

TEMA 3º

Toma de decisiones en agricultura

Toma de decisiones en agricultura

- Los cambios experimentados en la agricultura en los últimos años apuntan a la necesidad de tomar en consideración en el manejo de los sistemas agrícolas, nuevos aspectos como:
 - protección de los recursos naturales
 - reducción de las emisiones de gases efecto invernadero
 - eficiencia energética
 - garantía de una producción de alimentos sanos.

objetivos

- Todos estos **=====→** toma de decisiones por el agricultor **=====→** debe basarse en criterios bien fundamentados y en suficiente información **=>** predecir la respuesta del sistema a una medida determinada.

Toma de decisiones en agricultura

- Es deseable disponer de herramientas para ayudar al agricultor a tomar decisiones sobre unos sistemas que tienen cada vez más funciones, además de la esencial de producir alimentos.
 - La toma de decisiones debe basarse en disponer de buena información sobre el comportamiento del sistema.
 - Los cambios que están teniendo lugar en las tecnologías de la información y de las comunicaciones permiten acceder a un nivel y variedad de información impensable hace pocos años (muchas innovaciones están a disposición de cualquier agricultor que pueda acceder a esa información, aunque se encuentre en otro país).
 - Las nuevas tecnologías permitirán en pocos años integrar información sobre la explotación a distintas escalas, así como la utilización de información obtenida por teledetección dentro del proceso de toma de decisiones.
- A la hora de tomar sus decisiones los agricultores conjugan
 - ↗ factores biológicos
 - factores físicos
 - ↘ factores económicos

Toma de decisiones en agricultura

- En el éxito de la actividad de un agricultor intervienen # variables y lo podemos medir:

- beneficio neto ↘
- rendimiento → valor medio de la variable
- mínimo riesgo ↗

Intervienen también:

- su distribución estadística

↗ climatología (muy variable)

- la actividad agrícola con valores extremos

↘ P y E (relativamente imprevisible).

Todo lo anterior =====> = práctica agrícola puede dar # Rtos en # años

Ejemplo:

- Un conjunto de prácticas agrícolas $\xrightarrow{\text{puede dar}}$ ↑ Rto. medio

Toma de decisiones en agricultura

- Un conjunto de prácticas agrícolas ^{puede dar} =====> ↓ Rto. medio en determinados años ==> catástrofe sobre la viabilidad de la explotación

¿ que camino se debería seguir?

obtener < Rto.medio y evitar años de ↓↓ Rto.

¿ cual es la tendencia histórica en los S.A. del mundo ?

- desarrollar prácticas de manejo que reduzcan el riesgo => asegurar buenos Rtos. en años malos, aún sacrificando ↑ Rtos. en años favorables o años medios.

¿consecuencia?

nunca se alcanzará el máximo Rto. medio

Niveles de decisión

- Las decisiones en una explotación agrícola pueden ser
 - ↗ **operacional (1)**
 - **táctico (2)**
 - ↘ **estratégico (3)**

(1), (2) y (3) son niveles temporales

¿ cuando se realiza cada una de ellas?

- Operacionales:**
 - Se hacen durante la campaña agrícola (fechas de riego, cantidades de fertilizante, fecha de aplicación de un insecticida).
 - **Aclareo de plantas.**
 - **Escarda mecánica o química.**
 - **Manejo del suelo.**
 - **Abonado**
 - **Riego**
 - **Poda**

Niveles de decisión

- **Aclareo de frutos.**
 - **Lucha contra heladas.**
 - **Aplicación de pesticidas y reguladores del crecimiento.**
 - **Recolección.**
-
- **Tácticas:**
 - se hacen sólo una vez por cada campaña agrícola (elección del cultivo y de la fecha de siembra, rendimiento objetivo, etc.). Evidentemente, si nos referimos a cultivos plurianuales (p.ej., plantaciones frutales), la clasificación temporal se modifica, pues, la decisión táctica afecta a una serie de campañas agrícolas.
 - Cultivo y variedad.
 - Superficie a cultivar.
 - Fecha de siembra y densidad de siembra (marco de plantación).
 - Rendimiento objetivo y niveles de insumos (riego y fertilización).

Niveles de decisión

- **Estratégicas:**
 - **tienen impacto sobre una serie de campañas agrícolas** (orientación productiva de la explotación, inversión en maquinaria, mejoras de la infraestructura).
- **Infraestructura**
 - **Sistemas de riego y drenaje.**
 - **Maquinaria**
 - **Almacenamiento.**
 - **Caminos**
- **Rotaciones.**
 - **Sistema de manejo del suelo.**

Niveles de decisión

- **Adquisición de información.**
 - **Estaciones agrometereológicas.**
 - **Servicios de consultaría**
 - **Equipos informáticos.**
 - **Sensores de suelo o del cultivo.**

- **Comercialización.**
 - **La clasificación de una práctica de manejo dentro de un nivel de toma de decisiones puede ser múltiple, pues, puede adoptar la decisión (estratégica) de aplicar fertilizante nitrogenado al trigo todos los años).**

Niveles de decisión

- Al comienzo de cada campaña puede decidir (nivel táctico) la cantidad total a aplicar, en base al precio del fertilizante y al precio esperado del trigo.
- Durante la campaña puede decidir el momento oportuno de aplicación (nivel operacional) en función de la maquinaria disponible y del estado del cultivo.

Fuentes de información para la toma de decisiones

- **El agricultor necesita conocer**

↗ como responden los distintos cultivos a las distintas prácticas agrícolas en su ambiente particular (suelo y clima).

↘ cuál es el estado del cultivo y del suelo a lo largo de la campaña, para poder tomar sus decisiones operacionales.



(fechas de riego, % fertilizantes, fecha de aplicación)

Fuentes de información: factor de producción necesario para una agricultura eficiente

- ***Experiencia del agricultor***

- Es la base tradicional de la actividad agrícola y puede ser la mejor fuente de información en sistemas agrícolas que varían poco con el tiempo.

- La contrapartida va a ser la dificultad de adoptar innovaciones o de adaptarse a nuevas situaciones (cambios de cultivo o variedad, nuevas tecnologías, aparición de nuevas plagas o enfermedades, etc.).

Fuentes de información para la toma de decisiones

- Un problema adicional es la adopción injustificada de prácticas de cultivo, en base a la «experiencia colectivas, que al no suponer ningún perjuicio aparente se mantienen en el tiempo (el laboreo excesivo en muchos sistemas agrícolas).
- Otro inconveniente es la dificultad para detectar procesos que deterioran los recursos naturales a largo plazo (pérdida de suelo por erosión hídrica, difícil de detectar salvo cuando las lluvias torrenciales producen canales que resultan evidentes).
- **Otros problemas como la salinización o la acidificación progresivas son muy difíciles de detectar sólo por experiencia hasta que el problema ya es importante.**

Investigación, experimentación y transferencia de tecnología

- La investigación y la experimentación son las únicas vías para producir nuevos conocimientos sobre el manejo de los sistemas agrícolas.

Fuentes de información para la toma de decisiones

- las inversiones en investigación agraria han sido la base sobre la que se han asentado los notables incrementos en la productividad agrícola desde 1950, hasta el punto que todos los estudios de impacto y rentabilidad de las inversiones la destacan como uno de los mejores negocios del sector público de todos los tiempos.
- La necesidad de llevar a cabo esfuerzos similares en los países en desarrollo ha llevado a crear una red de Centros Internacionales de investigación agraria, ubicados en países como Méjico, Filipinas, India, Nigeria, etc. (se gestionan y coordinan a través del Grupo Consultivo de Investigación Agraria Internacional, que agrupa a más de 50 países y organizaciones internacionales y han sido responsables de la difusión a escala mundial de nuevas variedades en los principales cultivos y de técnicas de manejo para intensificar la producción de forma sostenible).
- **En España se realiza investigación agrícola en los distintos Servicios de Investigación Agraria dependientes de las Comunidades Autónomas, y en algunas Universidades y Centros del CSIC.**

¿ como llega la ciencia al agricultor ?

Por vías de difusión ==> crear servicios para transferir conocimientos => SEA

¿ como se hace en España ?

En España

↗ por los servicios de extensión públicos

→ Internet (Universidades) → pág. Horticultura Universidad Davis

↘ por las empresas privadas.

↘ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias por Internet

- La investigación en agricultura se basa muchas veces en la experimentación en campo, habitualmente ejecutada en estaciones experimentales, fincas dedicadas a la investigación y a la transferencia de tecnología (un conjunto de prácticas agrícolas podía tener distintos resultados en distintos años y lo mismo ocurre con los resultados de un experimento) ==> la experimentación agrícola es lenta y costosa (debe repetirse una serie de años) ==> la adopción de resultados de experimentación de un solo año ==> importantes errores (La Red Andaluza de Experimentación Agraria publica cada año los resultados de sus experimentos de variedades de girasol en distintos lugares de Andalucía. Si los agricultores utilizan los resultados de una campaña para decidir qué variedad de girasol van a sembrar en la campaña siguiente, pueden cometer un error, pues la probabilidad de que el mejor genotipo de girasol sea el mismo en varios años consecutivos es muy baja).

- Hay que considerar los resultados de varios años y aun así, existe incertidumbre al extrapolar los resultados a otros ambientes.

¿ consecuencias?

Hay que utilizar otras herramientas que complementen a la experimentación en la toma de decisiones.

Información comercial

- Últimamente el sector privado ha hecho inversiones en investigación y participa en la transferencia de tecnología al sector agrario.
- Hay segmentos (manejo de los recursos naturales), donde el sector privado no puede aportar todos los conocimientos necesarios para un manejo sostenible.
- La información comercial puede ser útil, pero, generalmente tiende a sobrevalorar la utilidad de los productos (uso de microelementos y aminoácidos).

Modelos de simulación de cultivos, paquetes de ayuda a la toma de decisiones y sistemas expertos

Es un apoyo a los resultados de la experimentación

- **Un modelo de simulación es una representación lógica y matemática de un sistema.**
- **Los modelos de simulación de cultivos incluyen aspectos del suelo, clima y cultivo =====> evaluar el comportamiento de un cultivo en # situaciones desde un ordenador.**
- **Los paquetes de ayuda incluyen modelos de simulación de cultivos y otras utilidades de manejo de datos que permiten al usuario analizar alternativas tácticas y estratégicas de manejo desde el punto de vista económico (paquete DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) desarrollado por la Universidad de Hawaii con la colaboración de investigadores de todo el mundo).**

■

Modelos de simulación de cultivos, paquetes de ayuda a la toma de decisiones y sistemas expertos

- **El sistema experto es un programa de informática que dispone de una base de datos, una serie de reglas de decisión y un módulo de autoaprendizaje (el usuario formula un problema al sistema experto, y de forma interactiva obtiene una solución al problema).**
- **Como ejemplo de sistema experto utilizado en agricultura podemos citar el COMAX, que es un sistema experto de manejo del algodón, que a su vez incluye el modelo de simulación GOSSYM. Las decisiones de manejo de fertilización y riego se realizan a partir de predicciones del modelo de simulación.**

Agricultura de precisión

- Empezó en los años 70 =====> Departamento de Defensa Americano comenzó a lanzar los Satélites de Posicionamiento Global (GPS) para ayudar a las piezas de artillería a apuntar a sus blancos y a los submarinos a localizar su posición.
- Hoy en día estos satélites son también accesibles para cuestiones civiles, pero por razones de seguridad las señales así recibidas son distorsionadas =====> pequeños errores ====> usar un sistema de corrección diferencial (DGPS)

¿ que permite el uso de GPS?

- que los agricultores puedan recopilar datos sobre sus terrenos de cultivo, ya sea durante la cosecha o previamente a ella =====> se ha pasado de trabajar en Km² a m² =====> mejor aplicación de pesticidas, semillas, riego, etc =====> ahorro en costes variables de producción que compensan el gasto derivado del empleo de estas nuevas tecnologías.

Agricultura de precisión

(posibilita la aplicación selectiva de cualquier fertilizante en un campo de cultivo)

- **Años 80:** se aplican tecnologías que permitan ajustar la práctica agrícola a la variabilidad espacial de los campos, permitiendo así un empleo más eficiente de los recursos (agua de riego, fertilizantes).
- **Años 90:** empezaron a desarrollarse en EE.UU. los GPS (Sistemas de Posicionamiento Global), que permiten conocer con precisión de metros la localización y sistemas informáticos de control de la aplicación del agua, fertilizantes y pesticidas.

Ejemplo:

- **Cosechadoras con GPS miden de forma continua la cantidad de grano por unidad de superficie (se elabora un mapa del rendimiento en la finca que sirve para detectar zonas de rendimiento anómalo alto o bajo). En esas zonas se pueden hacer medidas adicionales como análisis de nutrientes en suelo, determinación de patógenos, evaluación de características físicas, etc.), que permiten decidir las pautas de manejo más adecuadas a escala local.**
- Se puede caracterizar la distribución espacial de los rodales de malas hierbas, de forma que las aplicaciones de herbicida puedan después realizarse sobre esos rodales sólo, aunque la mala hierba no esté presente.

Agricultura de precisión

- La agricultura de precisión ==> cámaras agrarias compen para aplicar selectivamente productos agroquímicos.

potentes ordenadores ↘

adaptados a maquin. agríc. ==> revoluc. agraria

sistemas de navegación por satélite ↗

- un tractor para aplicar fertilizantes usa ↗ un sistema GPS para determinar su localización
→ aporta las dosis adecuadas según un mapa de aplicación que ha sido previamente cargado en un ordenador a bordo del tractor.
↘ contando siempre con la ayuda de correcciones diferenciales.

Agricultura de precisión

- Igual se hace para la recolección. =====>
 - ↗ haciendo un cálculo de la producción de un cultivo.
se pueden crear mapas de Rto.
 - ↘ monitorizando la posición del equipo de recolección.
- Los monitores de rendimiento son la herramienta de agricultura de precisión que tiene más impacto en los beneficios agrícolas, pues, son necesarios para determinar el rendimiento real de varias zonas de la parcela.

La industria de fertilizantes ha desarrollado la más alta tecnología de precisión:

- usando cuadrículas de muestreo en las parcelas con gran rapidez
- recogiendo las muestras en zonas uniformes
- creando mapas de aplicación
- aplicando agroquímicos de manera selectiva.

Agricultura de precisión

Un objetivo es:

- desarrollar sistemas que permitan un fácil uso de datos GPS
- hacer mapas de aplicación
- aplicar productos químicos de forma selectiva.

¿ como debemos considerar la agricultura de precisión ?

como una forma de obtener una gran cantidad de información para contribuir a la toma de decisiones

¿ como no debemos considerar la agricultura de precisión ?

como un método automatizado para la aplicación de dosis variables de agroquímicos.

¿ que podemos hacer con las observaciones de campo?

introducirlas permanentemente en un ordenadores y tratar posteriormente (es relativamente fácil hacer mapas de las poblaciones de malas hierbas, lo mismo con fotos aéreas que con una unidad manual de GPS ==> poder aplicar diferentes dosis de herbicidas en zonas específicas de una parcela.

Agricultura de precisión

¿ cual es el factor hoy día más limitativo de estos sistemas?

- la falta de personal preparado para aplicarlos
- poca formación de los agricultores

¿ que solución se está dando a todo esto?

las casas comerciales dan cursos de GPS ==> aportar a agricultores y a la industria de servicios agrícolas, las herramientas fundamentales para conseguir una agricultura de precisión inteligente.

¿ cuales son esas herramientas para una mejor gestión de los datos y posibles aplicaciones de dosis variables de agroquímicos ?

- 1) Uso de monitores de Rto. y datos de campo para determinar que factores limitan el Rto. y la forma de distribución de los problemas en el campo
- 2) Si un factor limitante puede alterarse económicamente, ajustarlo.

Agricultura de precisión

- 3) Si se desconoce un factor de limitación, o no se puede cambiar, investigarlo.
- 4) Considerar la rentabilidad a la hora de hacer las aportaciones
- 5) Establecer parcelas de ensayo que puedan ser automáticamente evaluadas con un monitor de rendimiento

↑
sirven para determinar el Rto. real de varias zonas de la parcela

↑
Monitores de rendimiento y factores limitativos



después de determinar el Rto.

Existe un proyecto para desarrollar mapas de rendimiento automatizado basándonos en el peso para cosechar cultivos mecánicamente:

- se aplican células de carga que pueden ser conectadas a cualquier tipo de cosechadora
- estas células evalúan continuamente el peso de la cosecha acumulada.
- se hacen mapas de rendimiento cuando se combinan con datos de posición.

Agricultura de precisión

- la cosechadora registra la posición y el peso acumulado cada intervalo de 5 segundos al moverse por el campo.
- las zonas que acumulan peso con rapidez son de alto rendimiento.
- Las de bajo rendimiento acumulan peso más lentamente.
- La agricultura de precisión debe contemplar → habilidad para controlar con precisión
 - ↗ habilidad de aplicar tratamientos distintos a escala local.
 - ↘ poder aplicarse los resultados obtenidos para lograr una meta determinada.

Tipos de variabilidad

- Variabilidad espacial: se ocupa de los cambios a lo largo del terreno de cultivo.
- Variabilidad temporal: muestra los cambios de un año a otro.
- Variabilidad predictiva: discrepancia entre los valores predichos y los actuales.

Variabilidad espacial

- Son los cambios sufridos a lo largo del terreno de cultivo. Estos cambios pueden ser fácilmente vistos en un mapa de rendimiento, para lo cual se necesita recopilar datos en posiciones precisas.

¿Qué necesitamos?

- localizar la posición del terreno donde nos encontramos con sistema DGPS
- recopilar datos sobre la calidad del suelo, cantidad de agua, densidad del cultivo, etc. =====> obtener un mapa representativo del terreno y de utilidad para el agricultor.

Tipos de variabilidad

Variabilidad temporal

Es el resultado de comparar un determinado número de mapas del mismo terreno a través de los años.

La observación de estos mapas =====> dar una idea representativa del significado de variabilidad espacial y temporal.

Variabilidad predictiva

- Está más relacionada con los errores de administración que con las características biológicas y se calcula midiendo la diferencia entre los valores esperados y los realmente logrados.

$$V \text{ predictiva} = V_{\text{esperados}} - V_{\text{reales}}$$

Agricultura tradicional vs. Agricultura de precisión

Agricultura tradicional	Agricultura de precisión
Aplicación de pesticidas	
Trata todo el campo de cultivo como una superficie uniforme con necesidades similares.	Gracias al tratamiento de imágenes aéreas, junto con las técnicas de digitalización, GPS y GIS, puede elaborarse un mapa del terreno con diferentes zonas detalladas, pudiendo prescribir la cantidad exacta de pesticida a aplicar en cada zona, según sus necesidades.
Empleo de banderas humanas para señalar a los aeroplanos dónde aplicar los pesticidas.	Empleo de GPS para indicar a los aeroplanos dónde descargar los pesticidas, y en qué cantidad gracias a los mapas previamente elaborados.
Aplicación de abonos	
La cantidad de abono a aplicar se determina por medio de la composición de diferentes muestras del terreno. Al final requiere una aplicación uniforme de lo que se cree una buena estimación de la cantidad apropiada (se trata de una media)	Permite una aplicación específica según las necesidades de cada región, con dos métodos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>empleo de DGPS</u> para dividir el terreno según una rejilla, con celdas de tamaño determinado por el usuario, posibilitando el acceso preciso a un punto concreto de cada celda, recoger una muestra y aplicar el abono estimado para cada celda. ▪ <u>empleo de fotografías aéreas</u>. Éstas se digitalizan, georreferencian, y basándose en sus características se determina la cantidad de abono a aplicar en cada punto exacto del terreno. DGPS se encargará posteriormente de dar cada coordenada al vehículo de abono, así como la cantidad a aplicar.
Mapas de rendimiento	
Sólo es posible sospechar que unas zonas producen más que otras; un estudio detallado supondría un elevado esfuerzo y muchas horas de trabajo.	Durante la cosecha, mediante la combinación de DGPS y sensores de grano, es posible recopilar los datos necesarios para elaborar un mapa preciso y detallado del rendimiento del cultivo.
Decidir si una zona del terreno produce por encima de los costes es una labor arriesgada.	Las técnicas de variabilidad temporal junto con los mapas de rendimiento y los costes variables permiten tomar una decisión adecuada acerca de qué zonas sería mejor no cultivar, ya que producen gastos.

Razones para el uso de DGPS frente a GPS

- La agricultura de precisión necesita medidas muy fieles y sólo permite errores del orden de un metro, llegándose en ocasiones a necesitar valores de error cercanos a un centímetro
=====→ precisión porque sin ella los mapas de cosechas son inexactos =====→ elevar los costes económicos respecto a un sistema sencillo como GPS.

¿cual ha sido la solución ?

El Depart. Def. EE-UU guía proyectiles al enemigo



- usar el DGPS (Differential Global Positioning System)
- La posición del satélite es conocida =====→ podremos calcular la distancia de la estación base al satélite (*range*-distancia).
- La distancia calculada por la estación base debido a las señales que le llegan del satélite estará afectada de errores (*pseudorange*-pseudodistancia).

estación base – satélite errores



- La diferencia entre range y pseudorange es el error y se conoce como corrección diferencial.

$$\text{Range} - \text{Pseudorange} = \text{corrección diferencial}$$

Tipos de DGPS

a) post-processed DGPS

- los datos en bruto son recogidos por el tractor o la cosechadora en un archivo de datos =====> en la granja este archivo se vuelca a un software junto con los datos obtenidos por la estación base =====> un resultado que reduce los errores de la SA (Selective Aivable) y otros errores corregibles y suministra datos listos para exportar al GIS.
- El post-procesamiento permite mejores precisiones que el DGPS de tiempo real

b) Real-time DGPS (DGPS de tiempo real)

- se usa un radio enlace entre la estación base y el tractor.
- la corrección se aplica a los datos que recibe el tractor en tiempo real
- el receptor GPS usa esta información para calcular la posición correcta de los datos que se están recogiendo de la finca.
- Los datos GPS corregidos se transfieren al software de un PC, de manera que están listos para ser exportados a un GIS. Esta técnica ahorra tiempo de procesamiento de forma notable.

Ejemplo. El resultado de dos estrategias distintas de fertilización nitrogenada (A = No fertilizar; B = 50 kg N/ha) a lo largo de 10 años en un cereal es el siguiente:

Año	Rendimiento A (kg/ha)	Rendimiento B (kg/ha)
1	1500	1950
2	1200	1550
3	900	550
4	1000	1050
5	1300	1400
6	1000	1000
7	1400	2000
8	900	450
9	1250	1550
10	1050	950
Media	1150	1245
σ	211	535

Problema

El rendimiento medio es superior para la estrategia A tiene una menor desviación típica (211 kg/ha).

La estrategia B (aplicar fertilizante) implica un mayor riesgo (menores rendimientos en los peores años).

Si el agricultor no puede permitirse un solo año de bajo rendimiento preferirá adoptar la estrategia A, aunque le suponga un menor rendimiento medio.

En la Fig 2.1, se muestran las funciones de distribución de las dos estrategias, obtenidas ordenando los rendimientos de menor a mayor y asignando a cada valor una probabilidad equivalente a un año de cada diez (10%).

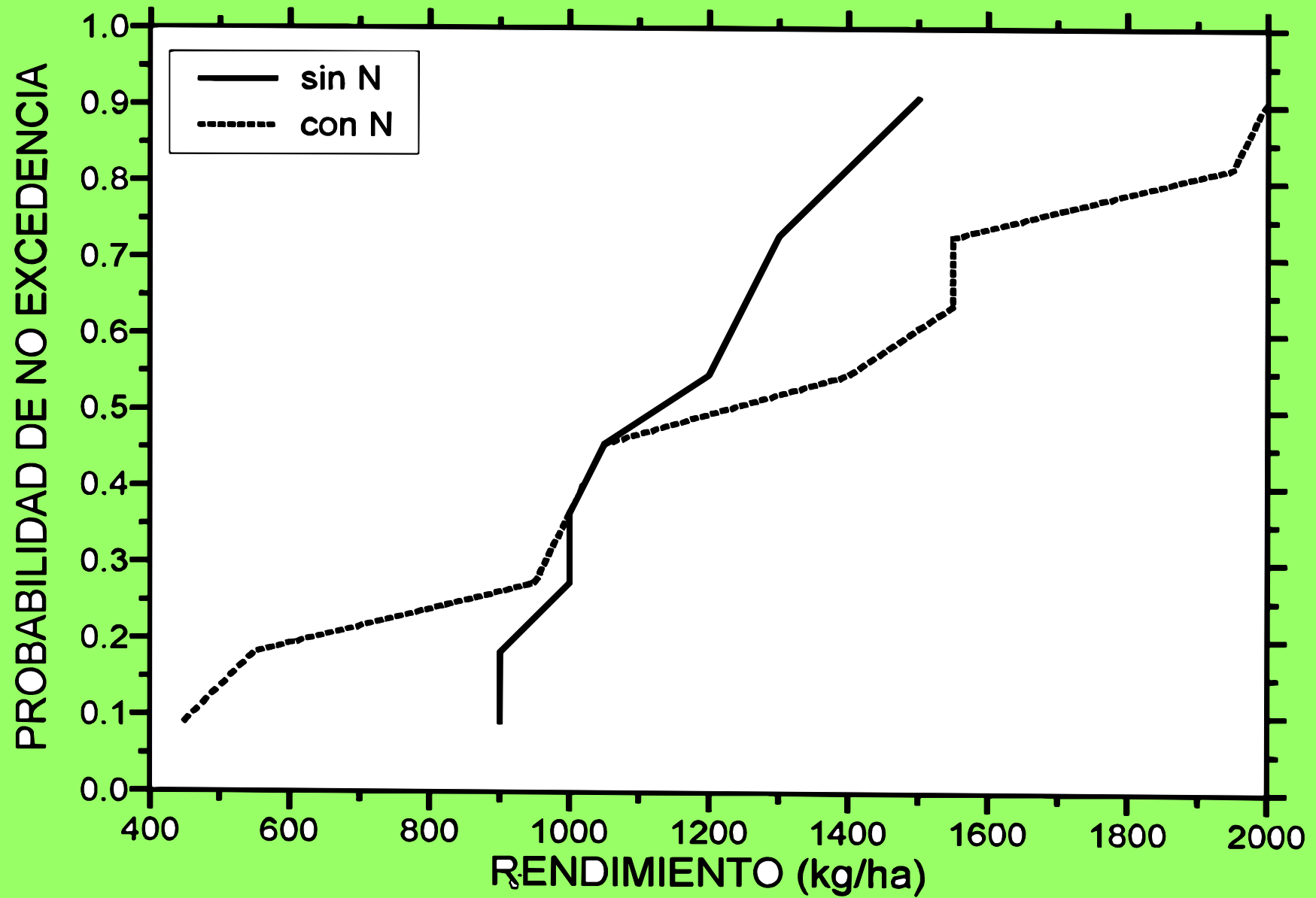


Figura 2.1. Ejemplo de funciones de distribución del rendimiento de cereal con aplicación de N o sin ella.