

EVALUACION DEL ELEMENTO FALTANTE EN EL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN LA PROVINCIA BOLIVAR

Darwin Yáñez¹, Franklin Valverde² y Yamil Cartagena²

¹ Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente.

² Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Correo electrónico: frankiniap@yahoo.es

INTRODUCCION

En el Ecuador se cultivan anualmente alrededor de 187521 ha de maíz que cubren 54858 unidades productivas agropecuarias (UPAs); los rendimientos promedios de maíz obtenidos son de 2.6 t ha⁻¹, colocándolos entre los niveles de productividad más bajos de América Latina. A más de ser una importante fuente de trabajo para miles de ecuatorianos, este cultivo es producido en su mayoría por pequeños productores. Se conoce que 43324 unidades de producción de maíz tienen menos de 20 ha (SICA, 2 002).

En la provincia Bolívar, el cultivo de maíz suave ocupa el primer lugar en importancia con una superficie de 30 000 ha; de las cuales aproximadamente 24000 ha se dedican a la producción de choclo, 6000 ha para maíz suave en grano seco. Se cultiva principalmente en terrenos de topografía irregular, en donde prevalece el minifundio y los sistemas tradicionales de producción, caracterizándose por una baja fertilidad de los suelos (INEC, 1995; Monar, 2005).

El elemento faltante, es una metodología que busca proporcionar nutrientes a la planta, como y cuando los necesita. Esta metodología permite ajustar dinámicamente el uso de fertilizantes químicos para, llenar efectivamente el déficit que ocurre entre la necesidad total de nutrientes para obtener rendimientos altos y el aporte de nutrientes provenientes de las fuentes nativas del suelo. Este déficit debe ser compensado con la aplicación de fertilizantes químicos. De esta forma se busca aplicar los nutrientes en dosis óptimas y al momento adecuado para obtener altos rendimientos y eficiencia en uso de los nutrientes para los cultivos, buscando cosechar la mayor cantidad de grano por unidad de fertilizante químico aplicado (Fairhurst y Witt, 2002).

En esta investigación se plantearon los siguientes objetivos: mejorar la productividad y rentabilidad del maíz en las principales áreas productoras de la Provincia de Bolívar, por medio del elemento faltante (EF); cuantificar el potencial de rendimiento del maíz y las brechas de rendimiento presentes en las principales zonas agroecológicas con labranza mínima y desarrollar un método científico y herramientas prácticas para el elemento faltante en las principales zonas maiceras de la Provincia Bolívar.

MATERIALES Y METODOS

Esta investigación se realizó en el 2006, en la Provincia Bolívar, en las localidades de Laguacoto y San Pablo de Atenas, pertenecientes a los cantones Guaranda y San Miguel, respectivamente.

La ubicación geoespacial de Laguacoto es 1° 35' 0" latitud sur, 78° 57' 0" longitud oeste y en San Pablo 1° 50' 0" latitud sur, 79° 5' 0" longitud oeste.

Los elementos evaluados fueron: Nitrógeno (Urea 46 % N), Fósforo (Superfosfato triple 46 % P₂O₅), Potasio (Muriato de potasio 60 % K₂O), Azufre (Azufre de mina tixán 33 % S), Magnesio (Sulfato de Magnesio 49% Mg, Nitrato de magnesio 9 % Mg) y Zinc (Kelatex 9 % de Zn); además, se usó el Fertilizante completo 10-30-10. El diseño experimental utilizado fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por 144 plantas, dentro de las cuales 80 plantas constituyeron la parcela neta.

Las dos variedades de maíz suave utilizadas fueron: INIAP-111 Guagal mejorado e INIAP-102 Blanco blandito, con una distancia de siembra de 0.80 m entre surco y 0.50 m entre plantas, depositando dos semillas por sitio, obteniéndose una población de 50 000 plantas ha⁻¹ en las cuales se aplico un mismo manejo agronómico. Los tratamientos y dosis de nutrientes en estudio se describen en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Tratamientos de omisión para maíz en la provincia de Bolívar.

No	T Código	Omisión de nutrientes	kg ha ⁻¹				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	Mg
1	PKSMg	-N	0	60	60	40	20
2	NKSMg	-P	120	0	60	40	20
3	NPSMg	-K	120	60	0	40	20
4	NPKMg	-S	120	60	60	0	20
5	NPKS	-Mg	120	60	60	40	0
6	NPKSMg	Optimo	120	60	60	40	20
7	NPKSMg + Zn	Optimo + Zn	120	60	60	40	20
8	Agricultor	Testigo	50	30	30	0	0

Las variables evaluadas fueron: rendimiento de materia seca, contenido de nutrientes por la planta, extracción de nutrientes por el cultivo, índice de cosecha, rendimiento de grano, eficiencia del fertilizante químico, eficiencia agronómica de los nutrientes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de materia seca

El análisis de varianza para la materia seca en la localidad de Laguacoto, detectó diferencia significativa al 1 % para el grano, mientras que para la tusa, residuos y total no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. La localidad de San Pablo mostró diferencias significativas al 5 % entre los tratamientos para el grano, residuos y total, mientras que para la tusa el resultado estadístico es no significativo (**Tabla 2**).

Tabla 2. Análisis de varianza para rendimiento de materia seca en dos localidades de la provincia Bolívar.

Localidad Laguacoto					
Fuentes Variación	Grados Libertad	Cuadrados medios			
		Grano	Tusa	Residuos	Total
Total	23				
Repeticiones	5	1182703*	17212 ^{ns}	2344186 ^{ns}	356725587 ^{ns}
Tratamientos	7	1199295**	37492 ^{ns}	3740105 ^{ns}	9534297 ^{ns}
Error	14	260442	19430	7443860	7595120
Coeficiente de variación (%)		19.16	26.31	34.86	25.01
Localidad San Pablo					
Total	23				
Repeticiones	5	2199116 *	6471 ^{ns}	10669164 ^{ns}	4289904 ^{ns}
Tratamientos	7	1991007 *	43242 ^{ns}	17778454 *	32050476 *
Error	14	584247	23370	6145099	83861441
Coeficiente de variación (%)		23.37	37.49	36.26	27.57

^{ns} = No significativo.

* = Significativo al 5 %.

** = Altamente significativo al 1 %.

La Prueba de Tukey al 5 % en Laguacoto, detectó dos rangos para el grano, obteniendo mayor cantidad de materia seca con el T5 (NPKS) con un promedio de 3141 kg ha⁻¹, seguido del T6 (NPKSMg) con 3113 kg ha⁻¹, mientras que el T1 (PKSMg) fue el que incorporo menor cantidad de materia seca al suelo con 1457 kg ha⁻¹. Los resultados del rendimiento de materia seca en la tusa, residuo y total no indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (**Tabla 3**), pero el contenido más alto para los tres casos presenta el T3 (NPSMg); el T1 (PKSMg) sin nitrógeno, limita los procesos fisiológicos de la planta dando como resultado una disminución en el rendimiento de materia seca.

En San Pablo la prueba de Tukey al 5 % presentó un solo rango de significación estadística para todos los órganos de la planta; sin embargo, se observó que el grano tuvo el promedio más alto con el T6 (NPKSMg) con 4035 kg ha⁻¹, el promedio más bajo es el T2 (NKSMg) con 1932 kg ha⁻¹. En cuanto a la tusa el primer lugar es para el T4 (NPKMg) con 547 kg ha⁻¹, y el último lugar es para el T2 (NKSMg) con 248 kg ha⁻¹. Para los residuos el promedio más alto se tuvo con el T8 (Testigo) con 9236 kg ha⁻¹ y el más bajo se presentó en el T1 (PKSMg) con 2964 kg ha⁻¹. Para el rendimiento total con el promedio más alto se ubico el T6 (NPKSMg) con 13063 kg ha⁻¹; mientras que con el promedio más bajo el T2 (NKSMg) con 5252 kg ha⁻¹ (**Tabla 3**).

Tabla 3. Prueba de Tukey al 5 % para rendimiento de materia seca en dos localidades de la provincia Bolívar.

		Localidad Laguacoto							
		Rendimiento de materia seca kg ha ⁻¹							
Tratamientos		Grano		Tusa		Residuos		Total	
1	PKSMg	1456.67	b*	307.67	a	5391.0	a	7154.8	a
2	NKSMg	2063.33	ab	491.00	a	7771.3	a	10325.3	a
3	NPSMg	3010.33	a	661.67	a	8983.6	a	12656.0	a
4	NPKMg	3104.67	a	595.00	a	8873.0	a	12572.3	a
5	NPKS	3141.33	a	632.00	a	8251.3	a	12024.7	a
6	NPKSMg	3113.33	a	539.67	a	7536.3	a	11189.0	a
7	NPKSMg + Zn	3050.00	a	545.67	a	8103.7	a	11699.0	a
8	Agricultor	2369.00	ab	465.00	a	7698.0	a	10532.0	a
		Localidad San Pablo							
1	PKSMg	2174	a	229.7	a	2964.0	a	5367	a
2	NKSMg	1932	a	218.0	a	3102.0	a	5252	a
3	NPSMg	3340	a	473.0	a	7737.7	a	11550	a
4	NPKMg	3496	a	546.7	a	7684.7	a	11626	a
5	NPKS	3941	a	447.3	a	7079.0	a	11467	a
6	NPKSMg	4035	a	469.3	a	8558.6	a	13063	a
7	NPKSMg + Zn	4019	a	405.0	a	8328.7	a	12752	a
8	Agricultor	3230	a	473.0	a	9236.0	a	12939	a

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

El rendimiento de materia seca varió por la fertilización que se aplicó y por el sistema de labranza que se utilizó. Según lo manifiesta Barber (2000), al incrementar la cobertura del suelo con materiales orgánicos se aumenta el contenido de materia orgánica de los horizontes más superficiales y con esto la retención de agua en el suelo, la estabilidad de los agregados superficiales, la capacidad del suelo para retener nutrientes y se estimula la actividad biológica del suelo.

En este sentido Phillips y Young (1979), señalan que los sistemas de cultivo de grano basados en la técnica sin laboreo y con laboreo muy reducido; las coberturas de residuos de los cultivos en descomposición y el uso adecuado de cultivos de cobertura, permiten la renovación de la materia orgánica del suelo que se produce fundamentalmente en base a la parte aérea de las plantas; mientras que las raíces mejoran el contenido de materia orgánica del subsuelo.

Contenido de nutrientes en grano tusa y residuo

El análisis de varianza para contenido de nutrientes en el grano de maíz en Laguacoto, mostró diferencias significativas al 1% para N, P y Mg, mientras que para el K diferencias significativas al 5%, y no significativas para S. En San Pablo se tuvo diferencias significativas al 5% para N en el grano; mientras que para P, K, S y Mg no se detectaron diferencias significativas (**Tabla 4**).

Tabla 4. Análisis de varianza para el contenido de nutrientes en el grano en dos localidades de la provincia Bolívar.

Localidad Laguacoto						
Fuentes Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		N	P	K	S	Mg
Total	23					
Repeticiones	2	208.65 *	7.72 *	21.89 *	0.26 *	2.00 *
Tratamientos	7	273.11 **	10.73 **	18.48 *	0.13 ^{ns}	3.71**
Error	14	45.64	1.91	5.01	0.06	0.48
Coeficiente de variación (%)		19.03	19.09	18.17	18.59	19.66
Localidad San Pablo						
Total	23					
Repeticiones	2	0.27 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.45 ^{ns}	4.2 ^{ns}	3.08 ^{ns}
Tratamientos	7	1.10 *	0.04 ^{ns}	1.45 ^{ns}	3.8 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Error	14	0.37	0.02	0.55	2.3	0.01
Coeficiente de variación (%)		31.03	34.20	33.11	88.95	32.09

ns = no significativo.

* = Significativo al 5 %.

** = Altamente significativo al 1 %.

La Prueba de Tukey al 5% en Laguacoto para contenido de nutrientes en el grano detectó tres rangos para N y Mg, dos rangos para P y K y un rango para S; el mayor contenido de nutrientes corresponde a los tratamientos T3 (NPSMg) con 45.1 kg ha⁻¹ de N; el T4 (NPKMg) con 9.93 kg ha⁻¹ de P, 16.2 kg ha⁻¹ de K, 5.3 kg ha⁻¹ de Mg; en el último rango se ubicaron los tratamientos de omisión de N (1) y P (2) y el testigo del agricultor (**Tabla 5**), con los valores más bajos de contenido de nutrientes.

Tabla 5. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de nutrientes en el grano en dos localidades de la provincia Bolívar.

Laguacoto										
Tratamientos	Contenido de nutrientes en el grano kg ha ⁻¹									
	N		P		K		S		Mg	
1 -N	18.9	c*	3.50	b	8.6	b	1.00	a	2.20	c
2 -P	24.8	bc	7.00	ab	12.4	ab	1.23	a	3.33	abc
3 -K	45.1	a	8.73	a	15.4	a	1.50	a	4.83	ab
4 -S	43.4	ab	9.93	a	16.2	a	1.53	a	5.30	a
5 -Mg	40.8	ab	6.90	ab	10.7	ab	1.57	a	3.13	bc
6 Opt	40.5	ab	8.07	a	12.7	ab	1.27	a	4.07	abc
7 Opt+Zn	39.8	ab	7.33	ab	11.0	ab	1.53	a	3.07	bc
8 Testigo	30.8	abc	6.40	ab	11.6	ab	1.20	a	2.37	c

Localidad San Pablo									
1	-N	25.83	ab	4.13	ab	10.90	a	1.30	a
2	-P	12.13	b	3.30	b	9.66	a	1.20	a
3	-K	21.03	ab	6.33	ab	19.70	a	2.00	a
4	-S	22.03	ab	6.63	ab	17.45	a	2.10	a
5	-Mg	14.83	ab	7.50	a	19.70	a	2.37	a
6	Opt	25.40	ab	7.67	a	20.17	a	2.43	a
7	Opt+Zn	25.33	ab	7.63	a	20.10	a	2.40	a
8	Testigo	36.50	a	5.83	ab	16.13	a	1.97	a

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

En San Pablo la prueba de Tukey 5%, presento dos rangos de significación para N, ubicándose en primer lugar el T8 (Testigo) con 36.5 kg ha⁻¹, el P alcanzo el mayor contenido de nutrientes en el grano con el T6 (NPKSMg) con 7.7 kg ha⁻¹, y en el último lugar el T2 (NKSMg) con 12.13 y 3.3 kg ha⁻¹ para el N y P; respectivamente. Los demás elementos presentaron un solo rango de significación estadística. En Laguacoto la omisión de N limitó el contenido de todos los nutrientes en el grano y en San Pablo fue la omisión de P.

El análisis de la varianza para el contenido de nutrientes en la tusa, en Laguacoto, mostraron diferencias significativas al 5% para el N, mientras que para el P, K, S y Mg las diferencias no son significativas. En San Pablo no se encontró diferencias significativas para los cinco nutrientes en estudio, los coeficientes de variación dan como resultado valores altos debido a las condiciones del suelo y clima (Tabla 6).

Tabla 6. Análisis de varianza para contenido de nutrientes en la tusa en dos localidades de la provincia Bolívar.

Localidad Laguacoto						
Fuentes Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		N	P	K	S	Mg
Total	23					
Repeticiones	2	0.27 ns	0.02 ^{ns}	0.45 ^{ns}	4.2 ^{ns}	3.08 ^{ns}
Tratamientos	7	1.10 *	0.04 ^{ns}	1.45 ^{ns}	3.8 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Error	14	0.37	0.02	0.55	2.3	0.01
Coeficiente de variación (%)		31.03	34.20	33.11	88.95	32.09

Localidad San Pablo						
Total	23					
Repeticiones	2	0.15 ^{ns}	0.00 ^{**}	0.05 ^{ns}	0.00 ^{ns}	0.00
Tratamientos	7	1.76 ^{ns}	0.00 ^{ns}	1.58 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.00
Error	14	0.92	0.00	0.72	0.00	0.00
Coeficiente de variación (%)		36.92	51.32	32.23	42.17	48.82

ns = no significativo.

* = Significativo al 5 %.

** = Altamente significativo al 1 %.

En Laguacoto, la Prueba de Tukey al 5 % para contenido de N en la tusa, no detectó diferencias significativas por efecto de los tratamientos. En general en las dos localidades se observa en la **Tabla 7**, que la omisión de N y P reduce la acumulación de todos los nutrientes en la tusa de maíz.

Tabla 7. Prueba de Tukey al 5% para el contenido de nutrientes en la tusa en dos localidades de la provincia Bolívar.

Laguacoto							
Tratamientos	Contenido de nutrientes en la tusa kg ha ⁻¹						
	N		P	K	S	Mg	
1 -N	1.23	a*	0.23	1.13	0.01	0.13	
2 -P	1.47	a	0.37	2.20	0.03	0.23	
3 -K	2.67	a	0.40	2.83	0.07	0.27	
4 -S	2.37	a	0.43	2.13	0.10	0.30	
5 -Mg	1.23	a	0.30	1.43	0.10	0.30	
6 Opt	2.70	a	0.57	3.13	0.03	0.30	
7 Opt+Zn	2.17	a	0.50	2.27	0.07	0.40	
8 Testigo	1.83	a	0.57	2.83	0.03	0.37	

Localidad San Pablo							
1 -N	1.60		0.07	1.58	0.07	0.07	
2 -P	1.53		0.07	1.50	0.07	0.07	
3 -K	3.30		0.13	2.53	0.20	0.13	
4 -S	3.13		0.13	3.07	0.13	0.13	
5 -Mg	3.13		0.13	3.07	0.17	0.13	
6 Opt	3.28		0.13	3.20	0.20	0.13	
7 Opt+Zn	2.83		0.10	2.77	0.17	0.10	
8 Testigo	1.97		0.13	3.37	0.23	0.10	

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

La deficiencia de N en el suelo disminuyó la acumulación de nutrientes en el grano y la tusa de maíz, la ausencia de este elemento en la planta afectó directamente en la absorción de los demás elementos disponibles en el suelo que la planta necesita para su nutrición. La presencia de N en la planta ayuda en la acumulación de mayor cantidad de nutrientes dentro del grano y la tusa de maíz.

El análisis de varianza para el contenido de nutrientes en el residuo de maíz (rastrojo) en Laguacoto, reporta diferencias significativas al 1% para el S, los demás elementos analizados no presentaron diferencias significativas. En San Pablo se detectó diferencias significativas al 5% entre los tratamientos para el contenido de N, K, S y Mg; el P no tuvo diferencias significativas entre tratamientos. Los coeficientes de variación dieron como resultado valores altos (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis de varianza para el contenido de nutrientes en el residuo de maíz, en dos localidades de la provincia Bolívar.

Localidad Laguacoto						
Fuentes Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		N	P	K	S	Mg
Total	23					
Repeticiones	2	954.39 ^{ns}	26.56 ^{ns}	5627.2 ^{ns}	0.94 ^{ns}	58.39 ^{ns}
Tratamientos	7	916.60 ^{ns}	17.01 ^{ns}	1301.2 ^{ns}	3.70 ^{**}	24.62 ^{ns}
Error	14	338.18	12.12	1719.9	0.34	21.12
Coefficiente de variación (%)		37.94	37.90	34.59	26.76	36.67

Localidad San Pablo						
Total	23					
Repeticiones	2	1106.89 ^{ns}	0.87 ^{ns}	893.25 ^{ns}	2.54 ^{ns}	23.05 ^{ns}
Tratamientos	7	1978.58 [*]	1.38 ^{ns}	1593.05 [*]	4.31 [*]	37.22 [*]
Error	14	550.22	0.62	545.89	1.52	12.41
Coefficiente de variación (%)		34.33	37.49	36.54	37.09	34.61

En Laguacoto, la prueba de Tukey al 5% para contenido de S en el residuo de maíz, presentó cuatro rangos (**Tabla 9**), la mayor concentración de S tuvo el T6 (NPKSMg) con 3.77 kg ha⁻¹, el contenido más bajo de S presentó el T1 (PKSMg) con 0.53 kg ha⁻¹. Los demás nutrientes no presentaron diferencias estadísticas.

En San Pablo, la prueba de tukey al 5%, detectó dos rangos de significación estadística para Mg, obteniendo el mayor contenido el T8 (Testigo) con 12.77 kg ha⁻¹ de Mg; la menor acumulación de Mg tuvo el T4 (NPKMg) con 1.25 kg ha⁻¹. La prueba de tukey para N, P, K y S presentó un solo rango, siendo todos los tratamientos estadísticamente iguales (**Tabla 9**).

Tabla 9. Prueba de Tukey al 5% para contenido de nutrientes en los residuos de maíz en dos localidades de la provincia Bolívar.

		Laguacoto								
		Contenido de nutrientes en el residuo kg ha ⁻¹								
Tratamientos		N	P	K	S	Mg				
1	-N	16.2	9.7	88	0.53	9.2				
2	-P	62.1	9.3	110	1.57	d*	13.9			
3	-K	26.9	6.3	162	0.90	bcd	9.9			
4	-S	53.2	12.4	114	2.67	cd	9.8			
5	-Mg	66.0	9.9	125	2.47	ab	11.6			
6	Opt	52.7	6.8	113	3.77	ab	15.1			
7	Opt+Zn	59.7	12.2	125	3.20	a	17.0			
8	Testigo	53.9	6.9	118	2.33	ab	13.8			
					abc					
		Localidad San Pablo								
1	-N	22,83	a	0,87	28,73	a	1,50	a	11,71	a
2	-P	32,60	a	1,23	30,11	a	1,57	a	10,48	ab
3	-K	81,28	a	2,33	58,83	a	3,87	a	8,35	ab
4	-S	80,70	a	2,33	74,53	a	3,07	a	1,25	b
5	-Mg	74,30	a	2,13	68,69	a	3,53	a	4,70	ab
6	Opt	89,88	a	2,53	83,00	a	4,27	a	11,62	a
7	Opt+Zn	87,43	a	2,50	80,81	a	4,17	a	11,53	a
8	Testigo	77,58	a	2,80	86,83	a	4,60	a	12,77	a

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

Extracción de nutrientes por el cultivo de maíz

El análisis de varianza para la extracción de nutrientes en Laguacoto indicó diferencias significativas al 1% para N y S; en extracción de P, K y Mg no se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos en estudio (**Tabla 10**). En San Pablo se encontró diferencias significativas al 1% para la extracción de P por el cultivo; el N, K, S y Mg tienen diferencias significativas al 5%, los coeficientes de variación para los elementos estudiados son aceptables.

Tabla 10. Análisis de varianza para la extracción de nutrientes por el cultivo de maíz en dos localidades de la provincia Bolívar.

Localidad Laguacoto						
Fuentes Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		N	P	K	S	Mg
Total	23					
Repeticiones	2	2006.10 *	64.02 *	6427.73 ^{ns}	2.09 *	83.01 *
Tratamientos	7	1506.64**	29.66 ^{ns}	1549.99 ^{ns}	4.36 **	23.97 ^{ns}
Error	14	323.08	12.59	1727.04	0.35	20.09
Coeficiente de variación (%)		20.91	21.06	30.91	16.45	27.42
Localidad San Pablo						
Total	23					
Repeticiones	2	525.65 ^{ns}	3.81 ^{ns}	550.89 ^{ns}	0.85 ^{ns}	17.01 ^{ns}
Tratamientos	7	2608.06 *	15.09 **	2240.55 *	8.51 *	52.54 *
Error	14	706.74	3.29	643.45	2.19	14.27
Coeficiente de variación (%)		27.96	21.77	30.46	27.20	30.59

ns = no significativo.

* = Significativo al 5 %.

** = Altamente significativo al 1 %.

Los Prueba de Tukey al 5% para extracción de N por la planta de maíz en Laguacoto, presentó dos rangos (**Tabla 11**) en el segundo rango se ubica el tratamiento de omisión de N (-N) con 36.33 kg ha⁻¹ de N y los demás tratamientos están en el primer rango siendo estadísticamente iguales. La mayor cantidad de N extraído por el cultivo de maíz fue para T5 (NPKS) con 108.1 kg ha⁻¹, seguido del T4 (NPKMg) con 99.07 kg ha⁻¹, el tratamiento óptimo también reportó similares contenidos de N extraído por el cultivo. Los tratamientos que mayor extracción de S tuvieron son el T6 (NPKSMg) con 5.07 kg ha⁻¹ y el T7 (NPKSMg + Zn) con 4.80 kg ha⁻¹, para los demás nutrientes la cantidad de extracción por el cultivo fue similar. En el T1 (PKSMg) se encontró la menor cantidad de nutrientes extraídos por la planta.

Tabla 11. Prueba de Tukey al 5 % para extracción de nutrientes por el cultivo de maíz en dos localidades de la provincia Bolívar.

Laguacoto								
Tratamientos	Extracción de nutrientes por el cultivo kg ha ⁻¹							
	N	P	K	S	Mg			
1 -N	36.33	b*	13.43	98.10	1.60	d	11.50	
2 -P	88.40	a	16.73	124.9	2.83	bcd	17.53	
3 -K	74.73	ab	15.40	180.8	2.47	cd	15.00	
4 -S	99.07	a	22.77	132.8	4.27	ab	15.33	
5 -Mg	108.1	a	17.13	137.5	4.10	abc	14.97	
6 Opt	95.93	a	15.47	129.6	5.07	a	19.43	
7 Opt+Zn	98.57	a	19.97	138.9	4.80	a	20.43	
8 Testigo	86.53	ab	13.90	133.0	3.50	abcd	16.57	
Localidad San Pablo								
1 -N	50.27	a	5.07	41.20	2.87	a	5.80	a
2 -P	46.27	a	4.63	41.25	2.83	a	5.87	a
3 -K	105.6	a	8.83	81.00	6.07	a	13.73	a
4 -S	105.8	a	9.10	95.07	5.33	a	13.77	a
5 -Mg	102.3	a	9.73	91.43	6.07	a	16.43	a
6 Opt	118.6	a	10.40	106.4	6.90	a	15.40	a
7 Opt+Zn	115.6	a	10.24	103.6	6.73	a	15.03	a
8 Testigo	116.1	a	8.73	106.3	6.80	a	13.10	a

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

En San Pablo se presentó tres rangos de significación estadística el T6 (NPKSMg) llegó a extraer la mayor cantidad de P que fue de 10.40 kg ha⁻¹, la menor cantidad de P extraído se encontró en el T2 (NKSMg) con 4.63 kg ha⁻¹, la omisión de fósforo redujo la absorción por parte de la planta de maíz, lo que concuerda con la baja disponibilidad de P de éste suelo. Los promedios que muestran la mayor cantidad de extracción de N, K y S son los del T6 (NPKSMg) con 118.6; 106.4 y 6.90 kg ha⁻¹; la menor cantidad de nutrientes extraídos se encontró en T1 (PKSMg) y T2 (NKSMg). La carencia de N y P limitan la extracción de nutrientes por el cultivo, por encontrar plantas con poco follaje y tallos delgados debido a la falta de estos dos elementos, obteniéndose como resultado menor acumulación de nutrientes por el cultivo (**Tabla 11**).

Índice de cosecha

El análisis de la varianza para el índice de cosecha, no presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos estudiados en las dos localidades.

En Laguacoto el índice de cosecha con la variedad de maíz INIAP-111 Guagal mejorado fluctuó entre 0.23 y 0.28. En San Pablo el índice de cosecha con la variedad de maíz INIAP-102 Blanco blandito varió con 0.28 a 0.43.

Los índices de cosecha en las dos variedades de maíz son normales debido a que del cien por ciento de la mazorca entre el 60% y 80% es grano y el resto es tusa. La variedad con mayor porcentaje de grano es INIAP-111 Guagal.

Rendimiento de grano al 14 % de humedad

El análisis de la varianza para rendimiento de grano de maíz, presentó diferencia significativa al 1% entre los tratamientos en la localidad de Laguacoto (**Tabla 12**) y diferencia significativa al 5% para San Pablo.

Tabla 12. Análisis de varianza para rendimiento de grano de maíz en dos localidades de la provincia Bolívar.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Laguacoto	San Pablo
Total	23		
Repeticiones	2	1.43 *	2.68 ^{ns}
Tratamientos	7	1.53**	2.57 *
Erros Experimental	14	0.33	0.74
Coeficiente de variación (%)		19.15	23.31

ns = no significativo.

* = Significativo al 5 %.

** = Altamente significativo al 1 %.

En la localidad de Laguacoto, el mayor rendimiento de grano (3.54 t ha⁻¹) se obtuvo con el T5 (NPKS); el tratamiento completo (NPKSMg) rindió 3.51 t ha⁻¹, siendo estadísticamente similar al anterior (Tukey 5 %), se podría asumir que las aplicación de magnesio no es necesario en esta localidad. El T1 (PKSMg) sin N, fue el que presentó el menor rendimiento (1.64 t ha⁻¹), seguido del T2 (NKSMg) sin fósforo con 2.33 t ha⁻¹; a continuación se ubicó el testigo del agricultor con 2.67 t ha⁻¹. Los T3, T4 y T7 que corresponden a -K, -S y +Zn, respectivamente, presentaron rendimientos similares. Estos resultados demostraron que en Laguacoto el elemento limitante de la producción es el nitrógeno y luego el fósforo; los demás elementos no influyeron significativamente en el rendimiento de maíz.

En San Pablo, según la prueba de tukey el rendimiento de maíz fue similar para todos los tratamientos evaluados, observándose un solo rango (**Tabla 13**). En esta localidad, los elementos que están limitando la producción son primero el fósforo y luego el nitrógeno.

Tabla 13. Prueba de Tukey al 5% para rendimiento de grano de maíz en dos localidades de la provincia Bolívar.

No	T Nutrientes	Omisión de nutrientes	Rendimiento de grano t ha ⁻¹	
			Laguacoto	San Pablo
1	PKSMg	-N	1.64 b*	2.45 a
2	NKSMg	-P	2.33 ab	2.18 a
3	NPSMg	-K	3.40 a	3.77 a
4	NPKMg	-S	3.50 a	3.94 a
5	NPKS	-Mg	3.54 a	4.44 a
6	NPKSMg	Completo	3.51 a	4.61 a
7	NPKSMg + Zn	Completo + Zn	3.44 a	4.53 a
8	Agricultor	Testigo agricultor	2.67 ab	3.64 a

* Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

En base a los resultados obtenidos podemos decir que el rendimiento de grano de maíz estuvo directamente influenciado por el tipo de fertilización que se le aplicó al cultivo; mientras que los tipos de labranza empleados como las prácticas de conservación de suelos poco alteran el rendimiento o no afectaron al mismo, constituyéndose estos en alternativas tecnológicas que permiten obtener rendimientos similares al sistema tradicional, pero con la gran ventaja de que disminuyen la erosión y la degradación de los suelos (Baver, 1973; Phillips y Young, 1979).

Eficiencia del fertilizante químico

Los resultados de la eficiencia del fertilizante, presentaron para N una eficiencia de 66% en Laguacoto y un 30% en San Pablo; la menor eficiencia en esta localidad se debe a una mayor precipitación que ocasiono procesos de lixiviación de este elemento. Es importante señalar que las condiciones de baja precipitación en Laguacoto, tuvieron un efecto limitante en todo el ensayo, produciendo inclusive un estrés hídrico a inicios de la floración; estas condiciones causaron distorsiones en cuanto a la eficiencia de los fertilizantes en esta localidad, comparadas con la de San Pablo.

La mayor eficiencia de N alcanzada por el tratamiento del agricultor en Laguacoto, se debe a las dosis bajas utilizadas; así en el tratamiento de agricultor se aplicó 60 kg ha⁻¹ de nitrógeno mientras que en los tratamientos del ensayo fue de 120 kg ha⁻¹, a este se debería añadir la limitación hídrica en esta localidad, la misma que no permitió una mejor asimilación del nitrógeno por parte del cultivo a dosis altas.

Para el P la eficiencia en Laguacoto fue de 2.8% y en San Pablo de 20.5%; esta mayor eficiencia de fertilizante fosfatado en San Pablo se debe a que el contenido inicial del P en el suelo, fue baja (4 ppm), lo cual favoreció una respuesta positiva del cultivo de maíz a la fertilización fosfórica; no así en Laguacoto, donde la concentración de P fue alta (31 ppm).

La eficiencia para K fue de 0.0 % en Laguacoto y 48.6 % en San Pablo (**Tabla 14**), este comportamiento también se debió al efecto de las altas precipitaciones que causaron un lavado del K, así como también de la diferencia en concentraciones entre estos dos suelos, 0.90 meq/100 ml suelo y 0.37 meq/100 ml suelo en Laguacoto y San Pablo; respectivamente.

Tabla 14. Eficiencia del fertilizante en función de los tratamientos de omisión en dos localidades de la provincia Bolívar.

Trat.	Laguacoto (% eficiencia)					San Pablo (% eficiencia)				
	N	P	K	S	Mg	N	P	K	S	Mg
Optm	65.5	2.8	0.0	4.4	34.5	30.4	20.5	48.6	3.5	0.0
T.Agr	90.0	0.0	0.0			39.3	24.8	36.5		

La eficiencia del S en Laguacoto fue de 4.4 % y 3.5 % en San Pablo; en Laguacoto la eficiencia del magnesio fue de 34.5 % y en San Pablo no hubo respuesta a este elemento. La mayor eficiencia para el fertilizante nitrogenado se obtuvo con el tratamiento del agricultor en las dos localidades.

Eficiencia agronómica de nutrientes

En cuanto a la eficiencia agronómica de los nutrientes, el comportamiento fue similar a la eficiencia del fertilizante e influenciado por las condiciones de precipitación adversas en la localidad de Laguacoto. La mayor eficiencia agronómica correspondió al N con el tratamiento del agricultor con 20.7 kg de grano de maíz por cada kg de nitrógeno; para P la eficiencia es 19.3 kg de maíz por cada kg de P_2O_5 . En San Pablo, existió respuesta a la aplicación de P, N, K, S y Mg; las mayores eficiencias fueron para P y N con el tratamiento del agricultor, así 52.5, kg de maíz por cada kg de P_2O_5 y 20.7 kg de grano de maíz por cada kg de nitrógeno (**Tabla 15**).

Tabla 15. Eficiencia agronómica de los nutrientes en dos localidades, en función del elemento faltante, provincia Bolívar.

Trat.	Laguacoto (% eficiencia)					San Pablo (% eficiencia)				
	(kg de maíz/cada kg de nutriente)					(kg de maíz/cada kg de nutriente)				
	N	P	K	S	Mg	N	P	K	S	Mg
Optm	15.6	19.1	1.6	2.1	0.0	17.3	40.2	14.1	14.1	6.0
T.Agr.	20.7	10.2	0.0			24.8	52.5	0.3		

CONCLUSIONES

- ✓ El nitrógeno fue el elemento más importante en la nutrición del cultivo de maíz en las dos localidades, el fósforo segundo en importancia, efecto que se reflejó en el rendimiento.
- ✓ Los rendimientos obtenidos en Laguacoto fueron ligeramente inferiores a los de San Pablo de Atenas, debidos a que las precipitaciones y el tipo de suelo actuaron como factor limitante en esta localidad.
- ✓ La eficiencia de los fertilizantes presentó un comportamiento errático entre las dos localidades, debido a la limitación hídrica en la localidad de Laguacoto, y a las mayores precipitaciones en la localidad de San Pablo de Atenas.
- ✓ La fertilización del agricultor con labranza convencional en las dos localidades tuvo menor rendimiento.
- ✓ La extracción de nutrientes por el cultivo de maíz en las dos localidades, especialmente el nitrógeno y fósforo estuvieron en relación de la ausencia de estos elementos.
- ✓ De acuerdo a los resultados de esta investigación; para maíz se recomienda aplicar 120 kg de N ha^{-1} , 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} , 60 kg de K_2O ha^{-1} , 40 kg de S ha^{-1} y 20 kg de Mg ha^{-1} .

RECOMENDACIONES

- ✓ Evaluar con una sola variedad de maíz su eficiencia con los tipos de fertilización aplicados al suelo y poder utilizar un análisis estadístico combinado.
- ✓ Incentivar a los agricultores de la provincia Bolívar, para que opten por el sistema de labranza cero, ya que están reduciendo los costos de producción y contribuyen en la conservación del suelo.
- ✓ Validar la investigación en otras localidades de la provincia Bolívar y la sierra ecuatoriana, con otros cultivos, para generar información más amplia.
- ✓ Realizar nuevas investigaciones referentes al manejo de la fertilidad del suelo para el cultivo de maíz, ya que es uno de los cultivos más difundidos en la provincia.
- ✓ Probar formas de aplicación de nitrógeno complementario para mejorar su eficiencia.

BIBLIOGRAFIA

- Barber, R. 2000. Los principales tipos de labranza. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas. FAO. Roma. p. 59-80.
- Baver, L., W.H. Gardner, y W.R. Gardner. 1973. Física de suelos. ed. Hispano-Americana. 4ta. ed. México. 529 p.
- Fairhurst, T., y C. Witt. 2002. Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes. España. pp 1-40.
- Monar, C. 2005. Informe Anual, Proyecto Integral noreste de Bolívar (PI-NEB) – INIAP-FEPP. Guaranda – Ecuador. pp.34.
- Phillips, S., y H. Young. 1979. Agricultura sin laboreo; labranza cero. Traducido del inglés por Enrique Marchesi. ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo (Uru). 224 p.
- SICA. 2002. III Censo Nacional Agropecuario. Resultados nacionales y provinciales. INEC – MAG – SICA. Quito. 1:255. Disponible en www.sica.gov.ec.