



Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

Chila Zambrano, Marcos Paul¹; Vera-Benites, Luis^{1,2}; González Acosta, Cristian Xavier¹; Jaramillo Gaona, Ronald Elías¹ y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas³

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

²Departamento de Suelos y Agua, Estación Experimental Tropical Pichilingue del INIAP, Mocache, Los Ríos, Ecuador.

³Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Guayas, Ecuador.

<https://orcid.org/0009-0008-5213-3311> marcos.chila2015@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4567-1919> luisf.vera@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-0509-3586> jaramilloronald33@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-1674-1540> cristian_g1909@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-2774-5635> lzambrano@uagraría.edu.ec

ASA/Artículo

doi: <http://doi.org/10.5281/zenodo.12787770>

Recibido: 08-01-2024

Aceptado: 17-06-2024

RESUMEN

El maíz representa un rubro de gran importancia para el sector agrícola ecuatoriano, sin embargo muchas de las zonas productivas se encuentran en zonas de pendiente, donde este factor junto con la precipitación favorecen el escurrimiento superficial, ocasionando pérdidas considerables de nitrógeno, siendo uno de los nutrientes de mayor demanda y que tiene enorme influencia en la productividad, por lo cual el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia del uso de nitrógeno en maíz cultivado comercialmente a través de una toposecuencia del Ecuador. La investigación se realizó durante el periodo lluvioso, se condujo un experimento completamente al azar con 3 tratamientos de fertilización (Control absoluto, fertilización nitrogenada y fertilización con nitrógeno completa) y 4 pendiente del terreno, se evaluaron los parámetros: diámetro de tallo, altura de inserción, longitud y diámetro de mazorca; peso de 100 semillas y rendimiento. Los resultados muestran que la fertilización incrementó la eficiencia de uso de nitrógeno, desarrollo y rendimiento. Dicha eficiencia se convirtió en aumento a través de pendientes de 2.5 veces, no obstante se debe resaltar, que la eficiencia de uso de nitrógeno en relación N aplicado cayeron de 0.76 a 0.46 kg N absorbido/kg N y 58.5 a 41.7 kg grano/kg N respectivamente al aumentar la pendiente, lo que demuestra que la fertilización del cultivo, debe ir acompañada de prácticas de conservación que disminuyan las pérdidas por escurrimiento y erosión, particularmente en suelos de alta pendiente y precipitaciones intensas como las evaluadas.

Palabras Clave: conservación, escurrimiento, erosión, pendiente, sostenibilidad.



Nitrogen use efficiency in a topsequence cultivated with corn in the on-slope soils

ABSTRACT

Corn represents an item of great importance for the Ecuadorian agricultural sector, however, many of the productive areas are located in slope zones, where this factor together with precipitation favors surface runoff, causing considerable losses of nitrogen, being one of the nutrients of greatest demand and that has enormous influence on productivity, so the objective of this research was to evaluate the efficiency of nitrogen use in corn grown commercially through a topsequence of Ecuador. The research was carried out during the rainy season, a completely randomized experiment was conducted with 3 fertilization treatments (absolute control, nitrogen fertilization and complete nitrogen fertilization) and 4 slopes of the field, the following parameters were evaluated: stalk diameter, insertion height, ear length and diameter, 100-seed weight and yield. The results show that fertilization increased nitrogen use efficiency, development and yield. However, it should be noted that the efficiency of nitrogen uses in relation to N applied fell from 0.76 to 0.46 kg N absorbed/kg N and 58.5 to 41.7 kg grain/kg N respectively as the slope increased, which shows that crop fertilization must be accompanied by conservation practices that reduce losses due to runoff and erosion, particularly in soils with high slopes and intense precipitation as those evaluated.

Keywords: conservation, runoff, erosion, slope, sustainability.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de maíz es mayor que la de cualquier otro grano. La producción anual de cereales es de 850 millones de toneladas, el área de siembra es de 162 millones de hectáreas y el rendimiento promedio es de 5,2 toneladas ha⁻¹. Los mayores productores son Estados Unidos y China, que representan el 37% y el 21% del total mundial respectivamente (Llanos et al. 2020).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) ha venido formando parte de la producción agrícola del país. La distribución y forma de consumo está bien identificada; así en las tierras bajas se siembra maíz amarillo cristalino, y su consumo es para la industria de balanceados, especialmente avícola; mientras que, en las zonas altas se produce y se consume exclusivamente granos de textura harinosa y suave (Hasang-Moran et al. 2021).

Dos tercios de la producción nacional se originan en estas zonas, donde se estima que la siembra de maíz durante la época lluviosa demanda la aplicación de un millón de sacos de Urea, el fertilizante nitrogenado de uso más común, a veces acompañado de fertilizantes fosfóricos y potásicos. Sin embargo, según varios reportes científicos, solo una porción del nitrógeno aplicado al suelo es absorbida por el maíz; la diferencia se mueve por distintos

caminos, incluso saliendo del suelo (Rodríguez et al. 2020). La porción que no es utilizada controla la eficiencia de uso del nitrógeno por el maíz; en gran medida esta porción depende de las condiciones del terreno y suelo donde se cultiva; la inclinación del suelo representa una de estas condiciones (Holz y Agustin, 2021). El nitrógeno es el nutriente de mayor demanda por el cultivo de maíz con enorme influencia en la productividad de los terrenos maiceros en la zona central del Litoral. Su aplicación a través de fertilizantes representa entre el 10 y 20% de la estructura de costos de dicho cultivo. La EUN (Eficiencia de uso de nitrógeno) del N aplicado, y del nitrógeno que en forma natural aporta el suelo, influye sobre la cantidad de grano aportado por cada unidad de este nutriente (Davies et al. 2020).

La eficiencia de uso del N suele ser baja debido a que se trata de un nutriente muy dinámico en el suelo y que sufre numerosos cambios que incluyen procesos de pérdidas, ganancias y transformaciones. Las principales fuentes de N utilizadas como fertilizante contienen urea en su formulación (urea granulada y UAN). En este contexto el abonamiento superficial con urea es limitante en el potencial productivo del cultivo del maíz, pudiendo evitar o disminuir la competencia inter específica por luz, agua y nutrientes, teniendo como consecuencia plantas de menor tamaño, mal formación de

Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

mazorcas, granos pequeños y bajo peso, aparte de no aprovechar adecuadamente el área de cultivo y agroquímicos, repercutiendo en los bajos rendimientos al momento de la cosecha (Cartagena et al. 2021).

Después de la aplicación de fertilizante nitrogenado, la pérdida de N se producirá mediante procesos de volatilización, desnitrificación y lavado, cuya extensión se ve afectada por el medio ambiente, esto reduce la eficiencia de recuperación o absorción (ER) del nitrógeno aplicado y reduce el rendimiento, que a su vez reduce el uso de nitrógeno o la eficiencia agronómica (EUN). Por otro lado, el N extraviado del sistema suelo-planta aumenta el riesgo de contaminación ambiental (Muchovej y Rechcigl, 2020).

Los cambios en las propiedades del suelo provocados por la erosión, producen alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo, y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Los principales factores limitantes del suelo en los sistemas de cultivo en regiones tropicales se caracterizan cualitativamente en relación a la erosión (Cotler et al. 2020). De esta manera se puede concluir que la productividad del suelo está relacionada con un gran número de factores limitantes físicos y químicos, que de manera general componen la fertilidad del suelo (Martínez-Rodríguez et al. 2021).

Dado que Ecuador es un país tropical donde las lluvias son erráticas y de alta intensidad y a eso se le une que muchas de las áreas productoras

Chila Zambrano, Marcos Paul; Vera-Benites, Luis; González Acosta, Cristian Xavier; Jaramillo Gaona, Ronald Elías y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas

de maíz están ubicadas en zonas de alta pendientes, que favorecen las condiciones para el escurrimiento y la erosión, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente, dado la importancia que tiene este cereal dentro de la agricultura mundial dado que maíz es mayor que la de cualquier otro grano, con una importancia clave en la industria alimenticia y para la producción pecuaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La fase de campo del presente estudio se llevó a cabo en el periodo enero-junio del 2020, en un lote de maíz comercial en la Finca “Flor Iselda”, recinto “La Carlota”, cantón Balzar, norte de la provincia del Guayas. Las coordenadas del sitio son: 1°09'32.0" S y 79°46'25.0"W. La altitud es 65 m s.n.m.

Características Edafoclimáticas

La ecología de la zona de vida donde se encuentra la finca “Flor Iselda” es bosque húmedo tropical. Las medias anuales de temperatura, precipitación, humedad relativa y heliofanía son en su orden: 26.5 °C, 1587.5 mm, 86% y 994.4 horas-luz (INAMHI, 2023). La topografía del terreno es irregular con diferentes grados de pendiente. Se estima que una tercera parte de los terrenos son planos. Los suelos tienen un horizonte superficial con

textura franco-limosa La fertilidad del suelo es

bueno como lo muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características edafológicas del sitio experimental

Datos	Valores medios
Textura	Franco Limoso
pH	5.2 (media, ácido)
M.O.	4,2% (medio)
N	19,8 ppm (bajo)
P	20 ppm (bajo)
K	0,74 meq/100 ml (alto)
Mg	2,3 meq/100 ml (alto)
S	14 ppm (medio)

Relieve del terreno y topografía del terreno

El relieve de la finca queda determinado por la presencia de lomas y valles. Los valles son bajos cavados por esteros y cauces pequeños que drenan el agua de lluvia. La topografía es irregular, los terrenos de la finca que se distribuyen en superficies con distinta pendiente. La superficie dedicada al monocultivo de maíz abarca 5.9 hectáreas y se distribuye en terrenos con pendientes de 0%, 15%, 23% y 39%. Son superficies de ladera que en el periodo lluvioso transportan agua de escorrentía al “bajo” que a su vez la transporta por medio de un pequeño cauce a otro cauce de drenaje más amplio en la cercanía y así hasta llegar al río. La superficie del suelo en el terreno con 23% de pendiente muestra colores claros y señales evidentes de erosión hídrica. Los terrenos planos abarcan la mitad de la superficie cultivada con maíz.

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño Completamente al Azar con arreglo de tratamiento factorial, que fueron las alternativas de fertilización y posiciones de 4 pendientes del terreno.

Descripción de los tratamientos

Los tratamientos estuvieron representados por tres alternativas de fertilización:

Sin fertilización

Constituido por parcelas de maíz donde no se aplicó fertilización mineral.

Fertilización con N

Parcelas fertilizadas con dosis que equivalen a 177 kg ha⁻¹. Se utilizó urea como fuente de N en una cantidad equivalente a 384 kg ha⁻¹. La cantidad total aplicada por parcela fue 960 g. Para su aplicación la cantidad señalada se fraccionó en tres partes. La primera se aplicó

Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

Chila Zambrano, Marcos Paul; Vera-Benites, Luis; González Acosta, Cristian Xavier; Jaramillo Gaona, Ronald Elías y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas

a los 8 días de la siembra (cuando eran visibles las hileras del cultivo), la segundase aplicó a los 20 días de la siembra y la tercera a los 35 días de la siembra. La aplicación se realizó incorporando la urea en el suelo, en hoyos hechos a 10-15 cm al costado de la hilera del cultivo para depositar el fertilizante en el fondo y cubrirlo con tierra.

270 g urea + 240 g fosfato diamónico + 125 g de muriato de potasio, para lo cual se hizo la mezcla y se procedió a fertilizar. Luego se aplicaron 320 g Urea (20 días) y más tarde 320 g urea (35 días). La aplicación de fertilizante se realizó de la misma manera que el tratamiento anterior.

Fertilización con NPK

Manejo del experimento

Parcelas fertilizadas con dosis que equivalen a 177 kg de N ha⁻¹, 23 kg de P₂O₅ ha⁻¹ y 30 kg de K₂O ha⁻¹. Las fuentes fueron urea, fosfato diamónico y muriato de potasio, la cantidad aplicada de cada fuente de fertilizante por parcela fueron 910, 240 y 125 g respectivamente. La primera aplicación de

Se marcaron parcelas dentro de un lote comercial de maíz, previamente identificadas las pendientes predominantes en la superficie cultivada.

En el Cuadro 2 se pueden apreciar las especificaciones de siembra y dimensiones de las parcelas.

Cuadro 2. Características de las parcelas

Número de parcelas	24
Superficie de la parcela	25 m ²
Dimensiones parcelas	5 x 5 m
Distancia entre hileras	0.8 m
Distancia entre plantas	0.2 m
Número de plantas ha ⁻¹	62500
Número de hileras/parcela	7
Número de plantas por hilera	22
Número de plantas /parce	154
Total de plantas en todas las parcelas	3696

Condiciones topográficas

Preparación de Terreno y siembra: Se preparó el terreno con una deshierba manual. La siembra se realizó el 28 de diciembre del 2020 depositándose 1 semillas por golpe.

La superficie dedicada al monocultivo de maíz abarcó 5.9 hectáreas y se distribuye en terrenos con pendientes de 0%, 15%, 23% y 39%.

Material de siembra

Control de Malezas: Se aplicaron los siguientes herbicidas: Prowl (Pendimentalin) en dosis de 2 l ha⁻¹ en pre emergencia, ATRAZINA 90 WG (Atrazina) 1,5 kg ha⁻¹ más

Se sembró la semilla híbrida EMBLEMA 777 comercializada por INTEROC en Ecuador.

Acción (Glifosato) 2 l ha⁻¹ también en preemergencia. A los 12 días de la siembra se aplicó Zea max Gold (Nicosulfuron). en dosis de 32 g ha⁻¹. Se aplicó Gramoxone (Paraquat) 1.5 l ha⁻¹ dirigido entre las hileras, a los 40 días de la siembra.

Control de Plagas y Enfermedades: Se aplicó Zero (Lambdacialotrina) en dosis de 0,2 l ha⁻¹ a los 14 días de la siembra. A los 21 días de la siembra se aplicó Apero (Imidacloprid) en dosis de 0.5 l ha⁻¹. A los 35 días de la siembra se aplicó Proclaim (Benzoato de emamegtina) en dosis de 150 g ha⁻¹, para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Para la prevención y control de enfermedades: Mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*) y Tizón foliar (*Helminthosporium maydis*) se aplicaron los siguientes fungicidas: Regnum (Pyraclostrobin) en dosis de 0,6 L ha⁻¹ a los 14 días de siembra junto con el insecticida, Toledo (Tebuconazole) en dosis de 0,4 L ha⁻¹ a los 20 días de la siembra junto con la aplicación de insecticida; se realizó una última aplicación con Glory (Azoxystrobin y Mancozeb) a los 40 días de la siembra para el control de Tizón foliar (*Helminthosporium maydis*) en dosis de 0.7 l ha⁻¹.

Cosecha: La labor de cosecha se realizó manualmente una vez culminado el ciclo del cultivo el 28 de abril del 2020 para lo cual se utilizaron saquillos, cestos para coleccionar las mazorcas cosechadas, a los 120 días después de la siembra, para ser llevadas a la casa de la

productora y proceder a clasificarlas por tratamiento y repetición. Al momento de la cosecha la humedad del grano oscilaba entre el 20 y 22 %.

Variables evaluadas

Diámetro del tallo (cm): Se midió en cm en el tallo a una altura de 30 cm desde la superficie del suelo utilizando un calibrador --vernier en 20 plantas tomadas al azar a los 30 días después de siembra.

Altura de Inserción de Mazorca (cm): Se midió al azar en las mismas plantas en las que midió el diámetro del tallo (20 plantas). La medición se realizó en cm desde la base del tallo hasta el punto de la inserción de mazorca a los 60 días después de la siembra.

Longitud de mazorca (cm): De cada parcela del área experimental se tomaron 20 mazorcas al azar por cada tratamiento al momento de la cosecha, midiendo desde la parte inferior hasta el ápice, para luego promediar dichos valores y expresar en centímetros.

Diámetro de mazorca (cm): Se midió en las 20 mazorcas utilizadas para el registro de la variable anterior El diámetro de la mazorca se midió en centímetros en el tercio medio de cada mazorca.

Peso de grano por parcela (Kg): Para la evaluación de esta variable se desgranaron las mazorcas manualmente de acuerdo a la clasificación descrita anteriormente, luego se pesó el grano obtenido y se expresó en

Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

kilogramos.

Peso de 100 granos (g): De cada parcela del área experimental se tomaron mazorcas al azar por cada tratamiento al momento de la cosecha para luego pesar 100 granos.

Eficiencia del uso de nitrógeno: A partir de la cantidad de grano cosechada por parcela se calculó el rendimiento por hectárea para todas las alternativas de fertilización. Con esta información se estimó el número de kg de N absorbidos por el cultivo en una hectárea. Del rendimiento estimado para el tratamiento con N se restó el valor estimado para el tratamiento control obteniéndose el rendimiento atribuible solo a la fertilización nitrogenada; del rendimiento estimado para el tratamiento con NPK se restó el valor estimado para el tratamiento control obteniéndose el rendimiento atribuible solo a la fertilización con NPK; del rendimiento estimado para el

Chila Zambrano, Marcos Paul; Vera-Benites, Luis; González Acosta, Cristian Xavier; Jaramillo Gaona, Ronald Elías y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas

tratamiento con NPK se restó en rendimiento obtenido con N obteniéndose la ganancia de EUN atribuida a la adición de PK; Los resultados obtenidos en 3, 4 y 5 se transformaron en kg/ha; Las nuevas cifras de rendimiento así obtenidas se dividieron separadamente para 177 (la dosis de N aplicada por hectárea) para obtener la EUN en kg de grano/kg de N aplicado.

Análisis de los datos

Se realizó un análisis de ANOVA con una prueba de Duncan con un valor de probabilidad de ($P < 0.05$) para determinar si existieron diferencias significativas entre las medias obtenidas como resultado de los cambios en las variables biométricas de maíz como consecuencia de los tratamientos de fertilización y la posición en el paisaje en relación a la pendiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorción y eficiencia de uso de nitrógeno en suelos planos y con pendiente

La absorción de N en el tratamiento control no muestra diferencias entre pendientes del terreno (Cuadro 3). Por el contrario, se observan diferencias reales para la absorción de N entre pendientes para los tratamientos N y NPK, con valores máximos alcanzados para el maíz sembrado en el terreno plano y valores decrecientes con el aumento de la pendiente.

La media para la absorción de N en el tratamiento con fertilización nitrogenada fue 46% más alto que en el Control y 33% menor que en el tratamiento con NPK, a pesar de que ambos recibieron la aplicación de la misma dosis de fertilización con N. Sin fertilización nitrogenada, el maíz se benefició de la absorción de 88.6 kg de N, en promedio a través de las pendientes, a partir del suelo como fuente de N natural.

Por otro lado, tanto la EUN_p como la EUN_g

Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

decrecieron al aumentar la inclinación de la pendiente, encontrándose la menor eficiencia en los suelos con pendientes de 39 y 23 % respectivamente, lo cual se corresponde con los hallazgos en investigaciones llevadas cabo en suelos de ladera, donde la menor eficiencia de nitrógeno es producto de un aumento de la escorrentía y erosión hídrica, como

Chila Zambrano, Marcos Paul; Vera-Benites, Luis; González Acosta, Cristian Xavier; Jaramillo Gaona, Ronald Elías y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas

consecuencia tanto de la pendiente, intensidad de las lluvias, racionabilidad del suelo y de la poca cobertura vegetal (Zhao et al. 2022), mientras en las zonas planas la tendencia es a acumulación de suelo y sedimentos provenientes de las zonas altas, lo que mejora la fertilidad del suelo (Deng et al. 2020).

Cuadro 3. Absorción y eficiencia de uso de N (EUN) en el maíz (seco y sin impurezas) en respuesta a varias alternativas de fertilización en suelos planos y de ladera.

Pendiente %	Absorción N, kg/Ha por el cultivo			EUN _p *		EUN _g **	
	Control	N	NPK	kg de N absorbido/kg de N aplicado		kg de grano/kg de N aplicado	
				N	NPK	N	NPK
0	93.7 a	157.0 a	228.0 a	0.36 a	0.76 a	40.3 a	58.5 a
15	90.8 ab	133.6 b	191.6 b	0.24 b	0.57 b	34.3 b	49.2 b
23	81.3 c	99.1 c	162.5 bc	0.10 c	0.46 b	25.4 c	41.7 c
39	88.5 b	127.1 b	185.4 c	0.22 b	0.55 b	32.6 b	47.6 bc
Prom.	88.6	129.2	191.9	0.23	0.59	33.2	47.3
CV (%)	1.34	3.02	4.13	11.67	6.88	3.02	4.1

*Eficiencia de uso de nitrógeno en relación con la cantidad absorbida por el cultivo.

**Eficiencia de uso de nitrógeno en relación con la cantidad de grano producido por cada kg de grano N aplicado.

**** Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

Cuando el cultivo no se beneficia de la aplicación de fertilizantes, la absorción de nitrógeno disminuye, lo que se acentúa al aumentar la inclinación del terreno salvo la pendiente de 39 % lo cual podría ser debido a una menor capacidad de retener el agua lo suficiente para que pueda infiltrar, lo cual constituye un factor determinante para evitar la la erosión (de Nijs y Cammeraat, 2020).

La EUN_p fertilizando con NPK es 2.5 veces el promedio, alcanzado solo fertilizando con N. En el caso de la EUN_g el promedio con NPK fue 1.42 veces el valor alcanzado en el tratamiento con N. Por lo que la eficiencia de la absorción de nitrógeno depende de otros factores que afectan la respuesta de los cultivos al nitrógeno, lo cual se refleja en el caso del fósforo que actúa sinérgicamente mejorando la

absorción de nitrógeno (Umar et al., 2020), lo cual se refleja en una mejor respuesta en el caso de los cultivos donde se aplicó fórmula completa, por el papel que este juega en los procesos metabólicos de la mayoría de los cultivos

Características de crecimiento y desarrollo de maíz con diferentes niveles de pendiente

Según lo indicado en el Cuadro 4 las alternativas de fertilización en terreno plano, los promedios de diámetro de tallo y altura de mazorca no presentaron diferencias significativas, reportando un coeficiente de variación de 4,7 y 2.96 %. Los valores promedios de longitud, diámetro de mazorca en conjunto con el peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un

coeficiente de variación de 4.22, 2.16, 4.22 y 5.29 %, en su orden.

De acuerdo a los resultados de la comparación de medias de Duncan, la alternativa de fertilización con NPK alcanzó mayores resultados en cuanto a longitud, diámetro de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de 19.5 cm, 4.3 cm, 31 g y 21.7 kg respectivamente. El mayor diámetro de tallo y altura de mazorca se observó en el tratamiento NPK con 1.9 y 130.3 cm, sin diferir estadísticamente de los restantes tratamientos que presentaron promedios que oscilan entre 1.8 y 1.9 cm para diámetro de tallo; 122.8 y 125.8 cm para altura de mazorca, siendo el de menor valor en ambos casos el tratamiento control.

Cuadro 4. Características del crecimiento y rendimiento de maíz cultivado con 0 % de pendiente y varias alternativas de fertilización.

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
Control	1.8 a	122.8 a	14.6 b	3.8 b	23.0 b	8.9 c
N	1.9 a	125.8 a	16.7 b	3.8 b	28.0 a	14.9 b
NPK	1.9 a	130.3 a	19.5 a	4.3 a	31.0 a	21.7 a
Promedio	1.9	126.3	16.9	4.0	27.3	15.2
C.V. (%)	4.7	2.96	4.22	2.16	4.22	5.29

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de alternativas de fertilización en suelo de ladera con 15 % de inclinación, en promedios de diámetro de tallo y altura de mazorca no

presentaron diferencias significativas, reportando un coeficiente de variación de 5.3 y 3.35 %; por otro lado los valores promedios de longitud, diámetro de mazorca en conjunto con

Eficiencia de uso del nitrógeno en una toposecuencia cultivada con maíz en suelos en pendiente

Chila Zambrano, Marcos Paul; Vera-Benites, Luis; González Acosta, Cristian Xavier; Jaramillo Gaona, Ronald Elías y Zambrano Barcos, Leontes Leonidas

el peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un coeficiente de variación de 3.73, 0.51, 3.18 y 2.34 %, en su orden. Los resultados muestran que la alternativa de fertilización con NPK alcanzó mayores resultados en cuanto a longitud,

diámetro de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de 18.5 cm, 4.3 cm, 29 g y 18.2 kg respectivamente. El mayor diámetro de tallo y altura de mazorca se observó en el tratamiento NPK con 1.9 y 126.8 cm, sin diferir estadísticamente de los restantes tratamientos.

Cuadro 5. Características del crecimiento y rendimiento de maíz cultivado con 15 % de pendiente y varias alternativas de fertilización.

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
Control	1.8 a	118.5 a	13.6 b	3.7 c	22.0 b	8.6 c
N	1.8 a	122.8 a	16.2 a	3.9 b	26.0 a	12.7 b
NPK	1.9 a	126.8 a	18.5 a	4.3 a	29.0 a	18.2 a
Promedio	1.9	124.1	16.1	4.0	25.7	13.2
C.V. (%)	5.3	3.35	3.73	0.51	3.18	2.24

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

Al comparar las variables de crecimiento de suelos planos con pendiente de 15 %, no se observaron cambios significativos, lo que lleva a la conclusión de que las pérdidas por escurrimiento y erosión se pueden minimizar hasta este gradiente de pendiente con prácticas sencillas de conservación como sembrar en curvas de nivel, mínima labranza y mayor cobertura vegetal sobre el suelo (Sequeira y Vásquez, 2022).

Las medias de los tratamientos presentadas en el Cuadro 6 las alternativas de fertilización con pendiente del 23 % en diámetro de tallo

y altura de mazorca y diámetro no presentaron significancia estadística siendo el coeficiente de variación 5.76, 5.65 y 3.68 % respectivamente. Los valores promedios de longitud de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un coeficiente de variación de 3.02, 0.00 y 3.3 %, en su orden.

Cuadro 6. Características del crecimiento y rendimiento de maíz cultivado con 23 % de pendiente y varias alternativas de fertilización.

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
Control	1.7 a	104.8 a	15.2 b	3.5 a	22.0 c	7.7 c
N	1.9 a	121.1 a	15.0 b	3.8 a	26.0 b	9.4 b
NPK	1.8 a	124.2 a	17.4 a	4.1 a	28.0 a	15.4 a
Promedio	1.8	116.7	15.9	3.8	25.3	10.90
C.V. (%)	5.76	5.65	3.02	3.68	1.1	3.3

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

Al comparar las medias mediante la prueba de Duncan, se observó que la alternativa de fertilización con NPK alcanzo mayores resultados en cuanto a longitud de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de 17.4 cm, 28 g y 15.4 kg respectivamente. El mayor promedio de altura de mazorca y diámetro de mazorca se observó en el tratamiento NPK con 124.2 cm y 4.1 cm, sin diferir estadísticamente de los restantes tratamientos.

Aunque en la pendiente de 23 % no se observan cambios significativos en relación a las variables biométricas, si hay una caída de los rendimientos, lo cual puede estar asociado a una pérdida de suelos y nutrientes, y a la escorrentía (Wang et al. 2021), lo que coincide con otras investigaciones y que obliga a proponer prácticas de conservación más

restrictivas como el terraceo o franjas de vegetación (Kaur et al. 2023)

Las pérdidas de nutrientes no solamente se relacionan a una menor fertilidad, sino que estas en zonas de cuencas hidrográficas, afectan la calidad de agua por la deposición de sedimentos y disminuyen la vida útil de los embalses por la colmatación (Zeballos, 2023), además de aumentar los riesgos de eutrofización (Zhu et al. 2020).

En el análisis estadístico de los resultados obtenidos en esta investigación, que se reporta en el Cuadro 7 las alternativas de fertilización en pendiente de 39 %, las medias de diámetro de tallo, altura de mazorca y diámetro de mazorca no presentaron significancia estadística, obteniendo un coeficiente de variación de 2.21, 6.76 y 3.03 % en su orden. Por otro lado, los valores promedios de longitud, peso de

100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un coeficiente de variación de 2.2, 0.00 y 5.01 %, respectivamente. Efectuada la prueba de Duncan, la alternativa de fertilización con NPK alcanzó mayores resultados en cuanto a longitud, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de

17.9 cm, 28 g y 17.6 kg respectivamente. El mayor diámetro de tallo, altura de mazorca y diámetro de mazorca se observó en el tratamiento NPK con 1.9, 125.8 y 4.1 cm, sin diferir estadísticamente de los restantes tratamientos.

Cuadro 7. Características del crecimiento y rendimiento de maíz cultivado con 39 % de pendiente y varias alternativas de fertilización

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
Control	1.7 a	124.7 a	14.9 b	3.7 a	22.0 c	8.4 c
N	1.9 a	123.9 a	15.4 b	3.8 a	24.0 b	12.1 b
NPK	1.9 a	125.8 a	17.9 a	4.1 a	28.0 a	17.6 a
Promedio	1.8	124.8	16.1	3.9	24.7	12.7
C.V. (%)	2.21	6.76	2.2	3.03	1.1	5.01

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

En las medias de los tratamientos presentadas en el Cuadro 8, para las alternativas de fertilización en terreno plano y de ladera, los valores de longitud, diámetro de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un coeficiente de variación de 4.8, 1.86, 2.82 y 8.9 %, en su orden. En el promedio de diámetro de tallo se observó una leve significancia con un coeficiente de variación de 2.07 %; mientras altura de mazorca no presentó

diferencias significativas, reportando un coeficiente de variación de 3.77 %. Efectuada la prueba de Duncan, la alternativa de fertilización con NPK alcanzó mayores resultados en cuanto a longitud, diámetro de mazorca, peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de 18.4 cm, 4.2 cm, 29 g y 18.2 kg respectivamente. El mayor diámetro de tallo se observó en el tratamiento NPK con 18.8 cm en igualdad estadística con el tratamiento N con promedio de 18.6 cm

Cuadro 8. Medias de crecimiento y rendimiento de maíz cultivado en terreno plano y de ladera con varias alternativas de fertilización.

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
Control	1.8 b	118.8 a	14.6 b	3.7 c	22.3 c	8.4 c
N	1.9 a	123.4 a	15.8 b	3.8 b	26.0 b	12.3 b
NPK	1.9 a	126.7 a	18.4 a	4.2 a	29.0 a	18.2 a
Promedio	1.8	123.0	16.2	3.9	25.8	13.0
C.V. (%)	2.07	3.77	4.8	1.86	2.82	8.09

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

Contrario a lo esperado los rendimientos en la parcela con 39 %, si bien fueron inferiores a los del terreno plano, los mismos fueron estadísticamente, similares a los de la pendiente de 23%, porque en este caso la pendiente, no es un factor medible para reducir las pérdidas de suelo y aumentar los rendimientos, sino que deben procurarse prácticas que mejoren la estructura del suelo mediante la incorporación de residuos (Chalise et al. 2020) e incrementar el contenido de materia orgánica (Zhu et al. 2021).

Dado los resultados de crecimiento y rendimiento de maíz a través de la toposecuencia, se analizaron los valores medios de crecimiento y rendimiento del maíz en función del nivel de pendiente, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 9, los valores promedios de peso

de 100 granos y peso de cosecha por parcela presentaron alta significancia estadística reportándose un coeficiente de variación de 2.82 y 8.9 %, en su orden. Los promedios del resto de variables no presentaron diferencias significativas.

Adicionalmente, la prueba de comparación de medias de Duncan, mostró que el terreno plano alcanzó mejores resultados en cuanto a peso de 100 granos y peso de cosecha por parcela; con promedios de 27.3 g y 15.2 kg respectivamente. El mayor diámetro de tallo, altura, longitud y diámetro de mazorca se observó en el suelo plano con 1.9, 126.3 16.9 y 3.9 cm, sin diferir estadísticamente de los terrenos que presentan algún grado de pendiente.

Cuadro 9. Medias de crecimiento y rendimiento del maíz en función del nivel de pendiente en los terrenos cultivados.

Tratamientos	Diámetro tallo (cm)	Altura mazorca (cm)	Longitud mazorca (cm)	Diámetro mazorca (cm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento parcela (kg)
0	1.9 a	126.3 a	16.9 a	3.9 a	27.3 a	15.2 a
15	1.9 a	124.1 a	16.1 a	3.9 a	25.7 b	13.2 ab
23	1.8 b	116.7 a	15.9 a	3.8 a	25.3 b	10.9 b
39	1.8 ab	124.8 a	16.1 a	3.9 a	24.7 b	12.7 b
Promedio	1.8	123.0	16.2	3.9	25.8	13.0
C.V. (%)	2.07	3.77	4.8	1.86	2.82	8.9

* Promedios con las mismas letras en cada grupo de datos no difieren estadísticamente según la Prueba de Duncan al 95% de probabilidad.

Mientras que para la longitud de mazorca el tratamiento NPK con promedio de 18.4 cm fue estadísticamente superior a los tratamientos N y Control que registraron medias de 14.6 y 15.8 cm respectivamente.

En el peso de cosecha por parcela se presentó diferencia estadística, teniendo el tratamiento control un promedio de 8.4 kg que fue estadísticamente inferior a los tratamientos N y NPK, que mostraron promedios de 12.3 y 18.2 Kg respectivamente. La fertilización con NPK mostró un resultado de 2.2 veces el control.

Los resultados obtenidos reflejan que la fertilización es uno de los componentes más poderosos en el incremento de la productividad (Bernardon et al. 2021), especialmente en un rubro costoso, en el cual la fertilización representa aproximadamente, un 30% de los costos directos (Ayvar-Serna et al. 2020).

A pesar de los beneficios de la fertilización, el cultivo de maíz en zonas de pendiente obliga a

tomar medidas de prácticas de conservación para reducir el impacto de la erosión y la escorrentía (Grigar et al. 2020), lo cual afecta de manera directa los rendimientos, en especial cuando la pendientes superan el 23 %, particularmente por el riesgo que constituye no solo desde el punto de vista productivo, sino por el posible impacto ambiental que tenga sobre la calidad de suelos y aguas por la deposición de nitrógeno.

CONCLUSIONES

La fertilización nitrogenada combinada con fósforo y potasio influye positivamente en el desarrollo de maíz, mejorando el rendimiento obtenido en terreno plano, donde además de no existir riesgo de erosión, puede darse la acumulación de nutrientes provenientes de zonas más altas.

La eficiencia de uso de nitrógeno en relación con la cantidad absorbida por el cultivo, así como la eficiencia de uso de nitrógeno en relación con la cantidad de grano producido por cada kg de nitrógeno aplicado disminuyeron respectivamente al aumentar la pendiente, lo que demuestra el efecto negativo de la erosión y la necesidad de implementar prácticas de conservación para preservar los rendimientos y disminuir el impacto Ambiental

La fertilización base con NPK condiciona la respuesta del maíz dado el efecto sinérgico entre nutrientes, siendo 2.2 veces más alto que el control, pero que requiere que se utilice mediante la aplicación fraccionada; dado que incrementa la absorción del nitrógeno y reduce las pérdidas por escurrimiento y lixiviación, especialmente en suelos con pendientes superiores al 15 %.

REFERENCIAS

Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejada-Reyes, M. A., & Cuevas-Apresa, Z. (2020). Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 9-16.

Bernardon, A., Simioni Assmann, T., Brugnara Soares, A., Franzluebbbers, A., Maccari, M., & de Bortolli, M. A. (2021).

Carryover of N-fertilization from corn to pasture in an integrated crop-livestock system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(5), 687-702. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1749268>

Cartagena, Y. E., Parra, R. A., Alvarado, S. P., Valverde, F. M., & Zambrano, J. L. (2021). Eficiencia del uso de abonos verdes y urea en el cultivo de maíz de valles altos. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, (1). <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/2038/2680?inline=1>

Chalise, D., Kumar, L., Sharma, R., & Kristiansen, P. (2020). Assessing the impacts of tillage and mulch on soil erosion and corn yield. *Agronomy*, 10(1), 63. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10010063>

Cotler, H., Corona, J. A., & Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, (101). <https://doi.org/10.14350/rig.59976>

Davies, B., Coulter, J. A., & Pagliari, P. H. (2020). Timing and rate of nitrogen fertilization influence maize yield and nitrogen use efficiency. *Plos one*, 15(5), e0233674. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233674>

de Nijs, E. A., & Cammeraat, E. L. (2020). The stability and fate of soil organic carbon during the transport phase of soil erosion. *Earth-Science Reviews*, 201, 103067. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103067>

- Deng, L., Sun, T., Fei, K., Zhang, L., Fan, X., Wu, Y., & Ni, L. (2020). Effects of erosion degree, rainfall intensity and slope gradient on runoff and sediment yield for the bare soils from the weathered granite slopes of SE China. *Geomorphology*, 352, 106997. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106997>
- Hasang-Moran, E. S., García-Bendezú, S. J., Carrillo-Zenteno, M. D., Durango-Cabanilla, W. D., & Cobos-Mora, F. J. (2021). Sustentabilidad del sistema de producción del maíz, en la provincia de Los Ríos (Ecuador), bajo la metodología multicriterio de Sarandón. *Journal of the Selva Andina biosphere*, 9(1), 26-40. <http://dx.doi.org/10.36610/j.jsab.2021.090100026>
- Holz, M., & Augustin, J. (2021). Erosion effects on soil carbon and nitrogen dynamics on cultivated slopes: A meta-analysis. *Geoderma*, 397, 115045. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115045>
- INAMHI (2023) Datos meteorológicos del Ecuador, <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Kaur, H., Nelson, K. A., Singh, G., Kaur, G., & Grote, K. (2023). Landscape position and cover crops affects crop yields in a terrace-tiled field. *Agricultural Water Management*, 289, 108517. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108517>
- Llanos, X. M. G., Macías, J. A. C., Mendoza, J. P. N., & Zambrano, E. F. Z. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de maíz en la zona norte de la provincia de Los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studie*, 4(2). <http://journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/77>
- Martínez-Rodríguez, Ó., Can-Chulim, Á., Ortega-Escobar, H., Bojórquez-Serrano, J. I., Cruz-Crespo, E., García-Paredes, J. D., & Madueño-Molina, A. (2021). Fertilidad e índice de calidad del suelo de la cuenca del río San Pedro en Nayarit. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.766>
- Muchovej, R. M., & Rechcigl, J. E. (2020). Impact of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In *Soil processes and water quality* (pp. 91-135). CRC Press.
- Rodríguez, M. B., Duggan, M. T., de Igarzabal, J., & Stingl, E. (2020). Eficiencia de uso del Nitrógeno y productividad del agua del maíz en un suelo arenoso tratado con enmienda organo-zeolítica. *Agronomía & Ambiente*, 40(2). <http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/117>
- Sequeira, N. D., & Vázquez, P. (2022). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, (68), 379-408. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.68-1.14>
- Umar, W., Ayub, M. A., Rehman, M. Z. U., Ahmad, H. R., Farooqi, Z. U. R., Shahzad, A., ... & Nadeem, M. (2020). Nitrogen and phosphorus use efficiency in agroecosystems. *Resources use efficiency in agriculture*, 213-257. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6953-1_7
- Wang, J., Shi, X., Li, Z., Zhang, Y., Liu, Y., & Peng, Y. (2021). Responses of runoff and soil erosion to planting pattern, row direction, and straw mulching on sloped farmland in the corn belt of northeast China. *Agricultural Water Management*, 253, 106935.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106935>

Zevallos, N. (2023). Regiones Altoandinas y su vulnerabilidad socioeconómica: caso zona urbana de Puno. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 179-189.

<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2023.543>

Zhao, J., Wang, Z., Dong, Y., Yang, Z., & Govers, G. (2022). How soil erosion and runoff are related to land use, topography and annual precipitation: Insights from a meta-analysis of erosion plots in China. *Science of the Total Environment*, 802, 149665.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149665>

Zhu, L., Shi, W., Van Dam, B., Kong, L., Yu, J., & Qin, B. (2020). Algal accumulation decreases sediment nitrogen removal by uncoupling nitrification-denitrification in shallow eutrophic lakes. *Environmental science & technology*, 54(10), 6194-6201.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05549>

Zhu, Y., Wang, D., Wang, X., Li, W., & Shi, P. (2021). Aggregate-associated soil organic carbon dynamics as affected by erosion and deposition along contrasting hillslopes in the Chinese Corn Belt. *Catena*, 199, 105106.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105106>