) de la misma forma.
- Después de registrar el gasto de NaOH, agregar 2 ml de fluoruro de potasio 1 M a la misma solución problema y titular con HCl 0.1 M valorado, hasta la desaparición del color rosa.
- Después de 30 minutos agregar HCl 0.1 M valorado adicional, hasta un punto final claro.

Cálculos

- El aluminio e hidrógeno extraídos son calculados como sigue:

$$\text{Acidez intercambiable (cmol (+) kg}^{-1}\text{)} = \frac{(a-b)}{s} (M \times 100)$$

Dónde:

a = ml de NaOH gastados en la muestra.

b = ml de NaOH gastados en el blanco.

M = molaridad de la solución de NaOH.

s = peso de la muestra, en gramos.

$$\text{Acidez intercambiable (cmol (+) kg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{mL HCl} \times \text{M} \times 100}{\text{g de muestra}}$$

Acidez de H⁺ (c mol (+) kg⁻¹) = acidez como KCl - Al intercambiable Donde:

M = muestra.

t = testigo.

M = molaridad.

k. Determinación de pH en el suelo

- Se utilizará el equipo del pH metro Spark.
- Se pesan 20 g de suelo en un vaso de 100ml y se añaden 50ml de agua destilada.
- Se agita durante 10 min.



Figura 74: Agitando muestra de suelo en un vaso

- Se introduce el electrodo de pH y se anota.



Figura 75: Analizando pH de suelo

1. Determinación de la salinidad en el suelo

- Pesar 10 g de muestra, agregar en un vaso.



Figura 76: Peso de suelo ácido

- Agregar 100ml de agua destilada.
- Filtrar y tomar 50 ml de muestra en un vaso



Figura 77: filtración de muestra

- Secar el vaso en la estufa y enfriar.
- Agregar los 50 ml de la muestra.
- Secar a la estufa 100°C
- Pesar el vaso con la muestra seca.
- Para calcular, la diferencia entre el peso final y el peso del vaso, es el peso del residuo de la desecación que corresponde al contenido en sales solubles del suelo.

m. Determinación de la densidad del suelo.

- Secar el suelo acido a una temperatura 120°C por un tiempo de 1 hr.



Figura 78: Secando el suelo en la estufa

- En una probeta de 50ml lavada y seca.
- Agregar a la probeta 50ml de agua potable.
- Posteriormente añadir 5g de la muestra seca (suelo)

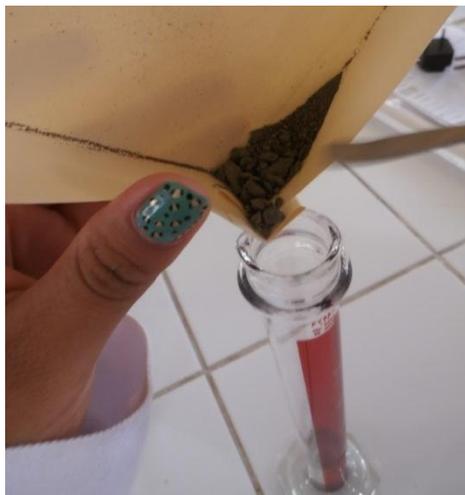


Figura 79: Añadiendo muestra seca en la probeta

- Para poder determinar la densidad ver el desplazamiento del agua, y así obtener el volumen y poder reemplazar en la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$



Figura 80: Probeta con muestra añadida

n. Determinación de la N, P, K

- Nitrógeno: UNE- EN ISO 5983-2 Parte 2 Dic. 2006
- Fósforo, potasio: EPA 200.7
- Muestra recepcionada en Laboratorios de COLECBI S.A.C.

o. Determinación de la granulometría óptima

- Se utilizó el método 204.1 de la Norma MIL-STD-650.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño estadístico que se aplicara consiste en un diseño completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 3x3, 3 valores de granulometría (A) y 3 tiempos diferentes (B) para cada una de ellas, es decir, tratamientos con 3 repeticiones para cada interacción, siendo un total de 27 experimentos.

Cuadro 8: Representación del experimento factorial

		Granulometrías								
		Granulometría 1mm			Granulometría 0,250 mm			Granulometría 0,125 mm		
		t=10	t=15	t= 20	t=10	t=15	t= 20	t=10	t=15	t= 20
Ph	R1	R7	R13	R19	R25	R31	R37	R43	R49	
	R2	R8	R14	R20	R26	R32	R38	R44	R50	
	R3	R9	R15	R21	R27	R33	R39	R45	R51	
Acidez	R4	R10	R16	R22	R28	R34	R40	R46	R52	
	R5	R11	R17	R23	R29	R35	R41	R47	R53	
	R6	R12	R18	R24	R30	R36	R42	R48	R54	

3.5.1. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$H_0 : A_i = 0$$

$$H_0 : B_i = 0$$

$$H_1 : \text{Al menos un } A_i \neq 0$$

$$H_1 : \text{Al menos un } A_i \neq 0$$

Cuadro 9: ANOVA (Análisis de Varianza)

F.V	SC	GL	CM	FC
Efecto de A	SC_A	$(p - 1) = 2$	$SC_A/(p-1)$	CM_A/CM_e
Efecto de B	SC_B	$(q - 1) = 2$	$SC_B/(q-1)$	CM_B/CM_e
Efecto de AB	SC_{AB}	$(p - 1)(q - 1) = 4$	$SC_{AB}/(p-1)(q-1)$	CM_{AB}/CM_e
Error	SC_{error}	$(pq)(r - 1) = 18$	$SC_{error}/(pq)(b-1)$	
Total	SC_{total}	$(pqb - 1) = 26$		

Dónde:

A: Granulometría

B: Tiempo

r: repeticiones

Niveles del factor:

p: granulometría = 3

q: tiempo = 3

r: repeticiones = 3

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA.

4.1.1. CARBONATO DE CALCIO (CaCO₃)

Las características iniciales promedio del carbonato de calcio (CaCO₃) utilizada en la investigación se presenta en el cuadro 9. Dentro de las características más relevante se analizó el porcentaje de humedad, cenizas, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica y calcio por espectrofotometría de absorción atómica.

Cuadro 10: Características Fisicoquímicas del carbonato de calcio (CaCO₃) a partir de la cáscara de huevo.

PARÁMETRO	VALOR
Humedad (%)	6.7
Cenizas (%)	6.5
Dureza Total (ppm)	812
Dureza Cálcica (ppm)	764
Dureza Magnésica (ppm)	48
Calcio (mg de Ca/100gr muestra)	0.16375

FUENTE: Propio

El contenido de humedad en la cáscara de huevo fue de 6.7%, el análisis se determinó por método analítico de gravimetría en la estufa a temperatura de 115 °C por un tiempo de 3 horas, según el método descrito por la A.O.A.C (1991), descrito por Pearson.

El porcentaje de ceniza en la cáscara de huevo fue de 6.5%, el análisis se determinó por incineración de la muestra por 12 horas según A.O.A.C (1995).

La dureza total en la cáscara de huevo fue de 812 ppm, la dureza cálcica en la cáscara de huevo fue 764 ppm, la dureza magnésica en la cáscara de huevo fue 48 ppm, estos análisis fueron realizados por el método volumétrico (EDTA).

El calcio en la cáscara de huevo fue de 0,16375 mg de Ca/100gr muestra, el análisis se realizó por el método de espectrofotómetro de absorción atómica a la llama. Método A.O.A.C 985.35

4.1.2. SUELO

Las características iniciales promedio del suelo ácido utilizada en la investigación se presenta en el cuadro N° 09. Dentro de las características más relevante se analizó el porcentaje de N, P, K, pH, acidez, densidad.

Cuadro 11: Características Fisicoquímicas del suelo.

PARÁMETRO	VALORES	
	Antes	Después
Ph	5.5	7.6
Acidez (cmol(+) \times kg ⁻¹)	0.8	0.28
Nitrógeno (%)	0.03	0.05
Fósforo(ppm)	8.16	10
Potasio(kg/Ha)	145	350
Densidad (g/ml)	1.8	1.67

FUENTE: Propio, Colechi.

Al analizar el suelo obtenido del Valle del Santa se corroboró que es un suelo ácido ya que arrojó un pH de 5.5, de manera que al aplicar el CaCO_3 (obtenida de la cáscara de huevo), se logró mejorar el suelo, el cual se aplicó en forma de cal agrícola. Según Sadzawka (1999), indica que la expresión logarítmica de los valores de pH significa que por cada unidad de cambio de pH de una solución corresponde una variación de 10 veces en la actividad de H^+ . Por ello, un suelo de pH 5.5 es 10 veces más ácido que un suelo de pH 6.5, mientras que un suelo de pH 4.5 es 100 veces más ácido que un pH de 6.5. Cuando el pH de la solución de suelo baja, por ejemplo de 6 a 5, ello significa un aumento de 10 veces en la concentración de iones de hidrógenos y, también, una disminución equivalente de iones hidroxilos.

Al analizar el suelo obtenido del Valle del Santa se corroboró que es un suelo ácido ya que arrojó una acidez de $0.8 \text{ cmol (+) x kg}^{-1}$, Según Carballo y Molina, (1993). En resumen, se puede indicar que los problemas de acidez aumentan cuando se presenta las siguientes condiciones del suelo:

$\text{pH} < 5.5$

Acidez o Al intercambiable $> 0.5 \text{ cmol (+)/L}$.

Suma de bases ($\text{Ca}^+ \text{ Mg}^+ \text{ K}$) $< 5 \text{ cmol (+)/L}$

Saturación de acidez $> 20\%$

El pH del suelo está directamente relacionado con el % de saturación de acidez, ya que el aluminio intercambiable precipita entre pH 5.5 y 6.0. Cuando el pH es menor de 5.5 el aluminio se solubiliza, y por lo tanto, resulta más abundante y tóxico para las plantas.

Según Hans W. Fanssnyder, La acidez del suelo se puede reducir a través de aplicaciones de piedra caliza o dolomítica en forma de cal agrícola, que contiene también magnesio. La alcalinidad del suelo se reduce con la aplicación de fertilizantes ácidos u otros materiales tales como el amonio, sulfato, fluor de azufre o sulfato férrico.

La cantidad de nitrógeno que se obtuvo en el suelo ácido con un pH de 5.5 fue de 0.03%. Según Bornemisza, E. (1965), el contenido de nitrógeno total en suelos ácidos, va desde; muy bajo <0.025 %, bajo 0.025 a 0.037 %, medio 0.037 a 0.062%, alto 0.062 a 0.087%, hasta Muy alto >0.087%. Según Gonzales, M. (1967), La cantidad de N en el suelo es baja en contraposición de lo que consumen los cultivos que es muy alta. El N: Favorece el crecimiento vegetativo, Da el color verde a las hojas, sin embargo, un exceso de este elemento retarda la maduración, debilita la planta, puede bajar la calidad del cultivo y puede provocar menor resistencia a enfermedades.

Al comparar los resultados obtenidos con la bibliografía nos indica que la cantidad de nitrógeno según su clasificación se encuentra en el rango bajo.

La cantidad de fósforo obtenido en un suelo ácido con un pH igual a 5.5 fue de 8.16 ppm., el cual está dentro del rango, según Bornemisza, E. (1965) En suelos ácidos el fósforo tiende a reaccionar con aluminio, hierro y manganeso, mientras que, en suelos alcalinos, la fijación dominante es con el calcio. El rango de pH óptimo para la disponibilidad máxima del fósforo es de 6.0-7.0. El contenido de fósforo es de 30-50 ppm, aunque se comprobó que se puede reducirla a 10-20 ppm. En las soluciones de nutrientes que fluye continuamente, la concentración de fósforo puede ser incluso tan bajo como 1-2 ppm.

Al comparar el resultado obtenido con bibliografía, el valor se encuentra dentro del rango que corresponde a un suelo ácido.

La cantidad de potasio obtenido en un suelo ácido con un pH igual a 5.5 fue de 145 kg/Ha, En el cuadro 1 se muestran los niveles críticos de Potasio, según Garavito Neira (1979).

Cuadro 1: Valores Críticos De Potasio

K⁺ kg /HA	Clasificación
< 146.6	Bajo
146.6 - 293.3	Medio
> 293.3	Alto

Comparando el valor de 145 kg/Ha, con el cuadro 1, se observa que la cantidad de K, es bajo lo que corresponde a un suelo ácido.

Según Munson, R.D (1985) Para mejorar la disponibilidad y /o asimilabilidad del K en el suelo, se deben considerar que la absorción de K es óptima en pH cercano al neutro. Suelos ricos en minerales fijadores de K disminuye su poder de fijación con el aumento de la acidez. A la inversa, cuando se proporciona cal estos suelos la fijación aumenta. Además su deficiencia es frecuente en suelos ácidos debido al intenso lavado que se asocia a estos valores de pH

La densidad obtenida en un suelo ácido con un pH igual a 5.5 fue de 1.67 g/ml. Según FAO (2000). La densidad de los suelos está relacionada con otras características de los suelos. Por ejemplo, los suelos ácidos tienen una mayor densidad (1.2 a 1.8 g/cm³) que los suelos alcalinos (1.0 a 1.6 g/cm³), los cuales tienen un mayor volumen.

4.2. DETERMINACIÓN DEL PH EN EL SUELO

Cuadro 12: Variación del pH a diferentes tiempos y granulometrías

DÍAS	Granulometría 0,125mm	Granulometría 0,250 mm	Granulometría 1mm
	Ph	pH	pH
t=10	6.8	6.7	6.5
	6.9	6.7	6.5
	6.9	6.7	6.4
t=15	7.3	7.1	6.7
	7.3	7.2	6.8
	7.3	7.2	6.8
t= 20	7.5	7.3	7.0
	7.6	7.3	7.0
	7.6	7.3	7.0

FUENTE: Propio

Los resultados mostrados en la tabla 10 nos indican la efectividad de las diferentes granulometrías aplicadas (0.125, 0.250 y 1mm) al suelo ácido en cuanto a la variación de pH a diferentes tiempos.

Según Espinosa, J (1980) nos dice que la fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción. A medida que se reduce el tamaño de la partícula de cualquier material de encalado se aumenta el área o superficie de contacto. Entre más superficie específica tenga el material, más rápido reacciona la cal en el suelo.

Contrastando con la bibliografía se observó que al evaluar las diferentes granulometrías empleadas hay una mayor velocidad de reacción en una granulometría de 0.125mm; logrando mejorar un suelo ácido con pH de 5.5 a un pH=7.6

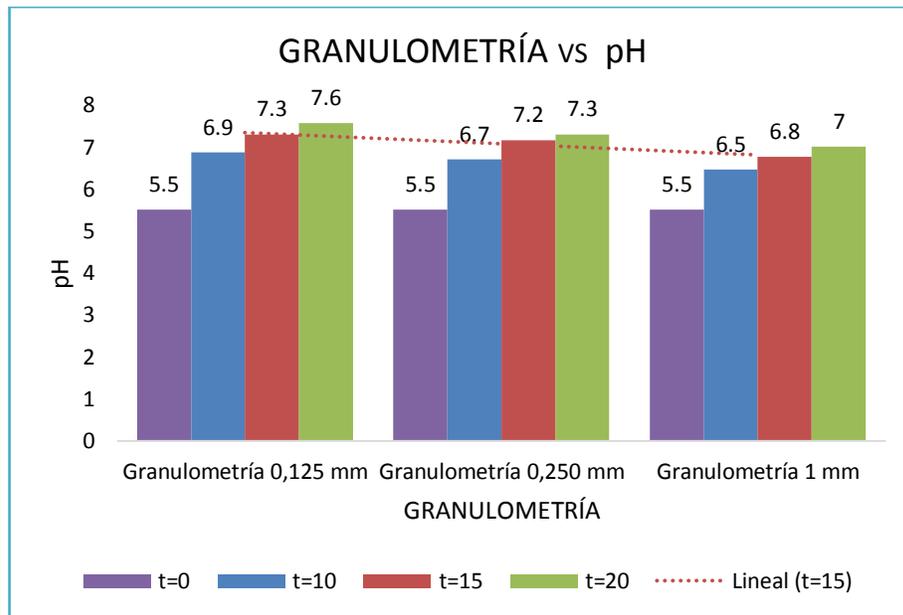


Figura 81: Variación del pH del suelo a diferentes tiempos y granulometrías

En el siguiente gráfico de barra, se observa claramente un incremento del pH, que a mayor tiempo, $t = 20$, y a una granulometría menor de 0,125 mm, se logra mejorar el suelo de un pH inicial de 5.5 a un pH de 7,6. También se observa en dicha gráfica que a un tiempo $t = 20$, en una granulometría de 0,250 y 1mm se obtiene un pH de 7.3 y 7 respectivamente, lo cual demuestra una diferencia mínima en el resultado.

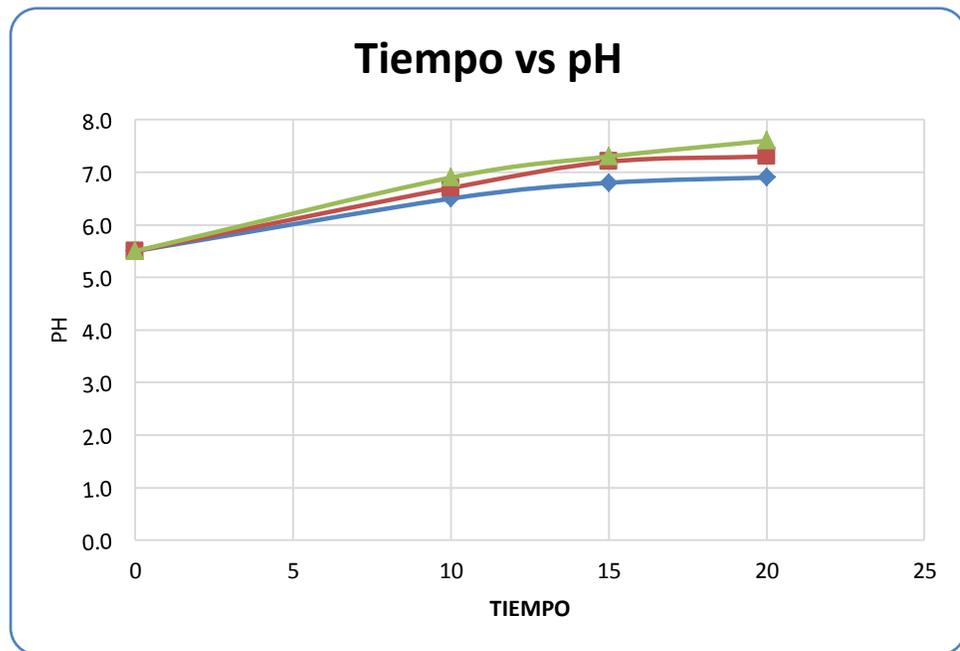


Figura 82: Tiempo y pH

En la figura se observa el comportamiento del pH v.s el tiempo de reacción con el CaCO_3 . Logrando mejorar un $\text{pH}=5.5$ a 7.6 del suelo, hasta el día 20. También se observa que en el día 15 se logró obtener un pH de $7,3$ quedando demostrado que este tiempo de reacción es óptimo para poder mejorar un suelo ácido.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA ACIDEZ DEL SUELO

Cuadro 13: Variación de la acidez a diferentes tiempos y granulometrías

	Granulometría 0.125mm	Granulometría 0.250mm	Granulometría 1mm
	Acidez	acidez	Acidez
T=0	0.8	0.8	0.8
T=10	0.47	0.55	0.57
T=15	0.38	0.51	0.5
T= 20	0.28	0.32	0.35

FUENTE: Propio

Los resultados mostrados en el cuadro 12 nos indican la efectividad de las diferentes granulometrías aplicadas (0.125, 0.250 y 1mm) al suelo acido en cuanto a la variación de la acidez a diferentes tiempos.

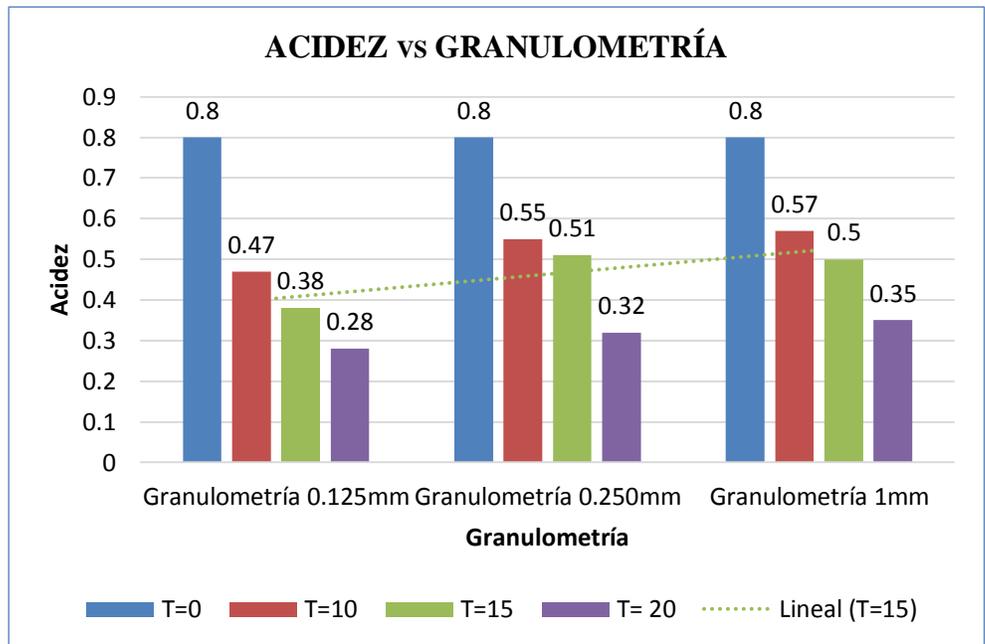


Figura 83: Variación de acidez del suelo a diferentes tiempos y granulometrías.

En el siguiente gráfico de barra, se observa claramente la disminución de la acidez, que a mayor tiempo, $t = 20$, y a una granulometría menor de 0,125 mm, se logra mejorar el suelo de una acidez inicial de 0.8 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ a una acidez de 0.28 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$.

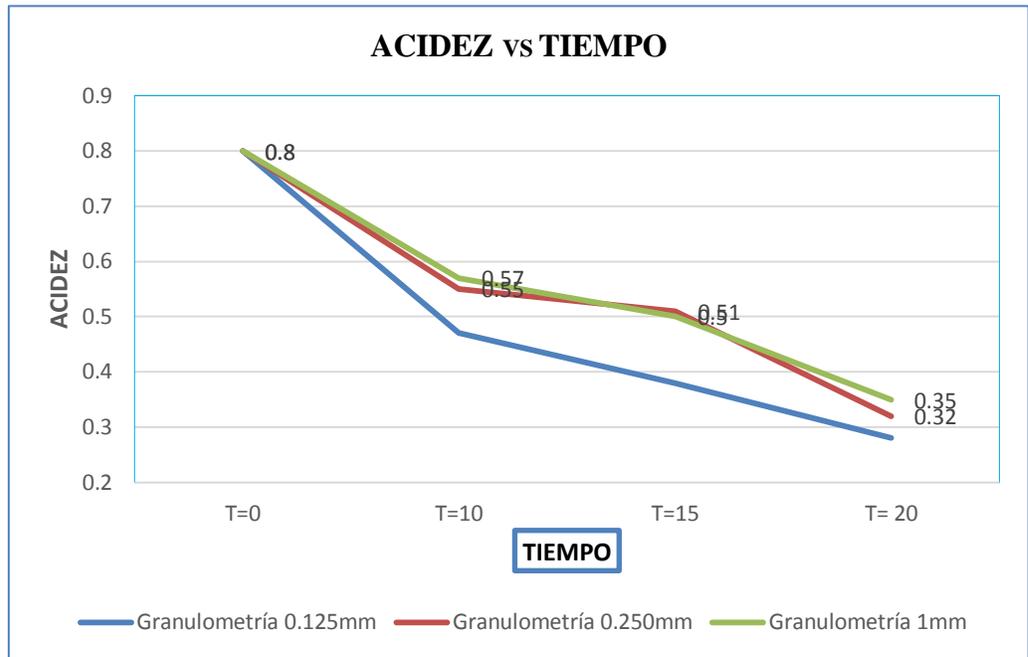


Figura 84: Variación de la acidez con respecto al tiempo

En el grafico se observa el comportamiento de la acidez v.s el tiempo de reacción con el CaCO_3 a diferentes granulometrías. Logrando mejorar una acidez de $0.8 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ a $0.28 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ del suelo, hasta el día 20.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la granulometría óptima del carbonato de calcio (CaCO_3) es de 0.125mm; obtenida de la cascara de huevo, de manera que se logró mejorar el suelo ácido en el valle del Santa.
- Se determinó que la concentración existente de calcio es de 0.16375 mg de Ca/100gr muestra) en la cáscara de huevo
- Se constató que el análisis de suelo es una herramienta de gran utilidad que sirve para comprobar y diagnosticar los iones que carece el suelo y establecer recomendaciones de fertilización.
- Se determinó que la cantidad óptima de carbonato de calcio (CaCO_3) es de 1670 kg CaCO_3 / ha, para el mejoramiento de suelos ácidos

5.2. RECOMENDACIONES

- Determinar la cantidad del CaO contenidas en el CaCO_3 para los diferentes usos de la industria agrícola, minería y azucarera.
- Es necesario seleccionar parcelas de igual tamaño en una sección del campo que sea uniforme y representativa. El tamaño de las parcelas puede estar alrededor de 25 m^2 (5 x 5 m), pero esto depende de la disponibilidad de terreno y de la facilidad.
- En el mundo agrícola y agroindustrial, se recomienda el análisis de suelo ya que es una herramienta de gran utilidad para diagnosticar problemas y poder aplicar el fertilizante necesario, para obtener productos orgánicos.
- Antes de suministrar CaCO_3 , realizar un análisis en un laboratorio de ensayo, para saber añadir la dosis exacta al terreno
- Se recomienda la aplicación de CaCO_3 a los suelos ácidos para su mejoramiento, ya que es un método rápido y de bajo costo que le permite ser utilizado ampliamente por los agricultores y empresas.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Acón Delgado, Renatto. Arroyo Polo, Ricardo. Benites Tenorio Jhon. Paredes Renteria, Andrés. Villasís Valiente, Juan Carlos. “Tratamiento de los residuos sólidos del procesamiento de la concha de abanico (*Agropectum Purpuratus*) para la obtención de carbonato de calcio”. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo de Chiclayo (2013).
2. Arellano María, Álvarez maría, Pacheco Laura, pares maría, Páez Pedro, Pineda Carla. “elaboración de pastillas de calcio a partir de cascara de huevos para suplemento nutricional como alternativa ecológica”. U.E. Colegio” Andrés Eloy Blanco” Barquisimeto- EDO. LARA de Venezuela (2013)
3. Bornemisza, E. Conceptos modernos de la acidez del suelo, Turrialba 15 (1): 20-24, (1965)
4. Eloy Molina, M. Sc. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica, “Acidez de suelo y encalado”, Tomado de: Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo, ACCS, San José, Costa Rica. p.45
5. Fernández, M y Arias, J.(2010). La cáscara de huevo: Un modelo de biomineralización. Monografías de medicina veterinaria. 20(2). Recuperadode:<http://www.revistas.uchile.cl/index.php/MMV/article/view/5017/2903>. (junio,2014).

6. Garavito Neira Fabio. 1979. Propiedades Químicas de los Suelos. Bogotá D.E. 2a. Edición. Capítulo IX El Potasio en el Suelo. 275-288pp.
7. Gómez, D. 2011. Cuantificación de calcio en soluciones caseras que contienen cascara pulverizada de huevo de gallina (*gallus gallus*). Universidad de san Carlos de Guatemala- Facultad de ciencias químicas y farmacia Guatemala.
8. Guzmán, A. 2009. Obtención del Citrato de Calcio de la Cáscara de Huevo y su Utilización en Diferentes Dosis (0.1, 0.2, 0.3 %) para la Elaboración de Salchichas Frankfurt. Riobamba- ecuador.
9. Héctor A. Paz R.2 , Edgar Lozano V.2 , Sanín Ortiz G.3 , Juan Valverde P.4 , Harry Cortés R. “Obtención de carbonato de calcio de conchas de piangua”
10. Hugo Castro¹, Óscar Munevar² A., M.Sc., Profesor Titular, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo de Investigación Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales, Gissat-Uptc“ Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes”, (Julio - Diciembre, 2013).
11. Impactos ambientales del cultivo de concha de abanico en la Bahía de Samanco – Perú. Tania Garro Minaya y Julio Prado Rodríguez.

12. INCAP, OPS (2007) Tabla de composición de los alimentos de Centroamérica. 2^a Edición. Guatemala.
13. Instituto Nacional de Estadística e Informática. *INEI*. s.f. <http://www.inei.gob.pe/> (último acceso: 24 de Abril de 2013).
14. Manual on integrated soil management and conservation practices , FAO (2000)
15. Ricardo Rivas PhD en Toxicología Agrícola, Artículo de “Utilización de calcio agrícola para mejorar acidez, alcalinidad y salinidad”
16. Sadzawka R.A y R. Campillo R. 1993. Problemática de la acidez de los suelos de la IX Región. I. Génesis y características del proceso. Investigación y Progreso Agropecuario Carillanca p:3-7
17. SpecialChem. (n.d.). Precipitated Calcium Carbonate: Manufacturing Process. Recuperado el 12 de Septiembre de 2014, de <http://www.specialchem4polymers.com/tc/precipitated-calcium-carbonate/?id=3604>

VII. ANEXOS

ANEXO

1

Anexo 1: PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO

CLASIFICACION DE GASTOS (DESCRIPCIÓN)	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNID.(S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
Material de oficina y escritorio				
Papel Bond A4	millar	20	S/. 20.00	80
Lapiceros	Unid.	10	S/. 0.50	5.00
Tinta de impresión a color Hp	Unid.	1	S/. 70.00	70.00
Tinta de impresión en negro	Unid.	1	S/. 70.00	70.00
Otros	Global	1	S/. 50.00	50.00
Subtotal				S/. 275.00
Gastos de experimentación				
Cascara de huevo y otros				500.00
Subtotal				S/. 500.00
Servicios				
Internet	Horas	200	S/. 1.00	200.00
Copias	Unid.	1000	S/. 0.05	50.00
Espiralado	Unid.	8	S/. 3.00	24.00
Empastado	Unid.	5	S/. 40.00	200.00
Empastado	Unid.	5	S/. 40.00	200.00
CD	Unid.	4	S/. 5.00	20.00
Subtotal				S/. 494.00
Otros				
Pasajes	Global	2	S/. 300.00	600.00
Materiales diversos (baldes, tazones y recipiente de vidrio).	Global	1	S/. 300.00	300.00
Imprevistos	Global	2	S/. 50.00	100.00
Subtotal	S/. 1,000.00	Subtotal	S/. 1,000.00	Subtotal
INVERSION TOTAL				S/ 2119.00

ANEXO

2

Anexo 2: CÁLCULOS DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA

1. Determinación de la dureza Total (Valoración de EDTA)

– Para los cálculos se utiliza la siguiente fórmula:

$$**DUREZA TOTAL = 4000xMx V**$$

Dónde:

M= molaridad de EDTA

V= ml de EDTA gastados

La dureza total se expresa en ppm de CaCO₃

$$**DB = 4000 x 0,01x 5**$$

$$**DB = 200**$$

$$**DM = 4000 x 0,01x 25,3**$$

$$**DM = 1012**$$

$$**Dureza Total = DM - DB = 812 ppm**$$

2. Determinación de la dureza Cálcica.

– Para los cálculos se utiliza la siguiente fórmula:

$$**DUREZA CÁLCICA = 4000xMx V**$$

Dónde:

M= molaridad de EDTA en la titulación

V= ml de EDTA gastado.

$$DB = 4000 \times 0,01 \times 4$$

$$DB = 160$$

$$DM = 4000 \times 0,01 \times 23,1$$

$$DM = 924$$

$$Dureza\ C\acute{a}lcica = DM - DB = 764\ ppm$$

3. Determinación de la dureza de calcio

$$ppm\ de\ Ca = Dureza\ C\acute{a}lcica \left(\frac{PM\ de\ Ca}{PM\ de\ CaCO_3} \right)$$

$$ppm\ de\ Ca = 0.400x (Dureza\ C\acute{a}lcica)$$

$$764ppm\ CaCO_3 \times \frac{PM\ Ca\ gr/mol}{PM\ CaCO_3\ gr/mol}$$

$$764ppm \times \frac{40}{100} = 305,6\ ppm\ Ca$$

$$ppm\ de\ Ca = 305.6$$

4. Determinación de Dureza Magnésica

$$DUREZA\ MAGNÉSICA = DUREZA\ TOTAL - DUREZA\ CÁLCICA$$

$$DUREZA\ MAGNÉSICA = 812\ ppm - 764\ ppm$$

$$DUREZA\ MAGNÉSICA = 48\ ppm$$

5. Determinación de Magnesio

$$ppm\ de\ Mg = Dureza\ Magnésica \left(\frac{PM\ de\ Mg}{PM\ de\ CaCO_3} \right)$$

$$ppm\ de\ Mg = 0.243 \times (Dureza\ Magnésica)$$

$$ppm\ de\ Mg = 0.243 \times (48)$$

$$ppm\ de\ Mg = 11.66$$

6. Determinación del % de humedad en la cáscara de huevo

$$\%Humedad = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

Dónde:

P₁ = Peso del crisol más muestra

P₂ = Peso del crisol más muestra seca

m = Peso de la muestra

Se realizó dos muestras:

– **Muestra 1**

$$C_1 = 42.38\text{g}$$

$$M_1 = 10\text{g}$$

$$P_{i1} = 52.38\text{g}$$

$$P_{f1} = 51.74\text{g}$$

– **Muestra 2**

$$C_2 = 47.48\text{g}$$

$$M_{1,1} = 10\text{g}$$

$$P_{i2} = 57.48\text{g}$$

$$P_{f2} = 56.79\text{g}$$

$$\% \textit{Humedad 1} = \frac{(P_1 - P_2)}{m} \times 100$$

$$\% \textit{Humedad1} = \frac{52.38\text{g} - 51.74\text{g}}{10} \times 100$$

$$\Rightarrow \% \textit{Humedad1} = 6,4\%$$

$$\%Humedad\ 2 = \frac{57.48-56.79}{10} \times 100$$

$$\Rightarrow \%Humedad\ 2 = 6,9\%$$

$$\%Humedad = 6,7\%$$

7. Determinación del % de cenizas en la cáscara de huevo

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{peso de ceniza (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

Dónde:

P_i = Peso del crisol más muestra

P_f = Peso del crisol más muestra seca

M = Peso de la muestra

Se realizó dos muestras:

– **Muestra 1:**

$$C_1 = 68.67\text{g}$$

$$M_1 = 5.0\text{g}$$

$$P_{i_1} = 73.67\text{g}$$

$$P_{f1.1} = 68.99\text{ g}$$

– **Muestra 2:**

$$C_2 = 42,07\text{g} \quad M_2 = 5.0\text{g}$$

$$P_{i_2} = 47.07\text{g} \quad P_{f_{2,1}} = 42.39 \text{ g}$$

$$\% \text{ Cenizas } 1 = \frac{\text{peso de ceniza (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Cenizas } 1 = \frac{0.325}{5} \times 100$$

$$\Rightarrow \% \text{ Cenizas } 1 = 6.5 \%$$

$$\% \text{ Cenizas } 2 = \frac{0.32}{5} \times 100$$

$$\Rightarrow \% \text{ Cenizas } 2 = 6.4\%$$

$$\% \text{ Cenizas } = 6.5\%$$

8. Determinación de la cantidad de calcio en la cascara de huevo

✚ Curva calibrada:

✓ $C_c = 3.7663 \text{ ppm}$

$$\begin{array}{l} 3.7663 \text{ mg} \text{ ----- } 1\text{L} \\ X \text{ ----- } 0,05 \text{ L} \end{array}$$

$$X = 0,188315\text{mg}$$

$$x = \frac{0,188315 \text{ mg}}{0,115\text{g}}$$

$$x = 1,6375\text{mg/g}$$

→ Calculando el porcentaje de calcio:

$$x = 16.375\%$$

$$\begin{array}{l} 1.6375\text{mg/g} \text{ ----- } 100\text{ml} \\ X \text{ ----- } 1\text{ml} \end{array}$$

$$x = \frac{1\text{ml} \times 1.6375\text{mg/g}}{100\text{ml}}$$

$$X = 0.016375\text{mg/g}$$

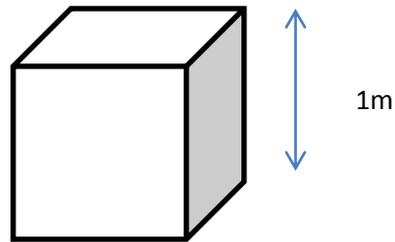
- Para Calcio (mg de Ca/100gr muestra)

$$\begin{array}{l} 0.016375\text{mg} \text{ ----- } 1\text{g} \\ X \text{ ----- } 100 \text{ g} \end{array}$$

$$x = 0.16375 \text{ mg de Ca}$$

9. Calcular la cantidad de CaCO₃

1° Hallar la densidad del suelo



$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{5g}{3 \text{ cm}^3}$$

$$\rho = 1,67 \frac{g}{\text{cm}^3}$$

Deseamos neutralizar un suelo cuyo análisis indica que la acidez titulable a pH 7 es 1.0 meq/100gr de suelo.

Se le incorporara la caliza en los primeros 20 cm de un suelo de densidad aparente = 1670 kg/m³

$$\rho = 1,67 \frac{gr}{\text{cm}^3}$$

$$\rho = 1,67 \frac{gr}{\text{cm}^3} * \frac{\text{cm}^3}{10^{-6} \text{ m}^3} * \frac{0,001kg}{gr}$$

$$\rho = 1,67 \frac{gr}{\text{cm}^3} * \frac{\text{cm}^3}{10^{-6} \text{ m}^3} * \frac{0,001kg}{gr}$$

$$\rho = 1670 \frac{kg}{\text{m}^3}$$

$$1 \text{ hectarea de suelo pesa} = 10\,000 \text{ m}^2 * 1670 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,2 \text{ m}$$

$$1 \text{ hectarea de suelo pesa} = 3\,340\,000 \text{ kg}$$

- Masa molecular de $\text{CaCO}_3 = 100$
- Masa atómica de $\text{Ca} = 40$
- % de Ca del $\text{CaCO}_3 = 40$
- Carga del $\text{Ca} = 20$

$$\text{Peso equivalente del Ca} = 40 / 2 = 20 \text{ gr} \rightarrow 1 \text{ meq pesa } 0,020 \text{ gr}$$

Si el suelo tiene acidez

1,0 meq/100 gr para neutralizar ----- 100gr de suelo necesitamos

0,020gr de Ca

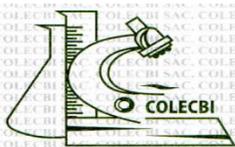
Para neutralizar 3 340 000 kg de suelo necesitamos 668 kg Ca

Esta cantidad corresponde a $668/0,4 = 1670 \text{ kg CaCO}_3 / \text{ha}$ necesarios para neutralizar una acidez de 1 meq/100gr de suelo

ANEXO

3

Anexo 3: Análisis Físicoquímico del suelo Agrícola



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES
“COLECBI” S.A.C.
 REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS Y DESARROLLO PESQUERO - PRODUCE

INFORME DE ENSAYO N° 0397-16

SOLICITADO POR : LILIBET HUÁNIO ESTRADA.
ERIKA SANCHEZ BERMUDEZ.

DIRECCIÓN : Ampliación Miraflores Alto Mz. L3 Lote 8 Chimbote.

PRODUCTO DECLARADO : **SUELO AGRÍCOLA.**

CANTIDAD DE MUESTRA : **01 muestra**

PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA : **En frasco de plástico con tapa.**

FECHA DE RECEPCIÓN : **2016-02-10**

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO : **2016-02-10**

FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO : **2016-02-15**

CONDICIÓN DE LA MUESTRA : **En buen estado.**

ENSAYOS REALIZADOS EN : **Laboratorio Físico Químico.**

CODIGO COLECBI : **SS 000192-16**

RESULTADOS

ENSAYOS	MUESTRA
	Valle del Santa
Nitrogeno (%)	0,05
Fósforo (ppm)	8,16
Potasio (kg/Ha)	350

METODOLOGIA EMPLEADA

Nitrogeno : UNE-EN ISO 5983-2 Parte 2 Dic. 2006.
Fósforo, Potasio : EPA 200.7

NOTA

- Muestra recepcionada en Laboratorios COLECBI S.A.C.
 - Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
 - Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Fecha de Emisión : Nuevo Chimbote, Febrero 16 del 2016.
 DVY/jms

Denis M. Vargas Yepéz
 Jefe de Laboratorio
 Físico Químico
COLECBI S.A.C.



LC-MP-HRIE
 Rev. 04
 Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DE COLECBI S.A.C.