

Manual Técnico No. 28
Estación Experimental Tropical Pichilingue
Agosto de 1995

MANEJO DE LA FERTILIZACION EN MAIZ DURO



Freddy Amores¹
Francisco Mite²
Manuel Carrillo³

MANEJO DE LA FERTILIZACION EN MAIZ DURO

-
- 1 Director de la Estación Experimental Tropical Pichilingue.**
 - 2 Líder del Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Aguas.**
 - 3 Profesional Técnico del Departamento de Suelos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue.**

PRESENTACION

¶ El cultivo de maíz duro en el Litoral Central Ecuatoriano constituye uno de los rubros agrícolas de mayor importancia económica. Sin embargo, el agricultor no dispone de información actualizada sobre el manejo de la nutrición y fertilización que permita obtener una producción eficiente y sostenida de maíz. La presente publicación pone a disposición de productores, extensionistas, educadores y estudiantes los resultados de investigación obtenidos por el Departamento Nacional de Manejo de Suelos y Agua de la Estación Experimental Tropical Pichilingue en nutrición y fertilización del maíz.

La escritura e impresión de este manual fue posible gracias al apoyo de las siguientes agencias Canadienses: Western Diversification Program (WDP), Atlantic Canada Opportunities Agency (ACOA) y Province of New Brunswick (NB), a través del Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), oficina para América Latina.

Agosto de 1995

AGRADECIMIENTO

Los autores consignan su especial nota de gratitud al Dr. José Espinosa, Director de INPOFOS A.S. por su invaluable apoyo técnico y logístico y por las precisas observaciones en la revisión del manuscrito de este manual.

También agradecen a las siguientes personas, miembros del Comité de Publicaciones de la Estación Experimental Tropical Pichilingue, quienes colaboraron con sus criterios y sugerencias en la edición del presente manual.

Ing. Luis Duicela
Ing. Carlos Navas
Ing. Alfonso Vasco
Ing. Angel Anzules

Finalmente los autores agradecen a la Sra. Ana Córdova por su paciencia al mecanografiar este trabajo y a la Sra. Amparo Ormaza por el levantamiento final del texto.

INDICE

	Página
Introducción	1
Fertilización Nitrogenada	2
Requerimientos de Nitrógeno de híbridos y variedades	2
Fuentes de Nitrógeno	2
Epoca de aplicación de Nitrógeno	3
Cómo aplicar el Nitrógeno	6
Efecto de la densidad de siembra en el uso de Nitrógeno	9
Distanciamiento entre hileras	9
Distanciamiento entre plantas dentro del surco	11
Efecto de otros factores en el uso de Nitrógeno	12
Fecha de siembra	12
Preparación del suelo	13
Zonas de cultivo	14
Erosión del suelo	15
Niveles óptimos económicos de la fertilización nitrogenada	16
Respuesta al Nitrógeno en suelos recién trabajados	17
Influencia de otros nutrientes en el rendimiento de maíz	21
Fertilización con Fósforo y Potasio	23
Fuentes de Fósforo y Potasio	23
Recomendaciones para la buena fertilización del maíz	22
FOTOS:	
1. Síntomas de deficiencias nutricionales en maíz	27
2. Problemas de suelos que afectan la nutrición	33
3. Efecto del manejo en la nutrición de maíz	35
4. Búsqueda de alternativas para producir maíz en forma eficiente	38

INTRODUCCION

El maíz duro es un cultivo de mucha importancia económica en el Litoral Central Ecuatoriano, en zonas como Quevedo, Ventanas y Balzar (parte alta de la Cuenca del Río Guayas). Sin embargo, en estas zonas el promedio de rendimiento aún está lejos del que podría obtenerse utilizando toda la tecnología disponible. Es evidente entonces, que existe la posibilidad de incrementar el rendimiento y productividad del maíz si se utilizan las herramientas tecnológicas disponibles. El empleo de una fertilización balanceada y oportuna es fundamental para el logro de este propósito y la presente publicación busca cubrir en forma completa este factor de la producción de maíz.

De manera general, la producción de cada quintal de maíz (45 kg de grano) demanda 1.2 kg de nitrógeno, 0.25 kg de fósforo y 1.0 kg de potasio, así como cantidades menores de otros elementos. Es decir que para obtener rendimientos de 120 quintales por hectárea (6 toneladas por hectárea), comunes en plantaciones bien manejadas de las zonas de Quevedo y Balzar, el cultivo utiliza 156 kg de nitrógeno, 32 kg de fósforo y 130 kg de potasio.

Aproximadamente el 60% del nitrógeno y fósforo y el 30% del potasio utilizados se remueven de la plantación con el grano cosechado, el resto permanece en los residuos para ser reciclado en el suelo. Estas cifras revelan la gran demanda nutritiva del cultivo y es muy difícil que el suelo pueda cubrir tal demanda, cuando se buscan niveles altos de rendimiento, a menos que se recurra al uso de fertilizantes. Estudios sobre rendimientos máximos conducidos en la Estación Experimental Pichilingue, han permitido alcanzar rendimientos experimentales de más de 9 toneladas por hectárea. Esto da una idea de cuan altos podrían ser el rendimiento y los requerimientos nutritivos del maíz.

A pesar que la fertilización del maíz es una práctica más o menos generalizada y sencilla, muchas veces los resultados obtenidos no son los esperados. No basta simplemente con aplicar el fertilizante, sino que se debe hacerlo teniendo en cuenta una serie de factores que influyen en la eficiencia con la que el cultivo aprovecha los nutrientes. Esta eficiencia se traduce en incrementos de rendimiento.

El primer objetivo de este Manual es presentar y analizar dichos factores, ilustrando su efecto con resultados de estudios locales conducidos por el INIAP. El

segundo objetivo es presentar recomendaciones de manejo de la fertilización en función del análisis anterior. Este Manual enfatiza la fertilización con nitrógeno, por ser el nutriente más deficiente en todos los suelos de la zona y el que más ha sido estudiado en relación al maíz. No por esto se deja de dar la importancia debida a la fertilización con fósforo, azufre y potasio, cuyas deficiencias, en ese orden, pueden también limitar el rendimiento. En adelante y con propósitos de abreviación, el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) se representarán por sus símbolos químicos.

FERTILIZACION NITROGENADA

Requerimientos de Nitrógeno de híbridos y de variedades

Los híbridos de maíz, aunque más exigentes en manejo en comparación con las variedades, presentan un mayor potencial de rendimiento. Un aspecto importante que debe considerarse es el hecho de que los materiales híbridos deben estar adaptados a las zonas donde se los va a sembrar, caso contrario se obtendrán resultados nada estimulantes. Para ilustrar este hecho, se puede indicar por ejemplo, que uno de los híbridos extranjeros introducidos en la zona de Quevedo en 1992 rindió a nivel comercial un 50% de lo que produjo el INIAP H-551 (122 quintales por hectárea). Las razones para el menor rendimiento fueron evidentes, excesivo acame por rotura del tallo y pudrición de mazorca.

En el Cuadro 1 se indican los incrementos de rendimiento obtenidos con las aplicaciones crecientes de N en variedades e híbridos producidos por el INIAP. Los mayores incrementos se presentan en los híbridos debido a su mayor potencial de rendimiento. Las variedades usan más eficientemente el N a dosis bajas, en cambio los híbridos lo hacen a dosis altas. En general los híbridos usan en forma más eficiente los recursos productivos clima, suelo y agua.

Fuentes de Nitrógeno

El fertilizante nitrogenado más común es la urea. Este fertilizante tiene apariencia granulada, es muy soluble en agua y de gran movilidad en suelo húmedo.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

La concentración de N en la urea es de 46%, es decir que cada saco de 50 kg representa aproximadamente 23 kg de N que estaría disponible para el cultivo.

El sulfato de amonio es otra fuente de N que se utiliza en menor escala. Es tan soluble y móvil como la urea, con la particularidad de que además de N tiene S. Por esta razón se recomienda aplicaciones combinadas de urea con sulfato de amonio en suelos con bajo contenido de materia orgánica y en suelos erosionados, en ambos casos generalmente bajos en N y S al mismo tiempo. El sulfato de amonio tiene una concentración de 21% de N y 24% de S, lo que equivale a 10 kg de N y 12 kg de S por cada saco de fertilizante.

Cuadro 1. Incremento de rendimiento y eficiencia en el uso del nitrógeno por las variedades e híbridos de maíz del INIAP.

Dosis de N kg/ha	Incremento en el Rendimiento (ton/ha)		Eficiencia en el uso de N (kg maíz /kg N aplicado)	
	Variedades ^a	Híbridos ^b	Variedades ^a	Híbridos ^b
23	0.7	0.5	30	22
46	0.9	0.8	20	27
69	1.1	1.3	16	19
92	1.2	1.9	13	20
Promedio	0.97	1.12	20	22

a. Variedades: INIAP 526, INIAP 529

b. Híbridos: H-550, H-551

Epoca de aplicación de Nitrógeno

Durante la época de lluvia, las pérdidas de N por lavado o infiltración (lixiviación) pueden ser importantes, particularmente en zonas con alta precipitación y suelos de textura ligera. Estas pérdidas se reducen aplicando el fertilizante en forma fraccionada, la mitad de la dosis a la siembra (si es mecanizada) ó a las 2 semanas (si la siembra es manual). La otra mitad se aplica 4 ó 5 semanas después de la siembra. Esta última aplicación coincide con el inicio de un período

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

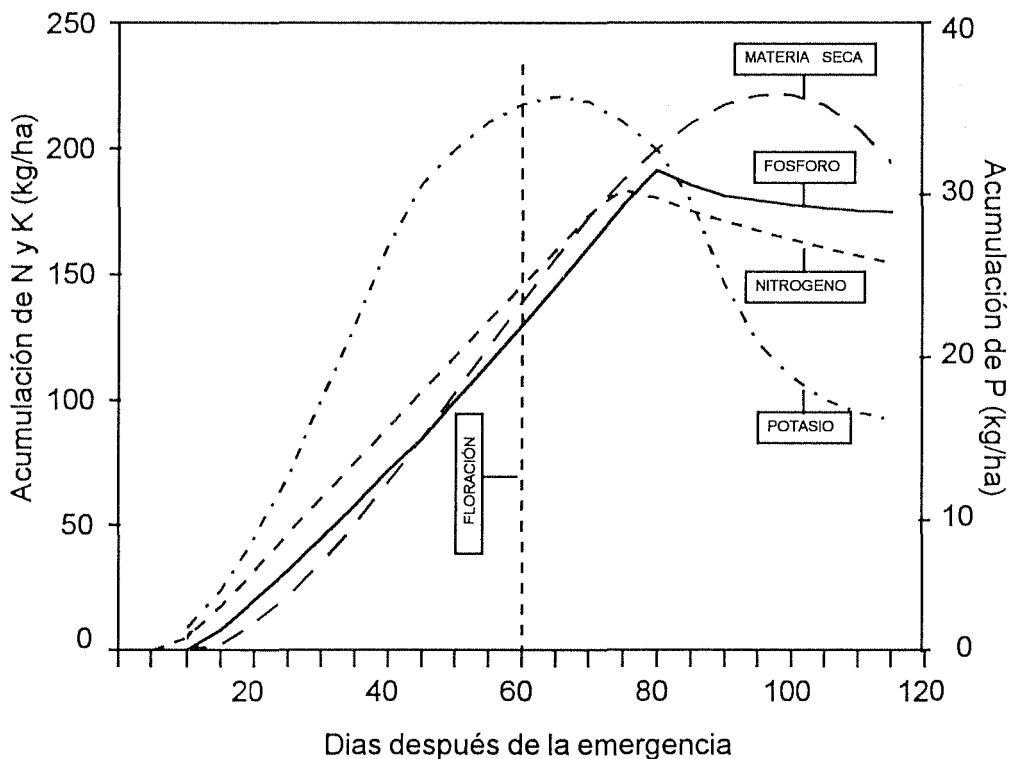


Figura 1. Marcha de absorción de nutrientes y acumulación de materia seca del maíz a través del tiempo.

alta demanda nutritiva por el cultivo (si no hay suficiente N en esta etapa el rendimiento se ve seriamente afectado). La aplicación fraccionada, a más de reducir las pérdidas de N por lavado, aumenta la eficiencia, es decir que se obtiene más maíz por cada kg de N aplicado. No se recomiendan las aplicaciones tardías porque a medida que se acerca la floración el cultivo disminuye la tasa de absorción de N. Se ha determinado que a la floración la planta ya ha absorbido más del 60% de su requerimiento de N.

La Figura 1 presenta la marcha de absorción de nutrientes y acumulación de materia seca del maíz a través del tiempo. Se observa como un alto porcentaje de nutrientes ha entrado ya en la planta a la floración.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

En zonas como las de Quevedo, con suelos francos o franco-limosos (de preferencia los más profundos y planos), se puede completar otro ciclo de maíz en la época seca, siempre y cuando al final del invierno se haya almacenado suficiente agua en el suelo. Obviamente, los rendimientos son menores, alrededor de un 30% más bajos que en el ciclo de época lluviosa (invierno). Aún así, la respuesta al N es un componente importante del rendimiento total. Sin fertilización nitrogenada no se logra ni la mitad del rendimiento que se obtendría en el invierno, a menos que se trate de terrenos recientemente desbrozados.

Cuando se trata de siembras en la época seca no es necesaria la aplicación del N en forma fraccionada, pues no existe riesgo de lavado. Por el contrario, todo el N debe aplicarse dentro de los primeros 15 días después de la siembra, aprovechando que la superficie del suelo aún está húmeda. Si se aplica más tarde el suelo superficial estará cada vez más seco disminuyendo el beneficio de la fertilización. Esto se debe a que no hay suficiente humedad para disolver el fertilizante y llevarlo a la zona radicular y a que aumenta la pérdida de N en forma gaseosa por volatilización de amoníaco (NH_3). Posiblemente muchos estarán familiarizados con el típico olor a orine de establo que se percibe al caminar dentro de una plantación de maíz, 2 a 3 días después de la aplicación de la urea. Lo que se percibe es simplemente el amoníaco que se pierde por volatilización. Este proceso se acelera en suelos secos que tengan pH elevado o en suelos que estén cubiertos con residuos vegetales.

En el Cuadro 2 se muestran algunos resultados de la respuesta del maíz a la aplicación fraccionada de N. El estudio se llevó a cabo en un suelo franco, medianamente profundo, de alta fertilidad natural y buena capacidad de retención de agua. Las diferencias de rendimiento observadas no fueron tan amplias como las que se esperaban, posiblemente porque se trata de un suelo de textura media y con alta capacidad para proporcionar N en forma natural, esto último debido a su buen contenido de materia orgánica. En suelos pobres y de textura más ligera, las diferencias en rendimiento debido al fraccionamiento son más amplias.

Si el maíz se cultiva bajo condiciones de riego es también conveniente fraccionar la dosis de N. En este caso es posible aplicar la urea después de cada evento de riego durante las primeras 6 semanas de cultivo, lográndose así un mejor aprovechamiento no sólo del N sino también del agua de riego. Conviene recordar que cuando no hay suficiente N el cultivo produce menos maíz, pero utiliza casi la misma cantidad de agua como si estuviera bien fertilizado. En otras palabras el uso del agua es ineficiente en suelos de poca fertilidad, condición que debe evitarse por lo costoso que resulta regar.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

Cuadro 2. Influencia de la aplicación fraccionada de nitrógeno sobre el rendimiento de maíz duro, tanto en la época lluviosa como seca.

Fraccionamiento en las dosis de N	Rendimiento (ton/ha)	
	Epoca lluviosa	Epoca seca
Todo a la siembra (incorporado)	5.4	5.3
1/2 a la siembra + 1/2 a los 30 días	5.7	5.1
1/3 a los 15 días + 1/3 a los 30 días + 1/3 a los 45 días	5.8	4.9
Promedio	5.7	5.1

Como aplicar el Nitrógeno

En sistemas mecanizados de producción, ya sea en la época lluviosa o seca, una parte o todo el fertilizante nitrogenado se puede aplicar al voleo durante el proceso de preparación del suelo, incorporándolo en la capa arable inmediatamente antes de la siembra. No se recomienda la aplicación e incorporación con muchos días de anticipación a la siembra porque el N es aprovechado por las malezas y además se aumenta el riesgo de pérdida por lavado en el caso de que se decida aplazar la siembra.

Se puede también aplicar el N en la modalidad de bandas incorporadas en el suelo a un costado de la hilera de siembra. Para el efecto se utiliza la máquina sembradora-abonadora debidamente calibrada para dejar caer la dosis correcta del fertilizante. La banda debe ubicarse a 5 cm por debajo y a un costado de la semilla, por lo tanto es necesario regular la profundidad de corte del disco que abre el surco para el fertilizante. Si se elige esta alternativa es preferible usar solo una dosis mediana de N, por lo general equivalente a la mitad de la dosis total recomendada. A veces, la aplicación de toda la dosis de N en la bandas incorporadas causa clorosis y retraso inicial del crecimiento del cultivo, especialmente en suelos arenosos. Esto se debe a la fitotoxicidad causada por la acumulación de apreciables cantidades de amoníaco proveniente de la hidrólisis de la urea, aunque se ha observado que después el cultivo muestra un buen poder de recuperación.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

La aplicación de N, durante las primeras semanas de vida del cultivo, se realiza distribuyendo el fertilizante en bandas superficiales a lo largo de las hileras de maíz o también al voleo sobre el cultivo. Sin embargo, esta última modalidad requiere de mayor atención y supervisión para conseguir una buena distribución del fertilizante y evitar quemaduras al cultivo por una posible acumulación sobre las hojas. Si el fertilizante se volea dentro del primer mes de la siembra no hay problemas de fitotoxicidad, ya que si se lo hace correctamente la cantidad retenida en el follaje es mínima. La elección de una u otra alternativa depende de la conveniencia y experiencia del productor, pues cuando son bien implementadas no hay diferencia agronómica entre ellas.

Cuando se incorpora el fertilizante al momento de la siembra es fundamental un buen control de malezas durante las primeras semanas del cultivo. De otro modo, se produce un desarrollo exuberante de las malas hierbas que ejercen una fuerte competencia por N y agua, lo cual es particularmente crítico para cultivos en la época seca.

El Cuadro 3, presenta un resumen de varios estudios conducidos en el Litoral Central Ecuatoriano, que ilustran el efecto de algunas modalidades de aplicación del N en el rendimiento de maíz. Es evidente que la incorporación del N tiende a favorecer su utilización por la planta, mientras que con la aplicación superficial se obtuvieron rendimientos ligeramente inferiores. Sin embargo, el beneficio de la incorporación podría ser mayor en suelos con pH alcalino, pues de esta forma se reducen las pérdidas de amoníaco que ocurrirían si se aplica urea superficialmente (se han reportado pérdidas hasta del 20% de todo el N aplicado) y en suelos de textura gruesa (franco arenosos).

Para sistemas de siembra manual, en terrenos sin preparación, la única opción válida es la aplicación de N en forma superficial (voleo) o en banda superficial en el momento oportuno. Un componente importante de este sistema, principalmente en terrenos recientemente desbrozados, es la presencia de residuos vegetales sobre la superficie. La acumulación de abundantes residuos puede favorecer la pérdida de cantidades apreciables de N como amoníaco, pues la presencia de la enzima ureasa en los residuos acelera la hidrólisis de la urea. Por tal razón, siempre que sea posible, deben limpiarse los sitios donde exista abundante acumulación de residuos. En terrenos con pendientes podría justificarse la aplicación del fertilizante en hoyos hechos con "espeque", que son tapados inmediatamente, a lo largo de las hileras del

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

cultivo. Se evita así el lavado por escurrimiento durante el invierno y al mismo tiempo se aprovecha el beneficio de la incorporación.

Cuadro 3. Modalidades de fertilización nitrogenada y su efecto sobre el rendimiento del maíz (promedio de varios sitios y diferentes cultivares de maíz).

Modalidad de fertilización		Rendimiento
1era dosis	2da dosis	ton/ha
Banda incorporada	Banda superficial	5.5
Voleo incorporado	Banda superficial	5.3
Voleo sobre el cultivo	Voleo sobre el cultivo	5.1
Banda superficial	Banda superficial	5.1

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de un estudio de formas de aplicación de N, realizado en suelos de laderas de Balzar y San Carlos. En ambos casos la modalidad de aplicar urea en "golpes", al lado del sitio de siembra, resultó conveniente y fue mejor cuando el fertilizante fue enterrado.

Cuadro 4. Modalidades de fertilización nitrogenada y su efecto sobre el maíz INIAP H-551 sembrado en suelos de laderas en dos lugares de la zona Central del Litoral Ecuatoriano.

Modalidad de aplicación	Rendimiento (ton/ha)		Promedio (ton/ha)
	Balzar	San Carlos	
Voleo	8.5	9.3	8.9
Banda lateral superficial	8.1	8.4	8.2
Golpe superficial	8.8	9.7	9.3
Banda lateral enterrada	9.3	7.8	8.6
Golpe enterrado	9.7	9.6	9.7

Efecto de la densidad de siembra en el uso de Nitrógeno

El uso eficiente del N depende también del uso adecuado del número de plantas por hectárea. Una población óptima proporciona suficiente superficie foliar para aprovechar al máximo la luminosidad, así como los otros factores de la producción. Debe tomarse en cuenta que un número muy alto de plantas produce un excesivo autosombreamiento, lo que promueve, por búsqueda de luz, un crecimiento anormalmente alto de las plantas y tallos débiles, aumentando así el riesgo de acame. En el otro extremo, un reducido número de plantas por hectárea no permite el aprovechamiento eficiente de los recursos productivos, limitando el rendimiento.

En general, cada variedad o híbrido de maíz tiene una densidad de plantas que puede considerarse óptima. Los estudios realizados hasta ahora demuestran que aquellos híbridos desarrollados por el INIAP funcionan mejor con una población de 65000 plantas por hectárea (el máximo rendimiento se ha logrado con 66500 plantas por hectárea), en suelos bien provistos de nutrientes. Fuera de este rango se corre el riesgo de afectar el potencial de rendimiento.

Los datos de la Figura 2 ilustran el efecto del número de plantas en la respuesta del maíz al N. Estos datos indican claramente que aún sin fertilizar es importante mantener un adecuado número de plantas por hectárea. Además, se confirma que los incrementos de rendimientos, debido a la fertilización nitrogenada, son mayores en el rango de población mencionado en el párrafo anterior para los híbridos INIAP.

Distanciamiento entre hileras

La distribución de las plantas dentro de la plantación es otro factor que afecta la respuesta del maíz al N. No se recomienda el uso de distancias muy estrechas entre hileras porque se produce un excesivo autosombreamiento, particularmente cuando el número de plantas por hectárea es muy elevado. En un estudio llevado a cabo en Balzar, manteniendo una población uniforme de 65000 plantas por hectárea, se encontró que el uso de distancias entre hileras menores de 0.80 m causa reducción del rendimiento, tanto en plantas fertilizadas como en las que no recibieron fertilización. A distancias entre hileras de 0.80 y 0.90 m se observaron los mayores incrementos en rendimiento como respuesta al N (Cuadro 5), y se aprovechó mejor el N nativo del suelo en el caso de las parcelas no fertilizadas. No se recomiendan distancias más amplias que 0.90 m.

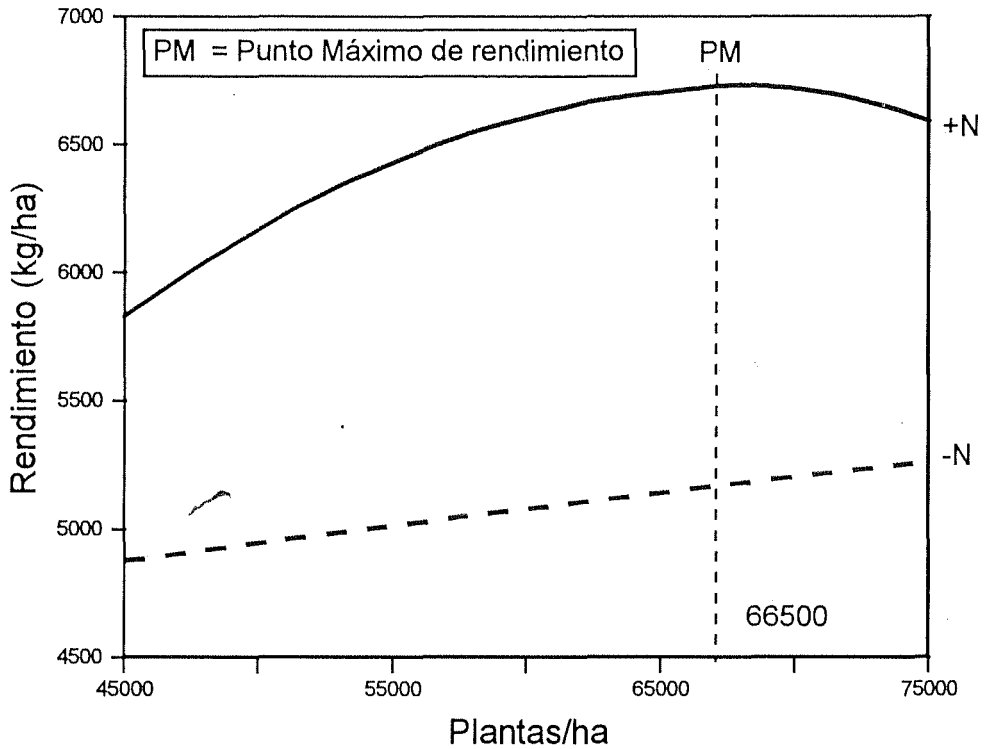


Figura 2. Efecto de la interacción entre la fertilización nitrogenada y poblaciones sobre el rendimiento de híbridos de maíz producidos por INIAP.

En otro estudio, conducido con siembras manuales de maíz, se varió la distancia entre hileras, pero se mantuvo igual la distancia entre trancos (0.40 m), dejando 2 plantas por sitio. En este caso los resultados también mostraron que el mejor distanciamiento entre hileras está entre 0.80 y 0.90 m (Cuadro 6), al parecer por una mayor entrada y aprovechamiento de luz.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

Cuadro 5. Influencia de la distancia entre hileras sobre la respuesta del maíz a la aplicación de nitrógeno, Balzar.

Distancia entre hileras* (m)	kg de N/ha		Incremento en rendimiento ton/ha
	0	120	
	Rendimiento, ton/ha		
0.75	3.6	6.7	3.1
0.80	4.5	7.2	2.7
0.85	4.4	7.6	3.2
0.90	4.1	7.3	3.2

* Población de 65000 plantas por hectárea en todos los tratamientos.

Cuadro 6. Influencia de la distancia entre hileras sobre la respuesta del maíz INIAP H-551 al nitrógeno.

Distancia hileras* m	Población Plantas/ha	kg de N/ha		Incremento de rendimiento. ton/ha
		0	120	
		Rendimiento, ton/ha		
0.75	66.666	2.2	5.9	3.7
0.80	62.500	2.1	6.1	4.0
0.85	58.824	2.7	6.1	3.4
0.90	55.555	2.3	6.3	4.0

* Distancia de 0.40 m entre trancos en todos los tratamientos

Distanciamiento entre plantas dentro del surco

Se condujo un estudio con el híbrido INIAP-551 para conocer la influencia de los distanciamientos entre plantas, manteniendo fija a 0.90 m la distancia entre hileras y dejando 2 plantas por golpe. Los resultados promedios de dos años de investigación aparecen en el Cuadro 7. Se observa que los mejores rendimientos se alcanzaron con las distancias entre plantas de 0.35 a 0.40 m. Cuando las distancias fueron mayores se necesitó aplicar más N. Esto sugiere que las plantas están utilizando más eficientemente el N en las distancias menores entre plantas.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

Cuadro 7. Influencia de la distancia entre plantas dentro del surco sobre la respuesta del maíz INIAP H-551 al nitrógeno.

Distancia entre plantas*	Población plantas/ha	----- kg N/ha -----			Incremento de rendimiento	
		0	46	92	46	92
(m)		----- Rendimiento, ton/ha -----			---- ton/ha ----	
0.50	44.444	4.7	5.7	6.2	1.0	1.5
0.45	49.382	4.4	5.8	6.5	1.4	2.1
0.40	55.555	4.3	6.4	6.0	2.1	1.7
0.35	63.492	4.4	6.4	6.3	2.0	1.9
0.30	74.074	3.6	6.0	5.9	2.4	2.3

* Distancia de 0.90 m entre hileras en todos los tratamientos

Efecto de otros factores en el uso de Nitrógeno

Fecha de siembra

La siembra temprana, tan pronto como se reciben las primeras lluvias, aumenta el beneficio de la fertilización, así como el aprovechamiento del N liberado por la descomposición de la materia orgánica. Se ha comprobado que al inicio del invierno se produce una significativa acumulación de nitratos (forma en que las plantas absorben el N), que el cultivo aprovecha si las siembras se realizan lo más temprano posible. Por el contrario, si las siembras son tardías, las plantas no usan eficientemente el N y el rendimiento va disminuyendo gradualmente a medida que la siembra es más tardía. A esto se suma un incremento en el riesgo de acame y ataque de plagas y enfermedades debido a que las plantas crecen débiles cuando la siembra es muy tardía.

Cuando la siembra es cada vez más tardía se observa que el cultivo se va "quedando", porque a medida que avanza el período lluvioso el suelo pierde aereación y se satura con agua. Esta condición afecta el desarrollo de las raíces y la absorción de nutrientes. Con frecuencia se observa en el horizonte superficial de suelos apelmazados pequeñas zonas grises con evidencias de descomposición anaeróbica de residuos, pudiéndose inclusive percibir el olor característico de los gases originados

por esta clase de descomposición. Esto indica que existen niveles mínimos de oxígeno en algunas zonas del suelo superficial. El apelmazamiento ocurre cuando los suelos han sido excesivamente preparados y forman una costra en la superficie que dificulta el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el suelo. En condiciones anaeróbicas se reduce el proceso de nitrificación (cambio de amonio a nitrato) y además se crean las condiciones ideales para las pérdidas de N por denitrificación (pérdidas de N en forma gaseosa), esto reduce apreciablemente el N disponible y el rendimiento.

En la Figura 3, se muestra el efecto de las siembras tempranas sobre el aprovechamiento del N y el rendimiento de grano. Se nota que en las siembras muy tardías no es conveniente fertilizar, ya que el incremento en rendimiento es muy bajo.

Las siembras en la época seca (donde es posible hacerlo) también deben ser hechas lo más temprano posible después que han terminado las lluvias. De esta forma se aprovecha al máximo la humedad almacenada en el perfil del suelo. Cuando se dispone de riego no es crítica la siembra temprana, pero debe tenerse en cuenta que el desarrollo del cultivo también podría ser afectado por las bajas temperaturas de ciertos meses de la época seca.

Otro aspecto relacionado con la fecha de siembra es el hecho de que sembrando tempranamente se consigue que parte de la fase de floración y llenado de grano coincidan con uno de los dos picos de alta luminosidad que existen en el Litoral Ecuatoriano. El pico de luminosidad de invierno es mucho más marcado que el de verano. Las siembras tardías se benefician menos de esta circunstancia climática.

Preparación del suelo

La preparación inadecuada del suelo también ejerce influencia sobre el efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo, principalmente si se trata de terrenos explotados por algún tiempo y que presentan algún grado de compactación. La compactación restringe el volumen de suelo que las raíces pueden explorar, resultado en un menor aprovechamiento de agua y nutrientes por la planta y por lo tanto produciendo rendimientos más bajos. El mejor desarrollo radicular de terrenos preparados en forma adecuada, evitando la labranza excesiva del suelo, se refleja en mayor producción. Los resultados del Cuadro 8 ilustran claramente la situación antes descrita, en suelos con textura franco limosa en explotación por varios años en la zona de Quevedo.

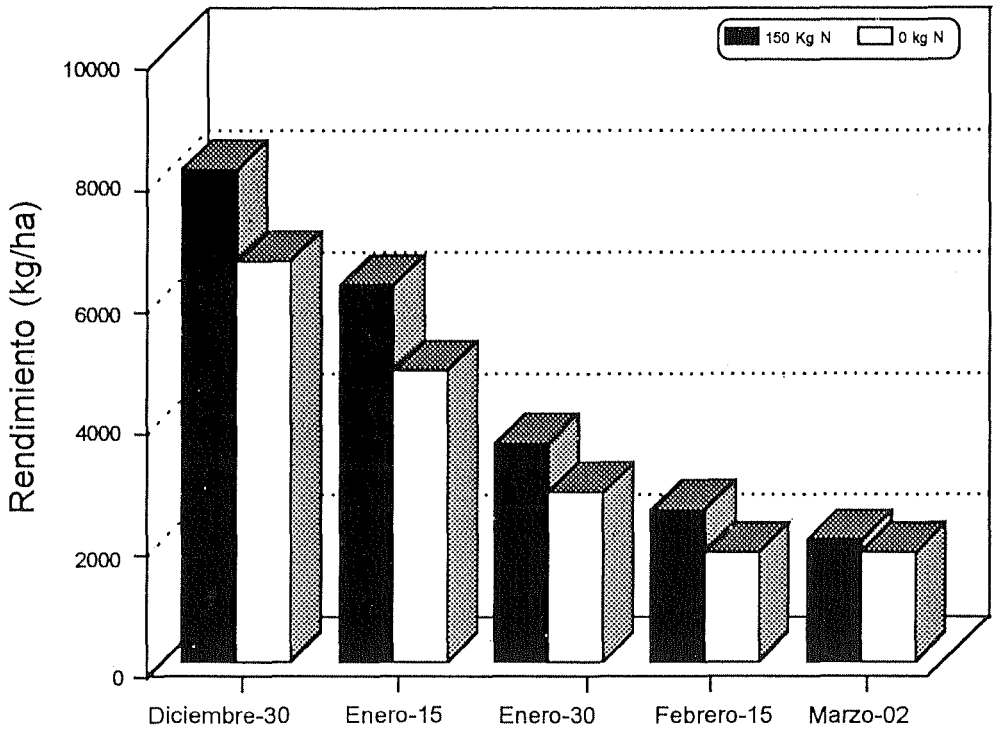


Figura 3. Influencia de la fecha de siembra sobre la respuesta del híbrido INIAP H 550 a la fertilización con nitrógeno.

Zonas de cultivo

Por condiciones de suelo y de clima, ciertas zonas presentan más potencial "maicero" que otras, siendo este un factor de gran influencia sobre la respuesta del cultivo al N. El Cuadro 9 muestra resultados logrados en cinco zonas del Litoral Central Ecuatoriano. Los suelos de Quevedo son más fértiles que los de Balzar, pero su menor índice de luminosidad parece limitar el rendimiento. Este estudio no hace más que confirmar el potencial de las zonas de San Carlos, Ventanas y Balzar para la producción de maíz.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

Cuadro 8. Influencia de la preparación del suelo sobre la respuesta del maíz INIAP H-550 a la fertilización con nitrógeno.

Labranza	----- Rendimiento -----		Incremento por efecto del N
	Sin N	Con N	
-----	-----	-----	-----
	----- ton/ha -----		ton/ha
Sin preparación	2.9	4.9	2.0
Preparación convencional*	3.7	5.4	1.7
Incremento preparación suelos	0.8	0.5	

* Un pase de arado o romepLOW y dos pases de rastra

Cuadro 9. Respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada en cinco zonas del Litoral Ecuatoriano.

Zonas	----- Rendimiento (ton/ha) -----		Incremento (ton/ha)
	Sin N	Con N	
Balzar	4.5	7.0	2.5
Valencia	3.6	5.3	1.7
Quevedo	4.7	6.6	1.9
San Carlos	5.6	7.9	2.3
Ventanas	4.4	6.9	2.5
Promedio	4.56	6.74	2.18

Erosión del suelo

El maíz sembrado en terrenos erosionados tiene menor potencial de rendimiento y la respuesta al N es menor. Además, existen deficiencias de otros nutrientes que limitan también el rendimiento. Por otro lado, las condiciones físicas de los suelos erosionados son también desfavorables para el desarrollo radicular de las plantas. En el Cuadro 10 se presentan los resultados de un estudio que demuestra como el

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

nivel de la erosión de los suelos de la zona Central del Litoral Ecuatoriano reduce el rendimiento y disminuye la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Cuadro 10. Influencia de la erosión sobre la fertilidad del suelo y la respuesta del maíz a la fertilización nitrogenada.

Nivel de erosión	M.O. %	N ---- ppm	P -----	K meq/100 ml	-- Rendimiento (ton/ha) ---		
					Sin N	Con N	Increment.
Ninguna	3.86	30	23	1.00	2.7	4.9	2.2
Ligero	3.24	27	23	0.95	2.1	4.8	2.7
Mediano	2.84	18	17	0.82	2.1	4.2	2.1
Severo	2.79	24	13	0.69	1.9	3.6	1.7

Niveles óptimos económicos de fertilización nitrogenada

Para obtener los mejores resultados de la fertilización nitrogenada, las dosis de N deben estar, en lo posible, relacionadas con la capacidad natural del suelo para proporcionar N. Las dosis muy bajas causan clorosis, pérdida de vigor y obviamente pérdida de rendimiento. Dosis muy altas, en cambio, promueven un crecimiento excesivo aumentando el riesgo de acame y ataque de enfermedades. En este caso el rendimiento disminuye, es decir que el perjuicio es doble. Los datos de la Figura 4 muestran como aplicaciones mayores de 115 kg de N por hectárea ya no producen incrementos de rendimiento y los contenidos foliares del N alcanzan su máxima concentración. Este es un hecho casi generalizado en todas las zonas maiceras del Litoral Central Ecuatoriano.

En las Figuras 5, 6 y 7 se aprecia el punto óptimo económico (POE) y el punto máximo (PM) de rendimiento, calculados en función de las dosis crecientes de N para las variedades 526, 527 y los híbridos INIAP 550 y 551. El punto óptimo económico para las variedades es de 108 kg de N por hectárea, mientras que para los híbridos 550 y 551 es de 129 y 135 kg de N por hectárea, respectivamente. Es interesante observar como las variedades sintéticas consiguen la máxima producción a niveles mas bajos de N en comparación con los híbridos. Incluso entre los dos híbridos se observan diferencias en rendimientos en función al N aplicado. Es necesario tener en cuenta este particular comportamiento para obtener el máximo beneficio de la fertilización de maíz con N.

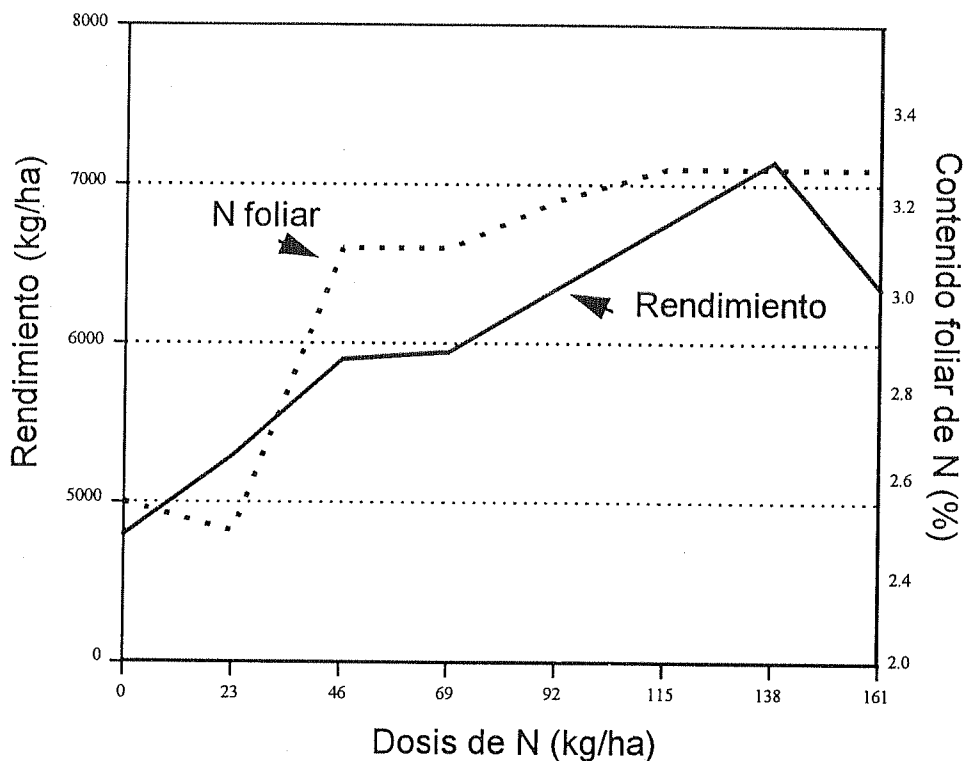


Figura 4. Influencia de varias dosis de nitrógeno sobre el contenido de nitrógeno foliar y rendimiento de maíz INIAP H-550.

Respuesta al Nitrógeno en suelos recién trabajados

El tiempo de explotación de un suelo también ejerce influencia sobre la respuesta de maíz a la fertilización con N. Los suelos que han estado cubiertos con huertos viejos de cacao y café y que han sido desbrozados manualmente para la siembra de maíz tienen, durante el primero y segundo año después del desbroce, un gran aporte de N nativo. Este aporte es suficiente para alcanzar rendimientos comerciales entre 4 y 5 toneladas por hectárea en siembras a espeque, siempre y cuando se maneje bien el cultivo. En condiciones como estas se recomienda la aplicación de dosis bajas de N, no más allá de 1 ó 2 sacos de urea por hectárea (Cuadro 11). A partir del tercer año la respuesta al N aumenta significativamente.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

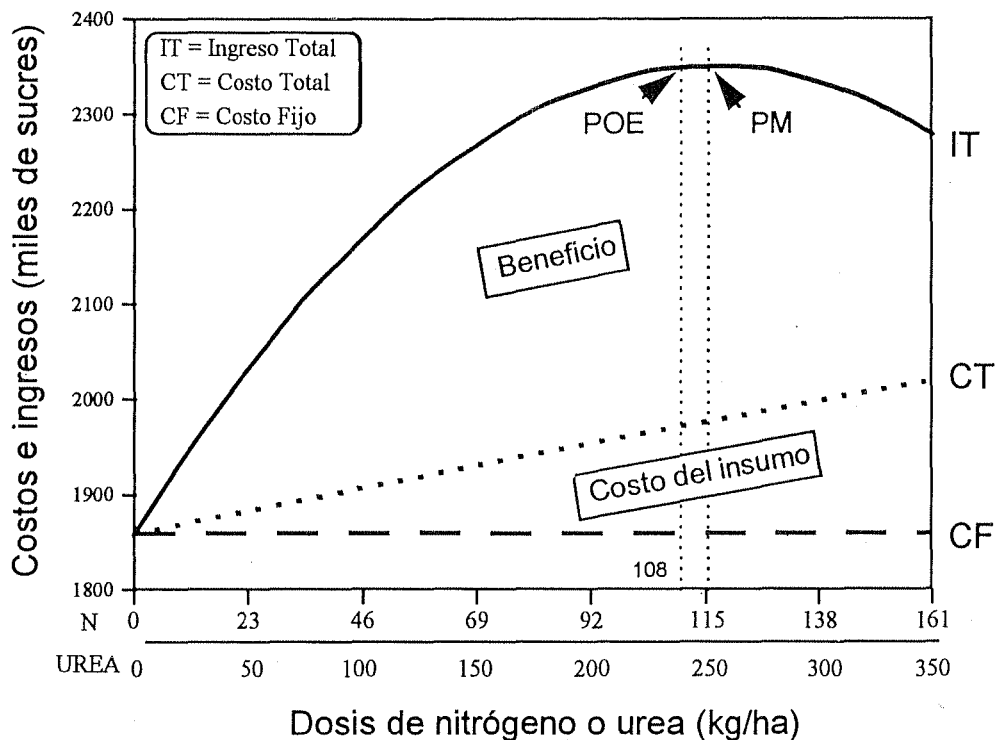


Figura 5. Punto Óptimo Económico (POE) y Punto Máximo de Rendimiento (PM) en función de las dosis de nitrógeno en maíz, variedad 526-527.

Cuando el desbroce es mecanizado la situación cambia substancialmente. Por un lado, la cuchilla del bulldozer provoca diversos grados de movimiento del suelo superficial que es el más rico en materia orgánica. por otro lado, el desenraizamiento de árboles de raíces profundas de los antiguos huertos transporta hacia la superficie gran cantidad de material del subsuelo, creando parches de terreno de menor fertilidad que sumados hacen una superficie apreciable. Es por esta razón que en condiciones de terreno desbrozado mecánicamente se recomienda el uso de dosis moderadas de N, que se inician con 3 sacos de urea por hectárea en el primer año y a partir del segundo año se continúa con las dosis normales de 4 ó 5 sacos de urea por hectárea.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

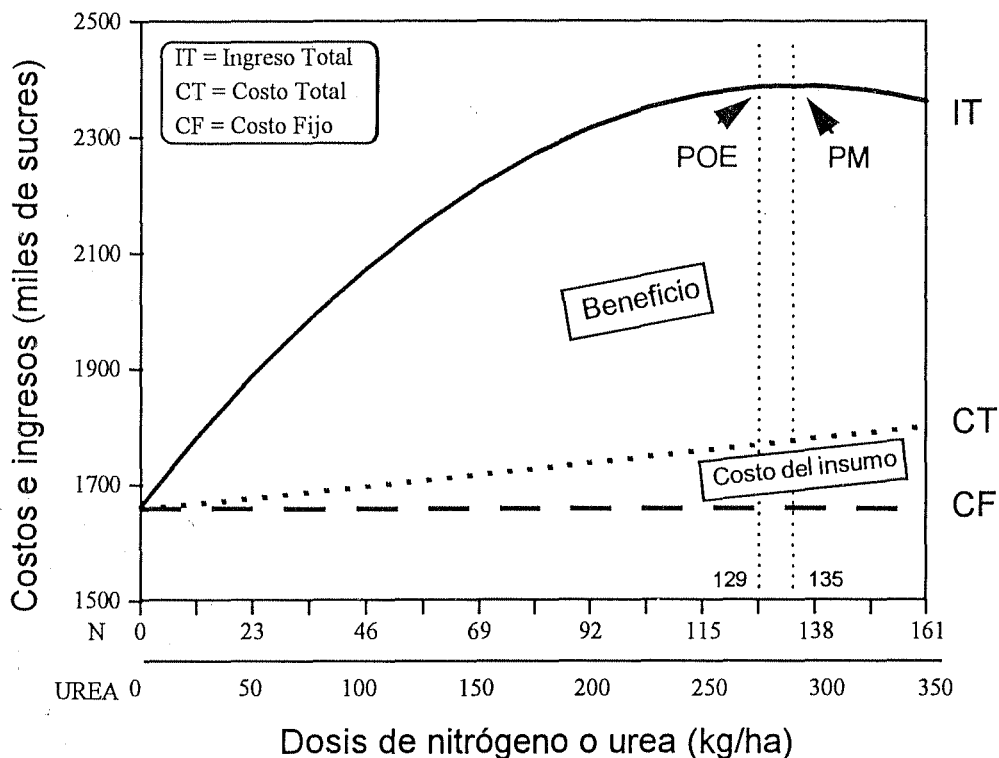


Figura 6. Punto Óptimo Económico (POE) y Punto Máximo de Rendimiento (PM) en función de las dosis de nitrógeno en maíz INIAP H-550.

Cuadro 11. Respuesta al nitrógeno en el primer ciclo de maíz en un terreno de ladera desbrozado manualmente.

Sacos de urea/ha	kg urea/ha	kg N/ha	Rendimiento, ton/ha
Sin urea	0	0	4.2
1 saco	50	23	4.9
2 sacos	100	46	4.6
3 sacos	150	69	4.8

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

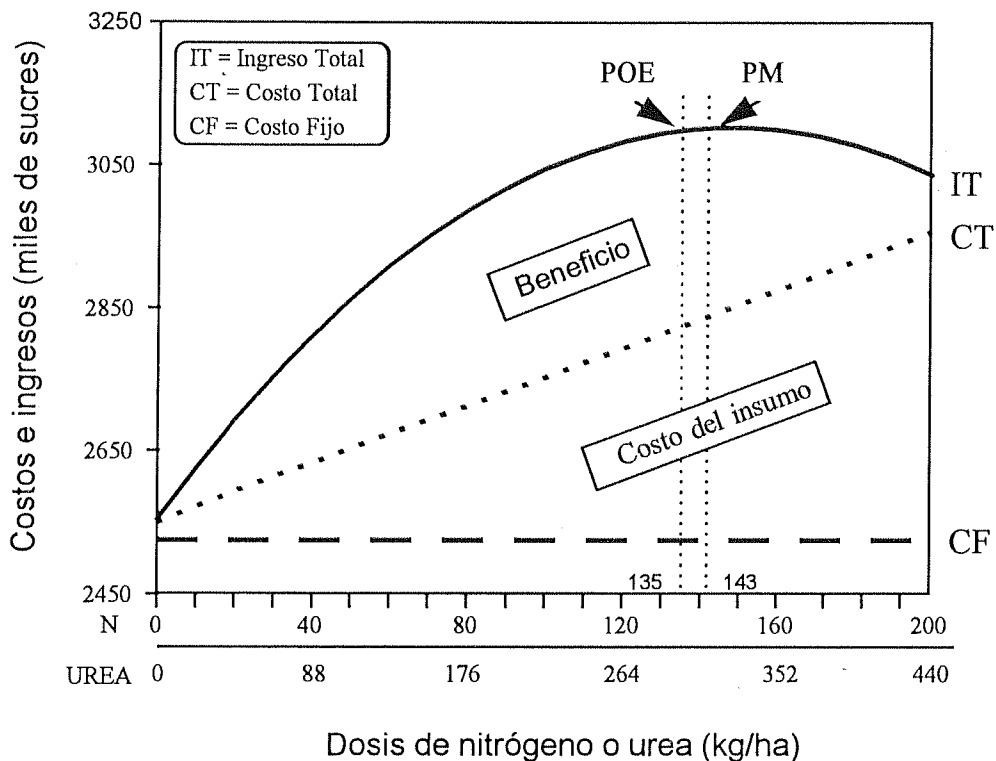


Figura 7. Punto Óptimo Económico (POE) y Punto Máximo de Rendimiento (PM) en función de las dosis de nitrógeno en maíz INIAP H-551.

Como todos los cultivos, el maíz requiere de otros nutrientes para mantener una adecuada nutrición. La deficiencia de estos otros nutrientes en el suelo tiene mucha influencia sobre la magnitud de la respuesta del maíz al N. La fertilización nitrogenada incrementa el rendimiento de grano solo en la medida en que lo permita la disponibilidad de los otros nutrientes en el suelo. Esto explica el porque muchas veces el rendimiento se mantiene estático o aumenta muy poco con la aplicación de solamente N. En este caso el rendimiento está limitado por la falta de otros nutrientes.

INFLUENCIA DE OTROS NUTRIENTES EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ

En los suelos maiceros del Litoral Central Ecuatoriano los problemas nutricionales se limitan con frecuencia a las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo y azufre (S), principalmente en suelos con bajo contenido de materia orgánica. Se ha encontrado que en suelos aluviales puede llegar a ser bastante común la insuficiencia de los nutrientes antes mencionados.

Varios estudios conducidos en las áreas maiceras han demostrado que el maíz responde positivamente a la fertilización fosfórica, mejorando además la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Los resultados presentados en el Cuadro 12 confirman lo indicado.

En el mismo Cuadro se observa la poca respuesta al K. Se conoce que los suelos típicamente maiceros del Litoral Central Ecuatoriano tienen por lo general reservas adecuadas de K nativo, sin embargo, se debe tener cuidado de no agotar estas reservas a mediano plazo. Esto se logra devolviendo al suelo por lo menos el K extraído en cada cosecha, lo que permite mantener una producción estable, sin deteriorar la fertilidad del suelo. Esto se conoce como fertilización de mantenimiento y debe ser una práctica común en sistemas intensivos de producción de maíz. De no seguir esta recomendación, con toda seguridad la deficiencia de K aparecerá tarde o temprano.

En suelos de menor fertilidad, como los del sector Oriental y Nororiental de la parte alta de la Cuenca del río Guayas, la insuficiencia de P puede llegar a ser tan crítica que el maíz responde muy poco a la aplicación de N si no se fertiliza también con P. Los resultados del Cuadro 13 ilustran lo indicado y observándose además una pequeña respuesta al K.

Por otro lado, los resultados del Cuadro 14 demuestran claramente como la respuesta al N fue de mayor magnitud cuando se aplicó también de P y S. Este tipo de respuesta es bastante común en suelos aluviales de la parte alta de la Cuenca del Guayas, donde los contenidos de materia orgánica son bajos.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

Cuadro 12. Rendimiento del maíz en función de la fertilización con fósforo en la zona Central del Litoral Ecuatoriano.

Tratamiento	Rendimiento ton/ha	Proporción con respecto al testigo	Incremento ton/ha
Testigo	4.9	1.0	-
N	6.8	1.39	1.9
N P	7.6	1.55	2.7
N P K	7.5	1.53	2.6

Cuadro 13. Respuesta del maíz a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en el sector Oriental de la parte alta de la Cuenca del Guayas.

Tratamiento	Rendimiento ton/ha	Proporción con respecto al testigo	Incremento ton/ha
Testigo	3.1	1.00	-
N	3.3	1.06	0.2
N P	3.9	1.26	0.8
N P K	4.1	1.32	1.0

Cuadro 14. Rendimiento de maíz en función de la fertilización con nitrógeno, fósforo y azufre en suelos aluviales de la parte alta de la Cuenca del Guayas.

Tratamiento	Rendimiento ton/ha	Incremento respecto al testigo, ton/ha
Testigo	3.7	-
N	4.2	0.5
N P	4.7	1.0
N P S	5.1	1.4

Fertilización con fósforo y potasio

La fertilización con P y de K es diferente a la de N. El P se mueve poco en el suelo, por esta razón, cuando se aplican fertilizantes fosfatados es necesario incorporarlos en la capa arable, para lograr el máximo beneficio. En general, la aplicación superficial de P es poco eficiente. El K tiene mayor movilidad y puede ser aplicado superficialmente, aunque los mejores resultados se obtienen incorporándolo.

Los fertilizantes fosfóricos y potásicos se deben aplicar antes o durante la siembra del maíz y deben evitarse aplicaciones posteriores a la siembra. Cuando se fertiliza antes de la siembra con P y K, los fertilizantes se distribuyen al voleo sobre el terreno y se los incorpora en la capa arable con el último pase de rastra. De esta forma se favorece la distribución uniforme de estos nutrientes en la zona de mayor crecimiento radicular.

Cuando se aplica P y K durante la siembra, el fertilizante debe colocarse en una banda incorporada a 5 cm de profundidad hacia un costado de la semilla. Toda esta operación se realiza con la máquina sembradora abonadora que debe calibrarse adecuadamente para dejar caer la cantidad correcta del fertilizante, a cierta distancia de la semilla para evitar la creación de alguna condición de toxicidad. Es importante el indicar que el uso de una fórmula completa, con alto contenido de P, estimula significativamente el crecimiento inicial del maíz y en general de cualquier cultivo.

Fuentes de fósforo y potasio

El P y K pueden ser parte de los fertilizantes simples o completos. Los fertilizantes simples son aquellos que tienen un solo nutriente como el superfosfato simple y superfosfato triple que contienen P y el muriato de potasio contiene K. Los fertilizantes de fórmula completa incluyen al mismo tiempo dos o más nutrientes. Las fórmulas más conocidas son 10-30-10, 8-20-20, 12-36-12, 15-15-15 y 12-24-12 de N, P_2O_5 y K_2O respectivamente.

La información del Cuadro 15 ayuda en los cálculos de cantidad de fertilizante a utilizarse, asegurando de esa forma que se están aplicando las dosis recomendadas. Cuando se utilizan fórmulas completas es preferible cubrir primero todas las

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

necesidades de P y K con la fórmula y luego completar lo que falta de N aplicando urea o sulfato de amonio.

Cuadro 15. Contenido de N-P-K para varios fertilizantes de fórmula simple y completa.

Fertilizantes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	----- % -----			kg/saco de 50 kg del fertilizante		
Superfosfato simple	0	20	0	0	10	0
Superfosfato triple	0	46	0	0	23	0
Muriato de potasio	0	0	60	0	0	30
Fosfato diamónico	18	46	0	9	23	0
10-30-10	10	30	10	5	15	5
8-20-20	8	20	20	4	10	10
12-36-12	12	36	12	6	18	6
15-15-15	15	15	15	7.5	7.5	7.5
12-24-12	12	24	12	6	12	6

Por ejemplo, si se dispone de urea, fosfato diamónico y la fórmula completa 8-20-20 y se desea fertilizar una hectárea de maíz con 100 kg de N, 60 kg de P₂O₅ y 30 kg de K₂O es necesario aplicar, después de los cálculos respectivos, 3.7 sacos de urea, 1.3 sacos de fosfato diamónico y 3 sacos de la fórmula 8-20-20 por hectárea.

RECOMENDACIONES PARA LA BUENA FERTILIZACION DEL MAIZ

1. Aplique de 4 a 6 sacos de urea. La dosis más alta se usa cuando se siembran híbridos, o en terrenos de ladera, o en suelos con largo historial de explotación.
2. En suelos con bajo contenido de materia orgánica (< 2.5%), o donde se sospecha que hay deficiencia de S, aplicar 2 sacos de sulfato de amonio ó 2 sacos de sulpomag, combinados con 3 sacos de urea.
3. En la época lluviosa es conveniente fraccionar la aplicación de N en dos porciones. La primera fracción se puede incorporar inmediatamente antes o durante la siembra. La segunda fracción se aplica 30 días después a la superficie en una banda de unos 20 cm de ancho al costado de la hilera del cultivo. En la época seca se debe aplicar todo el N al momento de la siembra.
4. Si el suelo presenta contenidos medios a bajos de P (después del análisis de suelos), se recomienda la aplicación de 3 a 5 sacos de superfosfato triple por hectárea. En el caso de tener contenidos medios a bajos de K se justifica la aplicación de 2 a 4 sacos de muriato de potasio por hectárea.
5. Los fertilizantes que tienen P y K o los fertilizantes completos deben incorporarse en el suelo antes o durante la siembra para lograr el máximo de eficiencia.
6. En áreas mecanizadas con suelos profundos de textura media se debe usar híbridos de maíz para aprovechar al máximo la fertilización.
7. Los nutrientes aplicados en la fertilización se aprovechan mejor si se emplean alrededor de 66500 plantas por hectárea. Se debe tener presente que si se usan poblaciones altas no se debe descuidar la fertilización.
8. Siembre lo más temprano posible al inicio del invierno, máximo dos semanas después del inicio de las lluvias, a fin de aprovechar la fertilidad natural del suelo y usar más eficientemente los fertilizantes.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro

9. Evite preparar suelos de ladera en la época lluviosa, porque esto aumenta los riesgos de erosión y reduce la fertilidad del suelo.
10. En suelos de ladera erosionados aplique el 50% más de N y el doble de P y K de lo que se recomienda para la parte plana.
11. Para mejor aprovechamiento de la fertilización en siembras mecanizadas, utilice un distanciamiento de 0.85 a 0.90 m entre hileras.
12. En siembras manuales use un distanciamiento de 0.90 x 0.40 m ó 0.80 x 0.40 m (distancia entre hileras x distancia entre plantas) colocando 2 semillas por golpe.
13. En terrenos desbrozados y despalizados manualmente utilice 1 saco de urea al primer ciclo, 2 sacos al segundo ciclo y 4 sacos a partir del tercer ciclo del cultivo.
14. En terrenos desbrozados mecánicamente use 3 sacos de urea en el primer ciclo y 4 ó 5 a partir del segundo ciclo.
15. Finalmente, se sugiere tomar muestras de suelos y enviarlas a los laboratorios de INIAP en las Estaciones Experimentales de Boliche y Pichilingue para su correspondiente análisis. De esta forma el productor conocerá el estado de fertilidad de sus terrenos. Esta información, junto con el conocimiento de las necesidades nutritivas del cultivo y demás información de soporte permite planificar la fertilización y el uso eficiente de los fertilizantes.

SINTOMAS DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN MAIZ



Síntomas de deficiencia de nitrógeno



Síntomas de deficiencia de nitrógeno



Mazorca de maíz sin problemas nutricionales.



Mazorca de maíz con síntomas de deficiencia de fósforo.



Plantas de maíz creciendo en un suelo pobre en fósforo.



Mazorca de maíz con síntomas de deficiencia de potasio.



Deficiencia de potasio afectando las hojas bajas



La deficiencia severa de potasio produce tallos frágiles y en consecuencia el cultivo se acama.



Síntomas de deficiencia de magnesio.



Síntomas de deficiencia de azufre.



Síntomas de deficiencia de zinc.



Síntomas de deficiencia de hierro.

PROBLEMAS DE SUELOS QUE AFECTAN LA NUTRICION



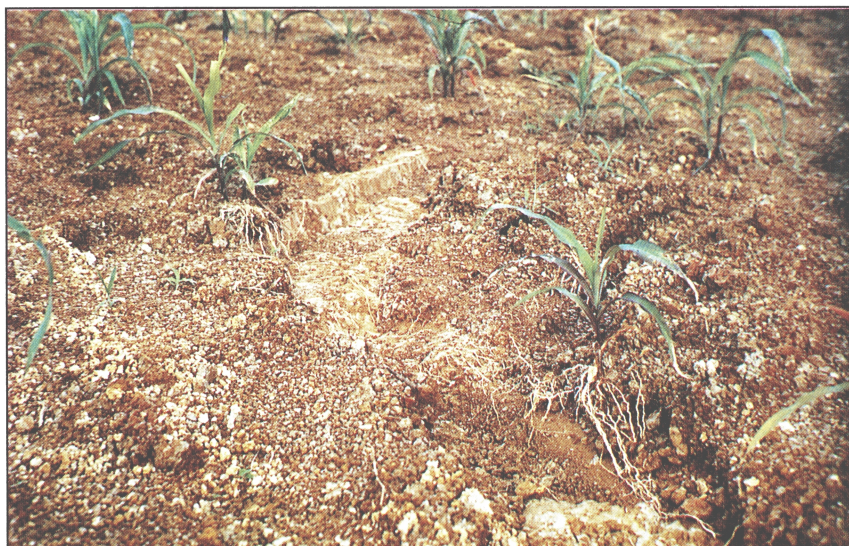
Plantación comercial de maíz con problemas de heterogeneidad de suelos.



Efecto de la profundidad variable de suelo en el crecimiento del maíz.



Efecto de la erosión del suelo en crecimiento de las plantas de maíz.



Raíces expuestas debido a erosión severa en un campo de maíz.

EFFECTO DEL MANEJO EN LA NUTRICION DE MAIZ



El exceso de población afecta el rendimiento.



Acame de maíz debido al exceso de población y a fertilización desbalanceada.



Aplicación indebida de urea.



Estrés por falta de agua en maíz en plena floración.



Estrés por falta de agua en maíz joven.



Efecto de encharcamiento debido a compactación, en el crecimiento de maíz.

**BUSQUEDA DE ALTERNATIVAS PARA PRODUCIR MAIZ EN
FORMA EFICIENTE**



Estudios de respuesta de maíz a la fertilización.



Efecto de la aplicación de sulfato de amonio en suelos aluviales.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro



Aplicación correcta de urea en bandas laterales a lo largo de las hileras de maíz.



Tallos vigorosos de plantas de maíz creciendo sin restricciones nutricionales.



Respuesta de maíz a aplicaciones de NPK y densidades de siembra.



Mazorcas de maíz producidas sin restricciones nutricionales.

Manejo de la Fertilización en Maíz Duro



Siembra de hileras en contorno para controlar erosión.



Labranza cero para controlar la erosión y mejorar el uso del agua.