



LA PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO INVERNADERO EN EL SUR DE URUGUAY: caminos para reducir las brechas de rendimiento

C. Berrueta¹,* A. Borges², G. Giménez¹, G. Sentanaro¹, M. Lammers⁴, F. Rehermann³, G. Soust³, M. Rieppi³, S. Dogliotti³

¹Programa de Investigación en Producción Hortícola - INIA

²Departamento de Bioestadística
Facultad de Agronomía (UdelaR)

³Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía (UdelaR)

⁴Wageningen University - Holanda

Mientras que en nuestro país la producción de tomate bajo invernáculo crece y supera el 70% del volumen producido, existe un amplio margen de crecimiento en los rendimientos, alcanzable mediante mejoras en el manejo de los cultivos con los recursos disponibles en los predios. Mediante un trabajo colaborativo, INIA y Facultad de Agronomía estudian las brechas de rendimiento en el cultivo de tomate bajo invernadero en el sur de Uruguay y avanzan en estrategias para incrementar el rendimiento en condiciones de producción.

INTRODUCCIÓN

El tomate es el segundo cultivo hortícola más importante después de la papa, por su contribución al valor bruto de producción. En el sur del país hay 418 productores de tomate, 182 producen a campo y 236 en invernáculos (DIEA/DIGEGR, 2013). Sin embargo, la producción bajo invernáculo es responsable de más del 70% del volumen producido y está creciendo en sustitución

del tomate a campo. En la región sur del país el número de productores bajo invernáculo se incrementó un 67% y la superficie aumento 70%, entre 2005 y 2014 (DIEA/DIGEGR, 2015).

En la horticultura uruguaya, los bajos ingresos familiares causados por la obtención de rendimientos inferiores a los alcanzables reducen la productividad de la mano de obra e incrementan los costos de producción

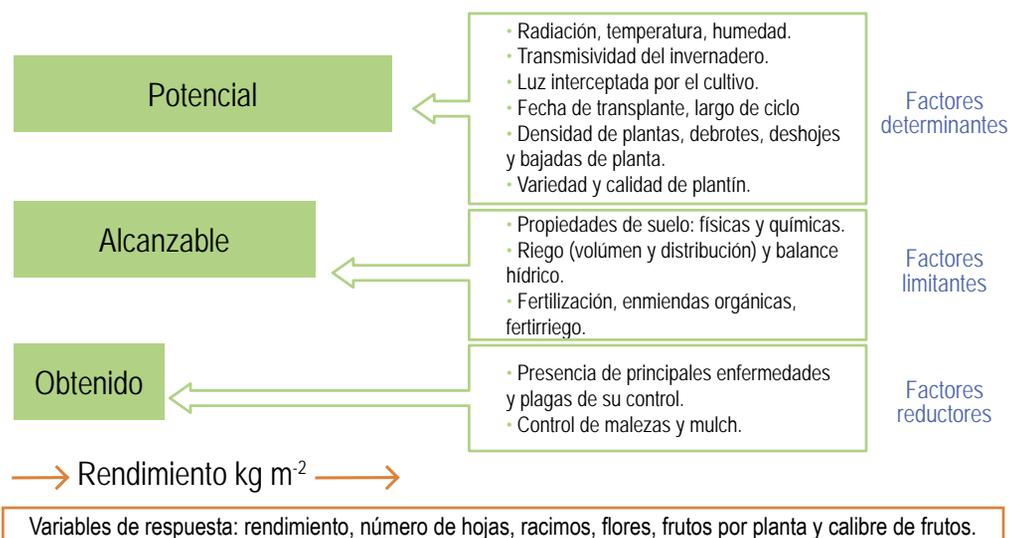


Figura 1 - Factores determinantes, limitantes y reductores del rendimiento relevados y variables de respuesta medidas en los cultivos de tomate seleccionados.

por unidad de producto. Los rendimientos de los principales cultivos son en promedio 50% o menos de lo que se podría alcanzar según las condiciones agroecológicas de la región, con similares recursos y un manejo adecuado de los cultivos (Dogliotti *et al.*, 2014). Esta situación pone en riesgo la sustentabilidad de muchos predios hortícolas, que se redujeron de 5.300 en el año 2000 a 2.614 productores en el año 2011 (DIEA, 2014). El objetivo de este estudio fue cuantificar las brechas de rendimiento en el cultivo de tomate bajo invernadero en el Sur de Uruguay y explorar las principales causas de la variabilidad de rendimientos, como primer paso para identificar estrategias que mejoren el resultado productivo a nivel predial.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La caracterización fue realizada durante los años 2014, 2015 y 2016 en el sur del Uruguay, en los departamentos de Canelones y San José. Se trabajó sobre una muestra representativa de 23 predios (10% de los predios de la zona de estudio), donde la producción de tomate bajo invernadero era una de las principales fuentes de ingreso. En cada predio se seleccionaron dos o tres cultivos de tomate, constituyendo una muestra de 110 cultivos (invernaderos), en los que se realizó el seguimiento y diagnóstico. La información colectada en cada cultivo se clasificó en tres grupos de acuerdo con la definición de niveles de producción de Van Ittersum and Rabbinge (1997), más un cuarto grupo de variables de respuesta (Figura 1).

Los principales componentes y factores determinantes del rendimiento potencial responsables de la variabilidad de rendimientos fueron identificados mediante análisis de sendero, correlaciones de Spearman y modelos “boundary line” (BL). Como la radiación interceptada por los cultivos fue el factor determinante que más se correlacionó

con el rendimiento, fue usada para clasificar los cultivos en tres niveles de radiación interceptada. En cada grupo se usaron árboles de clasificación y regresión para identificar cuáles factores limitantes y reductores eran responsables de la variabilidad en la brecha de rendimiento. El rendimiento alcanzable se estimó como la BL del rendimiento en función de la radiación interceptada por los cultivos. La brecha se calculó como la diferencia entre el rendimiento obtenido y el alcanzable, estimado por la BL para cada nivel de radiación interceptada relativo a la BL:

$$\text{Brecha de rendimiento} = \text{BL} - \text{rendimiento obtenido} / \text{BL}$$

PRINCIPALES RESULTADOS

Variabilidad en los rendimientos obtenidos

Se observó una gran variabilidad de rendimientos entre los cultivos estudiados, de 0.9 a 24.3 kg m⁻², con un promedio de 10.9 kg m⁻² (Figura 2).

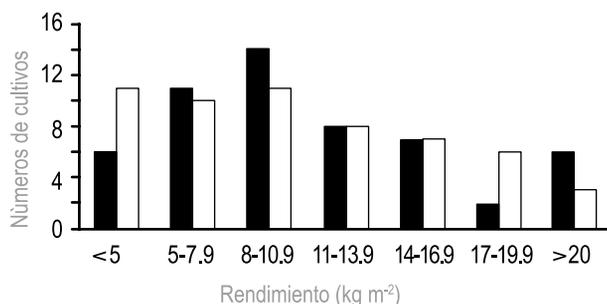
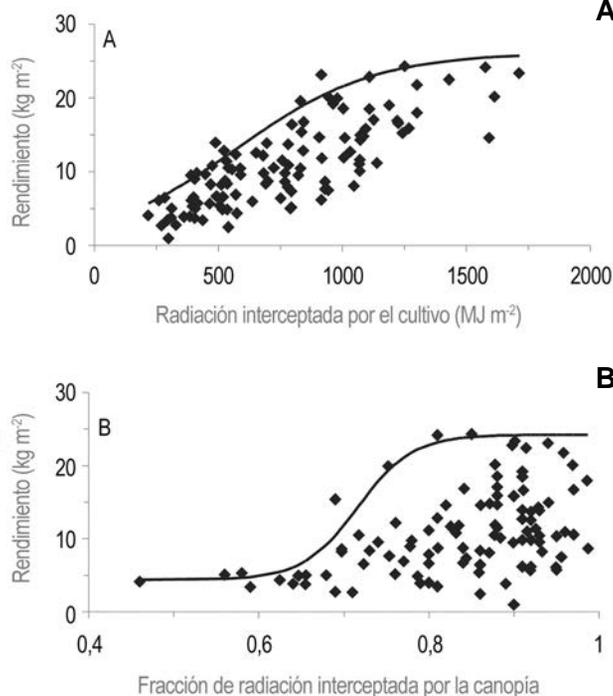


Figura 2 - Número de cultivos por nivel de rendimiento en 2014/15 (■) y 2015/16(□).



A

relacionada con el rendimiento (Figura 3A). Es decir, a mayor radiación interceptada mayor rendimiento.

Esta variable combina el efecto de:

- Radiación incidente diaria, según la época del año que depende de la fecha de trasplante.
- Transmisividad del invernadero, que depende de la estructura (cantidad y calibre de palos, tipo de polietileno) y la edad de la cubierta.
- Largo del ciclo del cultivo.

B

- Fracción de radiación interceptada, que está en función del índice del área foliar y depende de la densidad de plantación y de la intensidad de deshoje.

Se observó una gran variabilidad en el manejo de los deshojes con grandes diferencias en la cantidad de luz interceptada (Figura 4). Solo los cultivos que tenían un área foliar capaz de interceptar más del 76% de luz disponible a inicio de cosecha superaron los 20 kg m⁻² (Figura 3B).

Figura 3 - Rendimiento obtenido (♦) y boundary line ajustada (rendimiento alcanzable) en función de: (A) Radiación interceptada por el cultivo ($y_i = 26.16 / (1 + 7.81 e^{-0.0036 xi})$, R² ajustado: 0.95, (B) fracción de radiación interceptada por la canopia a inicio de cosecha ($y_i = 19.90 / (1 + 4372715488.54 e^{-0.31 xi}) + 4.35$, R² ajustado: 0.92).

Factores determinantes del rendimiento potencial

Entre todos los factores determinantes del rendimiento potencial y componentes del rendimiento, la radiación interceptada acumulada por el cultivo fue la más co-

La radiación interceptada que acumuló el cultivo fue la variable más correlacionada con el rendimiento, integrando el efecto de la radiación incidente diaria, la transmisividad del invernadero, el largo del ciclo del cultivo y la fracción de radiación interceptada.



Figura 4 - Diferencias en el manejo del deshoje en dos cultivos previo al inicio de cosecha que resultan en diferencias en la fracción de la radiación que es interceptada por los cultivos.

Existe margen de mejora en las secuencias de cultivo para adelantar principalmente los trasplantes de otoño e incrementar el largo de los ciclos, que permita aumentar la radiación interceptada y el rendimiento.

Factores limitantes y reductores del rendimiento

Para cada nivel de radiación interceptada se observa una gran variabilidad de rendimientos, por ejemplo, para 900 MJ m^{-2} , los rendimientos varían entre 6.2 y 23.1 kg m^{-2} (Figura 3A). Esta brecha, entre el rendimiento obtenido y el alcanzable fue de 5.4 kg m^{-2} en promedio y 34% del rendimiento alcanzable. Por lo tanto, es posible afirmar que los rendimientos en el sur del país pueden incrementarse en promedio 5.4 kg m^{-2} , aún sin modificar la radiación interceptada por los cultivos.

Utilizando análisis de *cluster*, clasificamos los cultivos de tomate en tres grupos, baja, media y alta radiación interceptada como se muestra en la tabla 1. Los grupos de radiación estuvieron relacionados al tipo de ciclo de cultivo. De esta forma, el grupo de baja radiación estuvo integrado por un 67% de cultivos de ciclo corto (duración menor o igual a 200 días) de otoño (fecha de trasplante entre 1/1 y 31/3). El de radiación media incluyó el 88% de cultivos de ciclo corto de primavera y verano (fecha de trasplante entre el 1/7 y 31/12). El 69% de cultivos en el grupo de alta radiación eran de ciclo largo (mayor a 200 días) de verano (fecha de trasplante entre 1/8 y 30/10).

Los factores limitantes y reductores, responsables de la variabilidad de rendimientos fueron distintos para cada grupo de radiación y se detalla en la Figura 5.

Camino para incrementar el rendimiento

Analizamos dos caminos complementarios para incrementar los rendimientos y reducir las brechas con respecto al alcanzable para el cultivo de tomate en invernáculo en el sur del Uruguay (Figura 6). La primera estrategia consiste en aumentar la radiación interceptada por los cultivos a lo largo de su ciclo de crecimiento. Esto puede lograrse con el alargamiento de los ciclos, ajustando las fechas de trasplantes de acuerdo con la radiación diaria, incrementando la transmisividad de las estructuras y aumentando el área foliar y la interceptación de luz. El largo del ciclo y la fecha de trasplante son definidas por cada productor tomado en cuenta varios factores, que no tienen que ver con el rendimiento, como: precios de venta, distribución de la cosecha y distribución de las tareas a lo largo del año, entre otros.

Los rendimientos alcanzables a lo largo del año utilizando dos ciclos cortos (primavera y otoño) son similares a los alcanzados en un ciclo largo, siempre y cuando las fechas de trasplante no se retrasen (antes del 1 de setiembre para el ciclo de primavera y antes del 31 de enero para los ciclos de otoño). En trabajos previos aún no publicados se estimó que el retraso de casi un mes en la fecha de trasplante produce una pérdida potencial de 3 kg m^{-2} por año. El 67% de los cultivos de primavera se trasplantaron antes del 1 de setiembre mientras que el 70% de los cultivos de otoño se trasplantó después del 31 de enero. Por ende, hay margen de mejora en las secuencias de cultivo para adelantar principalmente los trasplantes de otoño e incrementar el largo de los ciclos, que permita aumentar la radiación interceptada y el rendimiento.

La transmisividad de los invernaderos puede aumentar, aún sin la necesidad de cambiar la estructura de madera y polietileno más ampliamente utilizada, ya que se midieron transmisividades de 42 a 83% en dichas estructuras. Uno de los factores que incide es la edad del polietileno, que presentó una correlación negativa con la transmisividad. El uso de materiales adicionales como mallas de sombreo, doble techo y enalado reducen aún más la transmisividad, por lo cual deberían utilizarse solo en los períodos imprescindibles y removerlos inmediatamente.

Tabla 1 - Promedio, mínima y máxima radiación interceptada, rendimiento y brecha de rendimiento relativa (promedio \pm error estándar) según grupo de radiación interceptada.

Grupo	Número de cultivos	Radiación acumulada (MJ m^{-2})			Rendimiento (kg m^{-2})	Brecha de rendimiento relativa (%)
		Promedio	Mínima	Máxima		
Baja	45	439.2	216.2	587.8	6.8 ± 0.5 c	33.9 ± 3.0 a
Media	25	760.4	636.3	842.9	10.8 ± 0.8 b	38.0 ± 5.0 a
Alta	39	1137.0	906.5	1711.6	15.9 ± 0.8 a	30.4 ± 4.0 a

Valores dentro de una columna seguido de letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0.05$).

Radiación interceptada acumulada

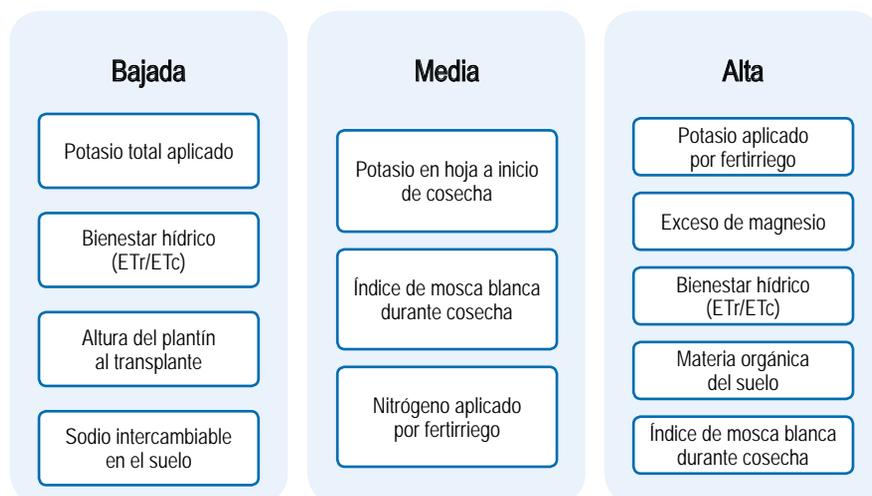


Figura 5 - Factores limitantes y reductores del rendimiento potencial que explicaron la variabilidad de brechas de rendimiento según grupo de radiación interceptada acumulada.

El área foliar del cultivo determina cuanta de la luz incidente es interceptada por el cultivo y utilizada para la fotosíntesis y la producción de materia seca. Depende de la densidad de plantas, el marco de plantación y la intensidad de deshoje. La remoción de hojas puede ser atrasada para maximizar la intercepción de luz, principalmente en primavera y verano, cuando la radiación incidente es más elevada. En los ciclos largos esto puede lograrse bajando la planta de forma más gradual. Es importante también evitar la pérdida de plantas durante el cultivo por enfermedades de suelo. La solarización es una herramienta válida para reducir esta problemática en invernaderos.

El segundo camino para aumentar el rendimiento fue a través de la mejora del manejo para cada nivel de luz interceptada (Figura 6). La nutrición con potasio fue el primer factor limitante en todos los grupos de radiación analizados. Se observó que en el 53% de los cultivos se aplicó menos potasio del requerido (sin considerar aporte del suelo). Además, de la cantidad de potasio aplicado, es muy importante cuando se aplica. En el 40% de los cultivos se aplicó más del 50% del potasio antes del trasplante, en lugar de aplicarlo por fertirriego acompañando la demanda del cultivo. Esto es particularmente importante en los nutrientes susceptibles al lavado como el N y K (en suelos con baja capacidad

de intercambio catiónica) y aquellos que son retenidos como el P y el K (Delgado *et al.*, 2016). El magnesio en exceso se mostró afectando negativamente el rendimiento, y pudo haber agudizado los déficits de potasio. El bienestar hídrico del cultivo fue relevante en cultivos de ciclo corto de otoño y largos de verano. A pesar de contar con riego por goteo, el 66% regó menos del 80% de la demanda del cultivo. La dificultad de regar según la demanda del cultivo está asociada a la ausencia de herramientas que ayuden al productor a tomar la decisión de cuándo y cuánto regar.

La mayor incidencia de mosca blanca se asoció a rendimientos inferiores. Su control se basó en el uso de insecticidas con pobres resultados en muchos casos. El trasplante de plantas de mayor tamaño (más de 14 cm de altura promedio) redujo la brecha de rendimiento, especialmente en cultivos de otoño trasplantados después del 1 de enero, ya que incrementa el número de racimos que pueden ser cosechados en un período de crecimiento limitado.

El nivel de sodio en suelo quedó jerarquizado para el grupo de baja radiación (cultivos mayormente de otoño), en el que se encontraron niveles más elevados de sodio en el suelo previo al trasplante (2.0 y 4.4 meq 100 g⁻¹ promedios para cultivos de primavera y otoño respectivamente).

El nitrógeno por fertirriego explicó las diferencias de rendimiento en el grupo de radiación media (cultivos cortos de primavera y verano) donde las tasas de crecimiento del cultivo son elevadas por la alta radiación diaria incidente y temperatura media. El 54% de los cultivos tuvo aplicaciones de nitrógeno inferiores al requerimiento estimado según el rendimiento obtenido (considerando el aporte del suelo).

La transmisividad de los invernaderos tradicionales puede aumentar, existiendo un rango de transmisividades de 42 a 83% en las estructuras evaluadas.

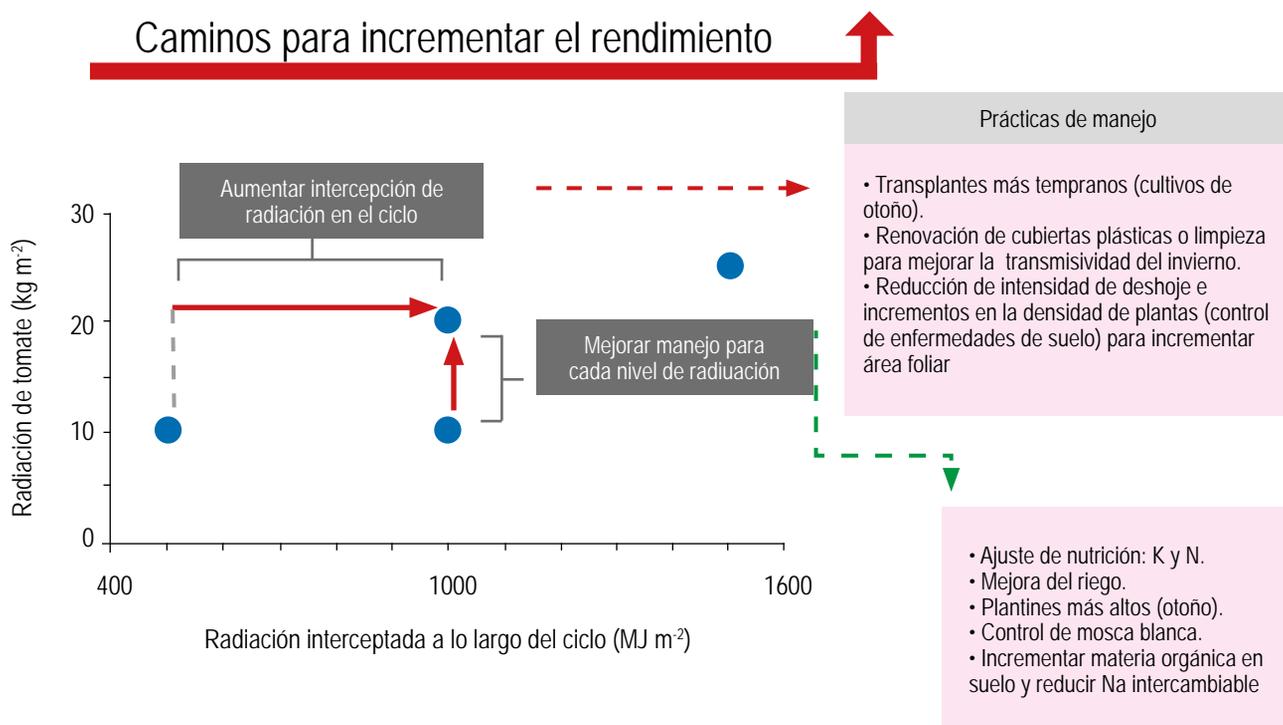


Figura 6 - Caminos para incrementar el rendimiento en el cultivo de tomate bajo invernáculo en el sur de Uruguay.

El rendimiento puede aumentar 5.4 kg m^{-2} en promedio sin cambiar la radiación interceptada por el cultivo, ajustando la fertilización con potasio y nitrógeno, adecuando los volúmenes y momentos de riego, entre otros.

En los cultivos de alta radiación (mayormente cultivos de ciclo largo de verano) con más de 2.5% de carbono orgánico en el suelo, las brechas de rendimiento fueron significativamente menores.

Las causas de las diferencias de rendimiento entre predios y las brechas con relación al alcanzable según las condiciones agroecológicas de la zona fueron identificadas y priorizadas. Esta información permitirá focalizar mejor los temas de investigación en el rubro y propiciar la discusión con productores y técnicos sobre la aplicabilidad de las distintas prácticas de manejo en el contexto de los predios considerando las limitantes e interacciones a nivel predial.

AGRADECIMIENTOS

A los productores que generosamente nos abrieron las puertas de sus predios y nos brindaron la información necesaria para llevar a cabo este estudio. A los técnicos que aportaron sus ideas para mejorar este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Delgado, A., Quemada, M., Villalobos, F.J., Mateos, L., 2016. Fertilization with phosphorus, potassium and other nutrients, in: Villalobos, F.J., Fereres, E. (Eds.), Principles of agronomy for sustainable agriculture. Springer international publishing, Switzerland, pp. 381-405.

DIEA/DIGEGRA, 2014. Encuestas hortícolas 2013: Zonas Sur y Litoral Norte. Serie de encuestas no. 318, Montevideo, 23 pp.

DIEA/DIGEGRA, 2015. Encuestas hortícolas 2014: zonas sur y litoral norte. Serie de encuestas 330. Disponible en: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/encuestas_horticolas_2014_-_zonas_sur_y_litoral_norte.pdf

DIEA, 2014. Censo General Agropecuario 2011: Resultados definitivos. Disponible en: <http://www.mgap.gub.uy/busqueda/mgap/cento%202011>

Dogliotti, S., García, M.C., Peluffo, S., Dieste, J.P., Pedemonte, A.J., Bacigalupe, G.F., Scarlato, M., Alliaume, F., Alvarez, J., Chiappe, M., Rossing, W.A.H., 2014. Co-innovation of family farm systems: A systems approach to sustainable agriculture. Agric. Syst. 126, 76–86.

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concept of production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combination. F. Crop. Res. 52, 197–208.