

# Fenología en cultivos anuales para empresas tamberas

Trabajo final de  
**Agromática II: Modelos matemáticos agronómicos**  
08 de agosto de 2008

Ing. Alejandro Lucas Banchio  
Pasante del PICTO UNL 2005  
"Aplicación de la Tecnología de la Información y la Comunicación (TIC)  
para Contribuir a la Competitividad Microeconómica de la  
Producción Lechera en la Cuenca Central Santafesina".

Ing. Daniel A. Grenón  
dgrenon@fca.unl.edu.ar  
Profesor Asociado Cátedra de Agromática  
Facultad de Ciencias Agrarias  
Universidad Nacional del Litoral

## Introducción.

En este trabajo se utiliza el término "Fenología" como el estudio de los fenómenos periódicos que presentan los organismos vivos, en nuestro caso las plantas, y su relación con los procesos meteorológicos, es decir las condiciones ambientales tales como temperatura, luz, humedad, etc.

Las observaciones fenológicas son muy importantes ya que el conocimiento de las necesidades climáticas de una especie vegetal permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o localidad.

El ciclo biológico cambia con el genotipo y con los factores del clima, esto quiere decir, que las plantas del mismo genotipo sembradas bajo diferentes condiciones climáticas pueden presentar diferentes estados de desarrollo después de transcurrido el mismo tiempo cronológico.

## Objetivos.

El siguiente trabajo tiene como finalidad conocer cómo se van desarrollando los diferentes cultivos, es decir, su fenología, en distintas localidades, en función de la fecha de siembra, de sus necesidades térmicas y de la oferta climática del lugar en donde se siembran, además el poder estimar la dinámica de acumulación de materia seca.

El poder estimar la fenología de los distintos cultivos de acuerdo a la fecha de siembra, nos permite realizar luego un análisis de riesgo climático en los períodos críticos propios de los cultivos y también evaluar el momento óptimo de utilización como alimento para los animales.

## Metodología.

Para comenzar, es importante señalar, que el proceso de trabajo se inició tomando como punto de partida los datos de Temperatura Media en paso decadal (10 días) de la serie de años de 1971-2000<sup>1</sup> de las localidades de Reconquista (SF), Rafaela (SF), Oliveros (SF), Marcos Juárez (Cba), Pergamino (Bs. As.), 9 de Julio (Bs. As.), Concepción del Uruguay (ER), Paraná (ER) y Anguil (LP), como así también los datos de requerimientos térmicos de los cultivos en estudio.

|    | A      | B       | C           | D        | E             | F         | G          | H      | I      | J                 |
|----|--------|---------|-------------|----------|---------------|-----------|------------|--------|--------|-------------------|
| 1  | dia    | Rafaela | Reconquista | Oliveros | Marcos Juárez | Pergamino | 9 de Julio | Anguil | Paraná | Conc. Del Uruguay |
| 2  | 01-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 3  | 02-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 4  | 03-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 5  | 04-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 6  | 05-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 7  | 06-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 8  | 07-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 9  | 08-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 10 | 09-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 11 | 10-Ene | 24,8    | 26,2        | 24,5     | 24,3          | 23,7      | 23,3       | 22,8   | 24,9   | 24,7              |
| 12 | 11-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 13 | 12-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 14 | 13-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 15 | 14-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 16 | 15-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 17 | 16-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 18 | 17-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 19 | 18-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 20 | 19-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 21 | 20-Ene | 24,9    | 26,2        | 24,6     | 24,5          | 23,8      | 23,4       | 22,8   | 25,3   | 24,9              |
| 22 | 21-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 23 | 22-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 24 | 23-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 25 | 24-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 26 | 25-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 27 | 26-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |
| 28 | 27-Ene | 24,7    | 26,1        | 24,6     | 24,4          | 23,6      | 23,3       | 22,7   | 25     | 25                |

Se utilizó una planilla de cálculo Excel, en donde las variables de entrada son: Estación Meteorológica, Cultivo, Fecha de Siembra y Producción máxima del cultivo en la zona de estudio.

|   | A                            | B              | C |
|---|------------------------------|----------------|---|
| 1 | Estación Meteorológica       | Marcos Juárez  |   |
| 2 | Cultivo                      | Avena "buck t" |   |
| 3 | Fecha Siembra                | 06-May         |   |
| 4 | Máx acum MS ha <sup>-1</sup> | 3400           |   |

Mediante el desarrollo de fórmulas específicas, se logra interactuar los datos, obteniéndose como resultado los GD (grados días) desde la Fecha de Siembra hasta Madurez Fisiológica, mediante la siguiente ecuación:

$$GD = \sum_{i=1}^n (T_i - T_b)$$

donde GD es el tiempo térmico o suma térmica o grados día acumulados en los n días del período;  $T_i$  es la temperatura media diaria del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ) y  $T_b$  es la temperatura base.

<sup>1</sup> Rodríguez, R y otros. "Estadística Agroclimática Decadal Interactiva serie 1971-2000". INTA, Marzo 2004.

Posteriormente, se fueron acumulando dichos GD y a medida que se llega a una determinada DT (duración termal), se efectúa el cambio de fase del proceso fenológico (estadio fenológico).

| D      | E   | F          | G   | H       | I    | J          |
|--------|-----|------------|-----|---------|------|------------|
| 292    | 1   | Rafaela    |     |         |      |            |
| 18-Oct | 2   | Soja GM VI |     |         |      |            |
|        |     | 2          | 2   |         |      |            |
|        |     | Tm °C      | GD  | GD acum | fase | estadio    |
| 18-Oct | 292 | 18,7       | 8,7 | 8,7     | 1    | Siembra    |
| 19-Oct | 293 | 18,7       | 8,7 | 17,4    | 1    |            |
| 20-Oct | 294 | 18,7       | 8,7 | 26,1    | 1    |            |
| 21-Oct | 295 | 19,8       | 9,8 | 35,9    | 1    |            |
| 22-Oct | 296 | 19,8       | 9,8 | 45,7    | 1    |            |
| 23-Oct | 297 | 19,8       | 9,8 | 55,5    | 1    |            |
| 24-Oct | 298 | 19,8       | 9,8 | 65,3    | 1    |            |
| 25-Oct | 299 | 19,8       | 9,8 | 75,1    | 2    | Emergencia |
| 26-Oct | 300 | 19,8       | 9,8 | 84,9    | 2    |            |
| 27-Oct | 301 | 19,8       | 9,8 | 94,7    | 2    |            |
| 28-Oct | 302 | 19,8       | 9,8 | 104,5   | 2    |            |
| 29-Oct | 303 | 19,8       | 9,8 | 114,3   | 2    |            |
| 30-Oct | 304 | 19,8       | 9,8 | 124,1   | 2    |            |
| 31-Oct | 305 | 19,8       | 9,8 | 133,9   | 2    |            |
| 01-Nov | 306 | 20         | 10  | 143,9   | 2    |            |
| 02-Nov | 307 | 20         | 10  | 153,9   | 2    |            |
| 03-Nov | 308 | 20         | 10  | 163,9   | 2    |            |
| 04-Nov | 309 | 20         | 10  | 173,9   | 2    |            |
| 05-Nov | 310 | 20         | 10  | 183,9   | 2    |            |

Por otro lado, la Materia Seca durante el período de crecimiento fue estimada mediante la función logística asíntota siguiente:

$$Y = \frac{A}{1 + b^{-ax}}$$

donde:

A: Máxima acumulación de materia seca (kg MS ha<sup>-1</sup>), dependiendo del ambiente en el cual se desarrolla el cultivo.

a : Pendiente de la regresión lineal

b : Ordenada al origen o intercepto

x : Tiempo (días)

La derivada con respecto al tiempo (x) permitió obtener la tasa de crecimiento del cultivo (TCC)

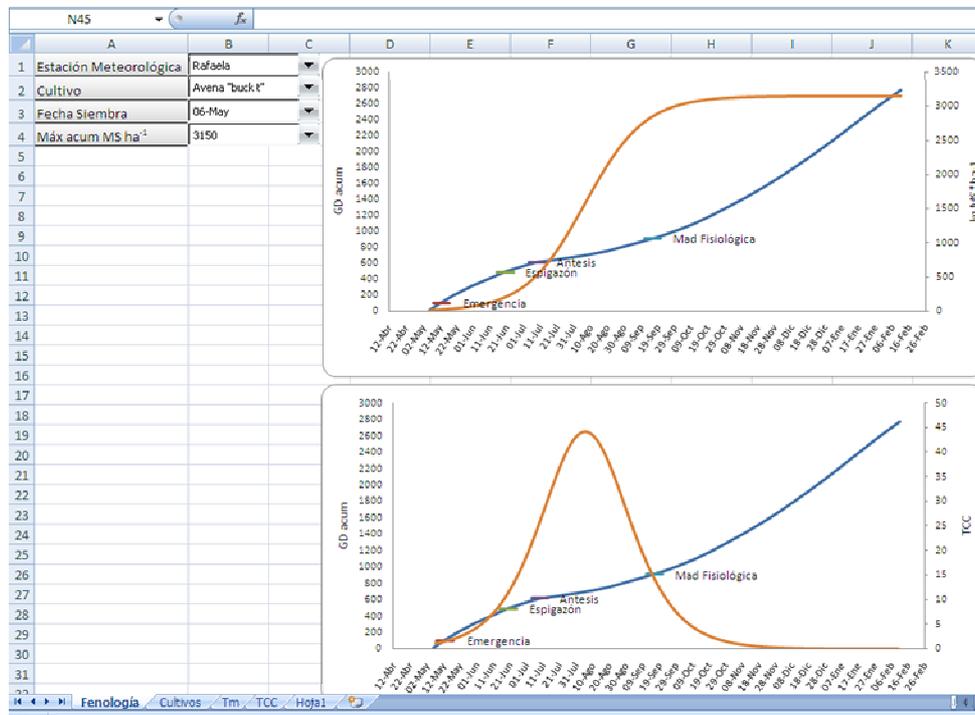
$$TCC = \frac{dx}{dt}$$

|    | A      | B   | C                | D     |
|----|--------|-----|------------------|-------|
| 1  | Fecha  | DDS | kg MS*ha-1 día-1 | TCC   |
| 2  | 06-May | 0   | 18,42            |       |
| 3  | 07-May | 1   | 19,48            | 1,114 |
| 4  | 08-May | 2   | 20,59            | 1,178 |
| 5  | 09-May | 3   | 21,77            | 1,245 |
| 6  | 10-May | 4   | 23,01            | 1,315 |
| 7  | 11-May | 5   | 24,33            | 1,390 |
| 8  | 12-May | 6   | 25,72            | 1,468 |
| 9  | 13-May | 7   | 27,19            | 1,552 |
| 10 | 14-May | 8   | 28,74            | 1,639 |
| 11 | 15-May | 9   | 30,38            | 1,732 |
| 12 | 16-May | 10  | 32,11            | 1,829 |
| 13 | 17-May | 11  | 33,94            | 1,932 |
| 14 | 18-May | 12  | 35,87            | 2,041 |
| 15 | 19-May | 13  | 37,91            | 2,156 |
| 16 | 20-May | 14  | 40,07            | 2,277 |
| 17 | 21-May | 15  | 42,34            | 2,404 |
| 18 | 22-May | 16  | 44,75            | 2,539 |
| 19 | 23-May | 17  | 47,29            | 2,680 |
| 20 | 24-May | 18  | 49,97            | 2,830 |
| 21 | 25-May | 19  | 52,80            | 2,987 |
| 22 | 26-May | 20  | 55,78            | 3,153 |
| 23 | 27-May | 21  | 58,94            | 3,328 |
| 24 | 28-May | 22  | 62,26            | 3,511 |
| 25 | 29-May | 23  | 65,78            | 3,705 |
| 26 | 30-May | 24  | 69,48            | 3,909 |

Por último, los datos son presentados para una mejor visualización e interpretación en forma de gráficos de dispersión, en cuyo eje horizontal se ubican los días en que transcurre el ciclo, en el eje vertical principal se sitúan los datos de acumulación térmica, para ambos gráficos, diferenciándose en que, en el eje vertical secundario del

|                 | Fecha  | DDS |
|-----------------|--------|-----|
| Siembra         | 06-May | 0   |
| Emergencia      | 13-May | 8   |
| Espigazón       | 20-Jun | 46  |
| Antesis         | 09-Jul | 65  |
| Mad Fisiológica | 16-Sep | 134 |

primero, se emplazan los valores de acumulación de materia seca ( $\text{kg de MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) a lo largo del ciclo del cultivo; y en el segundo, la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC). Además se presenta una tabla que hace referencia a los principales estados fenológicos, a la fecha aproximada y los días después de la siembra de ocurrencia de los mismos.



### Conclusiones.

Este programa es de gran utilidad, muy sencillo de utilizar y de fácil análisis de los resultados. Además es una herramienta que posibilita a los profesionales asesores de las empresas tamberas el cálculo de fechas probables de los diversos estados fenológicos para las pasturas implantadas y del comportamiento de las mismas en los distintos ambientes.

### Bibliografía básica.

- Cátedra de Agromática. FCA. UNL.
- Cátedra de Cultivos Extensivos. Práctico "Elección de fecha de siembra" FCA. UNL.
- Rodríguez, R y otros. "Estadística Agroclimática Decadial Interactiva serie 1971-2000". INTA, Marzo 2004.