



INVESTIGACION
INPOFOS K P
EDUCACION

INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE
POTASH & PHOSPHATE INSTITUTE OF CANADA

ESTRATEGIA DE MANEJO DE NUTRIENTES POR SITIO ESPECIFICO EN MAIZ

Tasnee Attanandana y R.S. Yost*

Introducción

Las recomendaciones de fertilización en Tailandia se obtienen de experimentos simples que luego se extrapolan a suelos de las mismas características. Investigación reciente usando el Sistema de Decisión y Soporte para Transferencia de Agrotecnología (DSSAT-CERES-Maíz) y el Sistema de Decisión y Soporte de Fósforo (PDSS), conjuntamente con el uso de equipos simples de análisis de suelo permitieron obtener rendimientos más altos de maíz, mayor retorno económico y fertilización balanceada. Esta tecnología fue desarrollada y probada en el cinturón maicero de cuatro provincias de Tailandia. Se entrenaron en esta estrategia a más de 200 agricultores y 1 000 extensionistas y profesores. Los extensionistas, profesores y líderes de la comunidad están usando más de 1 000 equipos simples de análisis.

El maíz es un cultivo importante en Tailandia, con aproximadamente 1.7 millones de hectáreas de producción que se usa en su mayoría como alimento animal. El gobierno de Tailandia desea incrementar la producción y productividad total del maíz como parte de sus esfuerzos para mejorar la seguridad alimentaria y la rentabilidad para los agricultores, particularmente en el cinturón maicero (provincias de Lop Buri, Nakhon Sawan, Petchaboon y Nakhon Ratchasima) donde se siembran alrededor de 0.5 millones de hectáreas ó el 30% del total de maíz sembrado en el país. El tamaño aproximado de una finca maicera en Tailandia es de 10 hectáreas y el rendimiento promedio nacional es de alrededor de 3.7 t/ha (Estadísticas Agrícolas, 2001), pero se han obtenido rendimientos mayores a 6.0 t/ha en lotes experimentales (Attanandana, et al., 2000).

La aplicación de las cantidades adecuadas de nutrientes es un aspecto clave en el incremento de la producción y productividad del maíz, particularmente cuando los agricultores usan maíces híbridos de alto potencial de rendimiento. Al momento, las recomendaciones de fertilización para los agricultores son muy generales (y a menudo limitadas por el contenido de nutrientes en los fertilizantes compuestos disponibles en los mercados locales) y no se relacionan con los requerimientos de nutrientes del cultivo que son específicos para cada sitio de siembra. Además, la mayoría de los equipos para aplicación de fertilizantes no son ajustables (Attanandana, et al., 2002a). El efecto de estos factores

ABRIL 2004

No. 53

Contenido

	Pág.
Estrategia de manejo de nutrientes por sitio específico en maíz	1
Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en maíz en Venezuela	5
Manejo de nutrientes en la producción de menta	9
Nueva Publicación: Guías de Campo de Palma Aceitera	12
Reporte de investigación reciente	13
Cursos y Simposios	15
Publicaciones de INPOFOS	16

Editor: Dr. José Espinosa

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.

* Tomado de: Attanandana, T., and R.S. Yost. 2003. A site-specific nutrient management approach for Maize. Better Crops International (17): 3-7.

promueve el uso desequilibrado e ineficiente de los fertilizantes lo que resulta en baja rentabilidad y uso ineficiente de los costosos fertilizantes importados. Además, cuando se usa nitrógeno (N) y fósforo (P) en programas desbalanceados de fertilización, estos nutrientes pueden aplicarse en exceso a la demanda, lo que resulta en pérdidas que contribuyen a la carga de nutrientes en arroyos, ríos y otros cuerpos de agua. El uso desbalanceado de fertilizantes también causa degradación del suelo, particularmente cuando se usan solamente fertilizantes nitrogenados que promueven la remoción de P y potasio (K) del suelo que no son repuestos con la adición de fertilizantes portadores de estos nutrientes.

Por todas estas razones, existe urgente necesidad de recomendaciones de fertilización para cada sitio específico que puedan ser transferidas por los extensionistas o por los líderes de la comunidad y que se ajusten a las metas de producción y recursos de los agricultores. Los análisis de suelos son una importante herramienta para diseñar recomendaciones de fertilización por sitio específico, pero los agricultores lo usan poco ya sea por la falta de investigación de soporte, el costo de los análisis o la limitada capacidad de proveer servicio a nivel provincial. Todo esto resulta en retrasos inaceptables entre el tiempo de la toma de la muestra y la entrega de las recomendaciones a los agricultores. Además, los agricultores no tienen el suficiente entrenamiento para elegir los fertilizantes adecuados y a menudo son presa de mal asesoramiento. Para satisfacer estas necesidades, se inició en Tailandia un programa de revisión de las recomendaciones de fertilización en el año 1998, con los recursos del Fondo de Investigación de Tailandia. Los pasos para revisar los programas de recomendaciones de fertilización se describen a continuación.

Descripción de los pasos para revisar y generar recomendaciones de fertilización

Paso 1: Desarrollo del equipo simple de análisis

Se probó un equipo portátil simple de análisis (**Fotos 1 y 2**) para la determinación rápida de pH, N, P y K en el suelo. El equipo usa un sistema colorimétrico para determinar el contenido de estos nutrientes. Se utilizan soluciones indicadoras que se aplican con goteros a muestras de suelo medidas con cucharitas calibradas. El suelo y la solución se mezclan en botellas plásticas para iniciar el análisis. Una comparación entre los métodos convencionales de análisis en un laboratorio y los métodos rápidos del equipo portátil (**Tabla 1**) indican un 100% de correlación para nitrato (NO_3^-), 80% para P y 90% para K (Attanandana, et al., 2002b).

Paso 2: Método simple para identificar las series del suelo

Las propiedades químicas y físicas del suelo que no son determinadas con el equipo se estiman de los datos que describen las series de suelos locales. Los extensionistas y líderes de la comunidad fueron entrenados para identificar las series del suelo usando una clave simple que se desarrolló e imprimió en una guía de bolsillo. La determinación de las características del suelo como pH, textura, color, presencia o ausencia de grava a una profundidad en particular, carbonato de calcio libre y la profundidad del perfil del suelo se basan en la información contenida en la clave de la guía de bolsillo. La identificación de las series de suelo y la comparación de las diferentes series se logra utilizando como referencia las ilustraciones de perfiles de cada serie de suelo presentadas en la guía de bolsillo (**Fotos 3 y 4**).

Tabla 1.- Comparación de los datos de análisis de suelos obtenidos con el equipo portátil simple y en el laboratorio.

Series Suelos	----- Contenido de NO_3^- -----			----- Contenido de P -----			----- Contenido de K -----		
	--- Lab. (Mehlich) --- mg N/kg	--- Nivel* ---	Equipo Nivel	--- Lab. (Mehlich) --- mg P/kg	--- Nivel ---	Equipo Nivel	--- Lab. (Mehlich) --- mg K/kg	--- Nivel ---	Equipo Nivel
Lb1	2.00	MB	MB	4.50	M	A+	80	M	M
Lb2	18.00	B	B	0.25	MB	MB	130	A	A
Lb3	3.47	MB	MB	3.50	M	M	82	M	M
Ln1	4.38	MB	B	6.75	M	A+	89	M	M
Ln2	4.37	MB	MB	1.00	B	B	71	M	M
Tk1	2.67	MB	B	3.25	B	B	277	A	A
Tk2	12.92	B	B	0.56	B	MB	174	A	A
Pc	7.00	MB	B	6.00	M	M	39	B	B
Ct	3.00	MB	MB	2.00	B	B	266	A	M+
Lb	18.00	B	B	19.60	MA	A	628	A	A

* Indica una diferencia significativa entre el análisis en el laboratorio y el equipo portátil.
+ MB = muy bajo; B = bajo; M = medio; A = alto.



Foto 1.- Equipo portátil simple para análisis de suelos.



Foto 2.- Entrenamiento en el equipo portátil.

Los resultados del análisis con el equipo portátil indicaron niveles muy bajos de N y P y los Sistemas de Decisión y Soporte predijeron que se necesitaba cantidades más altas de fertilizantes portadores de N y P de lo que normalmente se usa en las fincas. Los resultados del campo indicaron que los Sistemas de Decisión y Soporte para la predicción de fertilizantes produjeron rendimientos más altos cuando se los comparó con las prácticas normales de los agricultores (**Tabla 2**). Cuando se

usa el equipo portátil de análisis de suelo y los Sistemas de Decisión y Soporte para preparar las recomendaciones de fertilizantes se mejoró la rentabilidad de las fincas, a pesar del incremento en los costos debido a los fertilizantes (**Tabla 3**).

Paso 3: Simplificación del programa computarizado de simulación para la estimación de N y P

Después que se han identificado las series de suelo y se han cargado los datos pertinentes de suelo y clima, se puede usar el programa DSSAT-CERES-Maíz (versión 3.0) (Tsuji, et al., 1994) para predecir el rendimiento económico máximo y los requerimientos de N del maíz. Se usa el PDSS para calcular los requerimientos de fertilizantes portadores de P basándose en los coeficientes tampón, que son simples funciones del porcentaje de arcilla en el suelo (Cox, 1994). Se utilizan estos coeficientes, junto con los resultados de los niveles de análisis de P en el suelo para calcular las necesidades de fertilizantes portadores de P (Yost, et al., 1992). Las recomendaciones de N y P (tipo de fertilizante, cantidad y cronograma de aplicación) se imprimieron en un manual para uso de los extensionistas y agricultores líderes.

Se compararon los rendimientos predichos y los rendimientos reales del híbrido de maíz Suwan 3601 en sitios importantes en cuatro provincias del cinturón maicero de Tailandia, basándose en las recomendaciones de fertilizantes N, P y K diseñadas con el procedimiento descrito anteriormente. Se utilizó el rendimiento relativo para comparar el rendimiento observado con el rendimiento calculado con el modelo (Willmott, 1982). En ocho experimentos, el índice de correlación se mantuvo en un rango de 0.90 a 0.99, indicando que existe una fuerte relación entre el rendimiento predicho y el rendimiento real en siete series de suelos (Attanandana, et al., 2002b).

Paso 4: Entrenamiento de los agricultores

Sesiones de aprendizaje participatorias fueron exitosas para identificar y seleccionar líderes entre los agricultores. Se solicitó a los agricultores identificar los líderes de la comunidad y a los mejores y más conocidos productores de maíz, estimar el área y el rendimiento de maíz en la comunidad y determinar el precio del maíz, el costo de los fertilizantes y las oportunidades de inversión en la comunidad local.

Aquellos agricultores que concluyeron este ejercicio fueron seleccionados para futuros contactos. Los agricultores reaccionaron en forma positiva al empezar por iniciativa propia su propia red de contactos con los extensionistas. La **Foto 5**, muestra a los agricultores analizando y resolviendo sus problemas.



Foto 3.- Toma de muestras para caracterización del perfil.



Foto 4.- Caracterización del perfil en el campo.

Tabla 2.- Comparación de la recomendación de NPK diseñadas usando los Sistemas de Decisión y Soporte, las prácticas normales del agricultor y la predicción estimada con DSSAT 3.0 en el rendimiento de maíz.

Series de suelos	pH	Textura	Contenido N - P - K	Recomendación NPK		----- Rendimiento, t/ha -----		
				Práctica del agricultor	CERES maíz y PDSS	Práctica del agricultor	CERES maíz y PDSS	Rendim. óptimo predicho
Lampaya	7.5	Arcilloso	MB-MB-A	25-25-0	94-44-0	2.78	6.06	5.5
Chatturat	7.0	Franco	MB-MB-A	19-25-0	94-50-0	2.93	4.47	7.0
Lop Buri	8.0	Arcilloso	MB-MB-A	69-38-0	125-69-0	2.71	3.43	6.9

Paso 5: Refinamiento la simulación de N

Inicialmente se simplificó la versión de CERES-Maíz 3.0 para calcular las necesidades de fertilizante nitrogenado basándose en los datos de carbono orgánico del análisis de suelo de cada perfil de referencia. Esta simplificación fue modificada por DSSAT 3.5 que usa directamente los resultados del análisis de NO_3^- en el suelo conducidos con el equipo portátil. Se ajustaron también otros parámetros del programa (la profundidad del sistema radicular del maíz se redujo en 50 cm, se permitió la adición de 3 t/ha de residuos y se redujo la aplicación de fertilizante nitrogenado en 10 kg/ha). Se desarrolló una curva de respuesta al N en campos de los agricultores probando un testigo y varios niveles de N que fueron mayores y menores a la cantidad recomendada por los Sistemas de Decisión y Soporte. Esta respuesta está siendo usada para evaluar las actuales predicciones por la versión

DSSAT 3.5 y se planean futuras revisiones. Hubieron diferencias relativamente grandes entre las recomendaciones de fertilizante nitrogenado producidas por la versión DSSAT 3.0 y 3.5 (Tabla 4).

Conclusiones

Después del entrenamiento y con la asesoría de los extensionistas, los agricultores fueron capaces de identificar las series de los suelos usando una guía de bolsillo y determinar la fertilidad básica con un equipo simple de análisis de suelo. Los requerimientos de fertilizantes nitrogenados y fosfóricos, predichos por DSSAT-CERES y PDSS, respectivamente, resultaron en incrementos de rendimiento y en rentabilidad de la finca. El programa de DSSAT 3.5 predijo los requerimientos de nitrógeno basándose en la determinación de NO_3^- en el suelo con el equipo portátil antes de la siembra y el modelo permitió añadir el efecto de lluvia en posibles pérdidas de N por lixiviación (basándose en la distribución histórica de la lluvia) y el abastecimiento de N nativo del suelo y el proveniente de los residuos del cultivo.

Las sesiones de entrenamiento fueron muy exitosas para estimular a los agricultores a organizarse y pensar por si mismos. Los agricultores fueron capaces de determinar sus necesidades de fertilizantes y formaron una red de contactos para compartir sus recursos e información.

El Dr. Attanandana es profesor de Ciencia del Suelo, Universidad de Kasetsart, Bangkok, Tailandia, e-mail: agrtna@nontri.ku.ac.th. El Dr. Yost es profesor de Ciencia del Suelo, Universidad de Hawaii en Manoa, e-mail:rsyost@hawaii.edu

Bibliografía

Agricultural Statistics. 2001. Agricultural Statistics of Thailand, crop year 2001/02. Center for Agricultural Statistics, Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok, Thailand.

Tabla 3.- Análisis económico de la producción de maíz usando Sistemas de Decisión y Soporte y de la producción común en la zona.

Tratamientos	Rentabilidad, US \$/ha
Práctica del agricultor	261.3 a *
CERES-MB**	316.1 b
CERES-PDSS-MB	319.6 b

* Números seguidos de la misma letra no son significativamente diferentes a $p = 0.05$.

** MB = Mitscherlich - Bray.



Foto 5.- Sesión de entrenamiento con agricultores.

Tabla 4. Recomendaciones de fertilizante nitrogenado y rendimiento óptimo económico predicho (híbrido de maíz Suwan 3601) en tres series de suelos usando DSSAT 3.0 y 3.5.

Series de suelos	Niveles de NO ₃ ⁻	----- DSSAT 3.0 -----		----- DSSAT 3.5 -----	
		Requerimiento de N, kg/ha	Rendimiento predicho, t/ha	Requerimiento de N, kg/ha	Rendimiento predicho, t/ha
Cd	Muy bajo	95	6.97	90	7.45
	Bajo	65	6.96	80	7.54
	Medio	35	6.92	40	7.51
Pc	Muy bajo	95	7.21	70	7.28
	Bajo	35	6.93	30	7.27
	Medio	35	7.18	20	7.28
Suk	Muy bajo	125	6.46	140	7.83
	Bajo	35	6.07	100	7.66
	Medio	35	6.51	90	7.73

Attanandana, T., C. Suwannarat, T. Veerasilp, S. Kongton, R. Meesawat, P. Bunampol, K. Soitong, C. Tipanuka, and R.S. Yost. 2000. NPK fertilizer management for maize: decision aids and test kits. *Thai Journal of Soil and Fertilizer* 22: 174-186.

Attanandana, T., T. Veerasilp, and K. Soitong. 2000a. Decision support system for fertilizer application in maize production: phase III. Progress report.

Attanandana, T., C. Suwannarat, T. Veerasilp, S. Kongton, R. Meesawat, P. Bunampol, K. Soitong, C. Tipanuka, and R.S. Yost. 2000b. Use of decision aids in on farm experiments in Thailand. Paper presented at the Regional Workshop on Decision-aids for Nutrient Management Support System (NuMaSS). PhilRice, January 21-24, 2002.

Cox, F.R. 1994. DSSAT 3, Vol. 1, 2 and 3. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Tsuji, G., G. Uehara, and S. Balas. 1994. DSSAT 3, Vol. 1, 2 and 3. International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *American Meteorological Society* 63: 1309-1313.

Yost, R.S., F.R. Cox, A.B. Onken, and S. Reid. 1992. The Phosphorus Decision Support System. In *Proceedings Phosphorus Decision Support System*, Texas A & M University, College Station, Texas. ♦