

MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECIFICO CON LABRANZA MINIMA: EXPERIENCIAS EN GENERACION DE RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION EN MAIZ (*Zea mays* L.), PROVINCIA BOLIVAR

Rafael Parra¹, Franklin Valverde¹ y Soraya Alvarado¹

¹ Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: arparrab@yahoo.es

INTRODUCCION

En el Ecuador, la erosión de los suelos es un problema que afecta aproximadamente al 50% de las tierras. Alrededor del 15% de las tierras degradadas se encuentran en el callejón interandino y sobre las vertientes que los bordean. La pérdida de suelo por erosión en tierras agrícolas se estima en 80 t ha⁻¹ año⁻¹ (Vogel, 2000).

En la provincia Bolívar el maíz es el cultivo más importante para la economía de los agricultores constituyéndose en uno de los alimentos básicos en la dieta diaria de la población rural. Las zonas de producción de maíz suave, se ubican entre los 2200 a 2800 m de altitud; en suelos con deficiencias de nitrógeno (N) y fósforo (P) principalmente y expuestos a la erosión causada por el agua, viento y la inducida por el hombre debido a las prácticas inadecuadas de manejo en suelos de ladera (INIAP, 2009).

El crecimiento vegetativo y la necesidad de suplementar nutrientes al maíz, varía apreciablemente entre lotes, épocas climáticas y años de producción. Esto se debe a diferentes condiciones de crecimiento y manejo del cultivo, diferencias en el suelo y clima que no necesariamente pueden ser detectadas por el análisis de suelos. De ahí la necesidad de implantar una nueva metodología de diagnóstico que permita determinar las necesidades específicas de nutrientes en los lotes de producción. Esta nueva metodología se denomina Manejo de Nutrientes por Sitio Específico (MNSE) (Witt *et al.*, 2006).

El MNSE busca determinar las dosis óptimas de nutrientes para obtener altos rendimientos, con la mayor cantidad de maíz por unidad de nutriente utilizado. Este procedimiento permite establecer las dosis de nutrientes necesarias para alcanzar la meta de rendimiento para un dominio de recomendación. Debido a la fuerte erosión de los suelos de ladera de la provincia Bolívar se evaluó bajo el sistema de labranza mínima para reducir la erosión y mantener la fertilidad de los suelos.

OBJETIVO GENERAL

Mejorar la productividad y rentabilidad del maíz en las principales áreas productoras de la Provincia Bolívar por medio del MNSE y labranza mínima.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Cuantificar y entender el potencial de rendimiento del maíz suave I-111 y las brechas presentes en las zonas de producción en la provincia Bolívar.
2. Desarrollar herramientas prácticas para el MNSE en la provincia Bolívar a través del método científico.
3. Implementar la labranza mínima para conservar los suelos de ladera de Bolívar.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se realizó en la zona maicera de la provincia Bolívar, desde el año 2006 al 2009; en los cantones Guaranda, Chimbo, San Miguel y Chillanes. Durante los cuatro años de estudio se

evaluaron 19 ensayos. El rango de interpretación de las características químicas de los suelos se resume en la **Tabla 1**. La ubicación y las características climáticas de los ensayos se detallan en el **Anexo 1**.

Se utilizó maíz INIAP-111 (Guagal mejorado). Los experimentos estuvieron bajo un diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos fueron 8 para evaluar las parcelas de omisión (**Tabla 2**) y 9 para ajustar la fertilización por densidad (**Tabla 3**). Todos los ensayos fueron manejados bajo el sistema de Labranza Mínima, el cual ha sido evaluado satisfactoriamente en la provincia Bolívar (Valverde *et al.*, 2004a; Valverde *et al.*, 2004b; INIAP 2006; INIAP, 2009).

El N se aplicó a la siembra, 35 y 75 días después de la siembra (dds). Los demás nutrientes se aplicaron a la siembra. El zinc se aplicó en forma foliar a los 45 dds, inicio de floración y 15 días después de esta. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron urea, superfosfato triple, fosfato diamónico, muriato de potasio, sulphomag y azufre elemental; para zinc foliar se usó Quelatex al 9% de Zn. Se realizaron controles fitosanitarios para *Heliothis zea*, *Euxestaeluta*, *Agrostis sp* y *Spodoptera frugiperda*.

Las variables evaluadas fueron materia seca y rendimiento de biomasa, rendimiento de grano, eficiencia fisiológica, eficiencia agronómica y extracción de nutrientes por órganos.

Tabla 1. Porcentaje de rangos de nutrientes según análisis químico de suelo en 19 ensayos.

Parámetro	Rango Alto	Rango Medio	Rango Bajo
	(%)		
N	11	68	21
P	47	16	37
S	0	5	95
K	79	21	0
Ca	95	5	0
Mg	58	42	0
Zn	0	68	32
Cu	89	11	0
Fe	100	0	0
Mn	26	32	42
B	0	0	100
MO	63	21	16
pH	95 Lig. Ác.	5 Práct. Neut.	0

Tabla 2. Tratamientos evaluados en los ensayos 2006 y 2007, con una densidad de siembra de 50000 plantas ha⁻¹ y 2 plantas por sitio de siembra a 0.50 m.

No.	Descripción	Dosis de nutrientes (kg ha ⁻¹)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
1	-N	0	60	60	40	20
2	-P	120	0	60	40	20
3	-K	120	60	0	40	20
4	-S	120	60	60	0	20
5	-Mg	120	60	60	40	0
6	Completo	120	60	60	40	20
7	Completo + Zn	120	60	60	40	20
8	Testigo Fertilización Agricultor	50	30	30	0	0

Tabla 3. Tratamientos evaluados en los ensayos 2008 y 2009.

No.	Descripción	2008					Descripción	2009				
		Dosis de nutrientes (kg ha ⁻¹)						Dosis nutrientes (kg ha ⁻¹)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	MgO
1	- N 50000 ‡	0	70	20	20	10	- N 50000 ‡	0	70	20	20	10
2	- P 50000 ‡	140	0	20	20	10	- P 50000 ‡	140	0	20	20	10
3	Comp 50000 †	140	70	20	20	10	Comp 50000 †	140	70	20	20	10
4	Comp 50000 ‡	140	70	20	20	10	Comp 50000 ‡	140	70	20	20	10
5	Comp 60606 †	140	70	20	20	10	Comp 60606 †	140	70	20	20	10
6	Comp 60606 ‡	140	70	20	20	10	Comp 60606 ‡	140	70	20	20	10
7	Lote Agricultor*	55	23	30	0	0	Lote Agricultor*	45	26	10	0	0
8							G Comp 60606 **	120	70	30	2	2
9							G Comp 60606 ***	120	70	30	2	2

† Fertilización completa con una densidad de siembra de 50000 ó 60606 plantas ha⁻¹ sembradas una por sitio a 0.25 m

‡ Fertilización completa con una densidad de siembra de 50000 ó 60606 plantas ha⁻¹ sembradas dos por sitio a 0.50 m

* Con un promedio de densidad de 37000 plantas ha⁻¹

** Tratamientos generados para este ciclo con la metodología de MNSE con 60606 plantas ha⁻¹ sembradas una por sitio a 0.25 m

*** Tratamientos generados para este ciclo con la metodología de MNSE con 60606 plantas ha⁻¹ sembradas dos por sitio a 0.50 m

RESULTADOS Y DISCUSION

Parcelas de Omisión

Rendimiento obtenible y suplemento de nutrientes provenientes del suelo

En la **Tabla 4**, se puede observar el efecto de los tratamientos por omisión en el rendimiento de maíz durante el 2006 y 2007. El rendimiento más alto (4.1 t ha⁻¹) se observó con el tratamiento completo. Este rendimiento representa el rendimiento obtenible bajo labranza de conservación cuando no existe limitación en disponibilidad de nutrientes y cuando se han eliminado otros factores limitantes como los relacionados con el manejo de plagas. Dicho rendimiento se constituye en la meta para los siguientes ciclos de cultivo en esta zona y establece la demanda de nutrientes como paso inicial para desarrollar la recomendación de fertilización.

Tabla 4. Rendimientos promedios de grano de maíz al 14% de humedad y prueba de Tukey al 5% para tratamientos, 2006 a 2009.

No.	Tratamientos Descripción	2006 y 2007		2008		2009			
		Rendimiento (t ha ⁻¹)		Descripción	(t ha ⁻¹)	Descripción	Rendimiento (t ha ⁻¹)		
1	-N	2.2	c	- N 50000 ‡	1.7	b	- N 50000 ‡	2.7	c
2	-P	3.1	bc	- P 50000 ‡	3.5	a	- P 50000 ‡	4.8	b
3	-K	3.7	ab	Comp 50000 †	4.4	a	Comp 50000 †	6.0	a
4	-S	3.9	ab	Comp 50000 ‡	4.3	a	Comp 50000 ‡	5.5	ab
5	-Mg	3.9	ab	Comp 60606 †	4.8	a	Comp 60606 †	5.5	ab
6	Completo	4.1	a	Comp 60606 ‡	4.8	a	Comp 60606 ‡	6.3	a
7	Comp + Zn	4.1	a	Lote Agricultor*	1.7	b	Lote Agricultor*	3.2	c
8	Lote Agricultor*	3.2	ab				G Comp 60600**	6.0	a
9							G Comp 60600***	6.1	a

† Fertilización completa con una densidad de siembra de 50000 ó 60606 plantas ha⁻¹ sembradas una por sitio a 0.25 m

‡ Fertilización completa con una densidad de siembra de 50000 ó 60606 plantas ha⁻¹ sembradas dos por sitio a 0.50 m

* Con un promedio de densidad de 37000 plantas ha⁻¹

** Tratamientos generados para este ciclo con la metodología de MNSE con 60606 plantas ha⁻¹ sembradas una por sitio a 0.25 m

*** Tratamientos generados para este ciclo con la metodología de MNSE con 60606 plantas ha⁻¹ sembradas dos por sitio a 0.50 m

La evaluación del aporte de los nutrientes nativos del suelo se logra mediante la técnica de las parcelas de omisión, estudiadas en los años 2006 y 2007. En la **Tabla 4** se observa que los rendimientos más bajos se obtienen con la omisión de nitrógeno y fósforo ubicándose en los últimos rangos c y bc; respectivamente. De otra parte, se observa que no hay respuesta del cultivo a la aplicación de zinc debido a que se obtiene el mismo rendimiento comparado con el tratamiento completo. El contenido de Zn en los suelos de la zona está entre medio (68%) y bajo (32%), siendo suficiente para cubrir la demanda del cultivo. La prueba de Tukey al 5% ubica en el primer rango a los tratamientos completo y completo + Zn foliar y compartiendo el primero y segundo rango se ubican los tratamientos de omisión de K, S, Mg y el agricultor; estos resultados corroboran los análisis químicos de suelos de la zona. Para K y Mg se observan contenidos medios y altos por lo cual la respuesta a la fertilización es baja; sin embargo para S el 95% de suelos de la zona tiene contenido bajo y el 5% medio, por lo que debería esperarse una mayor respuesta del cultivo de maíz; lo que indica que es necesario ajustar el nivel crítico de azufre para maíz. Finalmente, estos resultados determinan que los nutrientes más limitantes para la producción de maíz en esta zona son el N seguido por el P.

En todos los ensayos realizados en la provincia Bolívar en los diferentes años, la fertilización completa bajo labranza mínima superó a la fertilización del agricultor bajo labranza convencional; por lo tanto, el mantener el suelo sin remover no afectó su capacidad productiva bajo el cultivo de maíz. Valverde *et al.* (2004a) mencionan que en estudios realizados en Chimborazo, Bolívar e Imbabura, los rendimientos no se vieron afectados negativamente por las prácticas de conservación de suelo, y por lo tanto constituyen alternativas tecnológicas que permitan obtener rendimientos similares al sistema tradicional, pero con la gran ventaja de disminuir la erosión, costos, mano de obra, tiempo y degradación de los suelos; además de capturar carbono incrementando el nivel de materia orgánica del suelo.

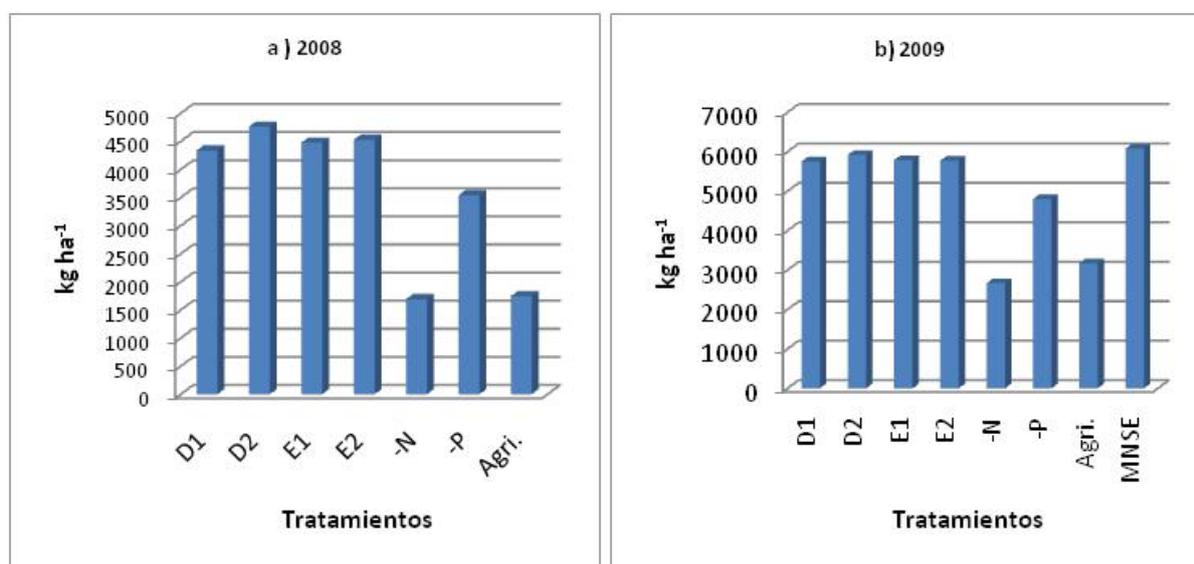


Figura 1. Efecto de densidades (D1=50000 y D2=60606 plantas ha⁻¹), espaciamiento (E1=1 y E2= 2 plantas sitio⁻¹), y omisión de N, P sobre el rendimiento de maíz. Bolívar, 2008 y 2009.

Las densidades y espaciamientos (**Figuras 1a y 1b**), no representaron diferencias significativas sobre el rendimiento de maíz, debido al gran tamaño de las plantas (promedio de 3 m de altura), característica que no permite incrementar la densidad poblacional; si bien, se obtiene mayor número de mazorcas ha⁻¹ pero estas son de menor tamaño debido a competencia de luz, agua y nutrientes. Al comparar los rendimientos de omisión de N y el lote del agricultor con los demás, se observa una disminución muy marcada y en menor grado con el tratamiento de omisión de P. El tratamiento con MNSE para el 2009 presenta rendimientos altos, confirmando la eficiencia de esta técnica.

Cálculo de la dosis de recomendación

La relación entre el rendimiento obtenible y la absorción de nutrientes asociada con este rendimiento se constituye en la base para la determinación de la dosis de fertilización. En la **Tabla 5** se presentan los datos de absorción total de nutrientes en el tratamiento completo y el cálculo de la eficiencia fisiológica (EF) y la eficiencia agronómica (EA); así como los datos de la eficiencia de recuperación (ER).

Tabla 5. Rendimiento de grano de maíz y absorción total de nutrientes en la parcela completa y cálculo de la eficiencia fisiológica y eficiencia agronómica para la zona maicera de Bolívar, 2006 y 2007.

Nutriente	Rendimiento ----- kg ha ⁻¹ -----	Absorción total	Eficiencia Fisiológica kg kg ⁻¹	Eficiencia de Recuperación	Eficiencia Agronómica kg kg ⁻¹
N	4096.3	109.6	37.4	0.5	19
P	4096.3	15.0	273.6	0.2	55
K	4096.3	135.6	30.2	0.6	18
S	4096.3	5.6	728.0	0.4	291
Mg	4096.3	17.9	229.2	0.6	138

La eficiencia fisiológica representa los kg de incremento en el rendimiento de grano por cada kg de nutriente absorbido. Se calcula dividiendo el rendimiento de grano de la parcela completa para la absorción total del nutriente en la misma parcela. Sin embargo, calcular la dosis de nutriente a aplicarse basándose solamente en la EF producirá dosis muy bajas que no logran satisfacer las necesidades establecidas por la meta de rendimiento. Esto se debe a que no todo el nutriente aplicado al suelo es absorbido por la planta. El N se pierde fácilmente del suelo por los procesos de volatilización y lixiviación por efecto de las lluvias. El fraccionamiento de N permite lograr una eficiencia de recuperación de 50% (**Tabla 5**). En tanto que la baja eficiencia del P se explica por procesos de fijación. Las pérdidas de K y Mg por lixiviación son bajas debido a la adsorción en la fase de intercambio catiónico del suelo por lo cual la ER para estos dos nutrientes es del 60%. Las pérdidas de S por lixiviación en forma de sulfatos son altas por lo que se considera una ER de 40%.

Las dosis de nutrientes se calculan de la diferencia entre el rendimiento de la parcela del tratamiento completo y la parcela de omisión del nutriente de interés tomando en cuenta la respectiva EA. Los cálculos de las dosis de los diferentes nutrientes se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Dosis de nutrientes para satisfacer la meta de rendimiento de maíz variedad INIAP 111. Bolívar, 2006 y 2007.

Nutriente	Rendimiento Parcela completa ----- kg ha ⁻¹ -----	Rendimiento Parcela de omisión	Diferencia	EA kg kg ⁻¹	Dosis elemental	Dosis óxido* kg ha ⁻¹
N	4096	2151	1946	19	104	N 104
P	4096	3056	1040	55	19	P ₂ O ₅ 44
K	4096	3673	423	18	23	K ₂ O 28
S	4096	3898	198	291	1	SO ₄ 2
Mg	4096	3944	153	138	1	MgO 2

* Factor para transformar P a P₂O₅ = 2.29, K a K₂O = 1.21, Mg a MgO = 1.69, S a SO₄ = 2.99

El cálculo de las dosis de fertilización toma en cuenta solamente la extracción de nutrientes del grano porque asume que la cantidad de nutrientes acumulada en los demás tejidos de la planta son regresados al suelo en el sistema de cultivo de conservación.

Basándose en estos cálculos, una recomendación práctica para satisfacer las necesidades reales de la planta en las condiciones climáticas de la zona estudiada sería: 104, 44, 28, 2 y 2 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, SO₄ y MgO; respectivamente. Esta recomendación puede ser afinada con el manejo del cultivo con el objeto de obtener más maíz por unidad de nutriente aplicado; particularmente con el manejo del N que es el nutriente más ineficiente en prácticas agrícolas.

Ajuste de la fertilización por densidad con MNSE

Rendimiento de grano y suplemento de nutrientes provenientes del suelo

En la **Tabla 4** se observa el efecto de los tratamientos para ajustar la fertilización por densidad de siembra evaluados durante el 2009. Se evidencia que independientemente de la densidad poblacional ó el número de plantas por sitio los rendimientos asociados con los tratamientos de fertilización completa fueron los más altos comparados con los tratamientos sin N, P y el testigo del agricultor con promedio de densidad de 37000 plantas ha⁻¹. Estos resultados ratifican lo observado en los ciclos de cultivo del 2006 y 2007, donde también el N y P fueron identificados como limitantes para el rendimiento del cultivo con una densidad de 50000 plantas ha⁻¹. En general, los rendimientos más altos observados en el 2009 se pueden explicar por las condiciones climáticas de lluvia favorables que se presentaron en este año frente al ligero estrés hídrico que sufrieron algunos ensayos en los ciclos de investigación 2006 al 2008.

Cálculo de la dosis de recomendación

En la **Tabla 7**, se presentan los datos de la determinación de absorción total de nutrientes en la parcela completa y el cálculo de la EF y la EA como paso previo para determinar las dosis de nutrientes requeridas para alcanzar la meta de rendimiento tomando en cuenta la omisión de N y P con una densidad de 50000 plantas ha⁻¹ con dos plantas por sitio.

Los cálculos de las dosis de los diferentes nutrientes se presentan en la **Tabla 8**.

Tabla 7. Rendimiento de grano de maíz, absorción total de nutrientes y cálculo de eficiencia fisiológica y agronómica, en la zona maicera de Bolívar, 2009.

Tratamiento	Nutriente	Rendimiento ----- kg ha ⁻¹ -----	Absorción	Eficiencia	Eficiencia de Recuperación	Eficiencia
			total	Fisiológica		Agronómica
			-----	kg kg ⁻¹		
50000 plantas ha ⁻¹	N	5753.1	143.3	40.2	0.7	28
	P	5753.1	24.2	237.7	0.2	48
60606 plantas ha ⁻¹	N	5920.0	153	38.7	0.7	27
	P	5920.0	25.4	233.5	0.2	47

Tabla 8. Cálculo de las dosis de nutrientes para satisfacer la meta de rendimiento de maíz INIAP-111 según densidad poblacional, Bolívar, 2009.

Tratamiento	Nutriente	Parcela	Parcela de	Diferencia	EA	Dosis elemental	Dosis	
		completa	omisión				óxido*	
		-----	-----					
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			kg kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
50000 plantas ha ⁻¹	N	5753.1	2668.1	3085.0	28	110	N	110
	P	5753.1	4798.5	954.6	48	20	P ₂ O ₅	46
60606 plantas ha ⁻¹	N	5920.0	2668.1	3252.0	27	120	N	120
	P	5920.0	4798.5	1121.5	47	24	P ₂ O ₅	55

En base a estos resultados la recomendación ajustada de fertilización nitrogenada y fosforada sería 110 y 46 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅; respectivamente, para una población de 50000 plantas ha⁻¹ con un rendimiento obtenible de 5.7 t ha⁻¹; y 120 y 55 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅; respectivamente, para una población de 60606 plantas ha⁻¹ con un rendimiento obtenible de 5.9 t ha⁻¹.

Herramientas para optimizar la aplicación de nitrógeno

El fraccionamiento de N se optimizó mediante el uso de la tabla de comparación de colores distribuida por el IRRI y el medidor portátil de clorofila (**Fotos 1 y 2**), con los cuales se logró incrementar la eficiencia de recuperación del N aplicado a 70% (**Tabla 7**) con respecto a la eficiencia de 50% obtenida en el 2006 y 2007.

Un programa de manejo eficiente de N debe reconocer si el cultivo presenta exceso o déficit de este nutriente, durante el ciclo de crecimiento. Ritchie and Hanway (1982) mencionan que las etapas vegetativas comprendidas entre V6 y V12 son determinantes para la formación del número total de granos, factor crucial en la producción final del cultivo. Al monitorear el nivel nutricional del N a través de los estados fisiológicos comprendidos entre V3 y VT utilizando la tabla de colores y el medidor de clorofila, bajo las condiciones climáticas de Bolívar y con la variedad de maíz utilizada; se determinó que para alcanzar la mayor eficiencia de recuperación de N, éste debe ser fraccionado a la siembra, a 35 dds (V3-V4) y 75 dds (V8-V9).

Extracción de nutrientes por el cultivo en cuatro años de investigación

Los resultados de extracción de nutrientes demuestran que la adición de N incrementa considerablemente la extracción de todos los nutrientes analizados (**Tabla 9**), lo que acelera la pérdida de fertilidad de los suelos a través del tiempo. Por esta razón, es necesario realizar aplicaciones balanceadas de fertilizantes y utilizar los residuos de las cosechas para mantener o mejorar el grado de fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de maíz. La aplicación de P al suelo tiende a incrementar la extracción de N, P, K, Mg y S. Sin embargo, en los suelos de estudio el efecto de la aplicación de P sobre la extracción de nutrientes es menor que la aplicación de nitrógeno. En general, se observa menor extracción en el tratamiento testigo del agricultor y de omisión de nitrógeno y mayor extracción con los tratamientos de fertilización completa.

Tabla 9. Extracción total de nutrientes por el cultivo de maíz en la provincia Bolívar, 2008 y 2009.

Tratamientos		Omisión de nutrientes	kg ha ⁻¹				
No	Descripción		N	P	K	S	Mg
1	PKSMg 50000 (2)	-N	67.0	14.2	69.7	6.4	12.9
2	NKSMg 50000 (2)	-P	109.5	19.2	127.1	10.1	20.2
3	Completo 50000 (1)		142.8	20.7	120.1	12.5	20.2
4	Completo 50000 (2)		122.5	19.7	125.8	12.3	19.5
5	Completo 60600 (1)		151.9	23.5	170.5	13.5	30.2
6	Completo 60600 (2)		133.2	24.6	149.0	13.3	23.1
7	Lote Agricultor (D1)		73.9	15.8	67.5	7.7	12.3
8	Completo 60600 (1)*		158.4	25.9	158.9	15.6	26.1
9	Completo 60600 (2)*		167.9	27.1	174.0	16.9	27.6

(1) Una planta por sitio a 25 cm

(2) Dos plantas por sitio a 50 cm

* Tratamientos generados con MNSE para el 2009

Distribución de nutrientes en la planta de maíz

La distribución de nutrientes en la planta de maíz variedad INIAP-111 se presenta en la **Figura 2**, donde se observa claramente que la mayor cantidad (50%) de N se encuentra en el grano, seguido por

el residuo y la tusa. La misma tendencia se nota para el P con el 62% en el grano, seguido por el residuo la tusa. Adicionalmente, estos resultados muestran que el P es el elemento de mayor acumulación en el grano. Sin embargo, la cantidad de P extraída por el cultivo de maíz es menor comparado con el N y K.

Con respecto al K, Mg y S se observa la misma tendencia de acumulación mayoritaria en el residuo seguido por el grano y luego la tusa. Sin embargo, estos resultados evidencian también que el potasio es el elemento con translocación al grano más baja comparada con el Mg y el S.

Es importante entonces considerar la distribución de nutrientes en la planta de maíz para estimar la cantidad de nutrientes que salen del sistema de producción con la cosecha y lo que puede quedar en el mismo de acuerdo al manejo de los residuos a nivel de finca; con el objeto de mejorar la conservación de suelos, el nivel de materia orgánica y la fertilidad del suelo.

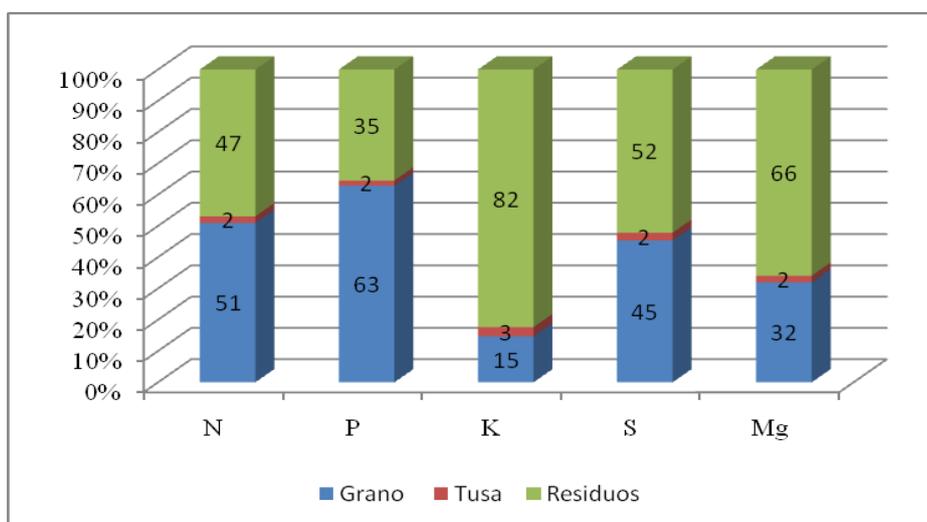


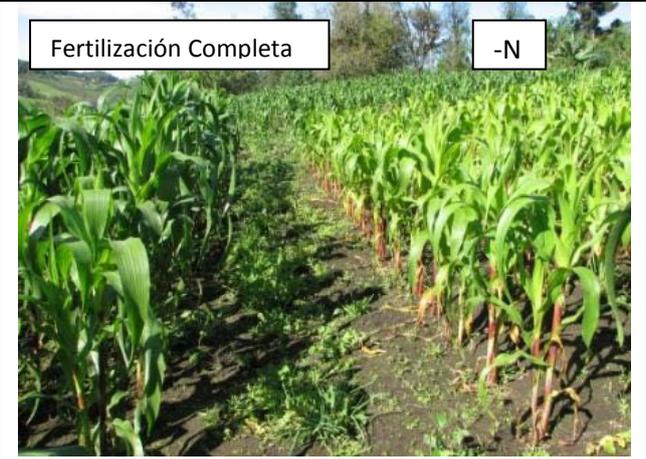
Figura 2. Distribución de nutrientes por órganos en el cultivo de maíz variedad INIAP-111 (Guagal Mejorado) en la provincia Bolívar. 2006 al 2009

Síntomas visuales de deficiencias de nutrientes

La utilización de las parcelas de omisión permitió documentar los síntomas de deficiencias de N y P.

Deficiencia de N: Plantas pequeñas de poco crecimiento, con clorosis de las hojas maduras (bajeras), que luego se secan y termina desprendiéndose. La clorosis se extiende de las hojas maduras a hojas jóvenes, lo que indica la translocación de N desde las hojas maduras a los puntos de crecimiento donde existe mayor demanda del nutriente, a medida que avanza la deficiencia de este elemento se generaliza la clorosis en toda la planta (**Foto 3**). El síntoma a la cosecha fue un pobre crecimiento de la planta, con hojas pequeñas, reducido número y tamaño de mazorcas, llegando al 30% de plantas estériles.

Deficiencia de P: Plantas pequeñas de color violáceo rojizo con hojas bajeras erectas con cierto brillo en hojas jóvenes, las nervaduras se tornan un color púrpura más intenso de lo normal; además, se presenta una leve clorosis en hojas maduras lo que indica la alta movilidad del nutriente en la planta y la translocación hacia las zonas de mayor demanda. En general hubo una ligera reducción del rendimiento (**Foto 4**).

<p>Foto 1. Comparación de color tabla IRRI</p> 	<p>Foto 2. Medición de clorofila</p> 
<p>Foto 3. Deficiencia de N</p> 	<p>Foto 4. Deficiencia de P</p> 

CONCLUSIONES

- ✓ La omisión de nutrientes en labranza mínima, determinó que el N es el elemento limitante en la nutrición del cultivo de maíz en la provincia Bolívar. La aplicación de P incremento ligeramente el rendimiento de maíz; en tanto que la aplicación de K, S y Mg no influyeron significativamente en el rendimiento.
- ✓ La utilización de la técnica de las parcelas de omisión con labranza mínima permitió obtener la recomendación de fertilización para lograr altos rendimientos de maíz INIAP-111 en Bolívar: 110, 46, 28, 2 y 2 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, SO₄ y MgO; respectivamente, para una siembra con una población de 50000 plantas ha⁻¹ y un rendimiento obtenible de 5.7 t ha⁻¹. Para una densidad de 60606 plantas ha⁻¹ la recomendación sería 120, 55, 28, 2 y 2 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, SO₄ y MgO; respectivamente, con un rendimiento obtenible de 5.9 t ha⁻¹.
- ✓ Las dosis de nutrientes a aplicarse generadas mediante el MNSE son efectivas cuando se eliminan otros factores limitantes de la producción como un adecuado control fitosanitario.
- ✓ El potencial de rendimiento con MNSE en la zona maicera de Bolívar es de 6.0 t ha⁻¹ en comparación con el rendimiento promedio del agricultor de la zona que esta alrededor de 2.5 t ha⁻¹.

- ✓ Las densidades de siembra con 50000 y 60606 plantas ha⁻¹ y el espaciamiento con una y dos plantas por sitio, no presentaron diferencias estadísticas para las variables rendimiento y extracción de nutrientes.
- ✓ La extracción de nutrientes (N, P, K, S y Mg) por el maíz variedad INIAP-111 en Bolívar se incrementó considerablemente con la aplicación de nitrógeno y en menor grado con la aplicación de fósforo.
- ✓ El MNSE bajo labranza mínima en la provincia Bolívar permite hacer rentable la producción de maíz y evita la pérdida de la fertilidad del suelo por erosión en comparación con labranza convencional aún utilizada por el agricultor.
- ✓ Según la distribución de nutrientes en la planta de maíz, en el residuo se encuentra la mayor cantidad de K (82%), seguido de Mg (66%), S (52%), N (47%) y P (35%); por consiguiente se debe implementar prácticas de manejo de residuos para disminuir el uso de fertilizantes y conservar el suelo.

RECOMENDACIONES

- ✓ La recomendación de fertilización generada con este estudio es susceptible de ser ajustada sucesivamente siguiendo la misma metodología.
- ✓ Usar la técnica de MNSE en forma más extensiva en diferentes cultivos y llevar a otras zonas agrícolas del país, a fin de generar una recomendación de fertilización por dominios.
- ✓ Aplicar a la siembra todo el P, K, S y Mg; el N fraccionar en 3 aplicaciones, a la siembra, 35 y 75 días después de la siembra.
- ✓ Difundir el sistema de labranza mínima en el cultivo de maíz para reducir la erosión de los suelos de ladera.
- ✓ Dejar los residuos de la cosecha en el campo para proteger el suelo e incrementar el nivel de materia orgánica y la fertilidad.

BIBLIOGRAFIA

- Iniap, 2006. Manejo de nutrientes por sitio específico con labranza de conservación en el cultivo de maíz. Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Iniap, 2007. Manejo de nutrientes por sitio específico con labranza de conservación en el cultivo de maíz. Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Iniap, 2008. Manejo de nutrientes por sitio específico y densidades de siembra con labranza de conservación en el cultivo de maíz. Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Iniap, 2009. Manejo de nutrientes por sitio específico y densidades de siembra con labranza de conservación en el cultivo de maíz. Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador.
- Ritchie, S.W., and J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Iowa.

Valverde, F., M. Ramos, S. Estrada, J. Silva, W. Ruales y R. Parra. 2004a. Evaluación de sistemas de labranza de suelos y fertilización en la asociación maíz-frejol voluble. Boletín Técnico No. 121. Quito, Ecuador.

Valverde, F., M. Ramos, V. Vinueza, J. Silva, W. Ruales y R. Parra. 2004b. Sistemas de labranza de conservación de suelos y fertilización fosfórica en maíz. Boletín Técnico No. 120. Quito, Ecuador.

Vogel, A. 2000. Causas, efectos y formas de erosión de los suelos serranos. Manejo y conservación de suelos: la degradación del suelo y los cambios históricos. CAMAREN. Quito-Ecuador. 181p.

Witt, C., J.M. Pasuquin, and A. Dobermann. 2006. Toward a site specific nutrient management approach for maize in Asia. Better Crops with Plant Food. 90(2):28-31.

ANEXOS

Anexo 1a. Ubicación de los ensayos durante los años 2006 y 2007.

	2006		2007				
	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Provincia	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar
Cantón	Guaranda	San Miguel	Guaranda	Chimbo	Chimbo	Chillanes	Chillanes
Parroquia	Veintimilla	San Pablo	Veintimilla	Chimbo	La Magdalena	Chillanes	Chillanes
Sitio	Laguacoto II	ITSA San Pablo	Laguacoto	3 de Marzo	Cochabamba	Sigsipamba	Pacay
Altitud	2.640 m	2.458 m	2640 m	2530 m	2854 m	2425 m	2370 m
Precipitación	1100 mm	1800 mm	750 mm	750 mm	750 mm	1200 mm	1200 mm
Latitud	1° 37' S	1° 47' 34"	01° 36' 39.6"S	01° 40' 40.2"S	01° 39' 53.3"S	01° 56' 16.9"S	01° 58' 35.4"S
Longitud	78° 59' W	79° 01' 59"	78° 59' 48.3"W	79° 01' 49.1"W	79° 05' 51.7"W	79° 04' 13.6"W	79° 04' 17.8"W

Anexo 1b. Ubicación de los ensayos durante el 2008.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5	Ensayo 6	Ensayo 7
Provincia	Bolívar						
Cantón	Guaranda	San Miguel	Chimbo	San Miguel	Chillanes	Chillanes	Chillanes
Parroquia	Veintimilla	Santiago	Chimbo	La Matriz	Juanpamba	San Pedro G.	San Pedro G
Sitio	Laguacoto	La Loma	3 de Marzo	Marshal	Juanpamba	Camino	Plaza
Altitud	2605 m	2580 m	2534 m	2384 m	2397 m	2425 m	2370 m
Precipitación	750 mm	750 mm	750 mm	750 mm	1200 mm	1200 mm	1200 mm
Latitud	01° 36' 49"S	01° 42' 10"S	01° 40' 49"S	01° 43' 26"S	01° 56' 12"S	02° 00' 39"S	02° 00' 27"S
Longitud	78° 59' 54"O	79° 00' 17"O	79° 01' 54"O	79° 01' 47"O	79° 03' 33"O	79° 04' 39"O	79° 04' 36"O

Anexo 1c. Ubicación de los ensayos durante el 2009.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Provincia	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar	Bolívar
Cantón	Guaranda	San Miguel	Chimbo	Chimbo	Chillanes
Parroquia	San Simón	Santiago	Chimbo	La Magdalena	Pacay
Sitio	San Vicente	El Huerto	Tamban	La Merced	Pacay
Altitud	2655 m	2574 m	2507 m	2804 m	2320 m
Precipitación	750 mm	750 mm	750 mm	750 mm	1200 mm
Latitud	1° 38' 28" S	1° 41' 56" S	1° 40' 49" S	1° 39' 54" S	1° 58' 53" S
Longitud	78° 59' 38" O	78° 58' 53" O	79° 02' 01" O	79° 4' 30" O	79° 3' 59" O