

# Uso de líneas límite para el diagnóstico de campo y la investigación agrícola - Avances en México

Armando Tasistro\*

## Introducción

El diagnóstico adecuado de problemas de campo está limitado muy frecuentemente por el sesgo debido a la formación profesional del que diagnostica. Es así que los especialistas en protección vegetal tienden a sobreestimar las limitaciones impuestas por factores relacionados a la sanidad vegetal, mientras que los especialistas en suelos enfatizan los aspectos con los que están más familiarizados. Asimismo, los diagnósticos adolecen comúnmente de un déficit en su sustento cuantitativo, ya que es muy común encontrarse con calificativos subjetivos – tales como “problema grave”, poblaciones “adecuadas” – de interpretación incierta. Es importante considerar, además, que el diagnóstico involucra no sólo la identificación de los problemas sino también su priorización. Estos son aspectos críticos que requieren atención cuidadosa. En este artículo se expone cómo las líneas límite pueden ser usadas para diagnosticar problemas de campo.

Luego que Webb (1972) escribiera sobre el significado biológico de las líneas límite, éstas han sido usadas por numerosos investigadores en una variedad de aplicaciones. Las líneas límite tienen ventajas potenciales (Shatar y McBratney, 2004) tales como: facilitar aplicaciones específicas espacialmente ya que cada punto muestreado en un campo puede ser considerado separadamente; la posibilidad de identificar variables individuales que limitan los rendimientos en cada localidad; y no hay necesidad de un proceso independiente para la selección de variables. Sin embargo, también tienen ciertas limitaciones (Lark, 1997; Shatar y McBratney, 2004) entre las que se incluyen: el ajuste y trazado de las líneas límite puede ser difícil; no proveen evidencias sobre la naturaleza de la

acción conjunta del factor considerado con otros factores; y la dependencia potencial de la posición de la línea límite en relativamente pocos puntos de datos restringe su robustez.

Es importante destacar que además de servir para fines diagnóstico, el establecimiento de las líneas límite provee valiosa información de investigación, cuya obtención por métodos experimentales convencionales sería más complicada o requeriría más tiempo y esfuerzo.

## Cómo funciona

Durante las visitas que los asesores hacen a los productores en etapas críticas del cultivo y con los resultados del análisis de muestras de suelo se obtienen datos que se ordenan en planillas de cálculo electrónicas o sistemas para el manejo de datos. Con estos datos es fácil construir gráficas que muestran la relación entre el

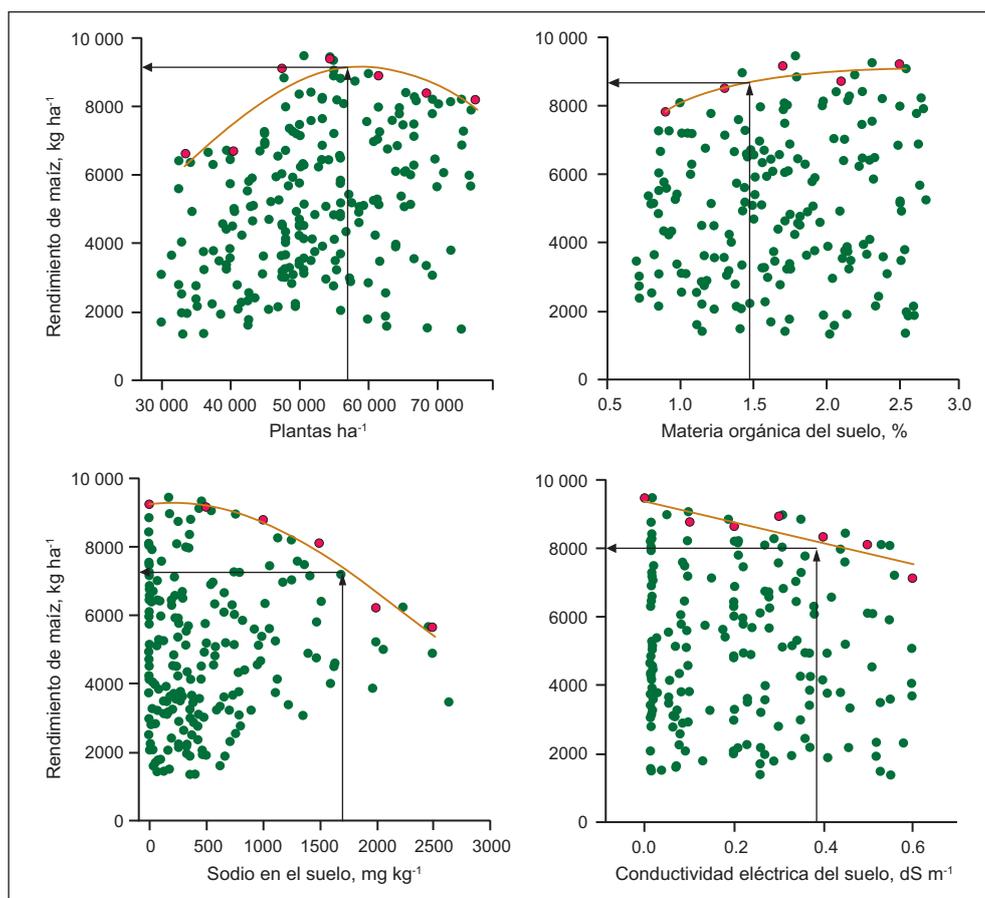
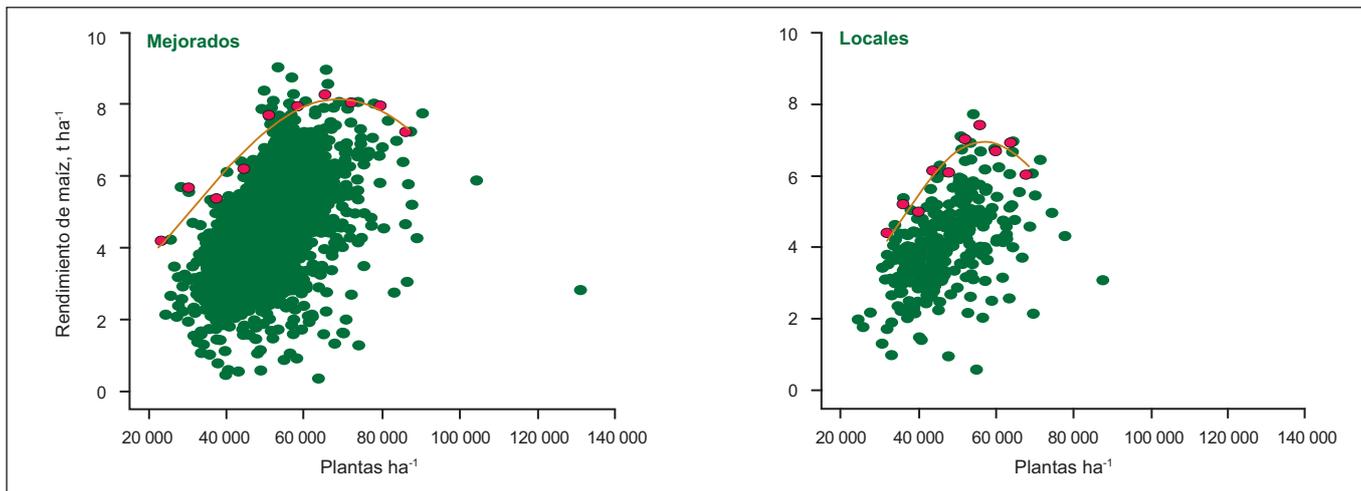
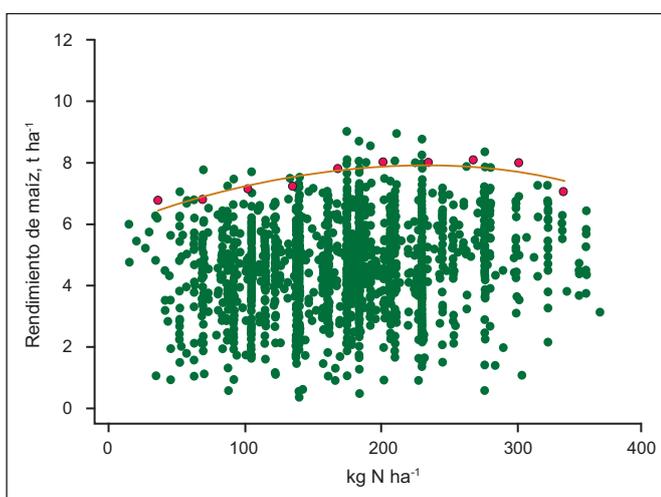


Figura 1. Diagramas de dispersión elaborados con datos ficticios mostrando las relaciones entre el rendimiento de maíz y la población de plantas  $\text{ha}^{-1}$  a la cosecha, contenido de materia orgánica del suelo, contenido de Na en el suelo, y conductividad eléctrica del suelo.

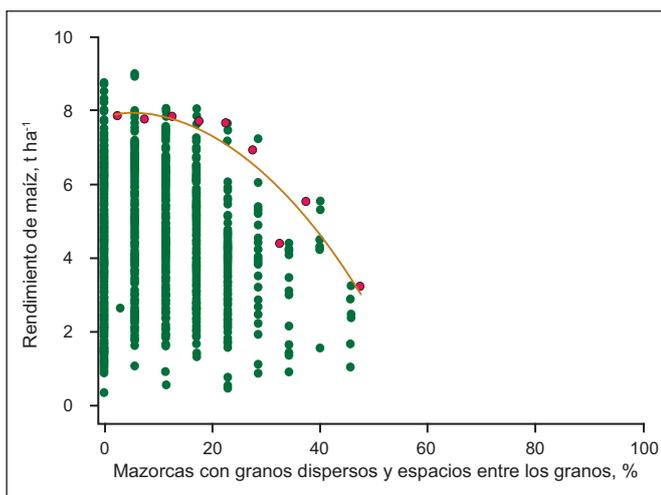
\* International Plant Nutrition Institute (IPNI). Oficina para México y Centroamérica. Norcross, EE.UU. Correo electrónico: [atasistro@ipni.net](mailto:atasistro@ipni.net)



**Figura 2. Rendimientos de maíz de genotipos locales y mejorados cultivados bajo el rango de poblaciones observadas en Chiapas, México.**



**Figura 3. Rendimiento de maíz de genotipos mejorados bajo el rango de aplicaciones de N observadas en Chiapas, México.**



**Figura 4. Efecto de granos dispersos y espacios vacíos en las mazorcas sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.**

cuatro variables: plantas  $ha^{-1}$  a la cosecha, materia orgánica del suelo (MO), contenido de sodio en el suelo (Na), y conductividad eléctrica (CE) del suelo. Si quisiéramos establecer el orden de importancia en que dichas variables limitan el rendimiento de maíz en un campo que está ubicado en la zona que se muestreó para construir las bases de datos antes referidas, deberíamos evaluar la población de plantas de dicho campo a la cosecha y consultar los resultados de los análisis de suelos para obtener los valores de MO, Na, y CE. Supongamos que los valores de las cuatro variables para el campo que nos interesa son los indicados por las flechas verticales en la **Figura 1**. A través de la línea límite correspondiente, cada valor está asociado con un rendimiento de maíz esperado. Si ordenamos los rendimientos esperados en orden creciente, obtenemos la secuencia  $Na < CE < MO < plantas\ ha^{-1}$ , lo que sugiere que en este ejemplo con cuatro variables, el contenido de Na en el suelo es el factor más limitante para los rendimientos de maíz.

Es de hacer notar que para los valores determinados de cualquiera de las cuatro variables, hay una gran variación en los rendimientos asociados. Por ejemplo, con una población de aproximadamente 55 000 plantas  $ha^{-1}$ , los rendimientos registrados en la base de datos oscilan entre aproximadamente 2000 y 9000  $kg\ ha^{-1}$ . Esa variación se explica por la interacción entre la densidad de plantas y otros factores que afectan el comportamiento del cultivo. Quizás los rendimientos fueron bajos porque hubo problemas sanitarios, o falta de agua, o el potencial genético fue bajo. El enfoque basado en las líneas límite no trata de promediar esos efectos, a través de un análisis de regresión común, sino en determinar los rendimientos máximos que se pueden esperar en el rango de los valores observados para las variables.

Además de servir con fines de diagnóstico, los diagramas de la **Figura 1** aportan información sobre la respuesta del maíz a las variables consideradas. Hay que destacar que sería difícil evaluar los efectos de MO, Na, y CE en el suelo sobre los rendimientos de maíz usando los

rendimiento del cultivo y cada variable considerada individualmente. Como ejemplo, los cuatro diagramas de dispersión contruidos con datos ficticios (**Figura 1**) muestran la relación entre el rendimiento de maíz y

métodos tradicionales de investigación que involucran la aplicación de tratamientos experimentales en parcelas de estudio.

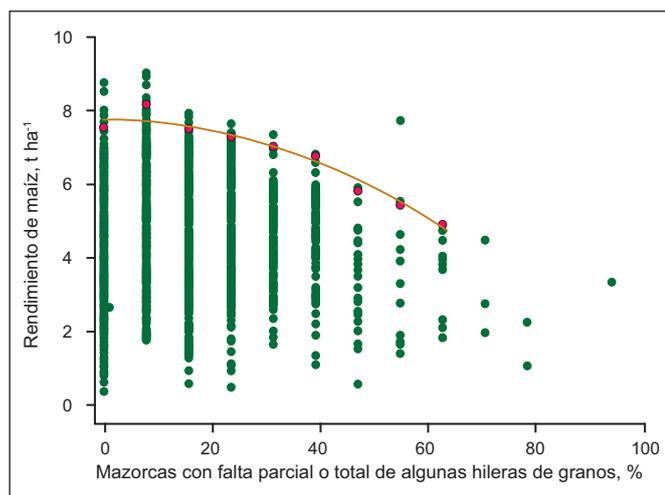
### Resultados de México

Se ajustaron líneas límite a datos de 1850 predios y resultados de los análisis de 38 muestras de suelos de la región La Fraylesca en el Estado de Chiapas, obtenidos a la cosecha de maíz sembrado en el ciclo primavera-verano. Este muestreo fue llevado a cabo por asesores agrónomos privados como parte de un programa de capacitación sobre diagnóstico de campo. Los cultivos de maíz fueron muestreados siguiendo la metodología de Lafitte (1993): Se marcaron ocho segmentos de surco de 5 m de largo seleccionados al azar, y se tomaron las observaciones en las plantas No. 1, 5, y 10 de cada segmento. Los resultados para cada predio corresponden a la media de los ocho surcos. Las muestras de suelo consistieron de mezclas de sub-muestras de la capa arable (0-25 cm) tomadas en el área de los ocho surcos.

Las líneas límite fueron ajustadas siguiendo a Schmidt et

al. (2000), como se describe a continuación. Se construyeron los diagramas de dispersión entre rendimiento de grano (variable dependiente) y cada variable de interés (variable independiente). El conjunto de datos en cada diagrama de dispersión fue dividido en segmentos equidistantes tomando como referencia a los valores de la variable independiente. Se supuso que todos los datos en cada segmento estaban relacionados con la media aritmética de los valores de la variable independiente en el segmento respectivo. Se ordenaron los datos en cada segmento según los valores de la variable dependiente y se calculó el valor del percentil 99%, el cual fue usado como punto límite. Finalmente se ajustó y trazó la línea correspondiente a los puntos límite.

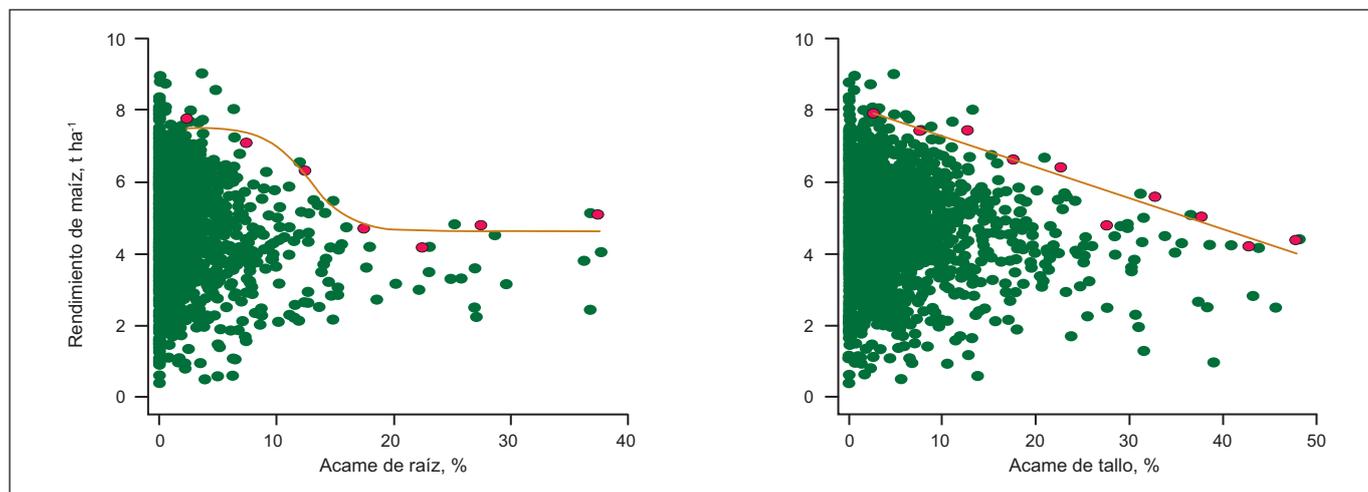
La mayoría de los productores visitados en Chiapas cultivaron genotipos mejorados, los que rindieron más y tendieron a responder a mayores densidades poblacionales que los genotipos locales (Figura 2). El rendimiento de grano de los genotipos mejorados respondió a la aplicación de nitrógeno (N), con el máximo a los 226 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 3).



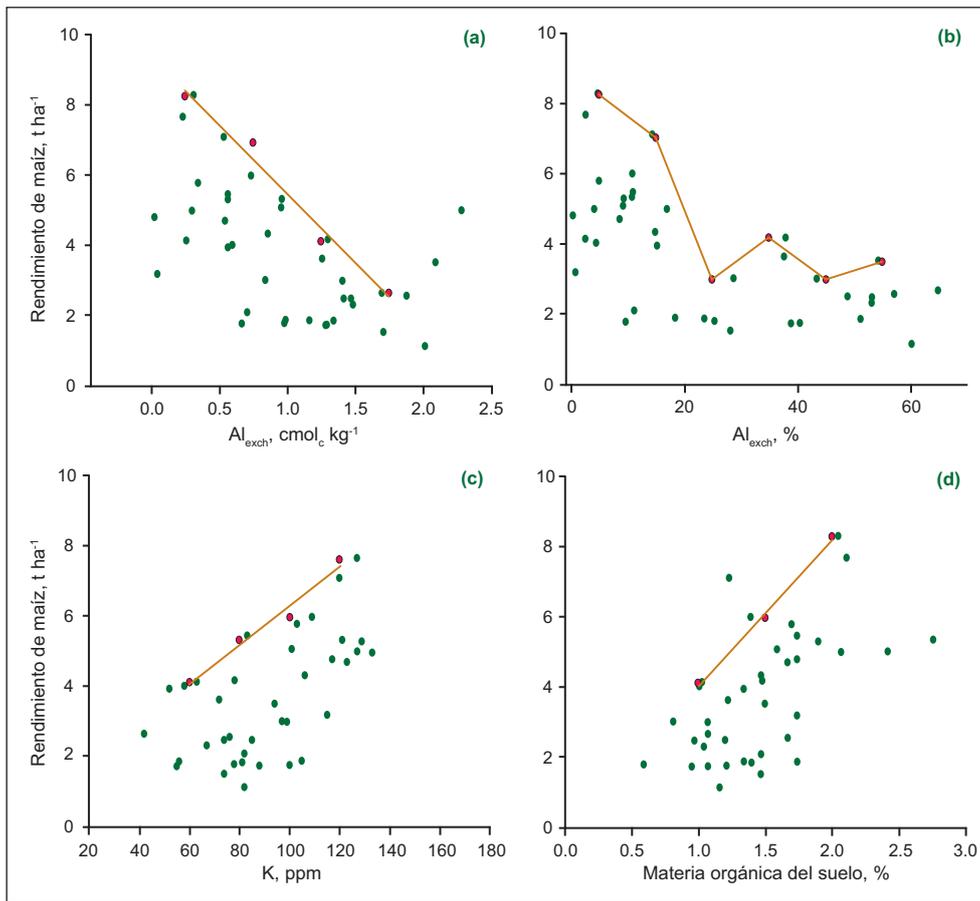
**Figura 5. Efecto de la falta parcial o total de algunas hileras de granos en las mazorcas sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.**

Mazorcas con granos dispersos y espacios vacíos entre ellos indican posible daño de insectos a los jilotes, condiciones extremadamente secas, o sequía durante la polinización (Lafitte, 1993). Los datos en la Figura 4 sugieren que la presencia de este síntoma comienza a afectar más marcadamente el rendimiento cuando la incidencia de mazorcas afectadas supera el 20%.

La ausencia parcial o total de hileras de granos puede deberse a varios factores, incluyendo deficiencia de P, poblaciones de plantas excesivamente altas, distribución inadecuada de plantas, o que las mazorcas que muestran el síntoma son las segundas mazorcas en plantas prolíficas (Lafitte, 1993). Bajo las condiciones en que se hizo el muestreo, los rendimientos de maíz parecen ser afectados menos por estos problemas (Figura 5) que por los mostrados en la Figura 4.



**Figura 6. Efectos de acame de raíz y de tallo sobre el rendimiento de maíz en Chiapas, México.**



**Figura 7. Efectos de Al intercambiable [(a) y (b)], K intercambiable (c), y materia orgánica del suelo (d) sobre el rendimiento de maíz, Chiapas, México.**

Las incidencias de acame de tallo o raíz fueron bajas. El acame de tallo pareció afectar a los rendimientos más marcadamente que el acame de raíz (Figura 6), lo que podría estar debido al efecto más drástico de la rotura del tallo sobre el llenado del grano.

La Figura 7 muestra las relaciones entre el rendimiento de grano y algunas de las propiedades analizadas en los suelos. La acidez del suelo es una limitación importante para el maíz en La Fraylesca. La dominancia de suelos arenosos, el clima húmedo, y los antecedentes de aplicaciones continuadas de sulfato de amonio como fuente de N, han contribuido significativamente al desarrollo de ese problema. Como se exhibe en las Figuras 7 (a) y (b), los rendimientos de maíz se reducen 50% cuando la concentración de aluminio (Al) intercambiable excede 1.0  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  u ocupa más de 20 a 30% de los sitios de intercambio catiónico. Aunque la concentración de potasio (K) intercambiable en el suelo puede limitar severamente los rendimientos de maíz como se evidencia en los datos de la Figura 7 (c), la fertilización potásica es aún muy limitada entre los productores de la región. Los bajos contenidos de MO en el suelo pueden ser también factores limitantes serios [Figura 7 (d)], lo que refuerza la necesidad de adoptar prácticas de agricultura de conservación y dejar de quemar o quitar todos los residuos del cultivo.

Antes de este trabajo, el conocimiento sobre los efectos de la población de plantas de maíz, dosis de N, u otros componentes del manejo sobre el rendimiento del maíz en La Fraylesca estaba limitado a los resultados de ensayos en parcelas de investigación tradicionales. Dadas las limitaciones de estas últimas en términos de las condiciones agro-ecológicas consideradas, la aplicación de sus resultados había estado limitada siempre por la incertidumbre acerca de la variación entre las condiciones bajo las cuales los resultados fueron obtenidos y aquellas bajo las que serían aplicados. La sistematización de datos obtenidos a través de visitas planeadas o encuestas puede proveer una forma eficiente de información que complemente lo que se aprende a través de parcelas de investigación

convencionales.

El uso creciente de encuestas o levantamientos periódicos así como de herramientas de agricultura de precisión está proveyendo mayores oportunidades para desarrollar bases de datos que pueden ser analizadas mediante las líneas límite.

## Referencias

- Lafitte, H.R. 1993. Identifying Production Problems in Tropical Maize: A Field Guide. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Lark, R.M. 1997. An empirical method for describing the joint effects of environmental and other variables on crop yield. *Annals of Applied Biology* 131(1):141-159.
- Schmidt, U., H. Thöni, and M. Kaupenjohann. 2000. Using a boundary line approach to analyze  $\text{N}_2\text{O}$  flux data from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 57:119-129.
- Shatar, T.M., and A.B. McBratney. 2004. Boundary-line analysis of field-scale yield response to soil properties. *The Journal of Agricultural Science* 142(5):553-560.
- Webb, R.A. 1972. Use of the boundary line in analysis of biological data. *Journal of Horticultural Science* 47:309-319. □