Rev. Fitotec. Mex. 11: 25-31. 1988

INFLUENCIA DEL FOSFORO EN EL RENDIMIENTO Y ACUMULACION DE MICRONUTRIMENTOS EN MAIZ

Raymundo Acosta Sánchez[1]

RESUMEN

En México no se han estudiado suficientemente las relaciones entre fertilizantes mayores aplicados al suelo y la absorción de micronutrimentos por la planta. El presente trabajo resume la experiencia de cuatro experimentos (dos en Jalisco, uno en Michoacán y otro en Nayarit), en los que se evaluó el efecto de tres niveles de fósforo aplicado al suelo, sobre el rendimiento y acumulación de micronutrimentos de diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.). Los resultados obtenidos muestran que hubo ganancias en el rendimiento de maíz al aplicar fósforo en dos de los ambientes, y que por lo general, la concentración de Cu, Fe, Mn y Zn en las plantas disminuyó conforme se aumentó la dosis de fósforo aplicado al suelo.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., Absorción de minerales, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc.

SUMMARY

The relationship between macronutrients applied to the soil and the absorption of micronutrients by the plants has not been sufficiently studied in Mexico. This work summarizes the results obtained in four experiments, in which the effect of three rates of phosphorous fertilization was evaluated in several maize (*Zea mays* L.) genotypes planted in four sites of the States of Jalisco, Michoacan, and Nayarit, in relation to grain yield and minor nutrients accumulation in the plant. Results showed significant increases in maize grain yield with applications of P to the soil in two locations, and that the contents of Cu, Fe, Mn and Zn in the plants decreased as the rate of applied P increased.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., Mineral absorption, Copper, Iron, Manganese, Zinc.

INTRODUCCION

La capacidad para absorber y acumular nutrimentos puede variar ampliamente entre genotipos de maíz; de esta capacidad dependerá en mucho su producción de grano. Por otra parte, el uso intensivo del suelo y la ausencia de prácticas de manejo que mejoren la fertilidad de los suelos, ha provocado que los fertilizantes sean requeridos cada vez en mayores cantidades y que deba prestarse especial atención a la época oportuna de aplicación para tener éxito en la producción de maíz.

Sobre fertilización del cultivo de maíz existe un extenso caudal de información, en especial en lo concerniente a dosis de N, P y K; en estudios previos, incluso se han determinado sus curvas de respuesta a N y a P. Sin embargo, en apariencia no se ha cuantificado la relación que existe entre las dosis de N y P aplicadas al suelo y la absorción y acumulación de micronutrimentos en el follaje y en el grano de esta gramínea.

El uso permanente de algunos suelos en México ha provocado desbalance en el contenido de elementos nutrientes, además de cambios en otras condiciones del suelo, como el pH, que originan que deba usarse reconstituyentes artificiales de la productividad del suelo para lograr incrementos en rendimientos.

En cuanto a la diversidad genética y la respuesta al medio, se ha observado la tendencia a que las variedades criollas de maíz superen a las mejoradas en donde no se fertiliza, que otros genotipos responden mejor a la aplicación de N o de P, y que algunos genotipos interactúan con los micronutrimentos y disminuyen su crecimiento.

Con base en lo anterior, se realizó la presente investigación con la finalidad de evaluar el comportamiento de cinco variedades de maíz sembradas en cuatro localidades diferentes, en relación a su eficiencia de producción de grano al ser sometidas a diferentes niveles de aplicación de fósforo, así como en relación a su eficiencia para absorber y acumular elementos menores en las hojas.

REVISION DE LITERATURA

La deficiencia de P en el suelo es uno de los factores limitantes en la producción agrícola. Actualmente, en la mayoría de los suelos el P es un

[1] Investigador del Programa de Suelos del Campo Forestal y Agropecuario de Zapopan, Jal. INIFAP. Apdo. Postal 77, Suc. "A", 45000 Zapopan, Jal.

elemento deficiente, sobre todo en suelos que se han sometido a explotaciones intensivas o a rotaciones de gramíneas monocultivadas, como maíz-maíz, trigo-trigo y sorgo-sorgo.

Para la fertilización, debe tenerse en cuenta que el P es un elemento poco móvil en el suelo y que es de baja solubilidad, por lo que aún cuando se encuentre presente resulta difícil de asimilar por las plantas. Además, su disponibilidad está en función del tipo de suelo; existen, por ejemplo, suelos ácidos o derivados de cenizas volcánicas que fijan el P, haciéndolo inasimilable por las plantas.

El Fósforo y los Microelementos en Maíz

La fertilización de los cultivos, y en especial la del maíz, está íntimamente asociada a la disponibilidad de lluvia. Acosta, citado por Alvarado (1975), pone de manifiesto que en el Estado de México cuando las lluvias son deficientes, el maíz debe sembrarse de preferencia sin fertilizar y reducirse la densidad de población a 40,000 plantas/ha, o menos. Al respecto, Matar (1977), Moore *et al.* (1967), y Phillips *et al.* (1971) han informado que los períodos de escasez de lluvia originan desbalances nutricionales, especialmente porque los nutrimientos del suelo no se disuelven adecuadamente y se consumen en bajas proporciones.

Por otro lado, Williams (1935) puso de manifiesto que con aplicaciones de P al suelo: se reducen las pérdidas de agua en las plantas por transpiración sin que se originen cambios en el metabolismo, se promueve una conservación mejor del agua del suelo, y se incrementan los rendimientos. Además, este mismo autor indica que el fósforo ayuda al crecimiento radical permitiendo que las plantas puedan extraer el agua de profundidades mayores. Se puede suponer entonces que el P podría mejorar la resistencia de las plantas a la precipitación escasa.

Trabajando con maíz, Shukla (1972) encontró que la respuesta a las aplicaciones de P estaban estrechamente vinculadas con el contenido de ese elemento en el suelo; así con 0.87 ppm de P en el suelo, el maíz respondió favorablemente a la fertilización fosforada, mientras que con contenidos de 3.50 a 4.01 ppm o mayores, el maíz no mostró ganancias. Shukla (1972) también observó que con valores de 4.6 a 5.1 en el pH del suelo, se obtuvo mejor respuesta al P que en suelos de pH mayor.

En general, se acepta que el P y el Zn son dos elementos antagónicos en sus efectos, ya que las plantas modifican la absorción de uno en presencia de otro: no obstante, existen algunas contradicciones al respecto. Algunos autores como Lonergan (1951) y Stotkenholtz *et al.* (1966) encontraron que al incrementar las aplicaciones de P al suelo se abatió casi por completo la absorción de zinc por el maíz. En cambio, Watanabe *et al.* (1965) argumentan que el P no tiene efecto alguno sobre concentraciones de zinc en maíz.

Al respecto, Safaya (1976) encontró que las plantas de maíz que no fueron fertilizadas con P, mostraron notorias deficiencias de este elemento en plántulas de seis días. En cambio, las plantas a las que se aplicaron 25 ppm de P se mostraron sanas; sin embargo, cuando junto con P se les adicionó 10 ppm de Zn, los síntomas de deficiencia de P se volvieron a manifestar. Además, las plantas manifestaron deficiencias de Zn con aplicaciones altas de P (75 ppm), aún cuando se adicionaron 10 ppm de Zn. El mismo autor señala que si se aplica P al suelo se reduce la concentración de Cu en el tejido de maíz, pero se eleva la concentración de Mn y Fe.

Mangel y Barber (1974), al estudiar la relación entre la edad de la planta de maíz y el grado de concentración de los nutrimentos, encontraron que a los 20 días las plantas contenían mucha mayor concentración de P, Cu, Fe, Zn y Mn que a los 70 días. Lo anterior indica que las plantas cuentan con capacidad para movilizar los nutrimentos durante su ciclo biológico.

Variación Genética

El uso de variedades eficientes para absorber nutrimentos, es una estrategia necesaria para aumentar la productividad agrícola. Shukla y Raj (1976) probaron maíces criollos, híbridos y algunos compuestos, para medir su eficiencia en la absorción de nutrimentos, en especial Zn, aplicados al suelo; encontraron una considerable variación genética en cuanto a síntomas de deficiencia y crecimiento de la

planta, así como en la concentración de Zn en el tejido. El rendimiento de materia seca sufrió pérdidas hasta de 78% cuando no se aplicó Zn al suelo; en cambio, se registraron ganancias hasta de 95% cuando se aplicó 5 ppm de Zn.

Los análisis de hojas de la mazorca en cruzas simples y dobles de maíz realizados por Baker *et al.* (1964), también indican que hay diferencias entre genotipos en su habilidad para extraer P del suelo; los nuevos híbridos extrajeron de 3 a 5 veces más P que los materiales comerciales usados en la localidad. Aunque en general Baker *et al.* (1970) no encontraron diferencias en rendimientos entre los híbridos comerciales de la zona y los nuevos híbridos cuando se aplicaba fósforo al suelo, en algunos casos sí hubo diferencias a favor de los nuevos híbridos que provenían de selecciones realizadas en lugares con altos niveles de P en el suelo. Posteriormente, Baker *et al.* (1971) encontraron que las concentraciones de P en hojas de maíz variaron entre genotipos desde 0.125% hasta 1.125%; estas diferencias pudieran ser debidas a diferencias genéticas en el metabolismo del P en los tejidos de maíz.

Por su parte, Halim *et al.* (1968) evaluaron 34 genotipos de maíz en condiciones normales y en lugares con altas concentraciones de fósforo y encontraron una relación inversa entre el peso de las plantas y la concentración de P y Zn en las hojas.

Terman *et al.* (1975) determinaron que las aplicaciones de P sin Zn, provocaban reducciones cuantiosas en los rendimientos y en las concentraciones de Zn en el tejido.

De lo anterior se deduce que se pueden detectar diferencias entre genotipos de una misma especie en su capacidad para absorber nutrimentos.

MATERIALES Y METODOS

Con el objeto de estudiar la variabilidad genética del maíz en cuanto a su capacidad de rendimiento y de absorción de elementos menores, cuando son sometidos a diferentes niveles de fertilización fosforada, se sembraron diversos genotipos en cuatro localidades. Estas fueron Degollado y Lagos de Moreno en Jalisco, Toluquilla en Nayarit y el Palmito en Michoacán. Las características sobresalientes de los suelos respectivos se anotan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características físico-químicas de los suelos en los cuatro sitios donde se realizaron los experimentos.

Características	Lugares				
	Toluquilla, Nay.	El Palmito, Mich.	Degollado, Jal.	L. Moreno, Jal.	
Prof. de muestreo (cm)	0-30	0-30	0-30	0-15	15-30
Densidad (g/cm)	1.45	1.28	1.26	1.36	1.45
Capacidad de campo (%)	32.01	48.15	42.01	30.40	29.79
Punto de marchitamiento permanente (%)	18.65	22.17	22.65	15.37	16.54
Arena (%)	32.46	24.92	36.74	43.00	40.00
Limo (%)	28.82	22.00	13.82	31.00	30.00
Arcilla (%)	38.72	53.08	49.44	26.00	30.00
pH	6.1	8.0	6.7	6.6	6.8
Materia orgánica (%)	2.89	1.45	1.14	2.76	2.13
P aprovechable (ppm)	5.95	3.50	1.75	7.00	2.95
Capacidad de intercambio de cationes (meq/100 g)	27.91	71.06	40.07	16.83	20.11
Ca intercambiable (meq/100 g)	16.56	37.95	26.91	10.81	14.03
Mg (meq/100 g)	6.44	21.30	11.04	4.60	4.37
Na (meq/100 g)	0.15	8.30	0.60	0.25	0.45
K (meq/100 g)	4.21	2.12	0.73	8.84	0.87
Porciento de saturación de Sodio	0.53	11.68	1.50	1.49	2.24

Se puede observar que los suelos estudiados difieren considerablemente en pH (desde 6.1 hasta 8.0); aunque de acuerdo con Black (1975), los pH que se encuentran en estos suelos están dentro de los óptimos para la producción de maíz. En materia orgánica se observan proporciones aceptables en Nayarit y en Lagos de Moreno, Jalisco, pero bajas en las otras dos localidades.

Según Shukla (1972), contenidos de P en el suelo por debajo de 2 ppm son responsables de una alta respuesta a las aplicaciones de este nutrimento, mientras que con contenidos superiores a 3.5 ppm hay poca probabilidad de respuesta. En el Cuadro 1 se observan dos sitios con valores de P aprovechable por debajo de 3 ppm, mientras que los dos restantes están por arriba de 3.5. La capacidad de intercambio catiónico varía desde 16.83 hasta 71.06 meq/100 g de suelo. Nótese que sólo en El Palmito, Mich. hubo problemas de salinidad.

Cuadro 2. Materiales genéticos evaluados en las diferentes localidades.

Genotipos	Localidades			
	Toluquilla, Nay.	El Palmito Mich.	Degollado, Jal.	L. Moreno, Jal.
Criollo local	X	X	X	X
H-508	X			
H-509	X			
T-27	X			
T-66	X			
H-352			X	X
H-309		X	X	X
B-666		X	X	X
H-366		X	X	X
H-133		X		

En cada sitio se aplicaron tres niveles de P: 0, 30 y 60 kg/ha. La dosis de N y la densidad de población fueron iguales en todos los sitios: 120 kg de N/ha y 50,000 plantas/ha, respectivamente. Los genotipos evaluados variaron según las localidades (Cuadro 2), debido a que los sitios se encontraban a diferentes altitudes sobre el nivel del mar.

En cada sitio experimental, el terreno se preparó siguiendo la técnica de los agricultores cooperantes, la cual consistió, generalmente, en un barbecho, un rastreo (en suelos pesados se dieron dos pasos de rastra), nivelación, surcado y siembra.

El diseño experimental fue parcelas divididas en bloques al azar, en el que las parcelas grandes (30 surcos de 10 m de largo) correspondieron a los niveles de P, y las parcelas pequeñas (6 surcos de 10 m de largo) a las variedades. Tres surcos centrales de 9 m de largo se emplearon para evaluar la respuesta de las plantas en rendimiento, y el cuarto surco central sirvió para tomar muestras de follaje para análisis de micronutrimentos.

La cosecha se realizó en los tres surcos centrales, se contó previamente el número de plantas, se registró el peso húmedo y número de mazorcas por parcela, el contenido de humedad del grano y la razón grano/mazorca en cuatro mazorcas. Con estos datos se calculó el rendimiento de grano al 14% de humedad.

Para el análisis foliar en cada localidad, a los 27 días después de la germinación se tomaron ocho plantas completas por parcela chica que se llevaron al laboratorio para determinarles contenido de humedad, previo secado en una estufa a 60°C por cinco días. Las muestras secas se molieron en un molino Wiley para los análisis de concentraciones de Fe, Cu, Zn y Mn mediante espectrofotometría de absorción atómica. Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Agrología de la SARH.

RESULTADOS Y DISCUSION

Dosis de P y Rendimiento de Grano

En el Cuadro 3 se presentan los niveles de significancia estadística obtenidos en las cuatro localidades, de las variables dosis de fósforo, variedades e interacción dosis por variedades. Se aprecia que sólo en dos de las cuatro localidades se encontraron diferencias significativas debidas a dosis de P. En cambio, el factor variedades mostró efectos significativos en las cuatro localidades, indicando que hubo claras diferencias genéticas entre los materiales probados en cada localidad.

Cuadro 3. Significancia estadística de los factores dosis de P, variedades y su interacción, en cuatro localidades.

Localidades	Factores de variación			
	Dosis de P	Variedades	D x V	CV%
Degollado, Jal.	**	**	**	8.85
Lagos de Moreno, Jal.	NS	**	**	19.71
El Palmito, Mich.	*	**	NS	46.00
Toluquilla, Nay.	NS	*	NS	16.35

*, ** Significativo al 5% y al 1%; NS no significativo

El efecto más notorio del P en la producción de grano de maíz se observó en Degollado, lugar en el que hubo una ganancia de más de 1 200 kg/ha por aumentar la dosis de 0 a 30 kg/ha, y en donde por elevar la dosis de 30 a 60 kg/ha el rendimiento se incrementó en más de 1 600 kg/ha (Cuadro 4). En cambio, en Lagos de Moreno y Toluquilla, la adición de P al suelo no ocasionó diferencias significativas en la producción. En el Palmito, Mich. hubo una diferencia de más de 800 kg/ha entre no aplicar y aplicar 60 kg/ha; los bajos rendimientos de Michoacán se debieron a la presencia de sales.

Puede constatarse que las respuestas positivas a las aplicaciones de fósforo se dieron en las localidades en que el análisis de suelo reveló contenidos inferiores a 3.5 ppm, mientras que en los sitios con más de 3.5 ppm de P no se encontraron respuestas. Esto concuerda con los datos obtenidos por Shukla (1972).

Absorción de Micronutrimentos

Cobre

Los datos del Cuadro 5 permiten distinguir dos resultados importantes: a) que la concentración de Cu en planta varió entre ambientes, siendo Degollado, Jal. el que mostró los valores más altos; y b) que en promedio, la concentración de Cu disminuye al aumentar la dosis de fósforo, siendo este efecto más notorio en Degollado.

Hierro

En la absorción de este micronutrimento también hubo fuertes diferencias entre ambientes, destacando Degollado con valores que superan los 1 500 ppm de Fe (Cuadro 6). En las otras localidades los valores fueron inferiores a 450 ppm. También se aprecia que a medida que aumenta la dosis de P, disminuye la concentración de Fe en la planta de maíz muestreada a los 27 días después de la siembra.

Manganeso

De los cuatro elementos analizados, el Mn fue el que presentó menores concentraciones en plantas de maíz de 27 días de edad. Respecto a este elemento, las diferencias entre ambientes fueron de menor magnitud que en Cu y Fe (Cuadro 7). Nótese además que al aumentar la dosis de P de 0 a 30 kg/ha, disminuyó la concentración de Mn en la planta, mientras que al elevar la dosis de P de 30 kg a 60 kg/ha la concentración de Mn no se redujo.

Zinc

En el Cuadro 8 se puede observar que la concentración promedio de Zn fue mayor en las plantas de

Cuadro 4. Rendimiento promedio de maíz (ton/ha) en cada una de las localidades de estudio, en función de las dosis de P aplicado al suelo.

Dosis de P (kg/ha)	Localidades				
	Degollado	L. de Moreno	El Palmito	Toluquilla	$\bar{X}$
0	0.56	4.01	1.01	4.99	2.64
30	1.85	3.98	1.49	5.45	3.19
60	3.46	4.08	1.82	5.06	3.61
$\bar{X}$	1.96	4.02	1.44	5.17	

Cuadro 5. Influencia de la dosis de fósforo aplicada al suelo sobre la acumulación de cobre en la planta completa de maíz en cuatro ambientes.

Dosis de P	Localidades				
	Degollado	L. de Moreno	El Palmito	Toluquilla	$\bar{X}$
	---- Concentración de Cu (ppm) en la planta ----				
0	88.8	24.6	18.8	24.4	39.2
30	62.2	25.4	22.8	25.0	33.9
60	39.8	31.6	14.2	17.4	25.8
$\bar{X}$	63.6	27.2	18.6	22.3	
DMS 5%	15.6	12.3	11.8	10.6	

Cuadro 6. Influencia de la dosis de P aplicada al suelo sobre la acumulación de hierro en la planta de maíz, en cuatro ambientes.

Dosis de P (kg/ha)	Localidades				
	Degollado	L. de Moreno	El Palmito	Toluquilla	$\bar{X}$
	---- Concentración de Fe (ppm) en la planta ----				
0	2778	250	572	455	1014
30	1458	209	360	436	618
60	1062	190	371	457	520
$\bar{X}$	1769	216	434	449	
DMS 5%	886	55	170	88	

Cuadro 7. Influencia de la dosis de P aplicada al suelo sobre la acumulación de mangeneso en la planta de maíz, en cuatro localidades.

Dosis de P (kg/ha)	Localidades				
	Degollado	L. de Moreno	El Palmito	Toluquilla	$\bar{X}$
	---- Concentración de Mn en la planta ----				
0	84	53	32	59	57
30	32	36	30	64	41
60	52	32	54	56	49
$\bar{X}$	56	40	39	60	
DMS 5%	35	18	20	15	

Cuadro 8. Influencia de la concentración de P aplicada al suelo sobre la acumulación de zinc en la planta de maíz, en cuatro localidades.

Dosis de P (kg/ha)	Localidades				
	Degollado	L. de Moreno	El Palmito	Toluquilla	$\bar{X}$
	---- Concentración de Zn (ppm) en la planta ----				
0	84	31	24	87	57
30	89	101	22	62	69
60	85	88	35	38	62
$\bar{X}$	86	73	27	62	
DMS 5%	16	45	12	18	

las localidades de Jalisco que en las de Michoacán y Nayarit. En contraste con los otros micronutrimentos analizados, la concentración de Zn aumentó al elevarse la dosis de P de 0 30 kg/ha, y luego bajó ligeramente con la dosis de P de 60 kg/ha.

CONCLUSIONES

1. Los genotipos de maíz difirieron en su comportamiento en los cuatro ambientes, tanto en rendimiento como en concentración de micronutrimentos en plantas de 27 días de edad.

2. Las respuestas positivas a la aplicación de P, en cuanto a rendimiento, se dieron en suelos que tenían contenidos de P inferiores a 3.5 ppm.

3. Se observó un efecto antagónico de la dosis aplicada de P y la concentración de Cu, Fe y Mn en la planta, ya que al aumentar la dosis de P disminuyeron en la planta de maíz las concentraciones de Cu, Fe y Mn.

4. Los bajos rendimientos de maíz en El Palmito, Mich. parecen estar asociados con las bajas concentraciones de elementos menores, en especial de Cu, Mn y Zn, y con la presencia de salinidad.

BIBLIOGRAFIA

Alvarado B., A. 1975. Influencia de algunos factores ambientales en la respuesta del rendimiento de grano de maíz de temporal a diferentes niveles de N, P y densidad de población en la zona oriental del Valle de México. Tesis de Doctor en Ciencias, Rama de Suelos, Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx.

Baker, D. E., W. I. Thomas, and G. W. Gorsline. 1964. Differential accumulation of stronium, calcium and other elements by corn (*Zea mays* L.) under greenhouse and field conditions. Agron. J. 56:352-355.

_____, A. E. Jarreal, L. E. Marshall, and W. I. Thomas. 1970. Phosphorous uptake from soils by corn hybrids selected for high and low phosphorous accumulation. Agron. J. 62:103-106.

_____, F. J. Wooding, and M. W. Hanson. 1971. Chemical element accumulation by populations of corn (*Zea mays* L.) selected for high and low accumulation of P. Agron. J. 63:404-406.

Black, C. A. 1975. Relaciones Suelo-Planta. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 2 tomos.

Halim, A. H., C. E. Wasson, and R. Ellis Jr. 1968. Zn defficiency symptoms and Zn and P interactions in several strains of corn. Agron. J. 60:123-126.

Lonergan, J. F. 1951. The effect of applied phosphate on the uptake of zinc by flax. Aust. J. Sci. Res. 34:108-114.

Matar, A. E. 1977. Yield response of cereal crops to phosphorous fertilization under changing rainfall conditions. Agron. J. 69:879-881.

Mengel, D. B., and S. A. Barber. 1974. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. Agron. J. 66:399-402.

Moore, D. P., T. L. Jackson, and J. Hay. 1967. The effect of zinc on yield and chemical composition of sweet corn in Willametle Valley. Am. Soc. Hort. Sci. 91:462-471.

Phillips, J. W., D. E. Baker, and C. O. Clagett. 1971. Identification of compounds which account for variation in P concentration in corn hybrids Agron. J. 63:541-543.

Safaya, N. M. 1976. P-Zn interaction in relation to absorption rates of P, Zn, Cu, Mn, and Fe in corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:719-722.

Shukla, G. C. 1972. Effect of different levels of N and P on yield, soil properties, and nutrients of corn. Agron. J. 64:134-139.

_____, and H. Raj. 1976. Zinc response in corn as influenced by genetic variability. Agron. J. 68:20-22.

Stotkenholtz, D. D., R. J. Olsen, G. Gogan, and R. A. Olson. 1966. On the mechanism of P-Zn interactions in corn nutrition. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:759-763.

Terman, G. L., P. M. Giordano, and N. W. Christensen 1975. Corn hybrid yield effects on P, Mn and Zn absorption. Agron. J. 67:182-184.

Watanabe, F. S., W. Linsday, and S. R. Olsen. 1965. Nutrient balance involving P, Fe, and Zn. Soil Sci. Am. Proc. 29:562-565.

Williams, R. F. 1935. An analysis of the effect of supply on the transpiration rate of plants. Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci. 13:49-66.