

ASPECTOS CLAVE DE LA ESTRUCTURA ESPACIAL Y TEMPORAL DE LOS CULTIVOS: EL USO DE LOS RECURSOS

María Otegui ^{1,2}, Adriana Kantolic ¹ y Daniel Miralles ^{1,2}.

¹ Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía UBA, Av. San Martín 4453
(C 1417 DSE), ² CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

1- Introducción

La producción de cultivos extensivos de grano persigue la cosecha de una parte de la biomasa total producida durante el ciclo de crecimiento. Dicha biomasa es el resultado final de la captura de recursos (CO₂, agua y nutrientes) por parte de las plantas, la cual tiene como principal fuerza motriz a la radiación solar a través de su participación en los procesos de fotosíntesis y transpiración. Con las decisiones de manejo se tiende a optimizar esta captura a través del logro de altos rendimientos, los cuales deben ser económicamente ventajosos y ambientalmente sustentables. En este capítulo analizaremos las modificaciones que el ambiente (clima y suelo) provoca sobre la oferta de recursos y las alteraciones en el aprovechamiento de los mismos que introducimos con las prácticas de manejo más corrientes (ciclo del cultivar, fecha y densidad de siembra, espaciado entre hileras). Para ello utilizaremos el marco conceptual descrito en el capítulo anterior (*Ecofisiología comparada de Trigo, Maíz, Soja y Girasol: Determinación del rendimiento*) y definiremos criterios generales para contribuir a la interpretación de algunas estrategias que se discutirán en presentaciones subsiguientes. El análisis no abarcará limitaciones al crecimiento de los cultivos provocadas por agentes bióticos.

2- Rendimiento potencial de los cultivos

Definimos como rendimiento potencial a aquel que para cada especie se obtiene en un ambiente dado en ausencia de estreses abióticos y bióticos. En estas condiciones el rendimiento depende de la capacidad de fijar carbono a través de la fotosíntesis, lo cual estará regulado por la cantidad de radiación que el cultivo sea capaz de interceptar (asumimos al CO₂ como un recurso de oferta constante por parte de la atmósfera y no sujeto a modificaciones significativas en el corto plazo). En este contexto, las diferentes especies hacen un aprovechamiento diferencial de la radiación incidente (Fig. 1A).

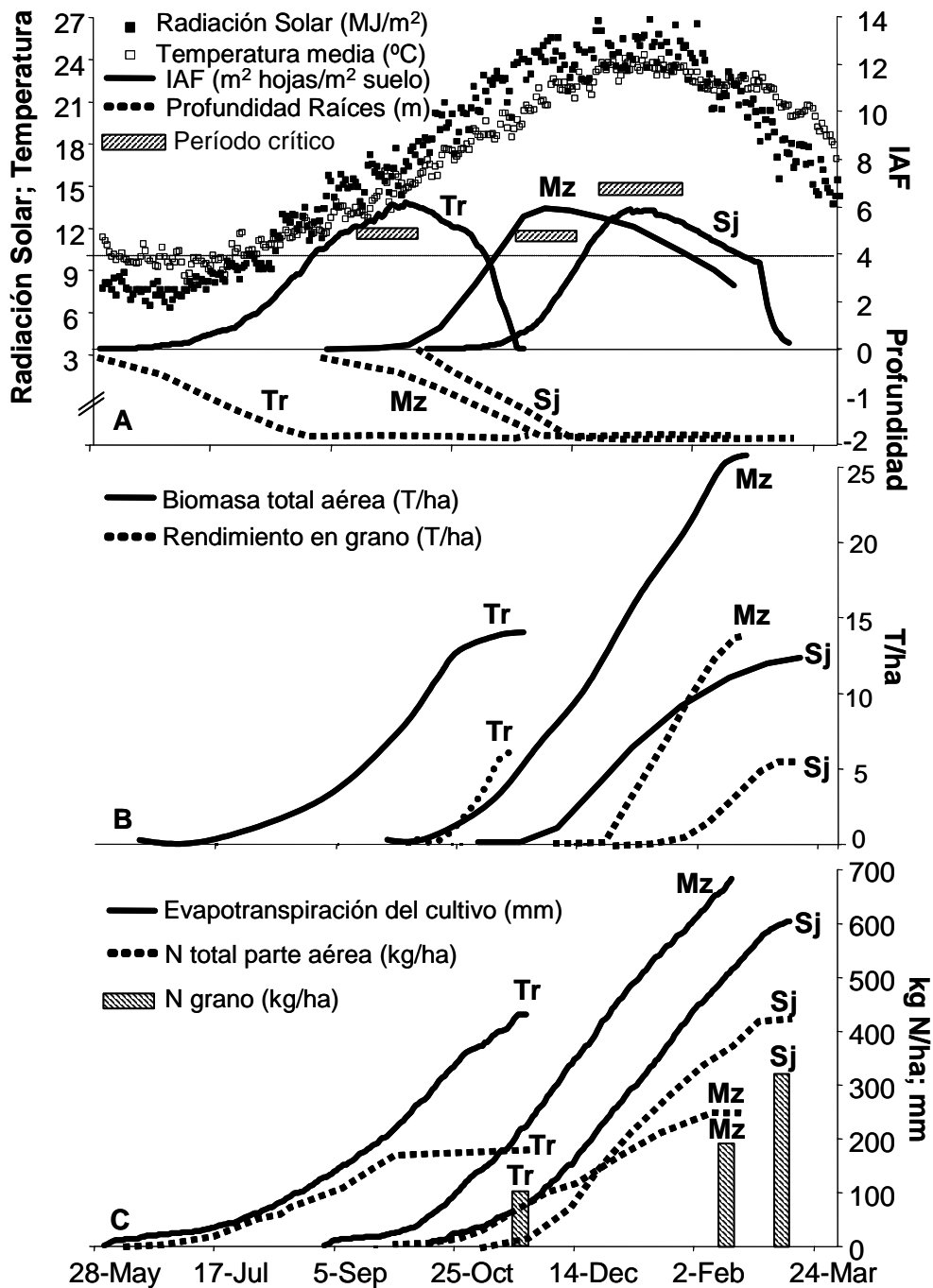


Figura 1. (A) Condiciones de crecimiento durante el ciclo para cultivos de trigo (Tr), maíz (Mz) y soja grupo IV (Sj) en la zona de Pergamino. Se presenta la evolución del índice de área foliar (IAF) y la profundización de raíces. La línea punteada horizontal indica un valor de IAF (~ 4) que garantiza elevados niveles de intercepción de luz (>90%). Las barras rayadas horizontales representan la extensión del período crítico de cada especie. (B) Producción de biomasa total y rendimiento en grano de los tres cultivos. (C) Consumo de agua y contenido de nitrógeno de los tres cultivos. Los datos son representativos de ambientes con buena provisión de agua y N.

En el caso de trigo con siembra de junio, las mayores capturas de luz tienen lugar en primavera, con valores de irradiancia intermedios y temperaturas frescas que dan lugar a una relación fototermal apropiada para esta especie. Las siembras tempranas de los cultivos estivales (maíz en inicios de septiembre y soja a mediados de octubre) permiten que los períodos de máxima captura de luz coincidan con los de máxima irradiancia, y aunque las temperaturas también son entonces elevadas en la región Pampeana, aún se encuentran dentro de rangos óptimos para el crecimiento de ambas especies.

Simultáneamente a la expansión del área foliar para la captura de luz tienen lugar la profundización (Fig. 1A) y proliferación de raíces, que se maximizarán hacia floración y garantizarán la provisión de agua y nutrientes a lo largo del ciclo de los cultivos. En la etapa prefloración, la biomasa producida se distribuye principalmente entre los destinos vegetativos en expansión (hojas y raíces). A partir de floración adquiere relevancia (o casi exclusividad) el crecimiento de los granos (Fig. 1B). A madurez, para la producción de 60 qq/ha de trigo habrá sido necesaria una absorción de ~180 kg de N/ha y un consumo de agua de ~450 mm (Fig. 1C). Estos requerimientos serán muy superiores para la producción de maíz y soja, aunque en el caso de la oleaginosa la mayor parte del N provendrá de fijación simbiótica. Los mayores niveles de irradiancia, que determinan mayor fijación de C, también implican un aumento de la demanda evaporativa, que con buena provisión hídrica se traduce en mayores consumos de agua (Fig. 1C).

En suelos sin impedancias al crecimiento (ej. tosca), la profundidad de raíces de todas las especies de grano estudiadas alcanzará los 2 m de profundidad (Fig. 2A), pero el patrón de extracción de agua dependerá de la disponibilidad del recurso a lo largo del ciclo (Fig. 2B). En caso de restricciones hídricas, el aprovechamiento del agua disponible variará con cada cultivo (Fig. 2C) y con el tipo de suelo considerado (Fig. 2D).

3- Manejo agronómico de la estructura del cultivo

Las variables de manejo (fecha de siembra, densidad y espaciamiento) y la variabilidad genotípica, modifican las dinámicas generales de generación y mantenimiento de la estructura fotosintetizante presentadas en la Fig. 1. Por ejemplo, retrasos en la fecha de siembra aceleran el despliegue del área foliar debido a las mayores temperaturas que exploran los cultivos en sus etapas tempranas, pero disminuye la duración del IAF reduciéndose la biomasa acumulada (Fig. 3A). También, los cambios en la fecha de siembra producen el desplazamiento de los períodos críticos hacia condiciones ambientales menos favorables, salvo que mediante la modificación del ciclo del genotipo empleado se contrarresten estos efectos (Fig 3B).

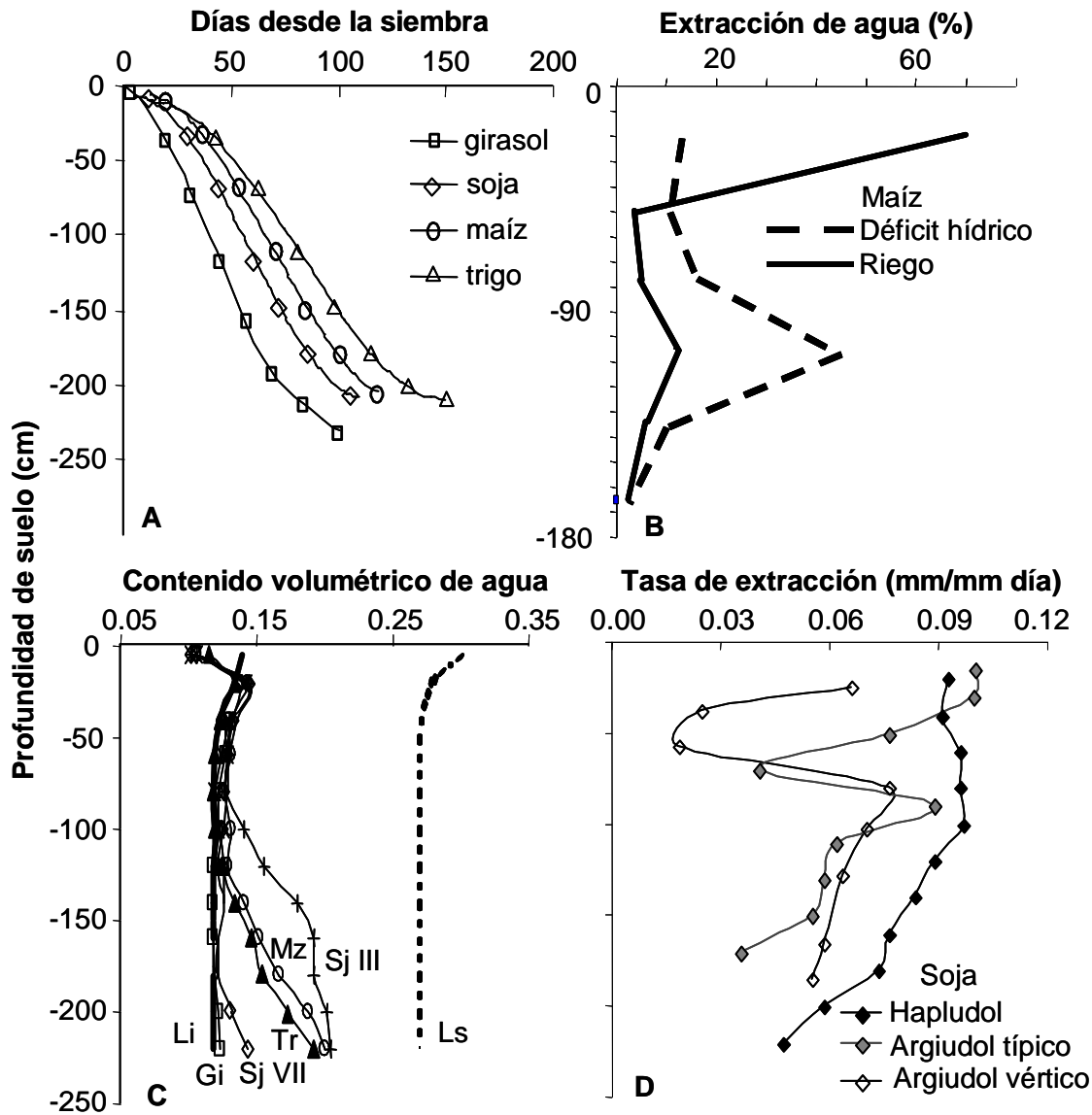


Figura 2. (A) Profundización del sistema radical de cuatro cultivos de grano. (B) Patrón de extracción de agua durante 20 días postfloración (en porcentaje respecto al consumo del período) de un cultivo de maíz en dos condiciones de provisión hídrica. (C) Contenido hídrico del suelo (Hapludol) a madurez de cultivos de soja grupo III (Sj III), maíz (Mz), trigo (Tr), soja grupo VII (Sj VII) y girasol Contiflor 3 (Gi) creciendo sin reabastecimiento de agua suelo desde prefloración tardía. Ls y Li representan los límites superior e inferior de contenido hídrico, respectivamente. (D) Tasa de extracción de agua de un cultivo de soja creciendo en tres suelos contrastantes de la región Pampeana.

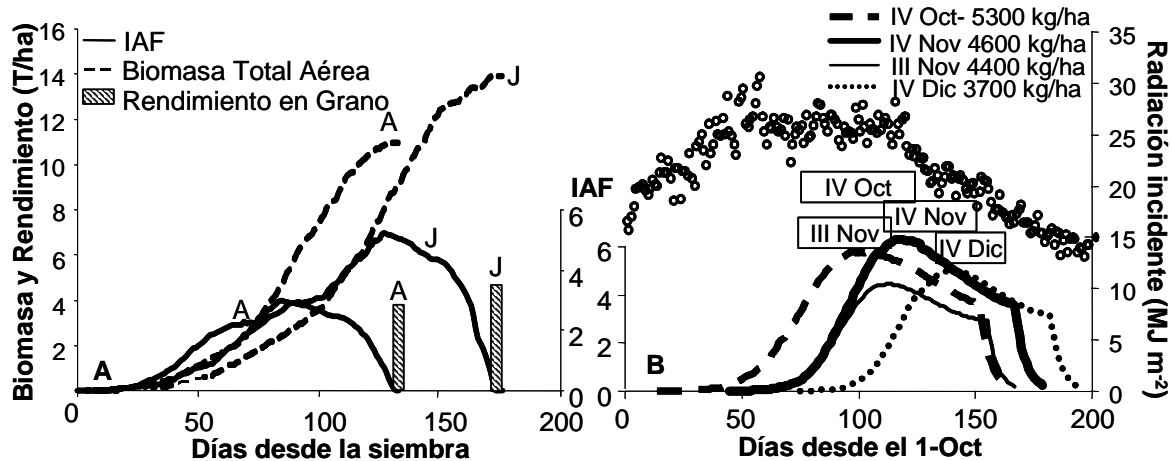


Figura 3. A. Evolución del IAF y la biomasa total y en grano de trigo cv. Escorpión sembrado en dos fechas de siembra (J: 1-Jun y A: 1-Ago). B. Evolución del IAF en cultivos de soja de GM IV o III sembrados en diferentes fechas. Las cajas horizontales muestran la ubicación del período crítico en cada caso y los círculos indican la radiación incidente promedio. Los valores en kg/ha representan el rendimiento en grano.

Los cambios en la densidad permiten ajustar la estructura del cultivo en cada una de las combinaciones entre fechas de siembra y genotipos. Cuando se aumenta la densidad se incrementa el ritmo de crecimiento diario del IAF durante la etapa de expansión foliar, aumentando la captura temprana de luz y adelantando el momento de máxima captura (Fig. 4). En trigo y soja es necesario aumentar la densidad en situaciones en las que el período de generación de IAF se reduce (siembras tardías y ciclos cortos). En maíz, en cambio, el atraso en la fecha de siembra promueve el aumento de la expansión foliar y desplazamiento del período crítico a etapas fototermalmente menos favorables, motivando la recomendación de disminuir la densidad de plantas en estas condiciones. Asimismo, una mejor cuadrangularidad en la distribución de plantas dentro y entre hileras mejora la captura de luz (mayor cobertura para un mismo IAF). Por lo tanto, la modificación de la distancia entre hileras tiene un impacto importante en situaciones en las que la intercepción de radiación puede estar comprometida: siembras tardías (trigo y soja) o tempranas (maíz), genotipos de ciclo corto o baja densidad (Fig. 5).

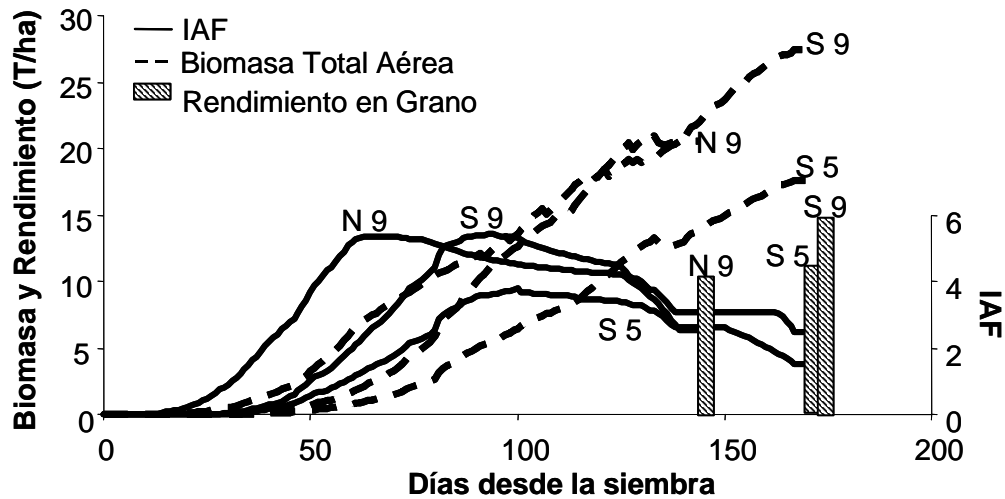


Figura 4. Evolución del IAF y la generación de biomasa en un cultivo de maíz sembrado en septiembre (S) con densidades de 50000 (5) ó 90000 (9) pl/ha y en noviembre (N) con 90000 pl/ha.

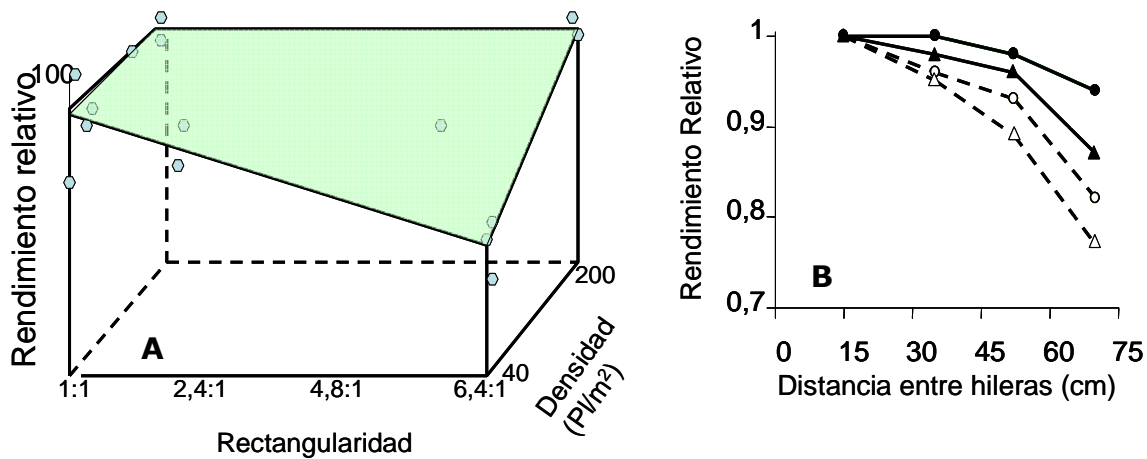


Figura 5. A. Relaciones entre el rendimiento, la densidad y la rectangularidad (estimada como la relación entre la distancia entre hileras y la distancia entre plantas) en cultivos de trigo. B. Rendimiento relativo de cultivos de soja en respuesta al espaciamiento entre hileras para fechas de siembra de diciembre (líneas llenas) o enero (líneas partidas) y grupos de madurez IV (círculos) o III (triángulos) en Tandil (Calviño, 2005).

4. Efectos del estrés sobre la generación de la estructura del cultivo

A campo, los cultivos experimentan durante su ciclo estreses que pueden actuar secuencial o simultáneamente. Estos estreses, principalmente condiciones de déficit hídrico y/o nutricional, afectarán en primera instancia la superficie fotosintetizante, a través de reducciones

en la expansión foliar, el macollaje o la ramificación de las plantas, limitando el rendimiento en la medida que reducen la capacidad de captura de luz. Estrés de mayor intensidad también pueden afectar la eficiencia de conversión de la radiación capturada en biomasa y la partición de biomasa hacia estructuras de cosecha. Los efectos indicados serán tanto más negativos cuanto mayor sea su incidencia (duración e intensidad) alrededor del período crítico. Por ejemplo, la captura de nutrientes como el N está estrechamente asociada con la absorción de agua, pero su cosecha como grano dependerá fuertemente de las condiciones de crecimiento durante el período crítico en que se determina el número de granos. En dos años con disponibilidad hídrica contrastante durante dicho período y fertilización con 100 kg N/ha (Fig. 6), la cantidad de N absorbido por el cultivo en prefloración no difirió sustancialmente y representó más del 90% del N total absorbido a madurez. Sin embargo, la eficiencia agronómica (kg grano producido por kg de N disponible a la siembra más el N del fertilizante) fue casi tres veces mayor en la situación de buena oferta hídrica (75.8) que en la de sequía (26.9).

6. Conclusiones

El rendimiento de los cultivos de grano depende fuertemente de la captura de recursos a lo largo del ciclo, la cual se encuentra fuertemente modulada por la cantidad de radiación solar incidente, fuerza motriz de los procesos de fotosíntesis y transpiración. Con las prácticas de manejo se afecta sustancialmente este balance, ya sea ubicando al cultivo en épocas de oferta contrastante (fechas de siembra, ciclo del cultivo) o alterando la cantidad total aprovechable de cada recurso (ciclo del cultivo, densidad de plantas, espaciamiento entre hileras, riego, fertilización). La estrategia para la producción de cada cultivo en cada ambiente consistirá en equilibrar la oferta y la demanda de recursos, principalmente durante los períodos críticos. Este objetivo se puede satisfacer considerando la maximización del rendimiento de un cultivo individual o bien la del sistema de producción, como se discutirá en presentaciones subsiguientes.

7. Bibliografía

- Calviño, P. 2005. El cultivo de Soja y los modelos de producción zonales: El manejo de altos rendimientos en la zona Sudeste. Actas Mundo Soja, SEMA AACREA. AAPRESID.
- Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su Manejo. 2003. E.H. Satorre, R.L. Benech A., G.A. Slafer, E. B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui, R.Savin (eds). Editorial Facultad de Agronomía. 783 pp.

Figura 6. Evolución del agua y el N extraíble por un cultivo de maíz de siembra temprana (1-Sep) en condición de buena disponibilidad hídrica durante el ciclo (año *Neutro*) o de sequía (año *Niña*). Las flechas indican el momento de observación (siembra, floración y madurez) y el [asterisco+F] el momento de aplicación de 100 kg N/ha. A: N-NO₃ en el suelo, B: N absorbido por el cultivo, C: pérdida de N fuera de la profundidad de extracción (todos en kg N/ha).

