

**Efecto de encalamiento y fertilización en dos
suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva
Segovia, Nicaragua**

**Osler Antonio Ortez Amador
Abner Samuel Zavala González**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Efecto de enclamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieros Agrónomos en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

**Osler Antonio Ortez Amador
Abner Samuel Zavala González**

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2014

Efecto de encalamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua

Presentado por:

Osler Antonio Ortez Amador
Abner Samuel Zavala González

Aprobado:

Gloria E. Arévalo, M. Sc.
Asesora Principal

Renán Pineda, Ph.D.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria

Dania Oliva, Ing. Agr.
Asesora

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Jose Sánchez, Ing. Químico
Asesor

Efecto de encalamiento y fertilización en dos suelos con cultivo de café, Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua

Osler Antonio Ortez y Abner Samuel Zavala

Resumen: El estudio se realizó en dos suelos, de textura media y fina bajo producción de café variedad caturra de aproximadamente 12 años de edad, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua. Los objetivos fueron determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de pH, determinar la dosis más efectiva y evaluar el efecto de enmiendas cálcicas con fertilización en la producción de café. Se aplicaron tres dosis (0, 757 y 1,515 kg.ha⁻¹) de la enmienda Triple Cal[®] (CaO 29%, MgO 29% y SO₄ 13%) con un equivalente químico (EQ= 124), aplicada e incorporada en los primeros 15 cm del perfil de suelo. Se usaron dos formulaciones de fertilización: convencional (58-19-38) kg.ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O en los dos suelos (fertilizante aplicado por el productor) y completa (132-42-82) kg.ha⁻¹ en suelos de textura media y (112-42-47) en textura fina, recomendada por el Laboratorio de Suelos E.A.P. Zamorano, según análisis químico de suelos. El ensayo tuvo seis tratamientos (tres dosis de cal × dos formulaciones de fertilización) en bloques completamente al azar (BCA), con tres repeticiones; cada suelo se evaluó de manera independiente. Las mediciones de pH final se realizaron 20 semanas después de aplicados los tratamientos con relación agua: suelo 1: 1. El encalamiento tuvo efecto positivo en el pH, hubo efecto en producción de café en el suelo de textura fina y hubo efecto de fertilización, obteniendo los pH más altos con fertilización convencional.

Palabras clave. Absorción, acidificación, equivalente químico.

Abstract: The study was conducted in two soils of medium and fine texture on coffee production, variety caturra with approximately 12 years old, in La Esperanza farm, Las Manos, Nicaragua. The objectives of the study were to determine the effect of liming to correct soil pH of medium and fine textures, determine the most effective dose and evaluate the effect of pH on the absorption of nutrients in the cultivation of coffee. On each floor three doses (0, 757 and 1,515 kg.ha⁻¹) of lime Triple cal (CaO 29%, 29% MgO and 13% SO₄) with a chemical equivalent (CE=124), applied and incorporated to 15 cm soil profile were applied. Two formulations of fertilization were used: conventional (58-19-38) kg.ha⁻¹ of N-P₂O₅-K₂O (fertilizer applied regularly by the producer) and complete (132-42-82) kg.ha⁻¹ in soils of medium texture and (112-42-47) in fine texture, recommended by the soil laboratory of Pan American Agricultural School Zamorano by chemical soil analysis. The experiment had six treatments (three doses of lime by two fertilizations method) with three replicates for each in split plot factorial arrangement, per each soil. The experiment took five months after the applications made with measurements of pH with relation water: soil 1: 1. Liming had a positive effect on pH, there was an effect on coffee production in the fine texture soil and fertilization had effects on final pH, obtaining the highest pH with conventional fertilization.

Key words. Absorption, acidification, chemical equivalent.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	
ii	
Resumen	
iii	
Contenido	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4 CONCLUSIONES	21
5 RECOMENDACIONES	22
6 LITERATURA CITADA.....	23
7 ANEXOS	25

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros		Página
1.	Codificación de tratamientos aplicados en el suelo de textura media, finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	4
2.	Codificación de tratamientos aplicados en el suelo de textura fina, finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	5
3.	Formulación de fertilización y nutrientes aplicados al cultivo de café expresado en kg.ha.año en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	6
4.	Significancia del modelo, R^2 y coeficiente de variación en la relación del pH final de los suelos y producción de café, en suelos de texturas medias, en finca, La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	11
5.	Significancia del modelo, R^2 y coeficiente de variación en la relación del pH final de los suelos y producción de café, en suelos de texturas finas, en finca, La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	11
6.	Nivel de significancia de las fuentes de variación en las variables pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	12
7.	Nivel de significancia de las fuentes de variación en las variables pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	12
8.	Efecto de la aplicación de cal en el pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	13
9.	Efecto de la aplicación de cal en el pH del suelo y producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	13
10.	pH final del suelo en texturas medias, con dos fuentes de fertilización, en cultivo de café, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	14
11.	pH final del suelo en texturas finas, con dos fuentes de fertilización, en cultivo de café, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	14
12.	Efecto de dos formulaciones de fertilización y tres dosis de cal, en la producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua	15
13.	Aplicación de la enmienda Triple Cal en kg.ha^{-1} y el pH esperado en dos suelos, con dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las manos, Nicaragua.	18
14.	Concentración foliar de nutrientes en el cultivo de café, variedad caturra en suelo de textura media, con tres dosis de triple cal y dos formulaciones de fertilización en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua..	19

15.	Concentración foliar de nutrientes en el cultivo de café, variedad caturra en suelo de textura fina, con tres dosis de triple cal y dos formulaciones de fertilización en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua..	19
16.	Costos de aplicación de Triple Cal y dos formulaciones de Fertilización y utilidades en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	20
17.	Costos de aplicación de Triple Cal y dos formulaciones de Fertilización y utilidades en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	20

Figuras		Página
1.	Ubicación geográfica finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua. 13° 43' N, 86° 30' W. Altura 1,250-1,415 msnm..	3
2.	Foliolos uno, dos, tres y cuatro que se identificaron para muestreo foliar de café del tercer y cuarto par de hojas. Tomado de Carvajal (1984)	7
3.	Diagrama de cada unidad experimental en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	9
4.	Familias texturales de los suelos de textura media y textura fina en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	10
5.	pH final del suelo de textura Media, con tres dosis de Triple Cal y dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	16
6.	pH final del suelo de textura Fina, con tres dosis de triple cal y dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.....	17

Anexos		Página
1.	Aplicación superficial de enmienda cálcica en la gotera de la planta en cultivo de café.....	25
2.	Enmienda cálcica incorporada en los primeros 15-20 cm del perfil de suelo..	26
3.	Barrenación a los 100 cm del perfil de suelo para texturización de parcelas...	27
4.	Análisis de suelos correspondiente a finca La Esperanza. Lote Adelina corresponde a textura fina y lote El Derrumbe corresponde a textura media...	28

1. INTRODUCCIÓN

Más de 25 millones de personas que viven en los trópicos dependen del cultivo de café como medio de subsistencia. Este cultivo es el soporte económico de muchos países y el segundo producto más comercializado del mercado mundial, después del petróleo (Roseberry 1996).

El café es el principal rubro de exportación de Nicaragua, es el principal generador de actividad en el área rural y su contribución al PIB nacional es significativa. Este rubro ha representado consistentemente cerca del 25 por ciento del valor total de las exportaciones agrícolas del país. La cadena nacional de café es un conglomerado de agroindustrias conformado por miles de agentes por lo que su peso en la economía nacional es significativo también (Cadena agroindustrial del café en Nicaragua 2004). Sin embargo, existe una gran oportunidad de mejorar la producción ya que el nivel tecnológico es aún bajo. La realidad de las plantaciones de café del norte de Nicaragua, es falta de un manejo y planificación adecuada de las labores de manejo (MAGFOR 2013).

El café crece mejor en suelos de textura Franca; sin embargo, se adapta a suelos Franco Arcilloso y Franco Arenoso, con una profundidad efectiva mínima de 50 centímetros y una capa de 20 centímetros de horizonte orgánico. El pH óptimo para el cultivo es de 5.5 a 6.5 (Laínez *et al* 2003).

El pH del suelo es la medida de la acidez o alcalinidad de los suelos. La disponibilidad de nutrientes y la actividad de los herbicidas están influenciadas por el pH del suelo, la mayoría de los nutrientes están disponibles en niveles cerca de pH neutro (Whitney y Lamond 1993).

La acidez del suelo es uno de los factores ambientales más importantes que pueden influir en el crecimiento de la planta y puede limitar seriamente la producción de cultivos. Por lo tanto, el encalado de suelos ácidos es crítico para la buena actividad del suelo y del cultivo (Beegle y Lingenfelter 1995).

La acidez del suelo puede ser de dos tipos: activa o acidez del suelo y la solución de reserva o acidez intercambiable. Es importante saber que un suelo puede tener el mismo pH, pero diferentes requerimientos de cal debido a los tipos de acidez presentes en el. La cantidad de cal para alcanzar un nivel de pH también depende de la profundidad de incorporación y la cantidad de masa de suelo que se necesita neutralizar (Whitney y Lamond 1993).

El requisito de cal de un suelo ha sido definido como: la cantidad de cal necesaria para elevar el pH del suelo hasta un valor de pH deseado. Los dos factores principales que determinan el requisito de cal de un suelo son: pH y capacidad de intercambio catiónico o capacidad tampón del suelo. Menor pH habrá más hidrógenos que neutralizar y se necesitará más cal (Arévalo y Gauggel 2012).

Con la investigación se contribuirá a la mejora de las condiciones de producción en la zona y a la vez servirá como facilitadores de información. El objetivo general del estudio fue determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de acidez de dos suelos bajo cultivo de café.

Antecedentes

En finca La Esperanza, ubicada en Las Manos, Nicaragua no se ha realizado ningún estudio hasta la actualidad. El historial de la finca no tiene registrado aplicación de enmienda cálcica al suelo pese a la tendencia de suelos ácidos en la región. Actualmente, se produce mediante el manejo tradicional que consiste en hacer las prácticas conforme a lo que se ha hecho a través de los años, sin el uso de herramientas tecnológicas. El señor Salatiel Zavala¹ indicó que a través de los registros en su finca ha identificado tendencia en volúmenes de producción marcando un año con alta producción y otro con baja producción (1,624 kg.ha⁻¹ y 649 kg.ha⁻¹ equivalente a 25 y 10 qq.mz⁻¹). En la región existen fincas que obtienen altos rendimientos productivos y poco fluctuantes que oscilan entre los 1,624 y 2,274 kg.ha⁻¹ (25-35 qq.mz⁻¹), indicó el ingeniero Joaquin Lovo². La región cuenta con suelos fértiles, francos en su mayoría, con tendencia a oscuros, altos contenidos de materia orgánica y en el rango de elevaciones óptimas para el cultivo de café (1,200-1,700 msnm); este potencial ha sido y es aún mal aprovechado. La finca ha sido ganadora al certamen de Tasa a la Excelencia a nivel nacional por nueve años consecutivos posicionándose en los primeros 25 lugares.

Los objetivos del estudio fueron determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de pH en suelos de textura media y fina, determinar la dosis de enmienda cálcica más efectiva en el cambio de pH y evaluar el efecto de enmiendas cálcicas y fertilización en la producción de café.

¹ Zavala, S. 2013. Productividad de finca La Esperanza. Dueño y administrador general de la finca a estudiar. Municipio Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Comunicación oral.

² Lovo, J. 2013. Rendimientos de café en Finca Linda Vista. Productor vecino de la finca a trabajar. Municipio Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Comunicación oral.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del estudio. La investigación se realizó en dos lotes bajo el cultivo de café variedad caturra con una edad aproximada de 12 años de edad, en la finca La Esperanza, comunidad de Las Manos, Departamento de Nueva Segovia, Nicaragua (Figura 1). La finca está ubicada en la cordillera Dipilto-Jalapa entre 1,250 y 1,415 msnm, con precipitación anual de 1800-2000 mm distribuida en un período seco de Febrero a Mayo y un período lluvioso para el resto del año. La temperatura promedio es de 18-22 °C.



Figura 1. Ubicación geográfica finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua. 13° 43' N, 86° 30' W. Altura 1,250-1,415 msnm.

Selección de lotes. Con ayuda del productor se realizó la clasificación de lotes productivos, lo que dio como resultado seis lotes diferentes. Se tomó muestra de suelo en cada lote para ser enviadas al Laboratorio de Suelos de E.A.P. Zamorano y realizar análisis químico a cada uno, con los resultados se procedió a la selección de dos lotes homogéneos con pH menores a 5.5.

Análisis de suelo. Se tomó una muestra compuesta de suelo para el análisis químico de cada lote siguiendo el método de toma de muestra de suelo en el campo que consiste en caminar en zig zag para extraer sub muestras con una pala de los primeros 20-30 cm del perfil de suelo, se extrajeron 15 sub muestras que fueron mezcladas uniformemente para obtener una muestra representativa de cada lote (Arévalo y Gauggel 2012).

El análisis químico se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. De este análisis se obtuvieron datos de reacción del suelo (pH) en relación 1:1 de suelo: agua; materia orgánica mediante el método Walkley y Black y nitrógeno estimado como el 5% de ésta. Calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, hierro, manganeso y zinc extraídos con la solución Mehlich III, determinados mediante absorción atómica y el fósforo por colorimetría. Boro y azufre extraídos con solución extractora de fosfato de calcio, determinados por colorimetría (Sparks 1996).

Tratamientos. Fueron aplicados por separado a los dos suelos, textura media (Cuadro 1) y textura fina (Cuadro 2). Los tratamientos fueron:

Tres dosis de cal:

- 0 kg.ha⁻¹
- 757 kg.ha⁻¹
- 1,515 kg.ha⁻¹

Dos formulaciones de fertilización:

- Convencional
- Completa

Cuadro 1. Codificación de tratamientos aplicados en el suelo de textura Media, finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Formulación de Fertilización	Dosis de cal	
		Onzas por planta	kg.ha ⁻¹
Media Franco Arenoso (FA) pH inicial 5.33 Lote El Derrumbe	Convencional	0	0
		7	757
		14	1,515
	Completa	0	0
		7	757
		14	1,515

Cuadro 2. Codificación de tratamientos aplicados en el suelo de textura Fina, finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Formulación de Fertilización	Dosis de cal	
		Onzas por planta	kg.ha ⁻¹
Fina	Convencional	0	0
Franco Arcillo Arenoso (FArA) pH inicial 5.52 Lote Adelina	Completa	7	757
		14	1,515
		0	0
		7	757
		14	1,515

Variables a medir

- pH del suelo (antes y después de aplicados los tratamientos).
- Producción.

Aplicación de cal. Se aplicaron tres dosis de enmienda cálcica. La enmienda aplicada fue TRIPLE CAL, producto distribuido por la casa comercial ENLASA en Nicaragua. La composición química de Triple Cal según análisis de laboratorio de la E.A.P. Zamorano fue óxido de calcio (CaO) al 29%, óxido de magnesio (MgO) al 29% y sulfato (SO₄) al 13%. Durante la aplicación se realizó la ruptura de aproximadamente los primeros 15 cm del perfil de suelo alrededor de cada planta donde la enmienda fue incorporada. La equivalencia.

El compuesto cálcico del producto fue el óxido de calcio (CaO) al 29% que se conoce como cal viva o cal quemada. Es un material muy cáustico y de manejo difícil porque puede causar quemaduras al contacto con la piel. Su velocidad de reacción es mayor que el carbonato debido a su mayor concentración de Ca (71% en su forma pura) y a que por ser un óxido, reacciona rápidamente al contacto con el agua provocando una fuerte reacción exotérmica y liberando iones OH⁻. Se presenta normalmente como polvo bastante fino y su precio es más alto que el CaCO₃ (Molina 1998). No se pudo evaluar el efecto del magnesio (Mg) en el resultado de los tratamientos debido a que ya estaba incluido en el producto comercial utilizado en el estudio.

Debido a que los materiales cálcicos difieren en su capacidad de neutralizar la acidez del suelo, se utilizó el criterio de Efectividad Química, Equivalente Químico (EQ) o Poder de Neutralización, que se define como la capacidad de neutralizar la acidez que tiene un material con relación al carbonato de calcio puro (Molina 1998). Este valor se calculó para la Triple Cal mediante la ecuación 1.

$$EQ \text{ CaCO}_3 = \% \text{CaO} \times 1.79 + \% \text{MgO} \times 2.48 \quad [1]$$

La enmienda cálcica utilizada en el estudio (Triple Cal[®]) tuvo Equivalente Químico (EQ) de carbonato de calcio en 124.

Fertilización. La fertilización se realizó 45 días después de la aplicación de la enmienda cálcica. Se aplicó dos formulaciones de fertilización: convencional y completa.

La fertilización convencional correspondió a lo aplicado tradicionalmente por el productor con una sola aplicación del producto comercial 18-6-12 (N-P₂O₅-K₂O) con elementos menores 4-4-2 (MgO-S-B₂O₃) distribuido por la casa comercial RAMAC. Se aplicaron tres onzas (85 g) en cada planta, que equivale a 325 kilogramos por hectárea calculado para 3,810 plantas (Cuadro 3).

La segunda aplicación de fertilización se realizó siguiendo la recomendación emitida por el laboratorio de suelos de la E.A.P. Zamorano según análisis químico de cada suelo. La recomendación fue calculada para dos aplicaciones: inicio y final de lluvias. La fertilización completa realizada en el experimento fue la correspondiente a la época final de lluvias (Cuadro 3) que equivalió al 50% de lo recomendado.

Cuadro 3. Formulación de fertilización y nutrientes aplicados al cultivo de café expresado en kg.ha.año en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Formulación	Textura	Kg.ha.año					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	B ₂ O ₃
Convencional	Media y Fina	58	19	38	13	13	6
Completa	Media	132	42	82	0	0	0
	Fina	112	42	47	0	0	0

Mapeo de finca. Se hizo barrenaciones con el objetivo de conocer la variación en texturas de suelos con las que cuenta el área donde fue establecido el estudio. Se hizo una barrenación de 80 a 100 cm de profundidad diferenciando la textura de los horizontes agrupándolos por familias texturales (Arévalo y Gauggel 2013) para cada unidad experimental. Se realizó georreferenciación de las parcelas, mediante un GPS se tomaron los puntos perimetrales para cada suelo: textura media y fina. Los datos fueron trabajados en el programa gvSIG para el mapeo de cada suelo. También se tomaron los puntos correspondientes a los cuatro extremos en cada unidad experimental. Al final se obtuvo un mapa general para cada suelo con sus respectivas unidades experimentales georreferenciadas en su interior.

Análisis Foliar. Un mes después de haber aplicado los fertilizantes se realizó muestreo foliar para su análisis en todos los tratamientos.

El análisis foliar obtenido de cada tratamiento brindó información de la cantidad de reservas nutricionales que el cultivo tendría para completar el próximo ciclo de producción. El muestreo se llevó a cabo en el tercer y cuarto par de hojas, recientemente maduras de ramas laterales que crecen horizontalmente con frutos a cada lado de la planta en los surcos, con una altura media de 1.5 m para la planta (Carvajal 1984).

Procedimiento para la realización de análisis foliar.

- El muestreo se realizó en lotes uniformes no mayores a cinco hectáreas. El patrón a seguir fue a lo largo de dos diagonales en forma de x en el lote muestreado (Suarez 2012).
- Se realizó muestreo foliar por cada tratamiento establecido.
- La muestra se hizo en los tres árboles centrales de cada parcela, evitando el efecto borde.
- Se recolectaron dos pares de hojas por cada árbol para un total de 12 hojas por cada tratamiento (Figura 1). El muestreo se realizó por las horas de la mañana. Cada par de hojas se tomó de dos extremos de la planta. Se consideró que la hoja debía estar en perfecto estado, libre de enfermedades y sin daño mecánico.
- Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la E.A.P. Zamorano en donde se analizó el contenido de nutrientes.

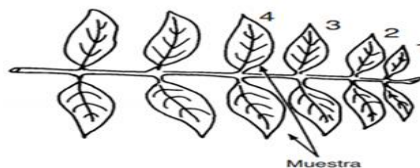


Figura 2. Foliolos uno, dos, tres y cuatro que se identificaron para muestreo foliar de café del tercer y cuarto par de hojas. Tomado de Carvajal (1984).

El método de análisis químico sobre el cual se basó el análisis foliar fue la digestión (desintegración) por altas temperaturas por medio de ácido fuerte, usualmente ácido sulfúrico del tejido vegetal del cultivo de interés. Para ello se secó el tejido apropiadamente, seguido por molido haciendo uso de un molino especial y luego el tamizado. El nitrógeno se determinó por medio del método Micro Kjeldhal. Fosforo, azufre y boro por espectrofotometría y el resto de los nutrimentos por absorción atómica (Sparks 1996).

Se tuvo limitantes que no permitieron dar validez estadística a la variable de contenido foliar de nutrientes en el cultivo.. Entre las limitantes estuvo la no realización de análisis foliar al inicio del experimento, la no realización de análisis completo de suelo después de los tratamientos para hacer las comparaciones con el contenido foliar y finalmente por motivo de costos no se realizó análisis foliar para cada repetición. Sin embargo, se

observó algunas tendencias y diferencias en los resultados del contenido foliar del cultivo de manera general en cada tratamiento.

Cálculo de producción. Para medir el efecto en producción de los tratamientos aplicados, se realizó recolección de frutos en su etapa óptima de maduración (grano maduro), se midió el peso del grano completo fresco (grano uva), peso de la cantidad de mesocarpio (pulpa), se estimó el peso de pectina (mucilago) y finalmente se determinó el peso de grano oro exportable (endospermo del fruto < 13% de humedad). Este procedimiento se realizó de la siguiente manera:

Procedimiento para determinar producción.

- Se recolectó el fruto al punto óptimo de maduración (grano completamente rojo) en un recipiente de aproximadamente 400 gramos en cada parcela; seguidamente se colocó en un recipiente marcado con la información de parcela y tratamiento aplicado.
- Se procedió a pesar cada una de las muestras en grano fresco (uva) usando una balanza digital en gramos.
- Una vez pesada la muestra se procedió a contar la cantidad de granos en cada recipiente, luego fueron despulpados manualmente para calcular el contenido de pulpa (mesocarpio) y mucilago (pectina) que contenía cada muestra.
- La muestra se secó hasta alcanzar grado de humedad menor al 13% (humedad requerida para ser procesado y calificado como grano oro exportable) por medio de un medidor de humedad modelo AG-QMT.
- Se realizó el cálculo de producción en kg de café oro exportable por hectárea.

Análisis de pH. Fue determinado por medio del potenciómetro con electrodo de vidrio antes y después de aplicados los tratamientos (Junio 2013 y Febrero 2014). Se determinó el grado de acidez o alcalinidad del suelo. Se usó la relación 1:1 suelo: agua por peso o volumen (Sparks 1996).

Procedimiento para determinar pH.

- Se realizó la recolección de 36 muestras de suelo en cada unidad experimental haciendo uso de un tubo hoffer. La muestra se recolectó del borde de las tres plantas centrales de cada parcela a 20 cm hacia el exterior del tallo, cubriendo así la gotera de la planta donde se incorporó la enmienda cálcica.
- Una vez recolectadas las muestras se procedió a secarlas al sol durante 5 días.
- Fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la EAP Zamorano, donde se realizó un etiquetado para cada muestra y se procedió al tamizado por la malla de 2 mm de área.
- Se procedió a pesar 20 gramos de cada una de las muestras de suelo, estas fueron codificadas respectivamente para cada lote y tratamiento aplicado.
- Cada muestra se dejó en reposo por 30 minutos. Se realizó la medición de pH.

Diseño experimental. Se usó diseño experimental de bloques completamente al azar (BCA) con arreglo factorial de 3×2. Siendo los factores: dosis de cal (0. 757 y 1,515 kg.ha⁻¹) y formulación de fertilización (completa y convencional).

Unidad experimental. Cada unidad experimental estuvo formada por 35 plantas separadas a una distancia de 1.5 m entre planta y 2 m entre surco. Para evaluación se utilizaron las tres plantas (9% del total) ubicadas al centro de cada unidad experimental para reducir el efecto borde (Figura 4).

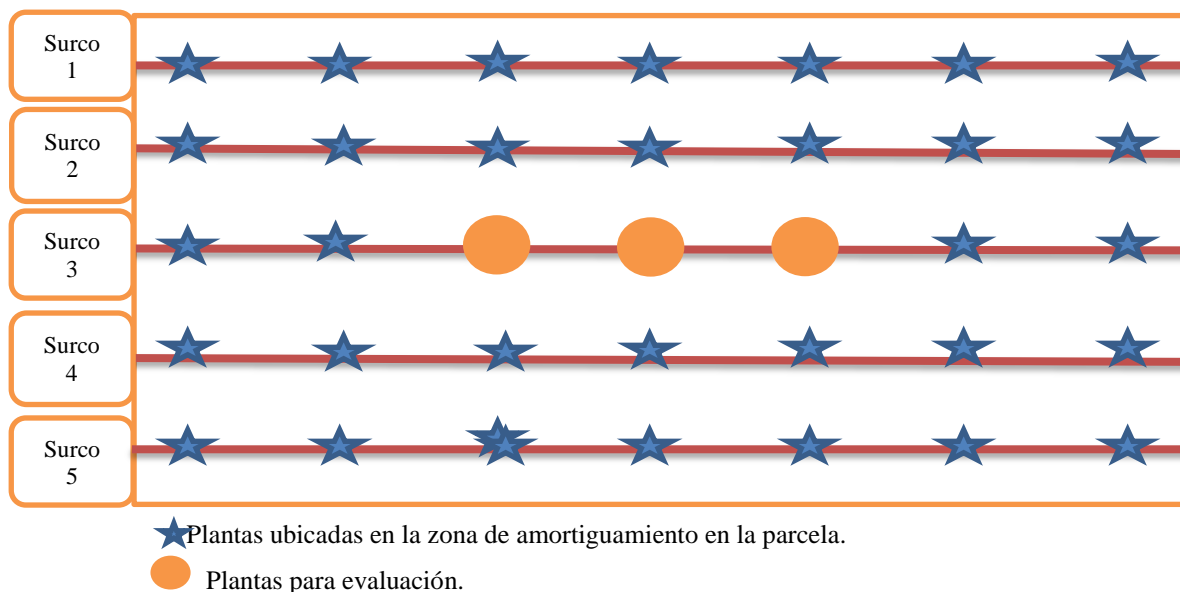


Figura 3. Diagrama de cada unidad experimental en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Análisis estadístico. Se utilizó el programa Statistical Analysis System (SAS versión 9.1[®]). Se realizó un ANDEVA para determinar la significancia del modelo. Se hizo una separación de medias mediante la prueba Duncan con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ y se realizó también una separación de medias ajustadas LS means con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$ para determinar los mejores tratamientos.

La interacción evaluada fue:

Formulación de fertilización \times dosis de cal.

Análisis económico. Se realizó un análisis económico evaluando la utilidad neta obtenida como respuesta a los tratamientos. El análisis incluyó el costo de producción, aplicación de cal y fertilización. Se tomaron los costos de producción calculados por el productor de aproximadamente 120 dólares para cada quintal (45.45 kg) producido. En los ingresos se utilizó el precio actual de 45.45 kg de café oro exportable en la bolsa de Nueva York, el valor fue 200 dólares. En el análisis no se incluyó costos de depreciación de tierra y de equipos de trabajo de la finca.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de suelos. Las áreas donde se establecieron los tratamientos tuvieron profundidades efectivas moderadamente limitadas por presencia de fragmentos de roca entre 80 y 90 cm. Sobre las rocas los suelos fueron diferentes por su clase textural, con texturas medias: Franco Arenosas y Limosas alternadas con texturas muy finas: Arcillo Limosas. (Figura 4).

Profundidades (cm)	Textura Media (Lote El Derrumbe)	Textura Fina (Lote Adelina)
0 - 10	Franco Arenoso	Franco Arcillo Arenoso
10 - 20		Arcillo Arenoso
20 - 30	Arenoso	
30 - 40		Franco Limoso
40 - 50	Arcillo Limoso	
50 - 60		Fragmento de Roca
60 - 70	Fragmento de Roca	
70 - 80		Fragmento de Roca
80 - 90	Fragmento de Roca	
90 - 100		Fragmento de Roca

⁶Familias texturales de los suelos:

$$\frac{M/g}{F^+/G}$$

$$\frac{F^-/F^+}{F^+/G}$$

⁶F⁺= Texturas con arcillas pesadas (Arcilloso, Arcillo Limoso y Arcillo Arenoso); F⁻= Texturas con arcillas <35% (Franco Arcilloso, Franco Arcillo Limoso y Franco Arcillo Arenoso); M= Texturas medias (Franco Limoso, Franco Arenoso, Franco y Limoso); g= Texturas gruesas (Arenosa y Arenosa Franca); G= Texturas muy gruesas (Fragmento de Roca, Roca y Gravilla).

Figura 4. Familias texturales de los suelos de textura media y textura fina en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Validación estadística de las variables y fuentes de variación. Hubo diferencia en el pH final en suelos de texturas medias y finas y en la producción de café en suelos de textura fina. El encalado tiene efecto positivo al incremento del pH del suelo en suelos de texturas medias y finas ($P < 0.05$) y en la producción de café en suelos de textura fina ($P < 0.05$) (Cuadros 4 y 5).

En ambas texturas los indicadores R^2 y coeficiente de variación (CV) fueron aceptables, a pesar que fue un proyecto de campo con variaciones potenciales altas. R^2 arriba de 0.70 evidencia buen ajuste del diseño al modelo, con la excepción de la variable producción de café en los suelos de textura media, que tuvo R^2 de 0.50, indicando que no existió buen ajuste de esta variable a este modelo. Sin embargo, a pesar que en esta variable hubo bajo ajuste, el CV fue bajo 10.16 (Cuadros 4 y 5) siendo aceptable en pruebas de campo hasta 30% de variación.

Cuadro 4. Significancia del modelo, R^2 y coeficiente de variación en la relación del pH final de los suelos y producción de café, en suelos de texturas medias, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Variables	$P > F^{\text{y}}$	R^2	Coefficiente de variación (CV)
Media	pH final del suelo	0.0059 **	0.71	4.68
	Producción de café	0.0950 ns	0.50	10.16

^y $P > F =$ Probabilidad. **Altamente significativo ($Pr < 0.01$); ns no significativo ($Pr > 0.05$).

Cuadro 5. Significancia del modelo, R^2 y coeficiente de variación en la relación del pH final de los suelos y producción de café, en suelos de texturas y finas, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Variables	$P > F^{\text{y}}$	R^2	Coefficiente de variación (CV)
Fina	pH final del suelo	0.0068 **	0.70	5.77
	Producción de café	0.0002 **	0.85	4.29

^y $P > F =$ Probabilidad. **Altamente significativo ($Pr < 0.01$); ns no significativo ($Pr > 0.05$).

En suelos de textura media, los factores fertilización y dosis de cal tuvieron efecto significativo en el pH final del suelo. En la variable producción de café, solo la fuente de variación dosis de cal tuvo efecto positivo. La interacción Fertilización \times Dosis Cal no fue significativo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Nivel de significancia de las fuentes de variación en las variables pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Fuente de variación	pH final del suelo	Producción [¥]
		P>F ^Ω	P>F
Media	Fertilización	0.0038 **	0.9214 ns
	Dosis Cal	0.0065 **	0.0164 *
	Fertilización × Dosis Cal	0.7636 ns	0.8147 ns

[¥]Producción= kg.ha⁻¹ de café exportable.

^ΩP>F= Probabilidad. **Altamente significativo (Pr<0.01); *Significativo (Pr<0.05); ns no significativo (Pr>0.05).

En el suelo de textura fina, los factores fertilización y dosis de cal tuvieron también efecto significativo en pH final del suelo y producción de café. La interacción Fertilización × Dosis Cal fue significativa (Pr<.0001) para la variable producción (Cuadro 7).

Cuadro 7. Nivel de significancia de las fuentes de variación en las variables pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Fuente de variación	pH final del suelo	Producción [¥]
		P>F ^Ω	P>F
Fina	Fertilización	0.0236 *	0.0170 *
	Dosis Cal	0.0028 **	0.0152 *
	Fertilización × Dosis Cal	0.5164 ns	<.0001 **

[¥]Producción= kg.ha⁻¹ de café exportable.

^ΩP>F= Probabilidad. **Altamente significativo (Pr<0.01); *Significativo (Pr<0.05); ns no significativo (Pr>0.05).

Efecto de encalamiento. El pH final incrementó con el aumento de dosis de cal en los suelos de texturas medias y finas. En los dos suelos se obtuvo mayor incremento de pH con la dosis más alta de aplicación de enmienda (1,515 kg.ha⁻¹ de Triple Cal) (Cuadros 8 y 9). El efecto final de las reacciones de la cal reduce la acidez del suelo, incrementando el pH, al convertir el exceso de hidrógeno (H⁺) en agua (H₂O) (Espinosa y Molina 1999). Los mismos autores comprobaron que al aplicar cal en suelos ácidos, el mayor efecto benéfico es la reducción en la solubilidad del aluminio (Al) y manganeso (Mn). El incremento de pH se ve reflejado en la producción de café ya que estos dos elementos, aun cuando están presentes en bajas concentraciones, son tóxicos para la mayoría de los cultivos. El exceso de aluminio interfiere en la división celular de las raíces de la planta, razón por la cual el sistema radicular en suelos ácidos se atrofia y es pobremente desarrollado, lo que reduce la absorción y optimización del uso de nutrientes por la planta aun estando presentes en el suelo. El encalamiento de suelos ácidos corrige este efecto.

En el suelo de textura media se obtuvo la más alta producción mediante la dosis más alta de Triple Cal (1,515 kg.ha⁻¹) (Cuadro 8). Estos resultados se ven sólidamente fundamentados a lo indicado por Espinosa y Molina (1999) quienes explicaron que el encalado mejora la respuesta a la aplicación de fertilizantes en suelos ácidos. Esto se debe principalmente a las mejores condiciones físicas y químicas que el suelo adquiere después de la aplicación de cal, produciendo un mejor ambiente para el desarrollo radicular. Una mejor exploración del suelo permite que la planta absorba los nutrientes de los fertilizantes aplicados al suelo incrementando los rendimientos del cultivo y la eficiencia de los fertilizantes.

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de cal en el pH final del suelo y producción de café, en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Dosis Triple Cal kg.ha ⁻¹	pH del Suelo			Producción kg.ha ⁻¹
		Inicial	Final	Diferencia	
Media	1515	5.33	5.92 a [‡]	0.59 a	1,644 a
	758	5.33	5.55 b	0.22 b	1,374 b
	0	5.33	5.32 b	-0.01 b	1,403 b

[‡]Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de cal en el pH del suelo y producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Dosis Triple Cal kg.ha ⁻¹	pH del Suelo		
		Inicial	Final	Diferencia
Fina	1515	5.52	6.06 a [‡]	0.54 a
	758	5.52	5.82 a	0.30 a
	0	5.52	5.24 b	-0.28 b

[‡]Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

Efecto de fertilización. La cantidad y fuente de fertilización tuvo efecto detrimental en pH final de los dos suelos. Donde se aplicó menos nitrógeno, con la formulación de fertilización convencional (58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6) el pH fue mayor (5.82 en textura media y 5.91 en textura fina) versus la formulación completa (textura media: 132-42-82 y textura fina: 112-42-47), con pH finales más bajos (5.38 en textura media y 5.50 en textura fina) (Cuadros 10 y 11). Este efecto se debió a que la fertilización completa tuvo mayor aporte de fuentes nitrogenadas que contienen o forman amonio (NH₄⁺) e incrementan así la acidez del suelo (Espinosa y Molina 1999).

Cuadro 10. pH final del suelo en texturas medias, con dos fuentes de fertilización, en cultivo de café, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Fertilización	pH del Suelo		
		Inicial	Final	Diferencia
Media	Convencional ^a	5.33	5.82 a [‡]	0.49 a
	Completa	5.33	5.38 b	0.05 b

[‡] Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

^a Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6 ; Fertilización completa 132-42-82.

Cuadro 11. pH final del suelo en texturas finas, con dos fuentes de fertilización, en cultivo de café, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Fertilización	pH del Suelo		
		Inicial	Final	Diferencia
Fina	Convencional ^a	5.52	5.91 a [‡]	0.39 a
	Completa	5.52	5.50 b	-0.02 b

[‡] Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

^a Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6 ; Fertilización completa 112-42-47.

Interacción Fertilización × Dosis Cal. En el suelo de textura fina hubo efecto significativo en la interacción de Fertilización × Dosis Cal, en la variable de producción de café (Cuadro 7). El mayor rendimiento productivo de café se alcanzó con la aplicación de 758 kg.ha⁻¹ de Triple Cal, con la formulación de fertilización completa (Cuadro 12). Este resultado se respalda con el estudio realizado por Lathwell (1979) donde demostró que el uso de altas dosis de cal, no necesariamente resultará en la más alta producción. La respuesta del rendimiento de maíz a la aplicación de cuatro dosis de cal (0, 1, 2 y 4 t.ha⁻¹), tuvo los mejores niveles productivos con la dosis intermedia de cal, que correspondió a 2 t.ha⁻¹. Travis Harper (2009) demostró que la aplicación de cal influye en el rendimiento de los cultivos, para el cultivo de la soya hasta un 15% de incremento. Las posiciones de intercambio de las arcillas y la materia orgánica eliminan el H⁺ de la solución a cambio de cationes básicos como el calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺) y potasio (K⁺), lo que permite eliminar el hidrógeno, elemento que es causa de acidificación y así se logra la mejor asimilación de nutrientes, aumentando la producción (INPOFOS 1996).

Cuadro 12. Efecto de dos formulaciones de fertilización y tres dosis de cal, en la producción de café, en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Fertilización	Dosis Triple Cal kg.ha⁻¹	Producción de Café kg.ha⁻¹
Fina	Convencional ^a	1,515	2,768 b [‡]
		758	2,509 cd
		0	2,643 bc
	Completa	1,515	2,335 de
		758	2,863 a
		0	2,291 e

[‡] Valores en columna con distinta letra, difieren estadísticamente entre sí según la prueba Duncan (P<0.05).

^a Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6 ; Fertilización completa 112-42-47.

pH final de los suelos según dosis de cal y fórmula de fertilización. En suelos de textura media, se encontró incremento exponencial de pH según se aumentó la dosis de Triple Cal. La variación de incremento de pH con 757.5 kg.ha⁻¹ de Triple Cal fue menor al obtenido con los 1,515 kg.ha⁻¹ de aplicación. De acuerdo a la formulación de fertilización, los pH finales más altos fueron obtenidos con fertilización convencional que tuvo menor aporte de fuentes nitrogenadas al suelo (58 kg.ha⁻¹) al compararlo con la fertilización completa (132 kg.ha⁻¹). El pH final del suelo más cercano a la neutralidad se obtuvo con 1,515 kg.ha⁻¹ de Triple Cal y con la fórmula convencional (Figura 5).

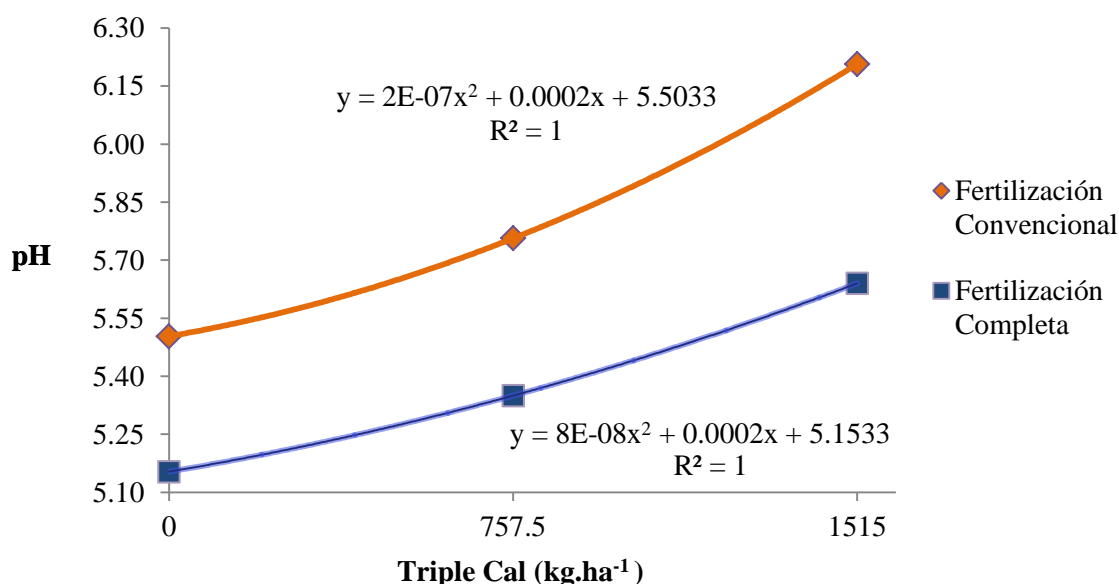


Figura 5. Variación del pH del suelo de textura Media, con tres dosis de Triple Cal y dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

En suelos de textura fina, se encontró también resultados similares al suelo de textura media. Sin embargo, el comportamiento de cambio de pH final del suelo según la dosis de cal fue contraria a los suelos de texturas medias, en este suelo la variación de pH con la aplicación de 757.5 kg.ha⁻¹ fue mayor al compararlo con el incremento cuando se aplicó 1,515 kg.ha⁻¹. Sin embargo, la formulación de fertilización tuvo efecto en pH final del suelo, se obtuvo los pH finales más altos con fertilización convencional que tuvo menor aporte de fuentes nitrogenadas al suelo (58 kg.ha⁻¹), al compararlo con la fertilización completa (112 kg.ha⁻¹). El pH final del suelo más cercano a la neutralidad se obtuvo con 1,515 kg.ha⁻¹ de Triple Cal y con la fórmula convencional (Figura 6).

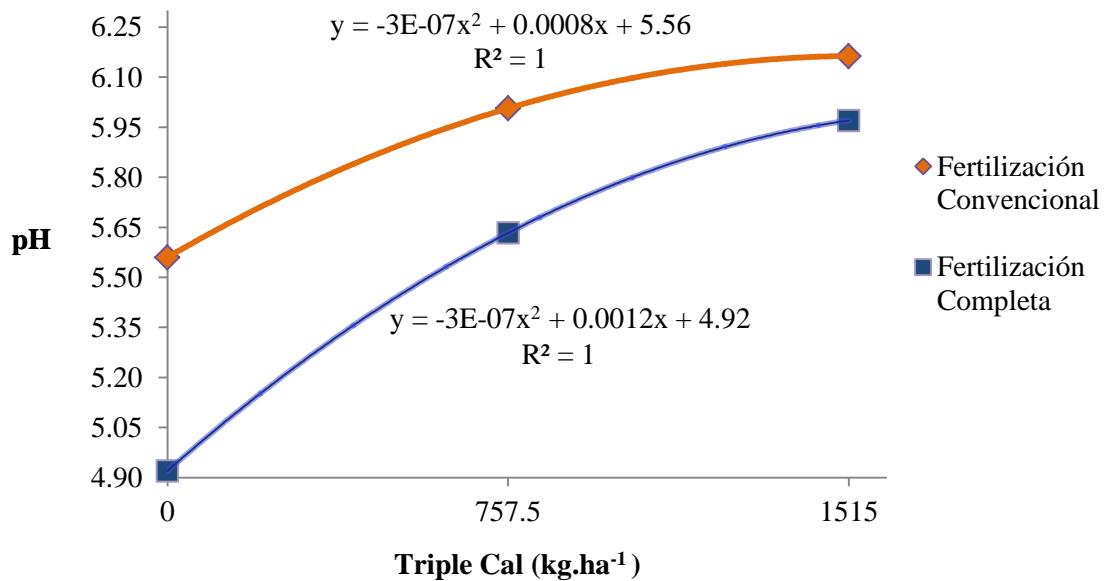


Figura 6. Variación del pH del suelo de textura Fina, con tres dosis de Triple Cal y dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

A partir de las funciones exponenciales obtenidas en el pH final de los suelos de textura media y fina (Figuras 5 y 6) se procedió al cálculo de pH esperado según diferentes dosis de aplicación de la enmienda Triple Cal y la formulación de fertilización en los dos tipos de suelo (textura media y fina), estrictamente bajo las condiciones trabajadas. Por ejemplo, para alcanzar pH final 6.01 en el suelo de textura media con fertilización completa, el requerimiento de la enmienda Triple Cal será 2,250 kg.ha⁻¹ (Cuadro 13).

Cuadro 13. Aplicación de la enmienda Triple Cal en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y el pH esperado en dos suelos, con dos formulaciones de fertilización, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Aplicación Triple Cal $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	pH esperado			
	Textura Media		Textura Fina	
	Fertilización Completa ^α	Fertilización Convencional	Fertilización Completa	Fertilización Convencional
0	5.15	5.50	4.92	5.56
250	5.21	5.57	5.20	5.74
500	5.27	5.65	5.45	5.89
750	5.35	5.77	5.65	5.99
1,000	5.43	5.90	5.82	6.06
1,250	5.53	6.07	5.95	6.09
1,500	5.63	6.25	6.05	
1,750	5.75	6.47	6.10	
2,000	5.87		6.12	
2,250	6.01			
2,500	6.15			
2,750	6.31			
3,000	6.47			

α Fertilización completa: textura media (132-42-82) y textura fina (112-42-47)
 Fertilización completa: textura media (132-42-82) y textura fina (112-42-47); Fertilización convencional: textura media y fina (58-19-38-MgO 13-S 13-B2O3 6).

Efecto de la Triple Cal en la absorción de Nitrógeno, Calcio y magnesio. La aplicación de Triple Cal disminuyó la concentración de calcio y magnesio foliar, cuando se aplicó la fertilización convencional. Al aplicar la fertilización completa, el efecto en la absorción de calcio no es claro (Cuadros 14 y 15). La aplicación de triple cal no tuvo efecto en la concentración de nitrógeno en las hojas.

Cuadro 14. Concentración foliar de nutrientes en el cultivo de café, variedad caturra en suelo de textura media, con tres dosis de triple cal y dos formulaciones de fertilización en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Triple cal kg.ha ⁻¹	pH final	Fertilización							
			Convencional %				Completa %			
			N	Ca	Mg	Ca/Mg	N	Ca	Mg	Ca/Mg
Media	1,515	5.92	2.75	0.80	0.49	1.63	2.62	0.74	0.45	1.64
	758	5.55	2.89	0.99	0.58	1.71	2.65	0.93	0.61	1.52
	0	5.32	2.83	0.98	0.60	1.63	2.93	0.68	0.51	1.33

^a Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6 ; Fertilización completa 132-42-82.

Cuadro 15. Concentración foliar de nutrientes en el cultivo de café, variedad caturra en suelo de textura fina, con tres dosis de triple cal y dos formulaciones de fertilización en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

Textura	Triple cal kg.ha ⁻¹	pH final	Fertilización							
			Convencional ^a (%)				Completa %			
			N	Ca	Mg	Ca/Mg	N	Ca	Mg	Ca/Mg
Fina	1,515	6.06	2.81	0.39	0.29	1.34	2.78	1.04	0.46	2.26
	758	5.82	2.89	0.40	0.70	0.57	2.74	1.08	0.38	2.84
	0	5.24	2.81	0.46	0.62	0.74	2.79	0.39	0.44	0.89

^a Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6; Fertilización completa 112-42-47.

Análisis económico. En el suelo de textura media la utilidad neta más alta se obtuvo con la fórmula de fertilización convencional (58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6) y con la no aplicación de cal (Cuadro 16), estos resultados se vieron afectados por la falta de tiempo que garantizará la asimilación efectiva de los tratamientos aplicados a estos suelos.

En el suelo de textura fina el mejor tratamiento fue la aplicación de fertilización completa (112-42-47), recomendada por el Laboratorio de Suelos de la E.A.P. Zamorano (LSZ) con la aplicación de 758 kg.ha⁻¹ de cal, alcanzando la mayor utilidad neta de 4,594 dólares por hectárea producida (Cuadro 17).

Cuadro 16. Costos de aplicación de Triple Cal y dos formulaciones de Fertilización y utilidades en suelos de textura media, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

TRT		Costos \$.ha ⁻¹			Producción kg.ha ⁻¹	Costos de producción \$.ha ⁻¹	Costo Totales (TRT + Producción) \$.ha ⁻¹	Ingreso \$.ha ⁻¹	Utilidad \$.ha ⁻¹	Rentabilidad
Formulación de Fertilización ^Ω	Dosis Cal kg.ha ⁻¹	Fertilización	Cal	Total						
Convencional	0	184	0	184	1,610	4,251	4,435	7,085	2,650	5.7%
Convencional	1,515	184	387	571	1,744	4,605	5,176	7,674	2,499	8.2%
Completa	1,515	288	387	675	1,686	4,451	5,126	7,419	2,293	5.5%
Completa	0	288	0	288	1,395	3,683	3,971	6,139	2,167	10.0%
Convencional	758	184	203	387	1,328	3,506	3,893	5,844	1,951	14.0%
Completa	758	288	203	491	1,232	3,253	3,744	5,421	1,678	-

^Ω Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6; Fertilización completa 132-42-82.

20

Cuadro 17. Costos de aplicación Triple Cal y dos formulaciones de Fertilización y utilidades en suelos de textura fina, en finca La Esperanza, Las Manos, Nicaragua.

TRT		Costos \$.ha ⁻¹			Producción kg.ha ⁻¹	Costos producción \$.ha ⁻¹	Costo Totales (TRT + Producción) \$.ha ⁻¹	Ingreso \$.ha ⁻¹	Utilidad \$.ha ⁻¹	Rentabilidad
Formulación de Fertilización ^Ω	Dosis Cal kg.ha ⁻¹	Fertilización	Cal	Total						
Completa	758	244	203	447	2,864	7,562	8,009	12,603	4,594	2.7%
Convencional	0	184	0	184	2,644	6,981	7,165	11,635	4,470	3.8%
Convencional	1,515	184	387	571	2,768	7,308	7,879	12,180	4,301	6.3%
Convencional	758	184	203	387	2,510	6,627	7,014	11,045	4,031	0.9%
Completa	0	244	0	244	2,408	6,358	6,602	10,596	3,995	13.1%
Completa	1515	244	387	631	2,331	6,154	6,785	10,257	3,472	-

^Ω Fertilización convencional 58-19-38-MgO 13-S 13-B₂O₃ 6 ; Fertilización completa 112-42-47.

4. CONCLUSIONES

- Las aplicaciones de cal tuvieron efecto positivo en la corrección de pH de los suelos y hubo efectos positivos de producción de café en suelos de textura fina.
- En los dos suelos (textura media y fina) los mejores resultados de pH final se obtuvieron con la aplicación de 1,515 kg.ha-1 de la enmienda Triple Cal.
- Las formulaciones de fertilización tuvieron efecto en pH final de los suelos. Los pH más altos se obtuvieron con fertilización convencional.
- Las texturas tuvieron efecto marcado en producción de café; textura fina tuvo los mejores rendimientos productivos.
- En textura fina se obtuvo el mejor rendimiento de café mediante la aplicación de fertilización completa con 757.5 kg.ha-1 de cal.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar aplicación de 14 onzas de cal por planta en textura media ($1,515 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la enmienda Triple Cal[®].
- Realizar aplicación de siete onzas de cal por planta en textura fina ($757.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de la enmienda Triple Cal[®].
- Realizar el estudio cubriendo el ciclo productivo completo del cultivo (un año) para obtener resultados más contundentes en cuanto a producción y absorción foliar.
- Realizar la aplicación de fertilización con formulación completa y siete onzas de Triple Cal[®] por planta en el suelo de textura fina con el objetivo de garantizar el máximo rendimiento productivo del cultivo. Las aplicaciones deben hacerse por separado: primero encalado dejar actuar y después fertilizar.
- Realizar el estudio con análisis foliares antes y después de la aplicación de los tratamientos acompañados de análisis químicos completos de suelo con el objetivo de evaluar la disponibilidad y absorción de nutrientes en el cultivo.
- Con cultivo en laderas, hacer las aplicaciones de cal en la banda de fertilización de la planta, así se hará mejor uso de la enmienda en el punto de aplicación de fertilizantes y absorción radicular e incorporarla a los 20-25 cm del perfil de suelo.
- Realizar el estudio evaluando el efecto del magnesio de manera individual sobre el pH final de los suelos y la producción de café.

6. LITERATURA CITADA

Arévalo, G. E. y C.A. Gauggel. 2012. Manual de laboratorio de manejo de ciencia de suelos y aguas. Tegucigalpa, Francisco Morazan: E.A.P. Zamorano. 109 p.

Arévalo, G. E. y C.A. Gauggel. 2013. Manual de laboratorio de manejo de suelos y nutrición vegetal. Tegucigalpa, Francisco Morazan: E.A.P. Zamorano. p 60.

Beegle, D. y D. Lingenfelter. 1995. Soil acidity and aglime. Agronomy facts 3, College of Agricultural sciences., 8 p.

Carvajal, J. F. 1984. Cafeto-Cultivo y Fertilización. Instituto Internacional de la Potasa. 254 p.

Cadena agroindustrial del café en Nicaragua. 2004. Consultado el 13 de octubre de 2013. Disponible en http://www.iica.int.ni/IICA_NICARAGUA/Publicaciones/Estudios_PDF/cadenasAgroindustriales/Cadena_Cafe.pdf

Chien S.H., M. Gearhart y D.J. Collamer. 2008. The effect of different ammoniacal nitrogen sources on soil acidification. Soil Science 173:544-551.

Espinosa, J. y Molina, E. 1999. Ácidez y encalado de los Suelos. International Plant Nutrition Institute. 42 p.

Harper, T. 2009. Lime cost-effective in correcting the pH of acidic soil (en línea). Consultado 23 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://extension.missouri.edu/news/DisplayStory.aspx?N=503>

Laínez, C., M. Conjura y A. Hernández. 2003. Manual del Caficultor. Impreso en impresos litográficos, 1000 ejemplares. Ciudad de San Salvador, El Salvador, Centroamérica.

Lathwell, D.J. (1979) Crop Response to Limiting of Ultisols and Oxisols. Cornell International Agriculture Bulletin 35. Cornell University, Ithaca.

MAGFOR: Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua. Publicado el 4 de febrero de 2013. Consultado el 15 de Septiembre de 2013. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/noticias/2013/febrero/manejo.html>

Molina, E. 1998. Encalado para la corrección de la acidez del suelo. San José, Costa Rica. 45 p.

Pérez, I. 1996. Controle la acidez y alcalinidad y aumente la fertilidad de su suelo. INPOFOS: Informaciones Agronómicas 1: 3-4.

Roseberry, W. 1996. The Rise of Yuppie Coffees and the Reimagination of Class in the United States. *American Anthropologist*, 775 p.

Sims, J.T. 1996. Lime Requirement. In: *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Chapter 17.* Sparks, D.L. Exchangeable Al, Soil-lime incubation, Adams and Evans method. Editorial Committee. p 500 -5013.

Suarez, A. 2012. Manual de Muestreo Foliar para recomendación de Fertilización. Publicado en Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA). Consultado el 28 de Mayo del 2014. Disponible en <http://procorredor.org/uploaded/content/category/1881615223.pdf>

Whitney, D. y R. Lamond. 1993. Liming acid soils. Manhattan: Agronomy Department, Kansas Statet University. United States.

7. ANEXOS

Anexo 1. Aplicación superficial de enmienda cálcica en la gotera del cultivo de café.



Anexo 2. Enmienda cálcica incorporada en los primeros 15-20 cm del perfil de suelo.



Anexo 3. Barrenación a los 100 cm del perfil de suelo para texturización de parcelas.



Anexo 4. Análisis de suelos correspondiente a finca la Esperanza. Lote Adelina corresponde a textura fina y lote El Derrumbe corresponde a textura media.

ZAMORANO LABORATORIO DE SUELOS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Zamorano tels. (504) 2287-2000 ext. 2318 Fax: (504) 2287-6242 Cel. 9969-6848

Solicitante: OSLER ORTEZ
Localización de la muestra: NICARAGUA
Cultivo a sembrar: CAFÉ

RESULTADO DE ANALISIS
DE SUELOS
Fecha de entrada: 21/05/13
Fecha de salida: 06/06/13

Métodos:

K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica

P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría

% M.O. : Metodo de Walkley & Black

% N total: 5% de M.O.

pH: Relación suelo : agua; 1:1

Textura: Metodo de Bouyoucus

# Lab.	Muestra	Textura	%			pH (H ₂ O)	%		mg/Kg (extractable)					
			Arena	Limo	Arcilla		M.O.	N total	P	K	Ca	Mg	Na	
13-S-2115	Finca la esperanza lote el derrumbe	Franco Arcillo Arenoso	54	20	26	5.33	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Alto	Normal	
13-S-2116	Finca la esperanza lote el cambalache	Franco Arcillo Arenoso	48	18	34	5.65	Alto	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Normal	
13-S-2117	Finca la esperanza lote el Solar	Franco Arcillo Arenoso	62	16	22	5.72	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio	Medio	Normal	
13-S-2118	Finca la esperanza lote el piedrero	Franco Arcillo Arenoso	62	18	20	5.57	Alto	Medio	Medio	Medio	Medio	Alto	Normal	
13-S-2119	Finca la esperanza lote Adelina	Franco Arcillo Arenoso	60	16	24	5.52	Alto	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio	Normal	
13-S-2120	Finca la esperanza lote la piconá	Franco Arcillo Arenoso	60	20	20	5.86	Alto	Medio	Bajo	Medio	Alto	Medio	Normal	

Rango Medio	2.00 4.00	0.20 0.50	13 30	Por: Saturación de bases
-------------	--------------	--------------	----------	--------------------------

El requisito de cal de un suelo ha sido definido como: la cantidad de cal necesaria para elevar el pH del suelo hasta un valor de pH deseado. Los dos factores principales que determinan el requisito de cal de un suelo son: pH y capacidad de intercambio catiónico o capacidad tampón del suelo. Menor pH habrá más hidrógenos que neutralizar y se necesitará más cal (Arévalo y Gauggel 2012).

Con la investigación se contribuirá a la mejora de las condiciones de producción en la zona y a la vez servirá como facilitadores de información. El objetivo general del estudio fue determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de acidez de dos suelos bajo cultivo de café.

Antecedentes

En finca La Esperanza, ubicada en Las Manos, Nicaragua no se ha realizado ningún estudio hasta la actualidad. El historial de la finca no tiene registrado aplicación de enmienda cálcica al suelo pese a la tendencia de suelos ácidos en la región. Actualmente, se produce mediante el manejo tradicional que consiste en hacer las prácticas conforme a lo que se ha hecho a través de los años, sin el uso de herramientas tecnológicas. El señor Salatiel Zavala³ indicó que a través de los registros en su finca ha identificado tendencia en volúmenes de producción marcando un año con alta producción y otro con baja producción (1,624 kg.ha⁻¹ y 649 kg.ha⁻¹ equivalente a 25 y 10 qq.mz⁻¹). En la región existen fincas que obtienen altos rendimientos productivos y poco fluctuantes que oscilan entre los 1,624 y 2,274 kg.ha⁻¹ (25-35 qq.mz⁻¹), indicó el ingeniero Joaquin Lovo⁴. La región cuenta con suelos fértiles, francos en su mayoría, con tendencia a oscuros, altos contenidos de materia orgánica y en el rango de elevaciones óptimas para el cultivo de café (1,200-1,700 msnm); este potencial ha sido y es aún mal aprovechado. La finca ha sido ganadora al certamen de Tasa a la Excelencia a nivel nacional por nueve años consecutivos posicionándose en los primeros 25 lugares.

Los objetivos del estudio fueron determinar el efecto de enmiendas cálcicas en la corrección de pH en suelos de textura media y fina, determinar la dosis de enmienda cálcica más efectiva en el cambio de pH y evaluar el efecto de enmiendas cálcicas y fertilización en la producción de café.

³ Zavala, S. 2013. Productividad de finca La Esperanza. Dueño y administrador general de la finca a estudiar. Municipio Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Comunicación oral.

⁴ Lovo, J. 2013. Rendimientos de café en Finca Linda Vista. Productor vecino de la finca a trabajar. Municipio Las Manos, Nueva Segovia, Nicaragua. Comunicación oral.

