

**01**

**CAPITULO**

**Fertilización y encalado  
para potenciar el  
rendimiento forrajero  
del maíz en Santo  
Domingo de los  
Tsáchilas**





# Fertilización y encalado para potenciar el rendimiento forrajero del maíz en Santo Domingo de los Tsáchilas

## *Fertilization and limeing to boost the forage yield of corn in Santo Domingo de los Tsáchilas*

Cargua-Chávez, Jessica Elizabeth <sup>1</sup>   Carrillo-Cruz, Adriana Isabel <sup>1</sup>    
Cedeño-García, Galo Alexander <sup>2</sup>  

<sup>1</sup> Ecuador, Santo Domingo, Instituto Superior Tecnológico Tsáchila

<sup>2</sup> Ecuador, Manabí, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López

 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/egaea.cl.42>

**Resumen:** Los suelos de Santo Domingo de los Tsáchilas en Ecuador, son andisoles ácidos por naturaleza, por lo que el encalado y la fertilización deben ser labores cruciales para potenciar el rendimiento forrajero del maíz. En este contexto, durante el 2021 al 2023 se desarrollaron experimentos de encalado y fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, con el fin de determinar dosis adecuadas de cada nutriente. En el primer experimento se probaron tres niveles de nitrógeno (50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) y dos niveles de azufre (30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>). En el segundo experimento se evaluaron tres dosis de potasio (50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) y dos de fósforo (50 y 100 kg ha<sup>-1</sup>). En el tercer experimento se probaron tres niveles de dolomita (1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup>) combinadas con yeso agrícola en proporciones de 3:1. Los resultados obtenidos evidenciaron que la aplicación de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de dolomita + 500 kg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola y niveles de fertilización de 100 kg de N, 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 de K<sub>2</sub>O y 30 kg de S, fueron suficientes para incrementar el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543-QPM en suelos ácidos de Santo Domingo de los Tsáchilas.

**Palabras clave:** Zea mays, Andisol, Fertilización, Encalado, Forraje.

**Abstract:** The soils of Santo Domingo de los Tsáchilas in Ecuador are acidic andisols by nature, so liming and fertilization must be crucial tasks to enhance the forage yield of corn. In this context, during the 2021 to 2023, liming and fertilization experiments with nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur were carried out, in order to determine adequate doses of each nutrient. In the first experiment, three levels of nitrogen (50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>) and two levels of sulfur (30 and 60 kg ha<sup>-1</sup>) were tested. In the second experiment, three doses of potassium (50, 100 and 150 kg ha<sup>-1</sup>) and two doses of phosphorus (50 and 100 kg ha<sup>-1</sup>) were evaluated. In the third experiment, three levels of dolomite lime (1.0, 1.5 and 2.0 t ha<sup>-1</sup>) were tested combined with agricultural gypsum in proportions of 3:1. The results obtained showed that the application of 1.5 t ha<sup>-1</sup> of dolomite lime + 500 kg ha<sup>-1</sup> of agricultural gypsum and fertilization levels of 100 kg of N, 50 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 of K<sub>2</sub>O and 30 kg of S, were sufficient to increase the forage yield of INIAP 543-QPM corn in acidic soils of Santo Domingo de los Tsáchilas.

**Keywords:** Zea mays, Andisol, Fertilization, Liming, Forage.

## 1.1. Introducción

El maíz es un rubro de importancia para el Ecuador en su orden alimentario, social y económico, debido a que su cadena productiva satisface gran parte de las necesidades alimentarias de la población, genera empleo y sostiene la industria de lácteos, carnes y derivados (Analuisa et al., 2020). La provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, se caracteriza por poseer una de las ganaderías tropicales más desarrollada del país, donde se ha implementado programas de mejoramiento genético para potenciar la producción de leche y carne (Corral et al., 2021). A pesar de que Santo Domingo de los Tsáchilas se ubica en el trópico húmedo del Ecuador, y de recibir una gran cantidad de precipitaciones anualmente, más del 97% de su superficie agropecuaria se desarrolla bajo sistema de secano, donde al no contar con estructura de riego complementario, puede producirse escases de forraje para el ganado (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo [INEC], 2022; Hidalgo et al., 2023).

En este contexto, la producción de maíz para forraje se ha venido implementado como estrategia para complementar la alimentación del ganado en épocas de escasez (Hidalgo et al., 2023). Así mismo, se ha venido desarrollado variedades de maíz con alta calidad proteica, para consumo en fresco y alimentación animal como ensilaje (Alarcón et al., 2019). Sin embargo, la producción agrícola no es tan sencilla en Santo Domingo de los Tsáchilas, debido a que la mayoría de sus suelos son ácidos de origen volcánico, con pH menores a 5,5 que dificultan la producción de los cultivos por la presencia y toxicidad de  $Al^{3+}$  (Calvache, 2014; Espinosa et al., 2022). Los suelos andisoles ácidos, muestran una fuerte acidez y alto contenido de  $Al^{3+}$  intercambiable que provoca toxicidad de las raíces. Además, por la presencia y dominancia de la arcilla alófana presentan una fuerte fijación de P (Takahashi & Dahlgren, 2016; Mihai et al., 2023).

Por otro lado, en lugares lluviosos como Santo Domingo de los Tsáchilas, que reciben precipitaciones superiores a  $3000 \text{ mm año}^{-1}$ , promueven altas tasas de lixiviación de bases catiónicas como Ca, Mg y K, lo cual se asocia con una baja capacidad de intercambio catiónico, retención y desequilibrio de nutrientes, que limita fuertemente la producción de los cultivos. Por lo tanto, en suelos andisoles ácidos los valores de pH para el normal desarrollo y adecuada nutrición de los cultivos deben estar alrededor de 5.5 (García & Schlatter, 2012; Espinosa et al., 2022; Mihai et al., 2023). El encalado de suelos ácidos generalmente se promueve como una práctica de manejo eficaz para aumentar el pH del suelo, las concentraciones de cationes básicos y disminuir la toxicidad causada por el aluminio, hidrógeno y otros elementos como manganeso y hierro (Rahman et al., 2018; Enesi et al., 2023). El maíz destinado para la producción de forraje, requiere condiciones de suelo, necesidades nutricionales y niveles de

fertilización adecuados y balanceados para potenciar el rendimiento y la calidad forrajera (PDA, 2023; Sullivan et al., 2023). Varias investigaciones han determinado que la integración del encalado y la fertilización balanceada promueven significativas mejoras en el rendimiento del maíz.

Tomando en cuenta esto, Crusciol et al. (2019), describieron un aumento del 61% de rendimiento del maíz con encalado sobre el tratamiento control. Por otra parte, Qaswar et al., (2020) concluyeron que la aplicación de cal es una estrategia eficaz para mitigar la acidificación del suelo y aumentar uso eficiente fósforo mediante el aumento de los cationes básicos intercambiables y la reducción de los cationes ácidos para un alto rendimiento de maíz y trigo en suelos ácidos. Por su parte, Agegnehu et al. (2021) concluyeron que el encalado potencio el rendimiento del maíz entre un 111 a 181% con relación al control. Así mismo, Tshiabukole et al., (2022) determinaron que el encalado combinado con fertilización mineral, en las proporciones requeridas para el cultivo de maíz, mejoró alrededor del 50% la producción por unidad de área de ganancia de maíz en los suelos ácidos y Dugalic et al., (2023) concluyeron que el rendimiento de maíz con fertilización y encalado fue entre un 4,4% y un 9% mayor que en el tratamiento con solo fertilización en suelo ácido.

Actualmente, se cuenta con la variedad de maíz blanco de libre polinización INIAP 543 – QPM, que por su alta calidad proteica puede ser utilizado para elaboración de ensilaje (Limongi et al. 2019). Sin embargo, este material fue liberado para condiciones edafoclimáticas del litoral ecuatoriano, por lo que, bajo condiciones de suelos ácidos de Santo Domingo de los Tsáchilas no se había evaluado su potencial productivo como forraje en función del encalado y la fertilización. Por lo anterior, durante los años 2021, 2022 y 2023, se desarrollaron experimentos de encalado y fertilización con N, P, K y S para establecer un manejo básico de la fertilización del maíz INIAP 543 – QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas.

## 1.2. Materiales y métodos

### 1.2.1. Localización

Las investigaciones se desarrollaron durante los años 2021, 2022 y 2023, en la granja experimental Mishilí perteneciente al Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, localizada en el km 6½ de la vía Santo Domingo – Quevedo, en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.

## 1.2.2. Material vegetal

El material vegetal utilizado fue la variedad de maíz de libre polinización INIAP 543 – QPM, liberada en el año 2019 por el Programa de maíz de la Estación Experimental Portoviejo del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Esta variedad fue desarrollada principalmente para consumo en fresco como choclo, pero también tiene potencial para ser usada como materia prima para ensilajes debido a su alta calidad proteínica, que en promedio es del 8,95% (Limongi et al., 2019).

## 1.2.3. Experimentos desarrollados

Se desarrollaron tres experimentos independientes que se describen a continuación:

**Experimento 1:** Efecto de la fertilización nitro – azufrada en el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas

Este experimento se desarrolló durante las temporadas 2021 y 2022. Se probaron tres niveles de nitrógeno (50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) y dos niveles de azufre (30 y 60 kg ha<sup>-1</sup>) más un tratamiento control con omisión de N y S. Como fuente de nitrógeno se utilizó nitrato de amonio y como fuente de azufre se utilizó sulfato de amonio y de magnesio. La fertilización nitrogenada fue colocada en tres fracciones, el 20% en etapa fenológica VE (hoja emergente), el 40% en la V6 (hoja seis) y el 40% en la V10 (hoja diez). La fertilización azufrada fue colocada en dos fracciones, el 50% en etapa VE y el 50% en la etapa V6. Además, la fertilización se complementó con 30 y 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O kg ha<sup>-1</sup>. El fósforo fue colocado 100% en la etapa VE como fosfato diamónico y el potasio se aplicó 50% en VE y 50% en V6 como muriato de potasio. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial A (nitrógeno) x B (azufre) + N (omisión NS), con siete tratamientos, tres replicas y 21 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron parcelas 24 m<sup>2</sup>, con distancias de siembra de 0,80 m y 0,25 m entre hileras y plantas, con una densidad de 50000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las variables registradas fueron rendimiento de materia verde y seca. Los datos fueron analizados con ANOVA y la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

**Experimento 2:** Efecto de la fertilización con potasio y fósforo en el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas.

El experimento se ejecutó durante las temporadas 2021 y 2022. Se probaron tres niveles de potasio (50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>) y dos niveles de fósforo (50 y 100 kg ha<sup>-1</sup>) más un tratamiento control con omisión de K y P. Como fuente de potasio se utilizó muriato de potasio y como fuente de fósforo se utilizó fosfato diamónico. La fertilización potásica fue colocada en dos fracciones, el 50% en etapa

fenológica VE (hoja emergente), el 50% en la V6 (hoja seis). La fertilización fosfatada fue colocada el 100% en la etapa VE. Además, se aplicó una fertilización básica de 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno, utilizando nitrato de amonio, que fue colocado en fracciones del 20, 40 y 40% en las etapas fenológicas VE, V6 y V10, respectivamente. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en arreglo factorial A (potasio) x B (fósforo) + N (omisión PK), con siete tratamientos, tres replicas y 21 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron parcelas 24 m<sup>2</sup>, con distancias de siembra de 0,80 m y 0,25 m entre hileras y plantas, con una densidad de 50000 plantas ha<sup>-1</sup>. Las variables registradas fueron rendimiento de materia verde y seca. Los datos fueron analizados con ANOVA y la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

**Experimento 3:** Efecto del encalado sobre el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM y el pH del suelo en Santo Domingo de los Tsáchilas

El experimento se desarrolló durante las temporadas 2022 y 2023. Los tratamientos evaluados fueron tres niveles de cal dolomita [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] que fueron: T<sub>1</sub>: 1,0 t ha<sup>-1</sup>, T<sub>2</sub>: 1,5 t ha<sup>-1</sup>, T<sub>3</sub>: 2,0 t ha<sup>-1</sup> y T<sub>4</sub>: Control. La dolomita fue aplicada de forma combinada con yeso agrícola en proporción 3:1 con respecto a las respectivas dosis evaluadas, con la finalidad de darle mayor movilidad de la cal dolomita hacia las capas más profundas del suelo, puesto que la cal se aplicó al voleo en la superficie del suelo. Las dosis de yeso agrícola fueron 333, 500 y 666 kg ha<sup>-1</sup>, para la dosis de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup> de dolomita, respectivamente. La cal dolomita estuvo compuesta por 46% CaO y 12% MgO, con una granulometría malla 100. El pH inicial de la solución del suelo previo a la aplicación de los tratamientos de encalado fue de 5,07. Para el experimento se utilizó un diseño bloques completos al azar (DBCA) con cuatro tratamientos, cinco replicas y 20 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron parcelas 24 m<sup>2</sup>, con distancias de siembra de 0,80 m y 0,25 m entre hileras y plantas, con una densidad de 50000 plantas ha<sup>-1</sup>. Los tratamientos de cal dolomita fueron aplicados 30 días antes de la siembra del maíz en ambas temporadas evaluadas. La fertilización se realizó con 100, 50, 100 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y S, respectivamente. Como fuente de S se utilizó sulfato de amonio, como fuente de fósforo el fosfato diamónico, como fuente de potasio el muriato de potasio y como fuente de nitrógeno el nitrato de amonio. El fertilizante nitrogenado fue aplicado en tres fracciones, colocando el 20% a la emergencia (VE), el 40% en la hoja 6 (V6) y el restante 40% en la hoja 10 (V10). El fósforo fue aplicado el 100% al momento de la emergencia del cultivo (VE). Los demás fertilizantes se aplicaron el 50% a la emergencia (VE) y el restante 50% a la hoja 6 (V10). Las variables registradas fueron pH final, rendimiento de materia verde y seca. Los datos fueron analizados con ANOVA y la separación de medias con prueba de Tukey al 5% de probabilidades de error.

## 1.2.4. Manejo específico de los experimentos

Previo a la siembra, la semilla fue tratada con imidacloprid + thiodicarb, en dosis de 25 mL kg<sup>-1</sup> de semilla. A los 10 días después de la siembra (DDS), se aplicó en “drench” el insecticida thiametoxam en dosis de 1 mL L<sup>-1</sup> agua. En base a los monitoreos de las poblaciones de insectos vectores (cicadelidos, pulgones, trips y crisomélidos), se realizó una aplicación fipronil, en dosis de 0,7 mL L<sup>-1</sup> agua. Se realizaron dos controles de gusano cogollero, para el primero se utilizó el insecticida Spinetoram en dosis de 0,5 mL L<sup>-1</sup> de agua, mientras que, para el segundo control, se aplicó el insecticida Lufenuron en dosis de 1,5 mL L<sup>-1</sup> de agua. Para el control preemergente de malezas, se aplicó la mezcla de los herbicidas Atrazina-80 + Pendimetalin en dosis de 1,5 + 3,0 litros ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para el control posemergente de malezas, se aplicó MCPA en dosis de 1,5 L ha<sup>-1</sup>, más el herbicida nicosulfuron en dosis de 25 g ha<sup>-1</sup>.

## 1.3. Resultados

### 1.3.1. Efecto de la fertilización nitro – azufrada en el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM

El análisis de varianza no registró diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) para la interacción nitrógeno x azufre en ambas temporadas evaluadas, lo cual indica que sus efectos fueron independientes. Por su parte, la fertilización nitrogenada afectó significativamente ( $p < 0,05$ ) el rendimiento de masa verde y seca durante las temporadas 2021 y 2022, con respecto al tratamiento control. Entre niveles de nitrógeno no se dieron diferencias estadísticas, sin embargo, numéricamente la dosis de 100 kg ha<sup>-1</sup>, registró mayores rendimientos de materia verde y seca. En la temporada 2021 las dosis de 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 18,84, 24,42 y 23,93% con respecto al tratamiento control. En la temporada 2022, los niveles de 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup>, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 35,28, 41,04 y 37,81% con relación al tratamiento control (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Efecto de tres niveles de nitrógeno en el rendimiento de materia verde y seca del maíz en un suelo andisol ácido*

Niveles de nitrógeno	Temporada 2021		Temporada 2022	
	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )
50 kg ha <sup>-1</sup>	25,85 a <sup>1</sup>	6,26 a	27,95 a	7,69 a
100 kg ha <sup>-1</sup>	27,76 a	6,87 a	30,68 a	9,03 a
150 kg ha <sup>-1</sup>	27,58 a	6,75 a	29,09 a	8,24 a
Control	20,98 b	4,81 b	18,09 b	4,38 b
p-valor ANOVA	0,0096	0,0024	0,0008	0,0005
C.V. %	11,57	11,46	10,56	12,91

**Nota:** <sup>1</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

El rendimiento de materia verde y seca fue influenciado significativamente ( $p < 0.05$ ) por la fertilización azufrada en ambas temporadas evaluadas, con respecto al tratamiento control. No se registró diferencias estadísticas entre las dosis de azufre, lo cual indicaría que la dosis de 30 kg ha<sup>-1</sup>, podría ser suficiente para la fertilización del maíz bajo las condiciones donde se desarrolló el experimento. Durante la temporada 2021, las dosis de 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup> de azufre, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 21,57 y 21,75% con respecto al tratamiento control. En la temporada 2022, las dosis de 30 y 60 kg ha<sup>-1</sup> de azufre, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 41,78 y 34,00% con relación al tratamiento control (Tabla 2).

Los incrementos de rendimiento en materia seca producidos con las dosis de nitrógeno y azufre, fueron proporcionales a los conseguidos para materia verde, en ambas temporadas evaluadas. Los resultados logrados en ambas temporadas de siembra, demuestran que 100 kg de nitrógeno y 30 kg de azufre son suficientes para la fertilización del maíz INIAP 543-QPM en suelos de Santo Domingo de Tsáchilas.

**Tabla 2**

*Efecto de dos niveles de azufre en el rendimiento de materia verde y seca del maíz en un suelo andisol ácido*

Niveles de azufre	Temporada 2021		Temporada 2022	
	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )
30 kg ha <sup>-1</sup>	26,75 a <sup>1</sup>	6,43 a	31,07 a	8,86 a
60 kg ha <sup>-1</sup>	26,81 a	6,62 a	27,41 a	7,78 a
Control	20,98 b	4,81 b	18,09 b	4,38 b
p-valor ANOVA	0,0381	0,0274	0,0354	0,0299
C.V. %	12,65	10,14	14,05	12,98

**Nota:** <sup>1</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

### 1.3.2. Efecto de la fertilización con potasio y fósforo en el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM

Los resultados del análisis de varianza no evidenciaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) para la interacción niveles de potasio x niveles de fósforo, lo cual denota la independencia de los efectos entre los factores. Los niveles de fertilización potásica evaluadas influyeron de manera significativa ( $p < 0,05$ ) el rendimiento de materia verde y seca, con respecto al tratamiento control. En la temporada 2021 las dosis de 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de potasio, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 19,67, 27,85 y 22,25% con relación al tratamiento control. Así mismo, durante la temporada 2022 los niveles de 50, 100 y 150 kg ha<sup>-1</sup> de potasio aumentaron el rendimiento de materia seca en un 18,56, 27,03 y 24,25% con respecto al tratamiento control (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Efecto de tres niveles de potasio en el rendimiento de materia verde y seca del maíz en un suelo andisol ácido*

Niveles de potasio	Temporada 2021		Temporada 2022	
	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )
50 kg ha <sup>-1</sup>	36,80 b <sup>1</sup>	8,06 b	37,55 b	8,13 b
100 kg ha <sup>-1</sup>	40,97 a	9,90 a	41,93 a	9,66 a
150 kg ha <sup>-1</sup>	38,02 ab	9,37 ab	40,37 a	9,16 a
Control	29,56 c	6,43 c	30,58 c	6,67 c
p-valor ANOVA	0,0128	0,0135	0,0189	0,0244
C.V. %	6,05	7,28	7,03	7,85

**Nota:** <sup>1</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

El incremento de rendimiento de materia seca obtenido con los niveles de potasio probados, fueron proporcionales a los conseguidos con materia verde. Las dosis de fertilización fosfatada influyeron de forma significativa ( $p < 0,05$ ) el rendimiento de materia verde y seca con relación al tratamiento control. Las dosis de 50 y 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> incrementaron el rendimiento de materia verde en un 23,40 y 21,67% con relación al tratamiento control en la temporada 2021. De la misma forma durante la temporada 2022, los niveles de 50 y 100 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> incrementaron el rendimiento de materia verde en un 22,23 y 20,05% con relación al tratamiento control (Tabla 4). En cuanto a producción de materia seca, los resultados también fueron proporcionales a los obtenidos en materia verde para todas las dosis de fósforo evaluadas en ambas temporadas de siembra. Los resultados logrados en esta investigación demuestran que bajo las condiciones donde se desarrolló la investigación, puede ser suficiente la aplicación de 100 y

50 kg ha<sup>-1</sup> de potasio y fósforo respectivamente, para la fertilización del maíz INIAP 543-QPM con fines forrajeros.

**Tabla 4**

*Efecto de dos niveles de fósforo en el rendimiento de materia verde y seca del maíz en un suelo andisol ácido*

Niveles de fósforo	Temporada 2021		Temporada 2022	
	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )
50 kg ha <sup>-1</sup>	38,59 a <sup>1</sup>	9,47 a	39,32 a	9,52 a
100 kg ha <sup>-1</sup>	37,74 a	8,96 a	38,25 a	9,26 a
Control	29,56 b	6,43 b	30,58 b	6,67 b
p-valor ANOVA	0,0132	0,0254	0,0017	0,0025
C.V. %	6,04	7,21	7,05	7,64

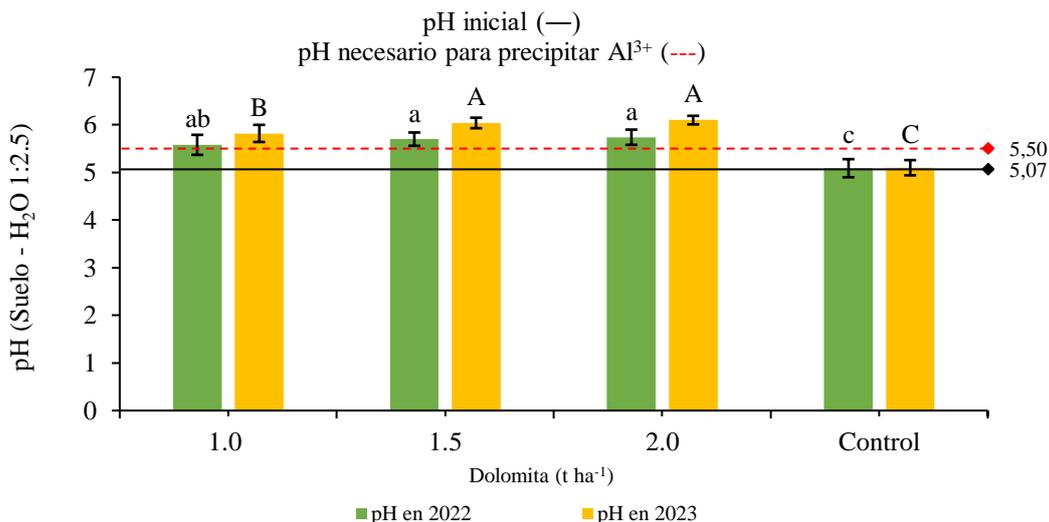
**Nota:** <sup>1</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

### 1.3.3. Efecto del encalado sobre el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543 – QPM y el pH del suelo

El encalado incrementó significativamente ( $p < 0,05$ ) el pH final del suelo en ambas épocas temporadas evaluadas, donde todas las dosis de dolomita lograron elevar el pH del suelo por encima de 5,5, que según varios autores es considerado un nivel suficiente para precipitar el Al<sup>3+</sup> en suelos tropicales ácidos, dado que niveles inferiores provocan la solubilización del Al<sup>3+</sup> en la solución del suelo y toxicidad a las raíces, perjudicando su crecimiento y la absorción de nutrientes. Con relación al pH inicial los niveles de encalado de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup>, lograron incrementar el pH final en un 9,14, 11,05 y 11,67%, respectivamente para la temporada del 2022. Mientras que, para la temporada de 2023, el incremento del pH final fue del 12,89, 16,06 y 16,89% con los niveles de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup> de dolomita, respectivamente, con relación al pH inicial (Figura 1). El mayor incremento del pH final en 2023 con respecto al 2022, posiblemente se debió al efecto residual de la primera aplicación de cal en 2022.

**Figura 1**

*Efecto de tres niveles de dolomita en el pH de un suelo andisol ácido*



**Nota:** Letras minúsculas en barras verdes y mayúsculas en barras amarillas, denotan diferencias de medias significativas para el año 2022 y 2023, respectivamente, de acuerdo a prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Los tratamientos de encalado influyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) el rendimiento de materia verde y seca, en ambas temporadas de siembra evaluadas. En la temporada del 2022, las dosis de encalado de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup>, incrementaron el rendimiento de materia verde en un 32,56, 36,78 y 36,54%, con respecto al tratamiento sin encalado, en su orden respectivo. De manera similar, ocurrió con el rendimiento de materia seca, donde las dosis de encalado lograron un incremento del 35,36, 46,31 y 45,64% con relación al tratamiento control. Para la temporada del 2023, el rendimiento de materia verde del tratamiento control, fue superado en un 32,99, 36,70 y 35,48% por los niveles de dolomita de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. De la misma forma, los tratamientos de encalado de 1,0, 1,5 y 2,0 t ha<sup>-1</sup>, incrementaron el rendimiento de materia seca en 46,11, 51,92 y 49,94% en comparación al tratamiento control sin encalado (Tabla 5).

**Tabla 5**

*Efecto de tres niveles de dolomita en el rendimiento de materia verde y seca del maíz en un suelo andisol ácido*

Niveles de dolomita [CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ]	Temporada 2022		Temporada 2023	
	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento de materia seca (t ha <sup>-1</sup> )
1,0 t ha <sup>-1</sup>	44,75 b <sup>1</sup>	11,37 b	47,27 b	14,64 b
1,5 t ha <sup>-1</sup>	47,74 a	13,69 a	50,06 a	16,41 a
2,0 t ha <sup>-1</sup>	47,56 a	13,52 a	49,12 ab	15,76 ab
Control	30,18 c	7,35 c	31,69 c	7,89 c
p-valor ANOVA	0,0067	0,0069	0,0001	0,0005
C.V. %	11,2	14,03	7,13	9,65

**Nota:** <sup>1</sup>Medias dentro de columnas con letras distintas, difieren estadísticamente según prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## 1.4. Discusión

Los resultados evidenciaron que la aplicación de 1,5 t ha<sup>-1</sup> de cal dolomita + 500 kg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola y niveles de fertilización de 100 kg de N, 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 de K<sub>2</sub>O y 30 kg de S, potencian el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543-QPM en suelos ácidos de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Los resultados logrados con la fertilización nitro-azufrada se asemejan a los logrados por Barrios et al. (2019), quienes reportaron mayores rendimientos en tres híbridos de maíz con dosis de 100 y 200 kg de N y 50 kg de S. Resultados cercanos fueron hallados por Swify et al. (2022), quienes reportaron rendimientos de grano y biomasa seca con combinaciones de fertilización nitro-azufrada de 150 kg ha<sup>-1</sup>. De manera similar, Kumar et al., (2022) alcanzaron mayores rendimientos y calidad de maíz con 120 kg de N y 40 kg de S. Los incrementos en la producción de forraje con dosis adecuadas de nitrógeno y azufre, pueden deberse a que estos nutrientes desempeñan funciones fisiológicas clave en el metabolismo vegetal. Entre esas funciones importantes del nitrógeno, destacan la formación de aminoácidos, proteínas y hormonas que contribuyen a la producción de biomasa y la calidad del grano, lo cual es deseable en la producción forrajera (Demari et al., 2016; Asibi et al., 2019). Así mismo, el azufre junto al nitrógeno también contribuye a formación de aminoácidos específicos que componen grupos de proteínas implicadas en el desarrollo de la biomasa y calidad del grano del maíz, por lo que es imposible conseguir rendimientos y calidad de granos en maíces forrajeros deficientes en azufre (Sutar et al., 2017; Ariraman et al., 2020).

Los resultados de fertilización fosforada son cercanos a los conseguidos por Onasanya et al. (2009), quienes determinaron que 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fue

adecuado para potenciar el rendimiento de granos y biomasa del maíz. De la misma forma, los resultados logrados se asemejan a los obtenidos por Rashid y Iqbal (2012), quienes reportaron mayor rendimiento forrajero y calidad de grano en maíz con niveles de 53 y 37 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. En cuanto a la fertilización potásica, los resultados se asemejan a los obtenidos por Dantas et al. (2016) quienes consiguieron mayor rendimiento forrajero del maíz con 104 kg ha<sup>-1</sup> de potasio. Resultados cercanos fueron hallados por Sankadiya y Sanodiya (2021), quienes reportaron que niveles combinados de 70 y 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> lograron el mayor rendimiento de grano y biomasa seca del maíz. De forma similar, resultados logrados por Ahmed et al. (2021) quienes reportaron mejores rendimientos de granos y biomasa con 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Los efectos en la mejora del rendimiento forrajero del maíz, se debe a los efectos benéficos aportados por el fósforo y potasio, dado que ambos nutrientes desempeñan funciones fisiológicas indispensables para el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo Li. En este sentido, el fósforo integra el ácido nucleico, tiene actividad metabólica y es necesario para la respiración celular. También participa en el almacenamiento de energía, metabolismo del azúcar, fijación de CO<sub>2</sub>, reacción y transformación enzimática (Lambers, 2022). Por su parte, el potasio funciona como activador de una serie de enzimas relacionadas con la resistencia a diferentes estreses ambientales, enfermedades y también relacionadas con la síntesis de carbohidratos, que a su vez aumentan la prosecución de biomasa (Mostofa et al., 2022).

Los resultados de producción de materia verde y seca logrados con los tratamientos de encalado, coinciden a los descritos por Crusciol et al. (2019), quienes reportaron en un sistema intercalado de maíz y pasto marandul, un incremento en el rendimiento forrajero del 22 y 164% con la combinación de cal dolomita + yeso, con respecto al tratamiento de dolomita pura y al tratamiento control, respectivamente; por lo que concluyeron que la aplicación superficial de cal dolomita + yeso es una herramienta esencial para la producción de alimentos en la agricultura tropical de cero labranza con acidez del suelo elevada. Resultados cercanos también fueron logrados por Kisić et al. (2021), quienes reportaron rendimiento de ensilaje de maíz entre 15 a 19 t ha<sup>-1</sup> con tratamientos de cal dolomita, en comparación al tratamiento control que solo alcanzó un rendimiento de ensilaje de 6,37 t ha<sup>-1</sup>. Así mismo, Wakwoya et al. (2022) reportaron una producción de biomasa de entre 18,35, 18,25 y 17,81 t ha<sup>-1</sup> con tratamientos de encalado a base de calcita y dolomita, con relación al tratamiento control que alcanzó 16,98 t ha<sup>-1</sup> de biomasa.

El rendimiento forrajero del maíz en función del encalado puede ser relacionado por el mejoramiento del pH en el suelo, dado que este fue incrementado por encima de 5,5, que según varios autores es considerado un nivel suficiente para precipitar el Al<sup>3+</sup> en suelos tropicales ácidos. Lo anterior es debido a que el encalado disminuye la acidez, aumenta el pH y los cationes del suelo, reduce el

efecto tóxico del aluminio en las raíces, y por ende, tienen mayor capacidad de absorción de nutrientes, previamente solubilizados y disponibles en la solución del suelo por el efecto de un pH adecuado (Rahman et al., 2018; Li et al., 2019; Agegnehu et al., 2021; Enesi et al., 2023)

## 1.5. Conclusiones

La fertilización y encalado fueron eficientes para incrementar el rendimiento forrajero del maíz INIAP 543-QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas.

Niveles de fertilización de 100 y 30 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y azufre fueron los más efectivos para potenciar el rendimiento de biomasa verde y seca del maíz INIAP 543-QPM.

La aplicación de 50 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo y potasio produjeron el mayor rendimiento de biomasa forrajera del maíz INIAP 543-QPM.

El encalado del suelo para la producción forrajera del maíz INIAP 543-QPM en Santo Domingo de los Tsáchilas, puede ser suficiente con 1,5 t ha<sup>-1</sup> de cal dolomita combinada con 500 kg ha<sup>-1</sup> de yeso agrícola.

## Referencias Bibliográficas

- Agegnehu, G., Amede, T., Erkossa, T., Yirga, C., Henry, C., Tyler, R., Nosworthy, M., Beyene, S. y Sileshi, G. (2021). Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 71:9, 852-869. <https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1954239>
- Alarcón, D., Limongi, J., Zambrano, E. y Navarrete, J. (2019). Desarrollo de una variedad de maíz tropical de grano blanco con calidad de proteína para consumo en fresco. *Avances en Ciencias e Ingeniería* 11(17): 30 – 39. <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1101>
- Analuisa, I., Guerrero, J., Fernández, J. y Rodríguez, O. (2020). Caracterización socioeconómica del agricultor maicero en la Provincia de Manabí mediante técnicas de análisis multivariantes. *Revista Podium*, 37, 1–16. <https://doi.org/10.31095/podium.2020.38.1>
- Ariraman, R., Pavan, A., Selvakumar, S., Sowmya, S. and Mansingh, D. (2020). Effect of sulphur nutrition on growth parameters, yield parameters, yield, nutrient uptake, quality and economics of maize: *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 2020; 9(6): 1632-1636: <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i6x.13181>

- Asibi, E., Chai, Q. and Coulter, J. (2019). Mechanisms of nitrogen use in maize Aziiba. *Agronomy*, 9, 775; doi:10.3390/agronomy9120775
- Barrios, M., Rodríguez, G. and Álvarez, M. (2019). Effect of nitrogen-sulfur fertilization on yield and quality of three corn genotypes differing in endosperm texture. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, vol. 20, no. 3, pp. 565-577. doi.org/10.21930/rcta.vol20num3art:1591
- Calvache, M. (2014). El suelo y la productividad agrícola en la sierra del Ecuador. En: XIV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. [https://www.researchgate.net/publication/303298014\\_EL\\_SUELO\\_Y\\_LA\\_PRODUCTIVIDAD\\_AGRICOLA\\_EN\\_LA\\_SIERRA\\_DEL\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/303298014_EL_SUELO_Y_LA_PRODUCTIVIDAD_AGRICOLA_EN_LA_SIERRA_DEL_ECUADOR)
- Corral, C., Zambrano, L., Pincay, D. y Calo, S. (2021). Impactos ambientales generados por la ganadería en la provincia de Santo Domingo de Tsáchilas. *UNESUM-Ciencias. Publicación cuatrimestral. Vol. 5, Año 2021, No. 2 (Número Especial)*
- Crusciol, C., Marques, R., Carneis Filho, A., Soratto, R., Costa, C., Neto, J., Castro, G., Pariz, C., Castilhos, A. y Franzluebbers, A. (2019). Lime and gypsum combination improves crop and forage yields and estimated meat production and revenue in a variable charge tropical soil. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 115, 347–372. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10017-0>
- Dantas, E., Garófalo, L. y Dantas, L. (2016). cCorn production for silage subjected to potassium fertilization and water depths. *American Journal of Plant Sciences*, 7, 671-676 <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.74059>
- Demari, G., Carvalho, I., Nardino, M., Szarecki, V., Dellagostin, S., da Rosa, T., Follmann, D., Ndrade, M., Basso, C., Pedó, T., Aumonde, T. and Zimmer, P. (2016). Importance of nitrogen in maize production. *International Journal of Current Research Vol. 8, Issue, 08, pp.36629-36634.*
- Dugalić, M., Životić, L., Gajić, B. and Latković, D. (2024). Small doses of lime with common fertilizer practices improve soil characteristics and foster the sustainability of maize production. *Agronomy*, 14, 46. <https://doi.org/10.3390/agronomy14010046>
- Enesi, R., Dyck, M., Chang, S., Thilakarathna, M., Fan, X., Strelkov, S. y Gorim, L. (2023). Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - a meta-analysis. *Front. Agron.* 5:1194896. <https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1194896>
- Espinosa, J., Moreno, J. y Bernal, G. (2022). Suelos del Ecuador, clasificación, uso y manejo. Instituto Geográfico Militar. Acidez y encalado de los suelos. *International Plant Nutrition Institute, Quito, Ecuador.* 67

- García, L. y Schlatter, J. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár. Recife*, v.7, n.3, p.456-464. DOI:10.5039/agraria.v7i3a1736
- Hidalgo, P. (2023). Genotipos de maíz para la producción y conservación de forraje en forma de ensilaje. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*. Vol. 5, Núm. 7. (Edición Especial 2023) Pág 358-371
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo [INEC], (2022). Módulo de Información Ambiental y Tecnificación Agropecuaria, ESPAC 2021. Quito, Ecuador. 27 p.
- Kisić, I., Ćorić, R., Lončarić, Z., Jurković, D., Kajić, N., Ćorić, A., Jurina, D. y Delač, D. (2021). Effectiveness of different liming materials on some soil properties and yield of crops. *Journal of Central European Agriculture*, 22(2), 346-360. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/22.2.3171>
- Kumar, D., Chaturvedi, D., Singh, T., Kumar, T. and Awadhiya, P. (2022). Effect of nitrogen and sulphur levels on growth, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). *The Pharma Innovation Journal*; 11(1): 418-422
- Lamber, H. (2022). Phosphorus Acquisition and Utilization in Plants. *Annual Review of Plant Biology*. Biology is online at [plant.annualreviews.org](http://plant.annualreviews.org) <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102720-125738>
- Li, Y., Cui, S., Chang, S. y Zhang, Q. (2019). Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. *Journal of Soils and Sediments*, 19, 1393–1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
- Limongi, R., Alarcón, D. y Zambrano, E. (2019). Variedad INIAP 543-QPM con la calidad de proteína para el consumo en choclo en el litoral ecuatoriano. Portoviejo, Ecuador: INIAP, Estación Experimental Portoviejo. (Plegable n° 444).
- Mihai, R., Melo, E., Terán, V., Espinoza, I., Pinto, E., y Catana, R. (2023). The Panoramic View of Ecuadorian Soil Nutrients (Deficit/Toxicity) from Different Climatic Regions and Their Possible Influence on the Metabolism of Important Crops. *Toxics*, 11, 123. <https://doi.org/10.3390/toxics11020123>
- Mostofa, M. Rahman, M., Ghosh, T., Kabir, A., Mostafa, A., Rahman, A., Mochida, K. and Phan, L. (2022). Potassium in planta Physiological adaptation to abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry* 186, 279-289
- Onasanya, R., Aiyelari, O., Onasanya, A., Oikeh, S., Nwilene, F. and Oyelakin O. (2009). Growth and Yield Response of Maize (*Zea mays* L.) to Different

- Rates of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers in Southern. World Journal of Agricultural Sciences 5 (4): 400-407.
- PDA, (2023). Maize fertiliser requirements. The potash developmente Association. Pág. 11
- Qaswar, M., Dongchu, L., Jing, H., Tianfu, H., Ahmed, W., Abbas, M., Lu, Z., Jiangxue, D., Haider, Z., Ullah, S., Huimin, Z. y Boren, W. (2020). Interaction of liming and long-term fertilization increased crop yield and phosphorus use efficiency (PUE) through mediating exchangeable cations in acidic soil under wheat–maize cropping System. Scientific Reports. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76892-8>
- Rahman, M., Lee, S., Ji, H., Kabir, A., Jones, C., y Lee, K. (2018). Importance of Mineral Nutrition for Mitigating Aluminum Toxicity in Plants on Acidic Soils: Current Status and Opportunities. Int. J. Mol. Sci., 19, 3073. <https://doi.org/doi:10.3390/ijms19103073>
- Rashid, M. and Iqbal, M. (2012). Effect of phosphorus fertilizer on the yield and quality of maize (*Zea mays* L.) fodder on clay loam soil. The Journal of Animal & Plant Sciences, 22(1): 199-203
- Sankadiya, S. and Sanodiya, L. (2021). Effect of phosphorus and potassium levels on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). The Pharma Innovation Journal 10(10): 1347-1350
- Sullivan, D., Downing, T., Brewer, L. and Hart, J. (2023). Silage Corn Nutrient Management Guide for Western Oregon. Oregon State University Extension Service. Pp. 20
- Sutar, R., Pujar, A. y Kumar, A. y Hepsur, N. (2018). Nutrición del azufre en el maíz: una revisión crítica. DOI: 10.18782/2320-7051.6092. Int. J. Pure App. Biosci. 5 (6): 1582-1596
- Swify, S., Avizienyte, D., Mazeika, R. and Braziene, Z. (2022). Comparative study effect of urea-sulfur fertilizers on nitrogen uptake and maize productivity. Plants 2022, 11, 3020. <https://doi.org/10.3390/plants11223020>
- Takahashi, T., y Dahlgren, R. (2016). Nature, properties and function of aluminum–humus complexes in volcanic soils. Geoderma. 263, 110-121. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.032>
- Tshiabukole, J., Khonde, G., Phongo, A., Ngoma, N., Vumilia, R. and Kankolongo, N. Liming and Mineral Fertilization of Acid Soils in Maize Crop within the Savannah of Southwestern of Democratic Republic of Congo. o. Open Access Library Journal, 9: e8412. <https://doi.org/10.4236/oalib.1108412>

Wakwoya, M., Woldeyohannis, W., y Yimamu, F. (2022). Effects of minimum tillage and liming on maize (*Zea mays* L.) yield components and selected properties of acid soils in Assosa Zone, West Ethiopia. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100301>

