



Instrumentos para el Monitoreo del Impacto Ambiental sobre la Producción Agrícola

Modelos para Cultivos

Marco Bindi - Dip. di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio
Agroforestale - Università degli Studi di Firenze

Santa Fe - Marzo de 2003



Temas Principales:

1. Instrumentos para el monitoreo
2. Modelos de Simulación del crecimiento de un cultivo
3. Tipos de Modelos
4. Desarrollo de un modelo de simulación del crecimiento de cultivos

1. Instrumentos para el monitoreo

- Medidas experimentales
- **Modelos de simulación**
- Teledetección

2. Modelos de Simulación Del Crecimiento De Un Cultivo

Los **modelos de simulación del crecimiento de cultivos** son instrumentos para reproducir el comportamiento de un cultivo y evaluar su respuesta al ambiente que lo circunda.

La **principal ventaja** está ligada a la posibilidad de aplicar los modelos en condiciones agronómicas, de cultivos y de gestión diversas a aquellas bajo las cuales fueron desarrollados.

Un **modelo** es una representación simplificada de un sistema.

Un **sistema** es una parte bien delimitada del mundo real. Por ejemplo un cultivo con todos sus órganos (raíces, tallo, hojas), sus procesos y mecanismos (crecimiento, desarrollo, fotosíntesis, transpiración, etc.) constituye un sistema.

La **construcción de un modelo** consiste en la individualización de una serie de ecuaciones matemáticas mediante las cuales es posible reproducir del modo más fiel posible el comportamiento del sistema examinado.

3. Tipos de Modelos

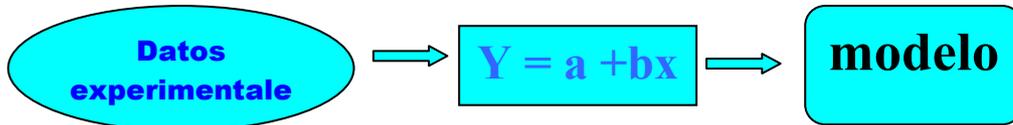
En base a la validez y al significado de las ecuaciones matemáticas es posible distinguir los modelos en:

- Empíricos o descriptivos
- Fenomenológicos o Explicativos

3.1 Modelos empíricos o descriptivos

Los Modelos empíricos describen de un modo simplificado el comportamiento de un cultivo.

El desarrollo de un modelo empírico se basa en la individualización, a partir de de datos experimentales, de una o mas ecuaciones matemáticas para la representación del proceso examinado.



Las principales carencias de este tipo de aproximación son las de investigar:

- en la limitada validez en ambientes diversos a los originales.
- en el empleo de ecuaciones que a menudo no tienen un significado biológico.

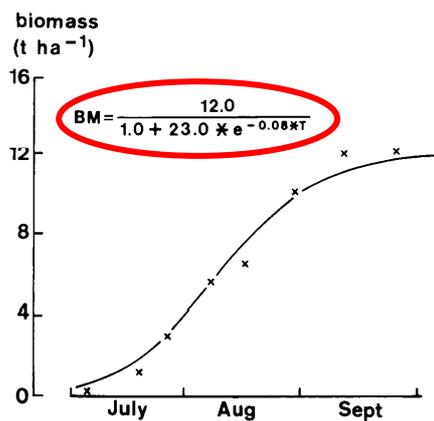


Figure 2. The course of the dry weight of a maize crop in 1972. Crosses represent observations, the line the regression equation $BM = \frac{12.0}{1.0 + 23.0 \cdot e^{-0.08 \cdot T}}$, where BM is the biomass in $t ha^{-1}$, 12.0 is the asymptote, 1.0 is the time in days since emergence and 23.0 and 0.08 are parameters.

1972

Modelos empíricos

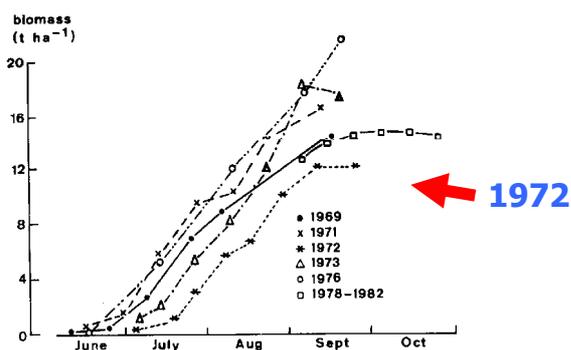
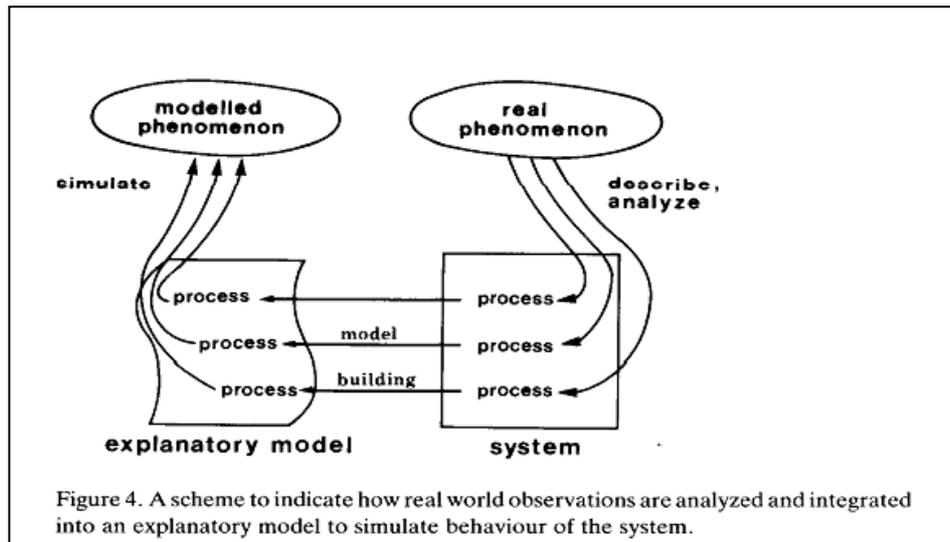


Figure 3. The dry weight of maize crops under optimal conditions in different years in the Netherlands. (Source: Sibma, 1987).

3.2 Modelos fenomenológicos o explicativos

Un **modelo fenomenológico** describe en modo cuantitativo los mecanismos y procesos que determinan el comportamiento de un cultivo.

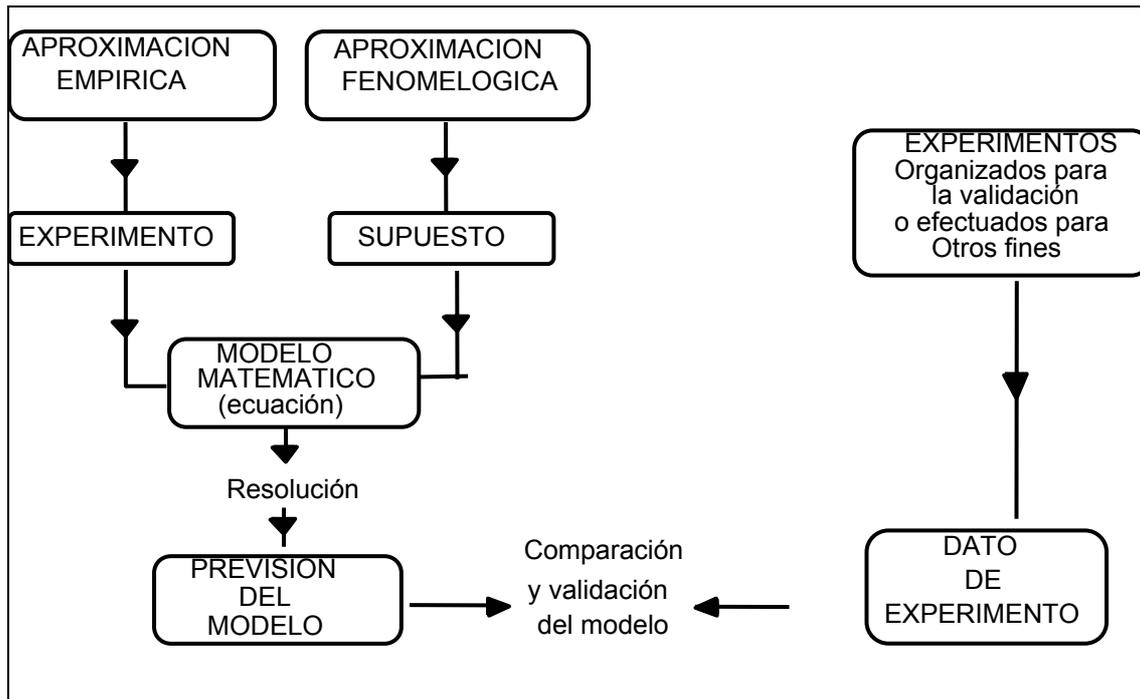
Para **crear un modelo fenomenológico** el cultivo es analizado, sus procesos y mecanismos son cuantificados separadamente. El modelo es construido uniendo e integrando los procesos singulares para todo el cultivo.



El número de procesos de principal importancia para la simulación del crecimiento del un cultivo dependen:

- del nivel de detalle que deben alcanzar los resultados
- de los factores limitantes del crecimiento (carencia hídrica y/o nutritiva).

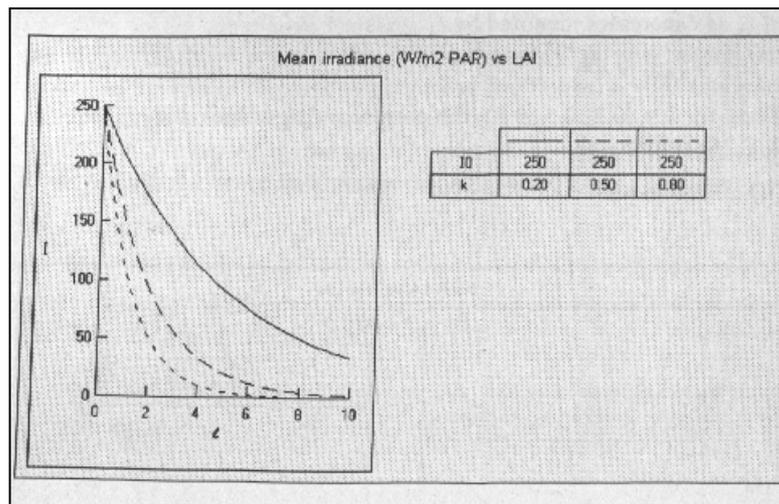
El elemento que diferencia los Modelos fenomenológicos de los empíricos es la naturaleza y el modo con el cual son caracterizadas las ecuaciones que describen los procesos.



3.3 Modelos estáticos y dinámicos

Modelos estáticos: representan relaciones entre las variables que no se modifican en el tiempo y por lo tanto se conoce su valor final y no su evolución en el tiempo (ejemplo: simulación de la interceptación solar, fotosíntesis).

Modelos dinámicos: describen el modo en el cual el sistema cambia en el tiempo y por lo tanto es posible seguir la evolución temporal de cada una de las variables del sistema (ejemplo: balance de nitrógeno e hídrico en el suelo).



3.4 Modelos determinísticos y estocásticos

Modelos determinísticos: atribuyen un solo valor a cada variable del sistema.

Modelos estocásticos: señalan en cambio para una variable una distribución de valores.

	modelli regressivi	modelli si simulazione semplici	modelli simulazione meccanicistici
tipo:	statistico, statico	dinamico	dinamico
relazioni utilizzate:	empirico	empirico, meccanicistico	meccanicistico, empirico
livelli di organizzazione inclusi:	coltura	coltura, pianta	coltura, pianta, organo
scala spaziale:	regionale	campo	m ² , foglia
intervallo esecuzione:	stagionale	giornaliero	orario o più breve
uso:	gestionale	gestionale, ricerca	ricerca
caratteristiche:	richiedono molti anni di dati per poter stimare i parametri	producono outputs con vari elementi (produzione, stadi di crescita, uso dell'acqua, ecc)	producono outputs più dettagliati (produzione e sue componenti, comportamento degli stomi, ecc.)

Tabella 2.1 - Caratteristiche di modelli colturali comunemente utilizzati per l'analisi di sistemi agricoli (modificato da Steiner, 1987)

4. Desarrollo de un modelo de simulación del crecimiento de cultivos

- 4.1 Elección del tipo de modelo
- 4.2 Individualización y cuantificación de los procesos a simular
- 4.3 Calibración
- 4.4 Evaluación de la potencialidad (validación y análisis de sensibilidad)
- 4.5 Aplicación

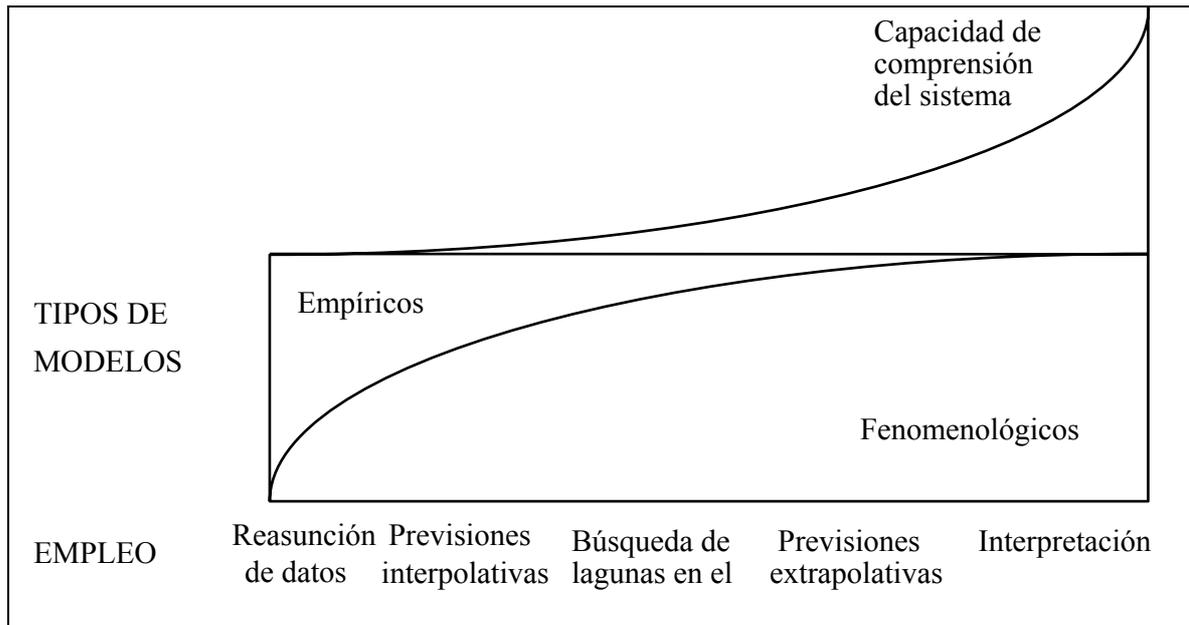
4.1 Elección del tipo de modelo

La elección del tipo de modelo puede ser realizada en función de:

- a. Uso
- b. Disponibilidad de datos

a) *Uso*

- Para reasumir datos y previsión del tipo interpolativa (Modelos completamente empíricos)
- Para propósitos de investigación y previsión extrapolativa (Modelos fenomenológicos-empíricos)
- Para interpretar los resultados de pruebas experimentales (Modelos fenomenológico puros)



b) Disponibilidad de datos (desarrollo, validación y aplicación del modelo)

Datos para el Desarrollo del modelo:

Medición en ambiente controlado y en campo del efecto de las variables ambientales sobre el desarrollo, crecimiento y envejecimiento de los órganos de la planta (asimilación de CO₂, velocidad, emisión y expansión de la hoja, requerimientos de la planta y disponibilidad en el suelo de elementos nutritivos y agua)

Datos para la Validación del modelo:

Datos experimentales independientes sobre la duración de las distintas fases de desarrollo, sobre la velocidad de crecimiento y senescencia de los diversos órganos (tallo, fruto, hojas, raíces, etc.)

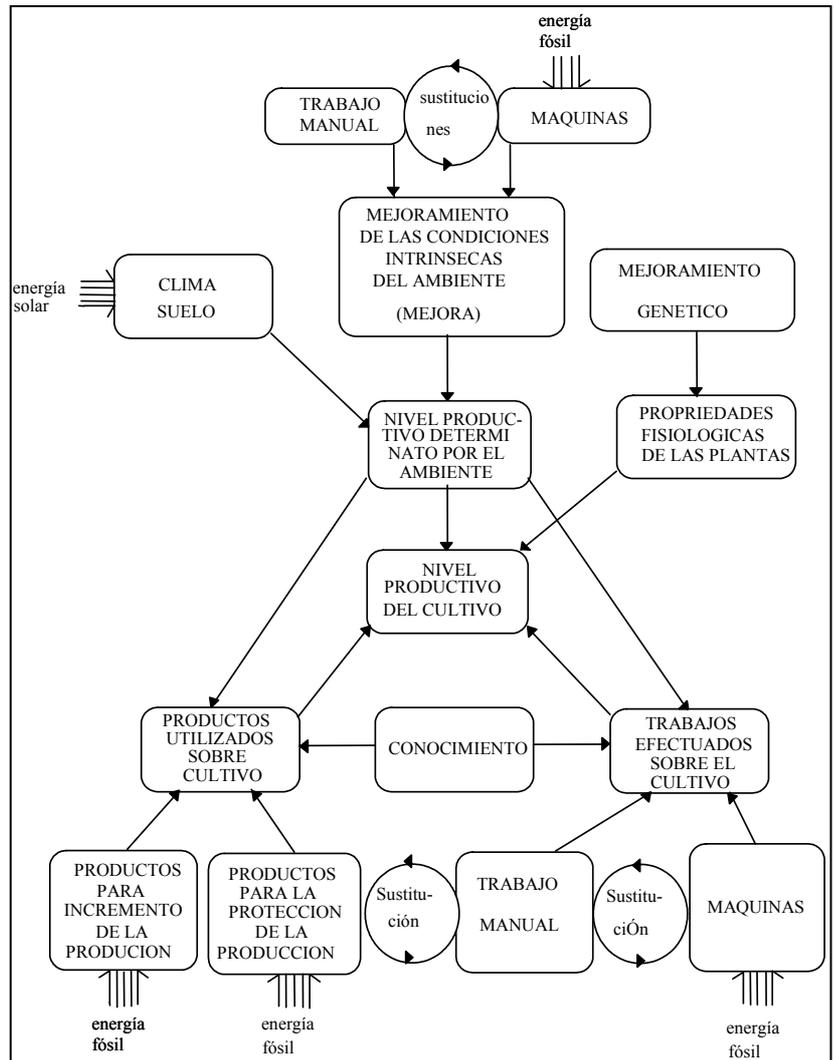
Datos para la simulación del modelo:

Datos sobre el manejo del cultivo (época de siembra, cantidad y datos de la distribución de irrigación y abono) y sobre las características ambientales (meteorológicas y edafológicas).

4.2 Individualización y cuantificación de los procesos a simular

Un modelo es realizado para conocer la producción de un sistema agrícola, deberá considerarse todas las condiciones que influyen el rendimiento del cultivo y por lo tanto se deberá examinar:

- factores ambientales
- propiedades fisiológicas de la planta
- Productos utilizados (fertilizantes, fungicidas, etc.)
- laboreos efectuados.



El número de factores (ambientales, estado del suelo y del cultivo) y de los procesos puestos en consideración en la construcción de un modelo de crecimiento varía según los factores ambientales que limitan la producción del cultivo.

Niveles de producción de un cultivo

- Nivel 1: El cultivo tiene una disponibilidad completa de agua y elementos nutritivos para toda la duración del periodo de crecimiento. Su tasa de crecimiento depende por lo tanto solamente del estado en que se encuentra el cultivo y de la disponibilidad térmica y de radiación.

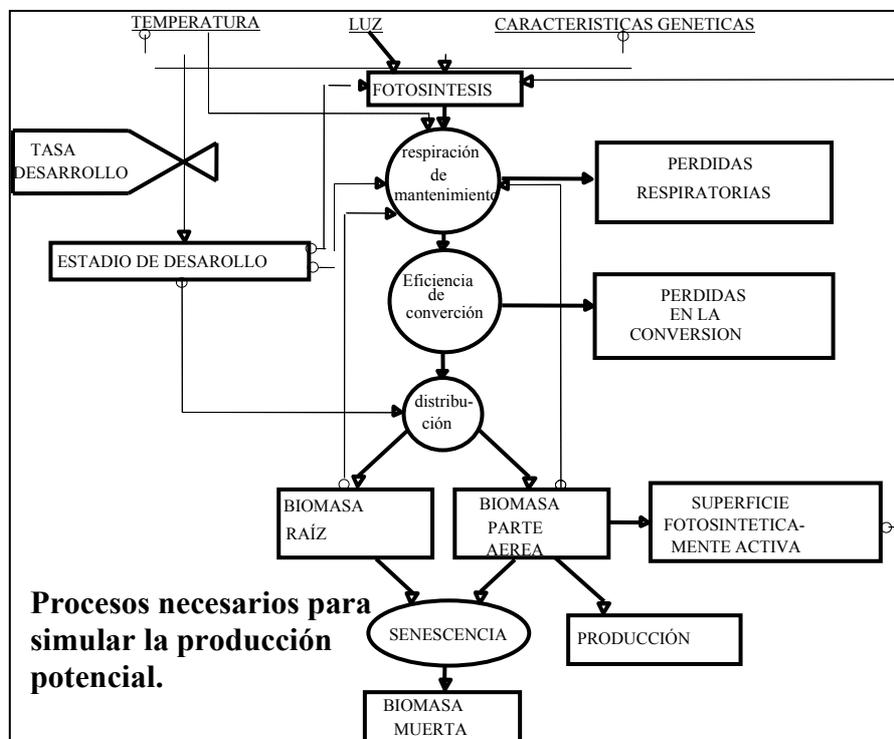
- Nivel 2: El crecimiento del cultivo está limitado, al menos una parte del periodo de crecimiento, por la carencia de agua.

- Nivel 3: El crecimiento del cultivo esta limitado por la carencia de nitrógeno en al menos una parte del período de crecimiento y de la carencia de agua para el período restante.

- Nivel 4: El crecimiento del cultivo esta limitado por la carencia de fósforo y de los otros minerales nutritivos por al menos una parte del período de crecimiento.

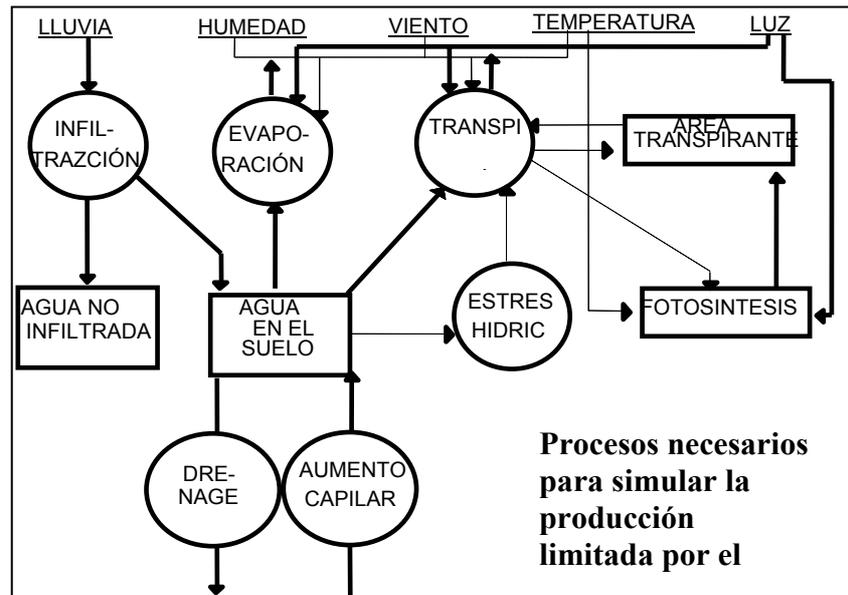
- Nivel de Producción 1

- La producción está determinada por el **tipo de cultivo, nivel de energía solar y régimen térmico** y se habla de **producción potencial** (50-350 kg /ha/d).
- Las situaciones de crecimiento potencial pueden ser creadas en **invernadero y en laboratorios experimentales**.
- Los principales procesos son la asimilación del CO₂, la respiración de mantenimiento y de crecimiento, la distribución de los asimilados entre los diversos órganos y el desarrollo del área fotosintéticamente activa.



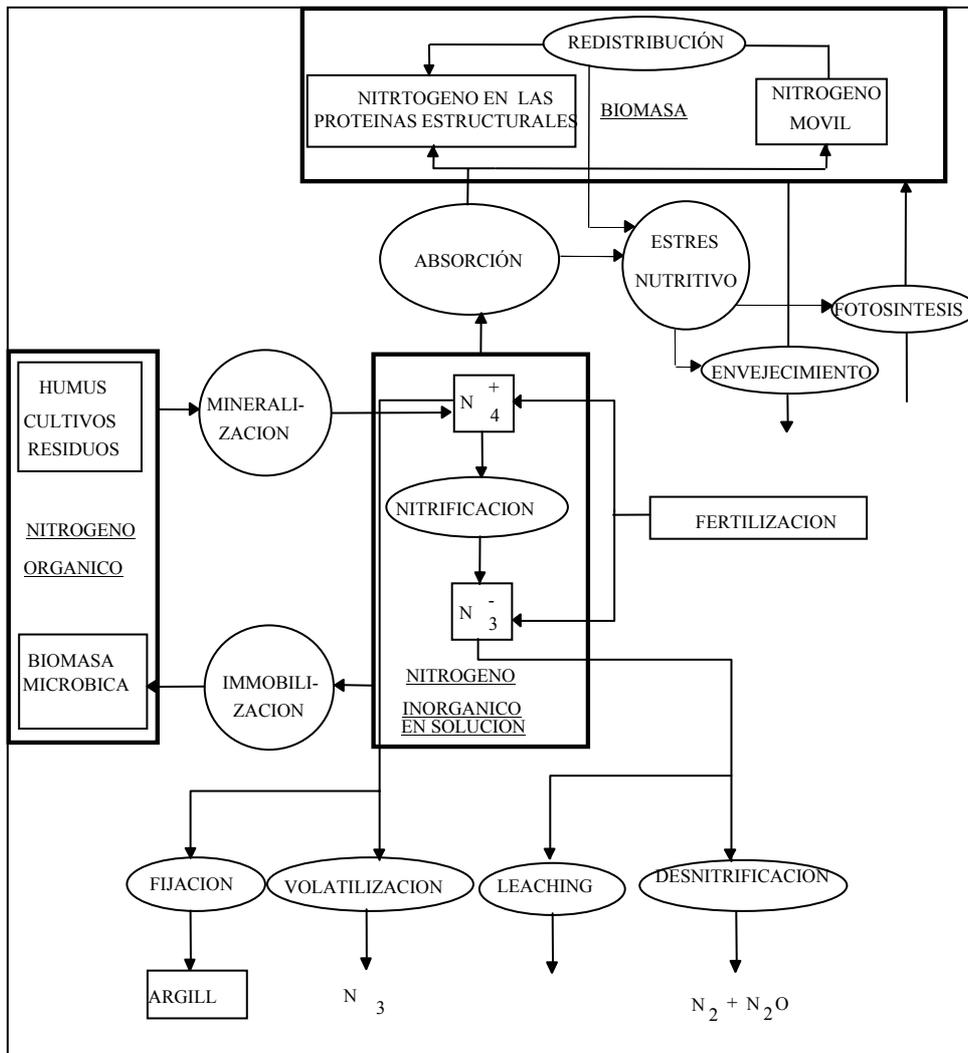
- Nivel de Producción 2

- La producción está limitada **por el agua (producción limitada por el agua)**.
- Para su modelización es necesario considerar el balance hídrico en el suelo y en la planta.
- Los **procesos a simular** son la transpiración acoplada a la asimilación del CO₂, la evaporación del suelo, el drenaje, el escurrimiento superficial y el balance de energía del cultivo que se correlaciona con la transpiración.

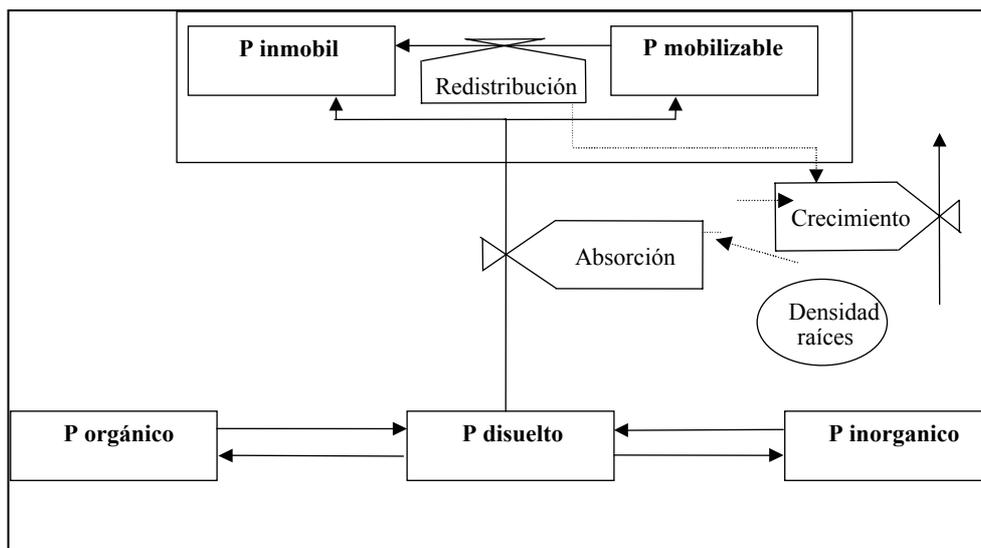


- Nivel de Producción 3 y 4

- La producción está limitada **por los elementos nutritivos** (10-50 kg/ha/d).
- Los Modelos simulan el efecto de los tres principales elementos: nitrógeno, fósforo y potasio (frecuentemente el nitrógeno, es el de mayor interés práctico).
- Los **procesos a simular**: transformación en componentes disponibles para la absorción de las plantas, pérdida de elementos nutritivos (lixiviación, insolubilización, inmovilización, volatilización, absorción del cultivo, distribución y movimiento en los distintos órganos, respuesta de los procesos de crecimiento a los diversos contenidos de elementos minerales



Procesos necesarios para simular la producción limitada por los elementos nutritivos.



4.3 Calibración

Procedimiento por medio del cual una o más series de datos experimentales son usados para formular el modelo, para confrontar los datos obtenidos con la realidad experimental, para eventualmente reformular la estructura del modelo o ajustar algunos parámetros.

4.4 Evaluación de la Potencialidad

- validación
- análisis de sensibilidad

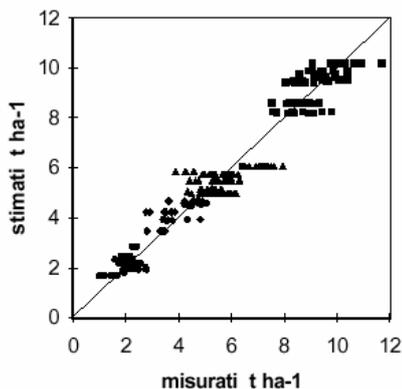
Evaluación

Procedimiento por medio del cual se confrontan los datos simulados del modelo con datos experimentales no empleados en el desarrollo del modelo para identificar la precisión de estimación del modelo. Puede ser efectuado a dos niveles: asunción y previsión.

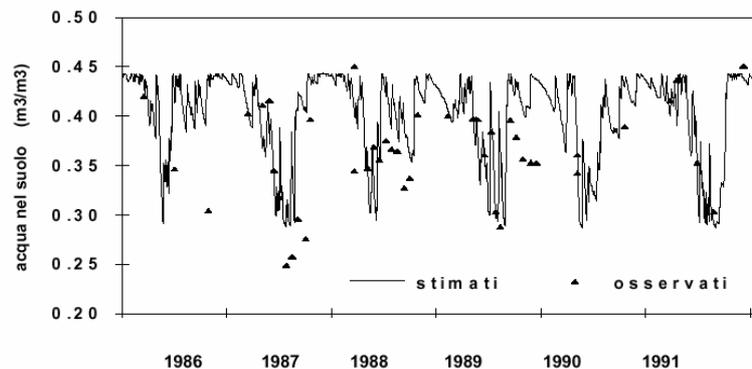
Procedimiento de evaluación:

a. evaluación subjetiva: distinción por parte de expertos entre los datos simulados y observados (procedimiento complementario, guía)

b. técnica visual: confrontación gráfica entre los datos simulados y observados (procedimiento informativo: correspondencia datos y tendencia del modelo)



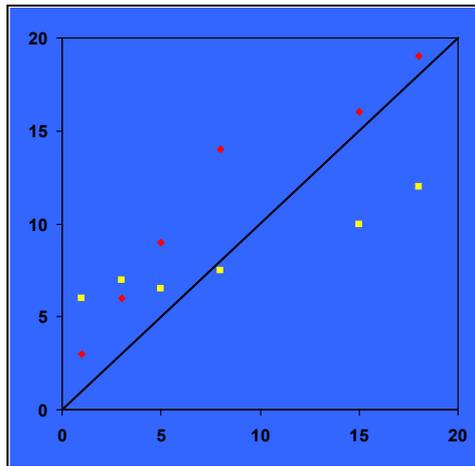
Evaluación Técnica Visible



c. medida del desplazamiento: cuantifica la diferencia entre los datos simulados y los observados. Aplicable a datos recolectados en función del tiempo, localidad, tratamiento, etc. (aplicable a observaciones correlacionadas):

Tendencia del modelo: Error medio $MBE = \sum (y_o - y_s) / n$

Correspondencia de datos: Error cuadrático medio $RMSE = \left\{ \sum (y_o - y_s)^2 / n \right\}^{0.5}$



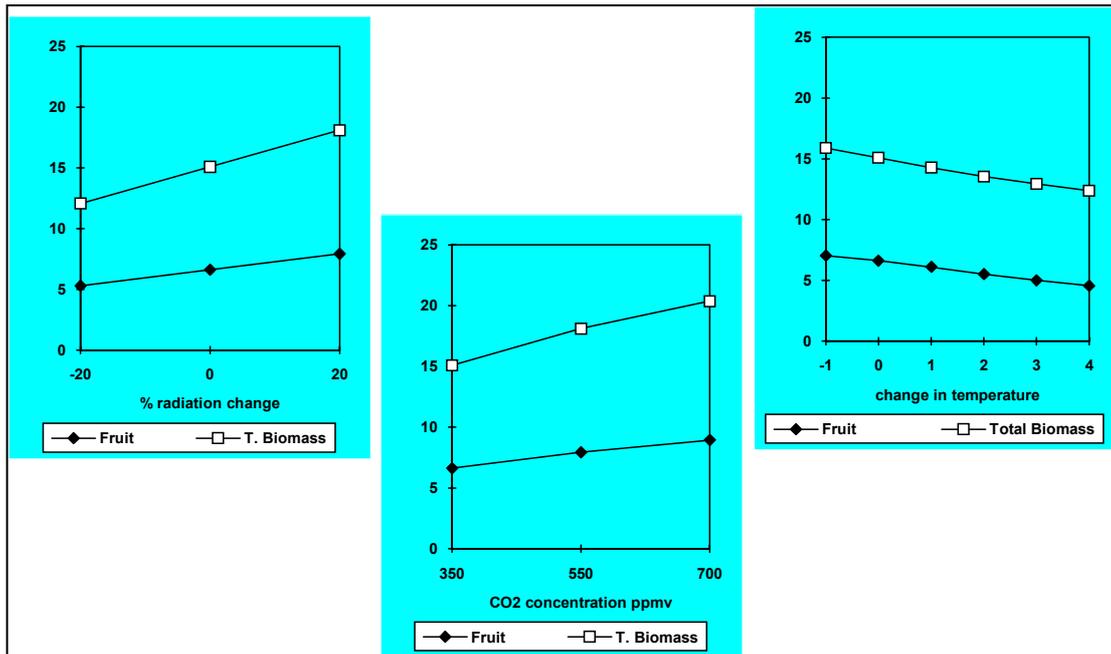
d. Test estadístico: (aplicable a observaciones no correlacionadas)

Análisis de regresión:

- R² (correspondencia de datos),
- pendiente, intercepción (tendencia del modelo, pendiente =1, intercepción =0)

Análisis de sensibilidad:

Procedimiento mediante el cual es posible valorar la respuesta del modelo a las variaciones de los parámetros ambientales y de cultivo solicitados por el modelo.



4.5 Aplicación

- Previsión de la producción a escala nacional (precio de mercado)
- Previsión de la producción de cultivos usados para alimentación (propósito humanitario, FAO)
- Determinación de la potencialidad productiva de las áreas cultivadas (introducción de nuevos cultivos)
- Evaluación de los efectos de las principales prácticas cultivares sobre la producción (reducción de costos, polución ambiental, productos residuales)
- Mejoramiento genético
- Sustentabilidad de los sistemas agrícolas
- Efecto cambio climático