



Tecnicatura Universitaria en Agroecología

**Tecnicatura Universitaria en Cultivos Protegidos y
Ambientes Controlados**

Agroclimatología y Agrometeorología

Guía de estudio

Equipo docente

Profesora titular

Ing. Agr., Dra. Susana Martínez

Profesora adjunta

Ing. Agr., Dra. Mariana Garbi

Jefes de trabajos prácticos

Ing. Agr., M. Sc., Dra. María Pincioli

Ing. Agr., Dra. Lucrecia Puig

Ing. Agr. María Eugenia Sánchez de la Torre

Ayudantes diplomados

Ing. Agr. María Herminia Abre

Ing. Agr. Marco D'Amico

Ing. Agr. Delfina Guaymasí

Docente adscripta

Ing. Agr. Luciana Dell'Arciprete

Agroclimatología y Agrometeorología

Programa

Unidad didáctica 1. Medio físico y biósfera

Tiempo y clima: concepto, definiciones. Elementos y factores. El medio físico: a) La atmósfera, composición, características, efecto invernadero natural y antropogénico; b) El suelo: composición, características, el clima del suelo. La biosfera. Superficie activa de intercambio: intercambios de calor y agua: balance calórico y balance hidrológico. Cambio y variabilidad climática: concepto, implicancias en la producción agropecuaria.

Bibliografía básica:

- Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. 1996. La atmósfera. Composición y distribución vertical. En: Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.). Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. pp. 23-30. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*
- De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. 1973. I. Meteorología. Climatología. Atmósfera. En: De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. pp. 1–8. *Biblioteca central.*
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. II. Aplicación agrícola de la Climatología. . En: De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. pp. 9–13. *Biblioteca central.*
- Garabatos, M. 1991. Temas de Agrometeorología. Tomo 1: Naturaleza de la Agrometeorología. Unidad de Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Edición del Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. 98 pp. *Biblioteca Central.*
- Martínez, S. y Garbi, M. 2021. Climatología y Fenología Agrícola. Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícola. del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 232 pp. *Disponible en Aula Virtual del Curso.*
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. 2013. Capítulo II El sistema climático. En: Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. pp. 7-11. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

Unidad didáctica 2. Componentes y adversidades del tiempo y clima

Radiación solar, temperatura del suelo y el aire, humedad atmosférica, precipitación (lluvia, granizo). Importancia biológica y meteorológica. Medición. Caracterización. Heladas: tipos, régimen agroclimático de heladas. Protección de cultivos contra heladas: métodos directos e indirectos. Métodos de lucha contra granizo. Evaporación y evapotranspiración: concepto, causas y factores. Evapotranspiración potencial y real. Estimación de la evapotranspiración potencial. Medición de la evaporación y evapotranspiración. El balance hidrológico del suelo: elementos, fórmulas y tipos de balance. Sequía: concepto meteorológico y agrometeorológicos, tipos.

Bibliografía básica:

- Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.) 1996. Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca central*.
- Martínez, S. y Garbi, M. 2021. Climatología y Fenología Agrícola. Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícola. del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 232 pp. *Disponible en Aula Virtual del Curso*.
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar*.

Unidad didáctica 3 – Clima argentino

Principales características y causa determinantes del clima argentino: latitud, continentalidad, relieve, suelo y vegetación, sistemas béricos, corrientes marinas, otros. Regiones agrícolas, forestales y ganaderas. Características climáticas de la región.

Bibliografía básica:

- De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícola. Buenos Aires, Argentina: Editorial EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca Central*.
- Martínez, S. y Garbi, M. 2021. Climatología y Fenología Agrícola. Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícola. del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 232 pp. *Disponible en Aula Virtual del Curso*.
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar*.
- Pincioli, M.; Pardi, M. y Sánchez de la Torre, M.E. 2021. Caracterización climática regional. En Martínez, S.; Carbone, A. y Garbi, M. (Coords.). Producción hortícola periurbana. Aspectos técnicos y laborales. Libros de Cátedra. Edulp. pp. 10-25. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/120969/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bibliografía complementaria:

- Burgos, J.J. 1963. Las heladas en la Argentina. Buenos Aires, Argentina: Colección Científica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 388 pp. *Biblioteca Central*.
- Grossi Gallegos, H. y Righini, R. 2007. Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján. 74 pp. Disponible en: <http://www.gersolar.unlu.edu.ar/?q=node/8>

Unidad didáctica 4 – El clima y la agricultura

Fenología: definición, divisiones, campo de acción, conceptos. Observación fenológica: registros fenológicos. Observaciones fenométricas sobre el crecimiento y desarrollo en plantas. Exigencias y tolerancias meteorológicas y climáticas de los cultivos con relación a las fases y subperíodos. Periodos críticos y de latencia. Elementos que determinan el crecimiento y desarrollo de los seres vivos.

Bibliografía básica:

- Garabatos M. 1991. Temas de Agrometeorología. Tomo 2: Elementos climáticos que incitan el crecimiento y los fenómenos periódicos de las plantas verdes. Buenos Aires, Argentina: Edición del Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. 210 pp. *Biblioteca Central*.

- Martínez, S. y Garbi, M. 2021. Climatología y Fenología Agrícola. Actualización del Apunte de Climatología y Fenología Agrícola. del CEA 1979, basado en las clases teóricas del Ing. Agr. Edmundo Damario. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. 232 pp. *Disponible en Aula Virtual del Curso.*
- Pascale, J.A. y Damario, E.A. 2013. Fundamentos de Bio y Agroclimatología. En Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. pp. 181-194.
- Pascale, J.A. y Damario, E.A. 2013) Acción de los elementos meteorológicos sobre los cultivos. En En Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. pp. 239-265.

Bibliografía complementaria:

- CIREN CORFO. 1989. Publicación CIREN N° 85. Requerimientos de clima y suelo. Disponible en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Requerimientos-de-clima-y-suelo.-Chacras-y-hortalizas-1989c.pdf>.
- Garbi, M. 2021. Fenología y bioclimatología de los principales cultivos hortícolas. En Martínez, S.; Carbone, A. y Garbi, M. (Coords.). Producción hortícola periurbana. Aspectos técnicos y laborales. Libros de Cátedra. Edulp. pp. 64-92. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/120969/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pardi, H.M. y Asborn, M.D. 2004. Métodos de estimación de horas de frío efectivas. Su relación con las horas de frío reales y las temperaturas mínimas medias. En: *X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología*. Mar del Plata: AADA. Disponible en: <http://agro.unc.edu.ar/~clima/AADA/Congresos/MDQ/215.htm>.

Cronograma de actividades

Clase	Tema
1 7/08	TIEMPO Y CLIMA Tiempo y clima. Estructura de la atmósfera. Elementos y factores (definición y clasificación). Fuentes de información climática y meteorológica. Cambio y variabilidad climática.
2 14/08	OBSERVACION METEOROLOGICA Y FENOLOGICA (EE Julio Hirschoorn) Fenología y bioclimatología agrícola. Fundamentos de la observación meteorológica y fenológica.
3 21/08	RADIACIÓN SOLAR Importancia biológica y meteorológica. Factores que inciden sobre la radiación solar. Bioclimatología agrícola: clasificación de las plantas según sus requerimientos en radiación y horas de luz. Clima argentino: radiación.
4 28/08	TEMPERATURA DEL AIRE Y EL SUELO Importancia biológica y meteorológica. Factores que inciden sobre la temperatura (con énfasis en la Argentina). Bioclimatología agrícola: temperaturas cardinales, grados-día, horas de frío. Clima argentino: valores térmicos. Importancia de la temperatura en la determinación de regiones productivas
5 4/09	HUMEDAD DEL AIRE - PRECIPITACIÓN Importancia biológica y meteorológica. Factores que inciden sobre la humedad del aire y la precipitación. Granizo. Clima argentino: precipitación.
6 11/09	EVAPOTRANSPIRACIÓN – BALANCE DE AGUA EN EL SUELO - SEQUÍA ER y ETP: definición, factores. Agua en el suelo: conceptos de almacenaje, exceso, déficit. Balance hidrológico: aplicación. Sequía: tipos, métodos de lucha. Importancia del régimen hídrico en la determinación de regiones productivas.
7 18/09	HELADAS Definición- Tipos, régimen agroclimático de heladas. Protección de cultivos contra heladas: métodos directos e indirectos. Clima argentino: régimen de heladas. Importancia de las heladas en la determinación de regiones productivas
8	Evaluación integradora (a definir)
	Recuperatorio evaluación integradora (a definir)
	Flotante (a definir)

Agroclimatología y Agrometeorología

Medio físico y biósfera

La biosfera es la capa constituida por agua (hidrósfera), tierra (litósfera) y una masa delgada de aire (atmósfera), y en la cual se desarrollan los seres vivos, constituye el agroecosistema.

Todos los organismos vivientes necesitan que la biósfera en que viven les provea ciertas condiciones de temperatura, humedad, radiación solar, etc. Es por ello por lo que los cultivos y/o razas ganaderas posibles en un lugar están determinados por las condiciones atmosféricas favorables o desfavorables. Asimismo, las grandes formaciones vegetales han sido determinadas por los elementos actuantes o el clima. Esto no significa que dos lugares con iguales condiciones atmosféricas tengan iguales vegetales; pero sí que iguales formaciones vegetales naturales son producto de la actuación de iguales condiciones atmosféricas. Esas mismas condiciones son las que caracterizan otro elemento importante: el suelo. Las condiciones de fertilidad de un suelo dependen de su clase, sus variaciones a través del tiempo, y de cómo inciden las condiciones atmosféricas.

La atmósfera

Los fenómenos agrometeorológicos se desarrollan en la atmósfera y el suelo. Es de sumo interés el intercambio de energía y agua que se opera a través de la superficie de separación entre la atmósfera y el suelo.

La atmósfera es la envoltura gaseosa que rodea a la tierra, y está formada por una mezcla de gases, y otros elementos no gaseosos, como polvo atmosférico, seres microscópicos o partes de seres macroscópicos (Tabla 1).

Estos elementos casi no varían en los 12 primeros km; en esa zona los movimientos verticales del aire determinan una mezcla y la consiguiente homogeneidad.

Tabla 1. Composición gaseosa de la atmósfera

Componentes gaseosos (sobre volumen de aire seco)		Componentes no gaseosos
<i>Componentes fijos</i>	<i>Componentes variables</i>	<i>Polvo atmosférico:</i>
Nitrógeno 78,08 %	Vapor de agua 0 a 4 %	Cenizas volcánicas
Oxígeno 20,94 %	Dióxido de carbono 0,036 %	Tierra muy fina
Argón 0,93 %	Metano 0,00017 %	Hollín
Neón 0,0018 %	Óxido nitroso 0,00003 %	
Helio 0,0005 %	Ozono 0,000004 %	<i>Materia viva</i>
Hidrógeno 0,00005 %	Clorofluorocarbono 0,00000002 %	<i>microscópica:</i>
Criptón indicios		Bacterias, hongos
Xenón indicios		Esporos de hongos
		Polen

El oxígeno se encuentra como O^0 (en capas superiores), O_2 y O_3 . El O_3 (ozono) es capaz de absorber e interceptar las radiaciones ultravioletas del sol, nocivas para la vida. Ese ozono es de baja concentración en capas bajas, pero entre los 25 y 30 km de altura hay una capa de acumulación.

El CO_2 producido por la respiración de los animales y los vegetales tiene, desde el punto de vista biológico, la importancia de mantener la vida. Desde el punto de vista meteorológico, el CO_2 absorbe la radiación calorífica.

Hay otros constituyentes en el aire puro, por ejemplo, el H_2O (puede estar en 3 formas: líquida, gaseosa y sólida, como cristales de hielo, en nubes muy altas). Desde el punto de vista meteorológico es muy importante, pues el agua al pasar de un estado a otro es una fuente de producción o absorción de energía. Además, el agua absorbe radiaciones caloríficas (infrarroja o de onda larga), contribuyendo al efecto invernadero natural, como se explicará más abajo.

Otro componente atmosférico está constituido por elementos no constantes en la atmósfera: las impurezas (sólidas). Son: polvo atmosférico, tierra, hollín (proveniente de las combustiones) y en especial, una cantidad grande de sales; en especial porque allá comienza la condensación del vapor de H_2O . Sin ellas no habría condensación. Normalmente, el vapor de agua, para pasar a líquido, necesita de esas partículas llamadas "núcleos de condensación". No son visibles a simple vista, sino en conjunto, como bruma o niebla seca.

El conjunto de los gases que componen la atmósfera (sin contar las partículas sólidas) son elásticos y compresibles (todos los gases lo son), y ejercen una

presión o peso. El peso del aire se manifiesta sobre la superficie terrestre como presión atmosférica. A medida que ascendemos, la presión atmosférica disminuye, pues disminuye la densidad del aire y el espesor de las capas de gases. Por lo tanto, disminuye considerablemente la presión atmosférica. Si a nivel del mar es aproximadamente de 1 kg.cm^{-2} , a los 5.000 m de altura es la mitad, y a los 10.000 m la cuarta parte.

En la atmósfera se produce también una modificación de la temperatura con la altura, lo que se llama estratificación atmosférica. Esa división tiene en cuenta la temperatura de cada capa y el movimiento prevalente de las corrientes de aire que componen estas capas (Figura 1). En esta estratificación, se encuentran:

Tropósfera (0-12 km): es la parte de la atmósfera caracterizada por los mayores movimientos verticales del aire, que hacen una mezcla total de los gases. Allí se desarrollan la mayor parte de los procesos meteorológicos y principalmente los del agua. Por ejemplo, las nubes más altas están entre los 10 y 12 km de altura. Dentro de la tropósfera, la disminución de la temperatura con la altura es de $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de altura (gradiente¹ normal de temperatura). Esa disminución de la temperatura con la altura obedece a que el aire no se calienta por efecto de la radiación solar, y que solo se enfría o calienta con el contacto con la superficie. Por lo tanto, la temperatura será mayor en la superficie que en capas superiores. El efecto del calor de la superficie terrestre se extiende hasta el fin de la tropósfera, más allá lo determinan otra serie de circunstancias.

Esta capa, y particularmente la capa inferior, es la de mayor interés pues en ella se desarrolla la mayor parte de la vida vegetal, y donde la temperatura, humedad, etc., posibilita la producción agropecuaria.

Tropopausa: límite en el que culmina la tropósfera. Su altura varía entre 8 km en los polos y 12 km en el ecuador. La disminución de la temperatura con la altura termina y comienza una capa donde la temperatura no desciende con la altura.

Estratosfera: se extiende desde la tropopausa hasta 80 km de altura. Se caracteriza por movimientos horizontales del aire. La estratosfera tiene dos zonas:

Isotérmica: entre los 12 y 35 km, en la que no hay variación de la temperatura con la altura

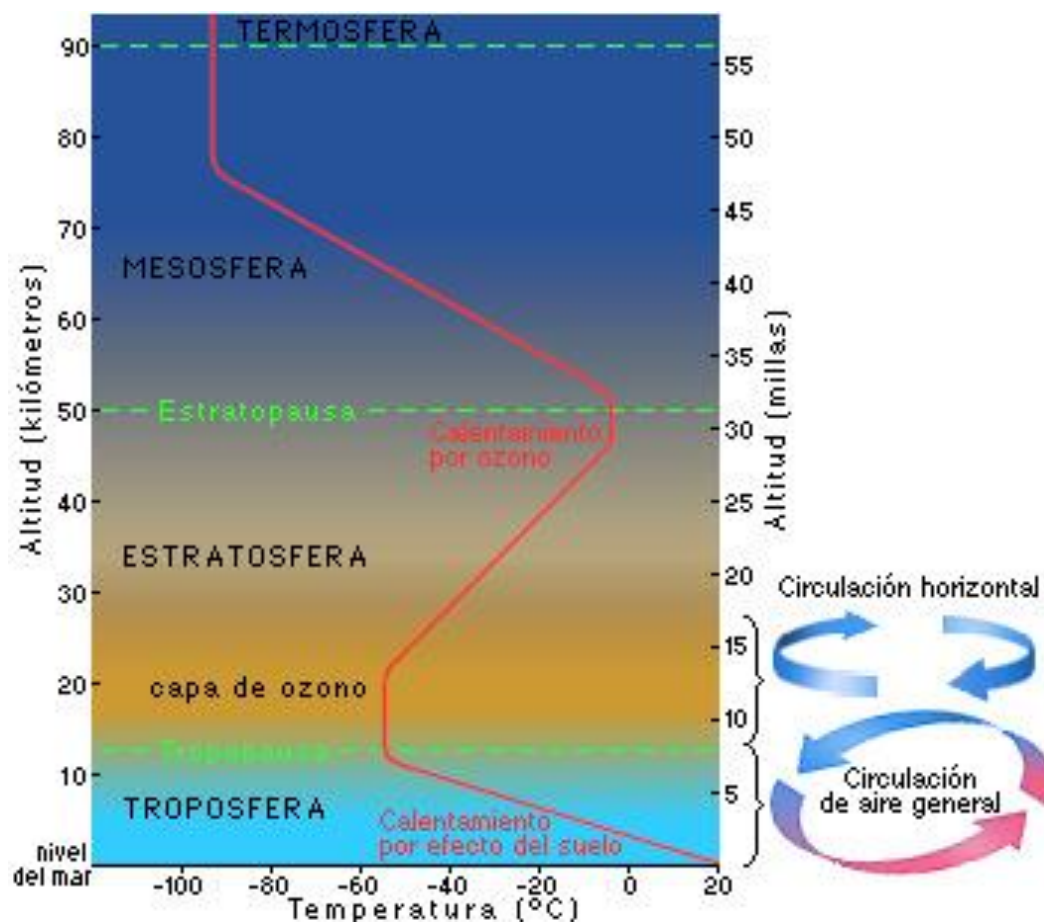
¹ Gradiente: variación de un elemento con la distancia vertical u horizontal

Caliente: entre los 35 y 50 km, donde la temperatura asciende en forma marcada, hasta una diferencia de 130 °C en 10 km (desde -50 hasta +80 °C). Se supone que aquí se disuelven los meteoros. La alta temperatura parece ser como consecuencia de la absorción de radiaciones ultravioleta solares, por el ozono, lo que elevaría la temperatura.

Mesósfera: la temperatura comienza nuevamente a disminuir con la altura y comienza un gradiente casi constante de disminución con la altura.

Ionósfera: hasta los 800 km

Exósfera: la densidad se hace 0, y aunque muy enrarecido, todavía hay aire. Es la zona de la atmósfera donde se desarrollan las auroras².



Fuente de la imagen: Capas de la atmósfera. Proyecto Biósfera. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Gobierno de España. Disponible en http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/profesor/galeria_imagenes/images/Gratmosf.jpg

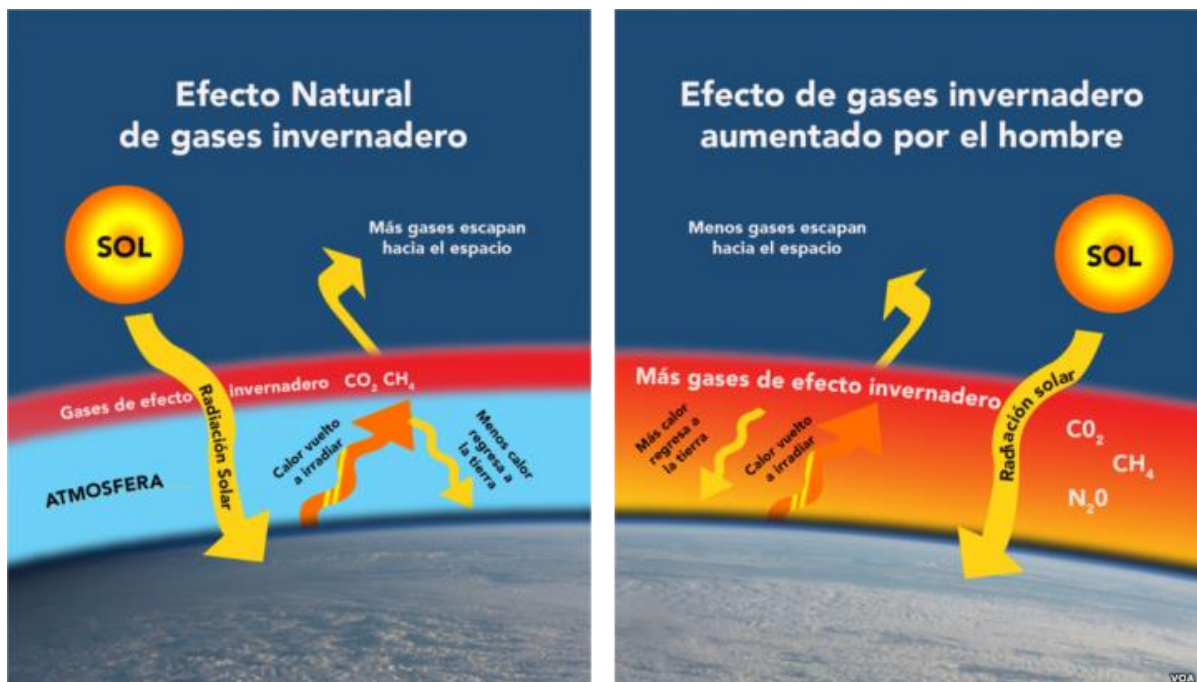
Figura 1. Capas de la atmósfera y variación de la temperatura con la altura

² ¿Qué es una aurora?: <https://spaceplace.nasa.gov/aurora/sp/>

Efecto invernadero

Efecto invernadero natural: fenómeno natural que ocurre en la Tierra, gracias al cual la temperatura del planeta es compatible con la vida. Este efecto se produce por la presencia en la atmósfera de gases con efecto invernadero (GEI), que son aquellos mencionados como de composición variable (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, vapor de agua). Los gases con efecto invernadero permiten, sin mayores obstáculos, la llegada de la radiación solar (radiación de onda corta) a la superficie terrestre, la que se calienta y emite rayos infrarrojos (ondas caloríficas) que son absorbidos y re-emitidos por estos gases. Esto posibilita la vida en la tierra, dado que sin este efecto la temperatura del planeta adquiriría valores de temperatura mayores a 95 °C durante el día y menores a - 180 °C durante la noche, en lugar de permitir que en la superficie terrestre la temperatura media anual se mantenga en el orden de los 14 °C (Figura 2).

Efecto invernadero antropogénico: fenómeno provocado por el hombre, mediante la emisión de gases con efecto invernadero (GEI) que aumentan el fenómeno natural (Figura 2). Estos gases no sólo son importantes por su concentración, sino por el tiempo de permanencia en la atmósfera



Fuente de la imagen. Ecología hoy. Disponible en: <https://ecologiahoy.net/efecto-invernadero/efecto-invernadero/>

Figura 2. Esquema del efecto invernadero natural y antropogénico

En la Tabla 2 se presentan las fuentes naturales y antropogénicas de gases con efecto invernadero.

Tabla 2. Gases con efecto invernadero: fuentes naturales y antropogénicas

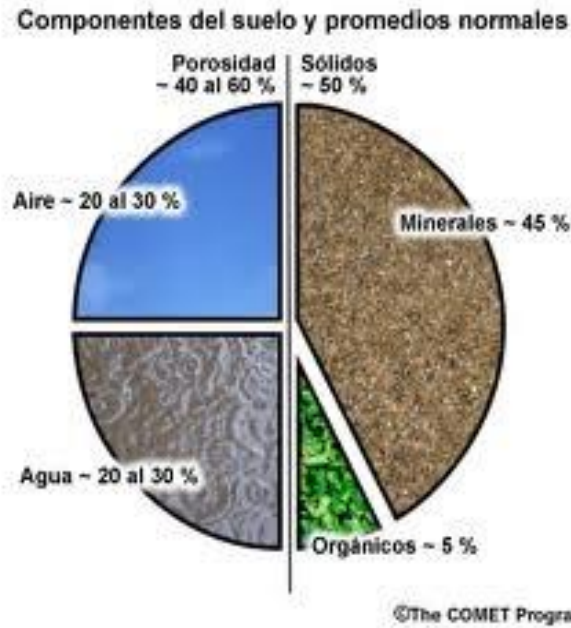
GEI	Fuentes naturales	Fuentes antropogénicas
Dióxido de carbono	Erupciones volcánicas Incendios forestales naturales Descomposición de materia orgánica en presencia de oxígeno Respiración	Combustión de combustibles fósiles (cerca del 60% de los GEI antropogénicos) Permanencia en atmósfera: 100 – 150 años
Metano	Humedales Descomposición de materia orgánica en ambientes anaeróbicos Océanos	Extracción y quema de combustibles fósiles Cría de ganado Arrozales Permanencia en atmósfera: 15 años
Óxido nitroso	Acción microbiana sobre compuestos nitrogenados Ecosistemas naturales Océanos	Uso irracional de fertilizantes nitrogenados Quema de combustibles Fabricación del nylon Permanencia en atmósfera: 100 – 150 años
Vapor de agua	Indirectamente influenciada por la acción del hombre, por el aumento de la temperatura	

El suelo

El suelo es el asiento de plantas y el medio de reacciones biológicas. Hay dos elementos o caracteres fundamentales que deben ser estudiados con preferencia: las variaciones de temperatura y las de humedad. Estos elementos y sus variaciones forman el clima del suelo.

El suelo es un sistema disperso con 50% en volumen de materia sólida (compuestos orgánicos y minerales), 25% de agua (humedad) y el otro 25% de aire (Figura 3).

La composición del aire del suelo es aproximadamente igual a la de la atmósfera y hay un intercambio constante entre ambos. Sin embargo, el aire del suelo tiene una composición alterada por los procesos de descomposición y respiración que se realizan dentro de ese suelo. Tal es así que el aire del suelo tiene una cantidad aproximada de N de 78%, pero la cantidad de O es menor (10-20%), con una cantidad elevada de CO₂ hasta (10-15 % en volumen).



Fuente de la imagen. <https://sites.google.com/site/elsuelogaratreta/home/composicion>

Figura 3. Composición del suelo

Dentro de todo ese medio constituido por la atmósfera, por un lado, y por el suelo por el otro, hay un constante intercambio de energía, es decir de calor. Ese intercambio se opera principalmente a través de la línea límite de capas del aire o atmósfera, y el suelo por la otra. Esa es la superficie activa de intercambio que puede estar constituida por suelo firme, agua, la parte superior de la cubierta de nieve, o de la parte superior de la cubierta vegetal.

Elementos de meteorología y climatología

Tiempo y clima

Clima: estado atmosférico normal medio más frecuente en un lugar. El clima es el conjunto de los estados del tiempo que caracterizan las condiciones atmosféricas en un punto de la superficie terrestre, y que se expresan a través de sus valores medios o promedios normales, valores extremos y frecuencia con que éstos se presentan.

Ejemplo: clima de junio de Buenos Aires, sin hacer referencia a un año determinado. Es decir, se refiere a las condiciones más frecuentes y normales que suelen presentarse en una época del año, en un lugar. El estudio del clima es materia de estudio de la Climatología.

El clima de un lugar, y los fenómenos que lo rigen, se caracteriza a partir de datos climáticos (estadísticas climáticas). Se trata de datos que surgen de trabajar con registros acumulados una serie larga de años (mínimo de 30 años), calculando para un lugar sus valores promedios o normales, probabilidad de que los valores efectivos se aparten más o menos del normal y los límites extremos entre los cuales los apartamientos pueden oscilar.

Tiempo: estado que caracteriza a la atmósfera presente en un momento dado o determinado, en un momento breve (un día, una semana, un mes). Se refiere a un estado transitorio de la atmósfera, que puede ser representativo o no del lugar.

Ejemplo: el día 15 de enero de 2021 en Mendoza fue cálido y seco. El estudio del tiempo atmosférico es materia de estudio de la Meteorología.

Para conocer el tiempo de un lugar, se trabaja con datos meteorológicos. Son datos puntuales obtenidos en un tiempo breve (una hora, un día, una semana, un mes, un año). Estos datos se utilizan en la confección de cartas del tiempo, pronósticos, etc.

Tomando como base estas definiciones, la Agroclimatología o Climatología agrícola y la Agrometeorología o Meteorología Agrícola cubren los aspectos del conocimiento de la acción de los procesos atmosféricos (tiempo) y del clima sobre la producción agropecuaria y forestal.

Componentes del tiempo y el clima: elementos y factores

Un clima queda caracterizado cuando se enumeran o expresan categóricamente los valores de los distintos fenómenos meteorológicos que se presentan. Esos componentes que caracterizan el estado de la atmósfera se denominan elementos. Los elementos del tiempo y el clima son:

Continuos o permanentes: aquellos que siempre se encuentran presentes en la atmósfera de un determinado lugar, por ejemplo:

Radiación solar
Temperatura
Presión atmosférica
Humedad o estado higrométrico
Evaporación

Discontinuos o aperiódicos: todos aquellos que no poseen una presencia constante en la atmósfera, por ejemplo:

Nubosidad
Precipitación
Viento

Los elementos se pueden presentar con distinta magnitud sobre los distintos lugares, como consecuencia de la acción de los factores del clima.

Factores: Son las causas que producen variaciones o modificaciones sobre los elementos. Pueden clasificarse según su origen de la siguiente manera:

Factores de orden astronómico

Los factores de carácter astronómico inciden fundamentalmente sobre la forma en que se recibe la radiación en la superficie terrestre, y son:

Movimientos de la tierra en el espacio: movimientos de rotación y traslación que determinan las estaciones y la duración de los días y las noches

Factores de orden geográfico

Latitud: define la posición de un sitio con respecto al sol y, por lo tanto, la inclinación de recepción de los rayos solares sobre la superficie terrestre (podría considerarse también como un factor de orden geográfico)

Distribución de tierras y mares: incide sobre la temperatura, dado que ésta se eleva más fácilmente sobre los continentes que sobre los mares. Las pérdidas

también son más rápidas sobre los continentes. En función de la proporción de tierras y mares, en el hemisferio sur se menciona un efecto de oceanidad y en el hemisferio norte un efecto de continentalidad. La menor distancia al mar (oceanidad) determina temperaturas más moderadas y con menor oscilación térmica que hacia el interior del continente. Además, con el aumento de la distancia a un océano, disminuye la humedad y por consiguiente las precipitaciones.

Altura sobre el nivel del mar: este factor influye sobre la temperatura y sobre la precipitación. Al aumentar la altitud, la temperatura disminuye 0,65 °C cada 100 m. Por otra parte, cuando los vientos húmedos provenientes de una región encuentran una cadena de montañas, se ven obligados a elevarse. En esa elevación, la masa de aire disminuye su temperatura, y a un determinado nivel puede quedar saturada de vapor de agua, si el proceso continúa, se inicia la precipitación. Así, en las laderas expuestas a vientos húmedos, la cantidad de lluvia aumenta con la altura hasta aproximadamente los 900 a 2500 msnm; y a partir de esa altura disminuye abruptamente por el bajo nivel de humedad. Por otra parte, en los altiplanos, la atmósfera es poco densa y muy transparente. De esta manera, la cantidad de calor que reciben durante el día es muy grande, produciendo también grandes pérdidas de calor por la noche.

Corrientes marinas u oceánicas: son movimientos de masas de agua que se dan en los océanos o en los mares más extensos. Su formación se debe al movimiento de rotación de la tierra, los vientos, la geografía de los continentes y las diferencias de salinidad o temperatura. Pueden ser frías o cálidas e inciden sobre la distribución de la temperatura, influyendo sobre las isotermas³ anuales. Según su característica, influyen sobre la temperatura de los territorios a los que se aproximan. Por ejemplo, paralela a la costa de Chile y Perú existe una corriente fría que corre de sur a norte, determinando que la costa del Pacífico en Sudamérica tenga una temperatura media anual más baja que las costas del Atlántico.

Barreras orográficas: la presencia de cadenas montañosas influye sobre la distribución de las lluvias, por las causas que se explicaron cuando se desarrolló la influencia de la altitud sobre los elementos del tiempo y el clima. Ocasionalmente, sobre los grandes sistemas montañosos pueden desarrollarse vientos fuertes, intensos, secos, cálidos.

³ Isoterma: línea que en los mapas meteorológicos une los puntos de lugares de la superficie terrestre que tienen la misma temperatura media anual.

Factores de orden meteorológico

Distribución de la presión atmosférica sobre la superficie terrestre: las diferencias de presiones entre regiones vecinas dan origen a los vientos. El viento sopla siempre desde las altas hacia las bajas presiones. Los vientos pueden contener humedad variable, según provenga de lugares con masas de agua o no, por lo que, dependiendo de esto, pueden darse precipitaciones o no. El viento puede modificar también las condiciones térmicas de un lugar.

Factores de orden local o microfactores

A nivel local pueden darse condiciones de relieve, tipo de suelo, cobertura del suelo, etc. que van a actuar sobre la forma en que se recibe la radiación solar y su cantidad, así como en el grado de exposición a los vientos dominantes, entre otros elementos. Así, son de importancia: la topografía local, el tipo de suelo (arenoso, arcilloso, agua, hielo) y el tipo de cobertura de la superficie (cubierta vegetal, hielo, nieve).

Cambio y variabilidad climática: concepto, implicancias en la producción agropecuaria⁴

El clima ejerce una enorme influencia en la naturaleza y en nuestras vidas, determina en gran medida la fauna y la flora de cada lugar, la cantidad de agua dulce disponible, los cultivos e incluso influye en la cultura y medios de vida de cada región del mundo.

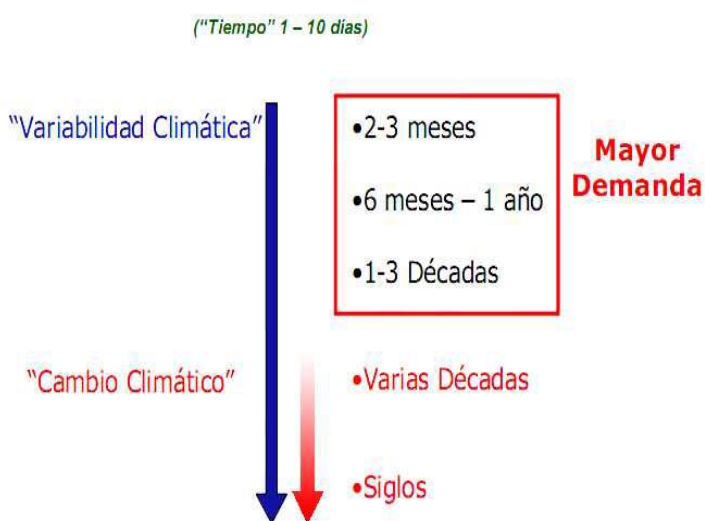
Pero ¿Qué se entiende por cambio climático y variabilidad climática? Es interesante diferenciar estos dos conceptos. Cuando se habla de cambio climático se hace referencia a variaciones importantes en alguno de los componentes del sistema que producen una alteración en su equilibrio, dando lugar a un equilibrio nuevo, el sistema no vuelve ya a su estado anterior, estos cambios se mantienen en el tiempo y en el espacio.

Contrariamente, se denomina variabilidad climática a perturbaciones que oscilan alrededor de un valor climático medio. Se refiere a cambios que se dan en forma aleatoria o con una periodicidad de pocos años. Un ejemplo de variabilidad climática es el fenómeno ENSO (El Niño Oscilación Sur, siglas en inglés).

El ENSO se refiere tanto al evento de El Niño como de La Niña, es cíclico, tiene inicio y tiene fin. Su intensidad está dada por el nivel de calentamiento que tiene el océano Pacífico tropical en una región específica utilizada como referencia

Cambio climático

Según científicos del Panel Internacional sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), si la tendencia observada hasta la actualidad continúa, la temperatura global aumentará entre 3 °C y 5 °C para el año 2100 con respecto a los niveles preindustriales. Este aumento de la temperatura producido fundamentalmente, por efecto invernadero antropogénico trae graves consecuencias en los distintos sistemas.



⁴ Material elaborado por la Dra. María Pincioli



Manifestaciones del cambio climático

Estas consecuencias consisten en modificaciones en los patrones de lluvia, el alza en el nivel del mar, la reducción y la pérdida de la criósfera y los cambios en la ocurrencia e intensidad de los eventos climáticos extremos, como aumento en la frecuencia y duración olas de calor, sequías e inundaciones debido al aumento en la frecuencia, intensidad y cantidad de episodios de precipitaciones intensas a escala mundial.

Según los expertos, las acciones que deben seguirse son la mitigación y la adaptación. Se entiende por mitigación al conjunto de acciones humanas que buscan reducir la emisión de gases efecto invernadero (GEI) y mejorar sus sumideros y adaptación es el proceso de ajuste al clima actual o esperado y sus efectos.

Entre las medidas de mitigación pueden mencionarse: impulsar proyectos de mayor eficiencia y de cambio en la matriz energética, reducir las emisiones generadas por la deforestación y la degradación de bosques, el establecimiento de fondos y fideicomisos verdes con la finalidad de financiar la adquisición de nuevas tecnologías aplicables a los sectores productivos que generan mayor contaminación. La participación en el mercado de carbono y la aplicación de impuestos sobre las emisiones de carbono (aunque estos instrumentos aún no tienen una presencia importante en América Latina).

Entre las medidas de adaptación figuran: generar fuentes de energía renovable, sistemas de transporte más eficientes, motores eléctricos más eficientes, ciudades más arboladas, manejo forestal sostenible, gestión de residuos y dentro del sector agrícola: recuperación de pastos degradados con pasturas mejoradas, conservación de la biodiversidad, manejo silvopastoril, producción agrícola en invernaderos para protección de cultivos, manejo integrado y ecológico de plagas, mejora de los reservorios de agua y de la infraestructura para la captación de agua de lluvia.

Finalmente, es importante pensar que los impactos del cambio climático son heterogéneos en la población y generalmente impactan con mayor fuerza a aquella población que pertenece a los grupos de ingresos más bajos, a la

población infantil y a la población de edad avanzada, a pesar de que ellos no sean los principales emisores de GEI, pero también impactan en nuestra economía como nación.

Bibliografía:

- Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. 1996. La atmósfera. Composición y distribución vertical. En: Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.). Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. pp. 23-30.
- De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA.
- Garabatos, M. 1991. Temas de Agrometeorología. Tomo 1: Naturaleza de la Agrometeorología. Unidad de Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Edición del Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. 98 pp.
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía.
- Cepal - Unión Europea 2022. Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_medidas_de_mitigacion_y_adaptacion.pdf
- Cepal (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014. La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y Desafíos del Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, Santiago, Chile.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Final Draft Underlying Scientific Technical Assessment, Stockholm, Sweden.
- IPCC 2018. 48ª reunión del ICPP, Resumen Técnico https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

Importancia biológica de los elementos del tiempo y el clima

Durante su ciclo evolutivo, a partir del nacimiento hasta su muerte en las plantas anuales, o desde la brotación hasta la maduración del fruto o semilla en las perennes, el vegetal sufre continuas transformaciones de volumen, peso, forma y estructura y, por consiguiente, sus exigencias respecto de los elementos meteorológicos serán distintas según el momento del ciclo en que se encuentra. Estas modificaciones no son graduales ni constantes, por lo que hay momentos denominados Fases del Crecimiento y Fases del Desarrollo.

El crecimiento de la planta, como el de cualquier otro organismo, es un incremento irreversible de tamaño, generalmente unido, a un incremento del peso sólido o seco y del volumen. El desarrollo lo constituyen los cambios en la forma, así como el grado de diferenciación y el estado de complejidad alcanzados por el organismo. Así, el crecimiento es, en términos generales, un proceso cuantitativo relacionado con el aumento en masa del organismo, mientras que el desarrollo es cualitativo y se refiere a los cambios experimentados por la planta.

La periodicidad de los elementos climáticos (temperatura, precipitación, radiación, etc.) trae como consecuencia una periodicidad análoga en la vida orgánica. Los vegetales reaccionan ante los cambios del medio circundante, observándose la aparición o desaparición de órganos (brotes, flores, frutos, etc.), que es una respuesta frente a la acción de los elementos climáticos. La ciencia que estudia estas dos periodicidades es llamada fenología.

La FENOLOGIA es el estudio de los fenómenos periódicos de los seres vivos como consecuencia de la marcha anual de los elementos meteorológicos, y es considerada como una rama de la Ecología

Aplicaciones de la fenología

Investigación biometeorológica de cultivos: a través de la observación de los cambios de apariencia que ocurren en un cultivo (observación de fases), ayuda al conocimiento de las exigencias y tolerancias de las especies desde el punto de vista meteorológico.

Conocimiento climatológico: la realización de observaciones fenológicas sobre la vegetación natural realizada a través de los años en diversos lugares, y analizada en función de datos meteorológicos, sirve para realizar caracterizaciones climatológicas regionales.

Actividad forestal: las observaciones realizadas sobre especies forestales autóctonas o exóticas, aisladas o en comunidad, son útiles para el ordenamiento y planificación de la explotación forestal, tanto en bosques naturales como implantados. Permite, por ejemplo, planificar épocas de recolección de semillas, realización de tareas como podas o tratamientos fitosanitarios, fijar períodos de peligro de incendio, diseñar cortinas forestales.

Pasturas y forrajeras: conocer el ciclo fenológico de las especies forrajeras permite planificar el pastoreo o descanso, así como aprovecharlas en los momentos de máxima oferta nutricional.

Fruticultura: permite seleccionar los mejores cultivares según su adaptabilidad a la climatología del lugar y en especies autoestériles o de floración diferenciada, seleccionar los cultivares polinizadores más adecuados.

Tratamientos fitosanitarios: el registro de las fechas de aparición y evolución de insectos plagas y sus enemigos naturales, así como la fase del cultivo en que se produce, permite programar tratamientos preventivos y de control de un modo racional, más compatible con el manejo integrado de plagas y enfermedades.

Apicultura: conocer las épocas de floración de especies melíferas permite organizar el trabajo en la apicultura, prever la calidad de la miel a producir y planificar la alimentación suplementaria de las abejas en épocas de escasez de flores.

Paisajismo: conocer la época de brotación, floración, etc. de las diversas especies utilizadas en parques y jardines ayuda a su planificación y diseño.

Aplicaciones médicas: la información sobre floración o aparición de órganos alergógenos de ciertas plantas es útil para el diagnóstico y prescripción a pacientes con problemas de alergias.

La Bioclimatología agrícola es una disciplina agrometeorológica que estudia el comportamiento de los cultivos ante el complejo atmosférico o ambiental en su lugar de cultivo. El estudio de estas exigencias meteorológicas permite como finalidad inmediata conocer la ubicación geográfica adecuada para el cultivo, de manera que se desarrolle en las mejores condiciones.

Cuando se realizan estudios de bioclimatología agrícola se requiere cierta información, como:

Observación de los elementos meteorológicos y climáticos (observación meteorológica): provenientes de estaciones meteorológicas.

Observaciones fenológicas: que consisten en registrar las fechas en que se producen los fenómenos periódicos en la vida vegetal y animal.

Observación meteorológica

La observación meteorológica es la medición y determinación, por apreciación visual o mediante instrumentos específicos, de los elementos del tiempo. Para ser válidas y comparables, estas observaciones deben cumplir ciertos requisitos. Las observaciones deben ser realizadas en momentos específicos del día para que puedan ser comparables con otras estaciones de observación. Los horarios establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) son los correspondientes a la hora de Greenwich⁵ (0° 6' longitud Este - hora Z o M UTC). En nuestro país, a esta hora se le deben restar 2 o 3 horas según la época del año (Meridiano 30° o 45°). Las observaciones diarias pueden tomarse en forma horaria, cada tres horas, cada cuatro horas, o una vez al día, dependiendo de la finalidad de la estación meteorológica. Las observaciones deben hacerse invariablemente en las horas indicadas y su ejecución en el menor tiempo posible.

La observación meteorológica tiene como fin inmediato la recopilación de datos que, cuando son obtenidos en entidades oficiales, se concentran en el Servicio Meteorológico Nacional para ser depurados y sometidos a diferentes procesos:

Proceso Elemental: obtención de promedios anuales, mensuales, valores diarios.

Procesos Secundarios: determinación de frecuencia, desvíos y cuartiles.

Procesos Terciarios: obtención de tendencias.

Estación meteorológica

Es el espacio donde se realiza la observación meteorológica. En él se encuentran los instrumentos destinados a la medición de los diferentes elementos del clima. Al momento de realizar las observaciones deben registrarse en primer lugar aquellos elementos que varían rápidamente (humedad y temperatura del aire), finalizando con los de menor variación (presión atmosférica).

⁵ Hora de Greenwich: <https://www.datosmundial.com/zonas-horarias/gmt-greenwich-mean-time.php>

Las observaciones se denominan *directas* cuando son realizadas por apreciación visual (visibilidad, nieblas, nubes) o lectura de un instrumento (termómetros, pluviómetro). Cuando los datos quedan registrados en el instrumento (termógrafo, pluviógrafo) se llaman lecturas registradas.

Las estaciones meteorológicas climáticas recopilan datos para el conocimiento del clima de un lugar. Las observaciones se realizan en forma ininterrumpida en registros estadísticos expresando valores medios. Estas observaciones se realizan en horas predeterminadas: 8, 14 y 20 horas o 9, 15 y 21 horas.

Existen también estaciones meteorológicas especiales, que registran información con fines específicos, como las estaciones agrometeorológicas, donde además de datos meteorológicos, se registran datos biológicos, como aparición de plagas o enfermedades, fenológicos (aparición, desaparición y transformación de órganos vegetales), o de incidencia de adversidades climáticas (helada, sequía, granizo). Su finalidad es agrícola y económica.

Emplazamiento de la estación meteorológica

Debe ubicarse en lugares abiertos y despejados, con buena circulación del aire y visibilidad en todas direcciones, alejada de edificaciones que puedan alterar la temperatura del aire y de obstáculos que puedan producir remolinos en el aire, especialmente para la medición de la lluvia y viento. El lugar debe ser representativo de la región a relevar. Tanto la estación como el área circundante deben tener una cubierta de césped, con un área mínima de 10 x 10 hasta 20 x 20 metros, protegida por un cerco perimetral de 1,20 metros de altura. En el hemisferio sur el área debe tener exposición al norte (Figura 4).

Los instrumentos que se utilizan en una estación meteorológica deben ser de fácil manejo, calibrarse periódicamente y homologados por el Servicio Meteorológico Nacional. Para la ubicación de los instrumentos en el predio debe respetarse la siguiente disposición:

Parte anterior del predio (norte): instrumentos para medición de radiación solar y geotermómetros, para la medición de la temperatura del suelo

Centro: abrigo o casilla meteorológica, con su base a 1,50 m de altura, paredes a doble persiana, con el techo y el piso de doble pared y las puertas mirando al sur. En el interior del abrigo se coloca el instrumental que miden o registran la temperatura y humedad del aire.

Parte posterior del predio: se encuentra ubicado el instrumental para registro y medición de la precipitación, torres anemométricas e instrumentos para la medición de la evapotranspiración.



Figura 4. Estación meteorológica

Estación meteorológica automática

La caracterización de los elementos puede también efectuarse en estaciones meteorológicas con equipos electrónicos, presentando ventajas tales como:

- Lectura automática de los parámetros a estudiar, tanto de la atmósfera como del suelo.
- Ubicación en lugares de difícil acceso o en ambientes que no deban perturbarse con presencia humana.
- Alto número de mediciones diarias, obteniéndose valores medios más exactos.
- Pueden operar en tiempo real o diferido
- Permite programar la frecuencia de lectura
- Permite programar funciones para obtener índices que involucran más de un elemento climático a través de fórmulas o modelos (horas de frío, evapotranspiración, grados-día).
- Permite programar representaciones gráficas

Componentes básicos de una estación automática (Figura 5)

1. Consola central de consulta directa y almacenamiento (datalogger)
2. Interfase Sensores-Consola
3. Módulo de comunicación remota
4. Sensores: miden las variaciones de los distintos elementos meteorológicos (temperatura, radiación, precipitación, etc.)
5. Módulo de suministro de energía ininterrumpida
6. Programa de operación remota y utilidades (Software).



Figura 5. Estación meteorológica automática. Estación Experimental Julio Hirschhorn, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP

Observación fenológica

Consiste en el reconocimiento sistemático individual o global de los fenómenos periódicos de los vegetales y el registro de las fechas en que se producen a lo largo del año.

La Fenología registra la fecha en que se producen las fases. La anotación de la fecha en que se presenta una determinada fase es denominada **Fenodata**. Al cabo de un período más o menos largo (varios años de observaciones) se puede calcular un promedio de estas fenodatas, determinando la fecha media en que se produce tal reacción. Así, para cada lugar de observación se calculan las fenodatas medias normales.

Cuando se dispone de una serie de observaciones correspondientes a varios años, se puede hacer un promedio fenológico general. Si bien para la obtención de un valor medio climático, denominado normal, es preciso disponer de datos correspondientes a 30 años de observaciones según lo acordado en convención internacional, para tener un valor medio en fenología basta con 5 años para logra un valor aceptable y con 10 años se puede considerar que el mismo es real o normal; eso se debe a que el vegetal no reacciona ante un solo

fenómeno meteorológico sino ante todo un complejo ambiental que tiene menores variaciones que un elemento en particular.

Las observaciones fenológicas pueden realizarse de distintas formas según las finalidades. En principio se admiten distintas formas de observación según se trate de:

Cultivos anuales, con observación condicionada a la fecha de siembra.

Cultivos perennes, más independientes de toda práctica cultural.

En cultivos anuales deben observarse con distinto criterio según sean de siembras densas (trigo, lino) o de siembras ralas o en línea (maíz, girasol), donde es posible contar las plantas. Para los cultivos densos el criterio de comienzo de la fase queda determinado por la aparición de los órganos en el cultivo, que se sucede con otros sin interrupción y en aumento.

Observaciones fenométricas

La fenología cuantitativa o fenométrica busca precisar la influencia de los factores externos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas o animales mediante medidas expresadas cuantitativamente (volumen y peso de frutos, número de espigas, porcentajes de azúcares, rendimiento, ganancia de peso). Por extensión se suele incluir dentro de estas observaciones los daños producidos por fenómenos meteorológicos como heladas, granizo.

Definiciones importantes

Para poder realizar observaciones fenológicas, es necesario conocer ciertos conceptos específicos del área:

Fase fitofenológica: es la aparición, transformación o desaparición de órganos en las plantas. Las fases pueden clasificarse como: visibles (floración) u ocultas (germinación). Asimismo, se las puede clasificar como vegetativas (brotación) o reproductivas (floración). La fase se asocia a un cambio en las necesidades o exigencias del vegetal.

La aparición de los órganos correspondientes a una fase sigue un ritmo que puede representarse con una curva acampanada, casi como una campana de Gauss (Figura 6). Este proceso rige para todas las fases y casi todas las especies. A partir de una fecha, progresivamente van apareciendo diariamente órganos que entran en fase, se llega a un máximo, para luego decrecer.

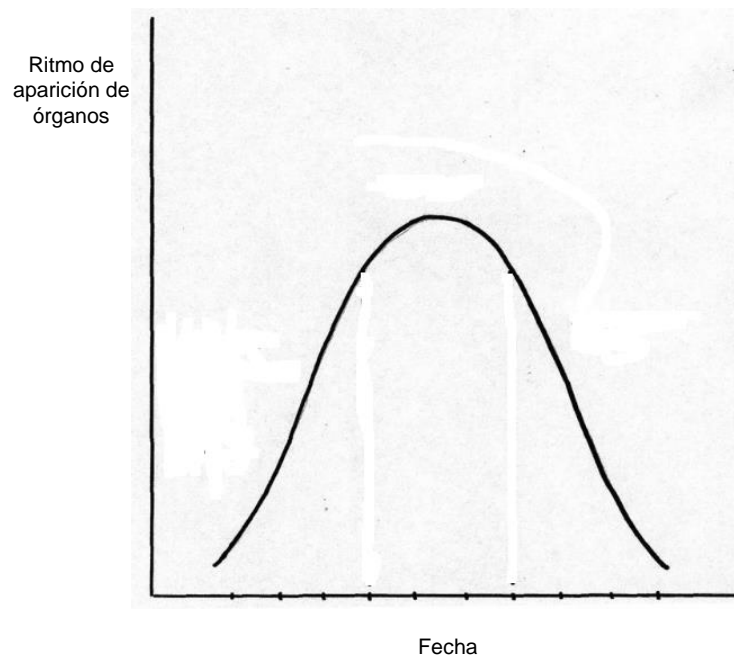


Figura 6. Distribución temporal de la aparición de órganos propios de una fase

Momento de fase: estados o situaciones representativas dentro de cada fase. Pueden identificarse los siguientes momentos: comienzo de fase (C), plenitud de fase (P), fin de fase (F). La etapa comprendida entre dos momentos de una misma fase se denomina sub-momento.

Duración de fase: cantidad de tiempo comprendido entre comienzo y fin de la fase, expresada comúnmente en número de días.

Energía de fase: fuerza, velocidad o vigor con que se produce una fase, con relación al tiempo promedio (días entre comienzo y fin de fase). Una fase se produce con vigor cuando su duración efectiva es menor a su duración promedio. Es un indicador de la forma en que la planta ha satisfecho sus necesidades bioclimáticas. Cuantos menos días transcurran, la planta habrá integrado más adecuadamente los elementos meteorológicos hasta ese momento.

La aparición de los órganos de una fase puede variar su velocidad en función del tiempo, dando formas distintas a esa representación en forma de campana (Figura 7). Es importante para la interpretación de la curva determinar el comienzo, plenitud y fin de las fases, para poder comparar distintas observaciones.

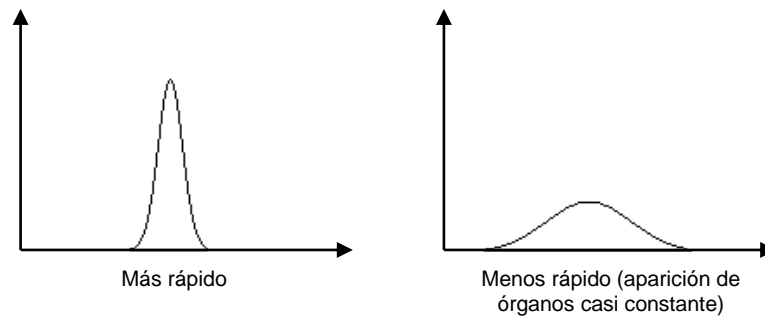


Figura 7. Forma de la curva según velocidad de aparición de órganos

Subperíodos fenológicos: lapso transcurrido entre una fase y otra. Durante el subperíodo, las necesidades o exigencias meteorológicas del vegetal se mantienen invariables.

Anomalía fenológica: todas las fases sufren atrasos y adelantos en relación con el valor promedio de varios años. Es muy raro que la fecha media anual de una fase coincida con la fecha media de gran número de años. Todo valor anual que se aparte del valor medio correspondiente a esa fase, constituye una anomalía fenológica.

Intercepción fenológica: cuando la sucesión de los fenómenos periódicos de los seres vivos sufre una alteración, se produce una intercepción fenológica. Por ejemplo: entre los frutales hay especies que inician la brotación antes de florecer, en tanto que en otras especies ocurre a la inversa; florecen antes de brotar. Si en un año dado se altera esa secuencia, es decir, si en la especie en la cual la brotación es anterior a la floración se produce primero ésta y luego aquella, se tratará de una intercepción fenológica en una misma especie. La intercepción fenológica puede darse también entre especies, por ejemplo: normalmente el peral florece unos pocos días antes que el manzano; si no fuera así, si el manzano floreciera antes que el peral. Otro caso puede darse entre lugares: lo normal es que en Buenos Aires el almendro florezca antes que el duraznero y este antes que el manzano. Si en Tucumán se invirtiera este orden y por ejemplo floreciera el duraznero antes que el almendro, es un caso de intercepción fenológica entre lugares geográficos.

Como se mencionó previamente, a partir relacionar la información obtenida de observaciones meteorológicas y fenológicas se pueden realizar estudios de **bioclimatología agrícola**. El objetivo principal de la bioclimatología agrícola es conocer las exigencias y tolerancias meteorológicas de los cultivos, y fundamentalmente cuantificarlas, poder dar los valores numéricos a esas exigencias y tolerancias. Estos valores numéricos se denominan equivalentes meteorológicos. Son ejemplos de equivalentes meteorológicos: mm de precipitación (equivalente pluviométrico), o los grados de temperatura

(equivalente térmico), que separan situaciones normales de anormales. Es decir, condiciones de precipitación o temperatura que pueden producir buen desarrollo y rendimiento, de aquellas que, ya sea por deficiencia o exceso de algún elemento resultan perjudiciales para el normal desarrollo y rinde del cultivo.

Exigencia, necesidad o requerimiento: calidad o magnitud de la condición meteorológica general, o de algún elemento en particular, que resultan indispensables para el cultivo pueda cumplir adecuadamente su ciclo evolutivo.

Tolerancia: expresa el grado en que los cultivos son capaces de soportar, sin mayores daños, ciertas manifestaciones en la magnitud de los elementos meteorológicos actuantes, hasta un valor extremo que es el "límite crítico".

El conjunto de las necesidades y tolerancias meteorológicas de todas las variedades y cultivares de un cultivo forman el bioclima de ese cultivo, y dentro del bioclima de ese cultivo, pueden existir variedades y cultivares con grados diferentes de exigencias y tolerancias a uno o varios elementos biometeorológicos, constituyendo los distintos biotipos o tipos bioclimáticos.

Por otra parte, el agroclima es el conjunto de condiciones climáticas de un lugar que definen la posibilidad y desarrollo de determinadas actividades agropecuarias. Así, a partir de variables climáticas que separan las distintas condiciones del clima con respecto a diferentes tipos de explotaciones pueden determinarse regiones productivas, como se verá más adelante.

Las necesidades de índole meteorológica son distintas para el crecimiento y para el desarrollo, aunque algunos elementos pueden actuar en ambos procesos, pero en diferente forma. Es por ello por lo que una planta puede llegar a crecer sin alcanzar el desarrollo, es decir mantenerse en estado puramente vegetativo y no pasar a la etapa reproductiva. Esto sucede porque tiene disponibilidades meteorológicas favorables para crecer, pero faltan las condiciones para desarrollar. Si bien las exigencias para el crecimiento se mantienen casi constantes durante toda la vida, las exigencias para el desarrollo cambian, a veces fundamentalmente, entre fases fenológicas.

Aquellos elementos meteorológicos o climáticos que manifiestan acción sobre los fenómenos vitales de las plantas se llaman elementos biometeorológicos o bioclimáticos.

Los elementos bioclimáticos pueden separarse en:

Elementos bioclimáticos para el crecimiento (auxégenos): humedad de suelo, balance hidrológico (balance de agua en el suelo), temperatura.

Elementos bioclimáticos para el desarrollo (anaptígenos): duración del día, temperatura (considerada como acumulación de calor o de horas de frío), las amplitudes térmicas anuales y diarias.

Elementos que producen daño (tanatoclimáticos): todos aquellos elementos extremos que produzcan daño en los cultivos

Las exigencias meteorológicas del vegetal varían en forma notable según el momento de su evolución, por lo que se hace imprescindible dividir su vida en varias etapas o subperíodos, como se vio en fenología agrícola. Esta división permite identificar en el ciclo evolutivo del vegetal:

Período crítico: momento del ciclo vegetativo en que la sensibilidad a un determinado elemento es máxima. Las variaciones del elemento se reflejan de modo evidente en el rendimiento. Como período crítico para agua se puede mencionar la germinación, la tuberización en papa, el momento previo a la espigazón de los cereales, el momento en que los frutos de los cereales comienzan a aumentar de volumen; mientras que los períodos críticos para temperatura son todos aquellos en que el vegetal tiene tejidos tiernos.

Período de latencia: período o subperíodo del ciclo evolutivo en que la sensibilidad a uno o varios elementos meteorológicos es mínima. Por ejemplo, los cereales que se mantienen durante el invierno al estado de hojas o los frutales de hoja caduca que tienen su período de descanso desprovisto de follaje durante el invierno son insensibles a las variaciones térmicas y pueden soportar temperaturas muy bajas.

Por otra parte, el pasaje de una fase de desarrollo a otra sucesiva exige que se satisfagan dos condiciones:

Disposición: satisfacción de determinadas necesidades meteorológicas, previas a la iniciación de una fase, las que generalmente se cumplen durante un periodo de tiempo largo (a veces tan largo como todo el subperíodo previo). Por ejemplo, los frutales criófilos (de hojas caducas), durante su periodo de latencia, deben estar expuesto a una determinada cantidad de horas con temperaturas más bajas que 7 °C (horas de frío) (variable según la especie), si esto no sucede, la floración no se produce normalmente o se retrasa.

Estímulo: agente meteorológico, de actuación breve, que posibilita la iniciación de la fase siempre que la planta esté dispuesta. Una vez que la planta ha satisfecho sus exigencias, la fase no se produce si no se produce un determinado umbral térmico, de horas de luz o hídrico, que debe cumplirse para que se produzca la fase. Por ejemplo, las especies forestales del norte del país no brotan hasta no alcanzar el nivel térmico adecuado. Por ejemplo, las tipas en Buenos Aires no brotan hasta diciembre, dada la necesidad de la planta de llegar al umbral térmico necesario para que la fase de brotación se produzca. Todas las otras condiciones pueden estar satisfechas pero el nivel térmico (umbral) recién se alcanza en Buenos Aires, en diciembre.

Modalidad bioclimática de los cultivos

Si bien no es posible hacer una delimitación exacta respecto a las exigencias y tolerancias bioclimáticas por grupo de cultivo, sí puede establecerse una tendencia general acerca de qué requieren para satisfacerlas.

La primera división que se puede realizar es en plantas anuales y perennes, cuya diferenciación está dada por la fecha de siembra. Una planta perenne está implantada en el lugar, y por lo tanto la fecha de iniciación del ciclo vegetativo dependerá de las condiciones meteorológicas de cada año. En cambio, en los cultivos anuales, la fecha de siembra tendrá variaciones año tras año, para acomodarlas a las condiciones particulares de cada ciclo.

Plantas anuales

Plantas invernales: incluye a algunos de los principales cultivos del país como trigo, avena, cebada, centeno, lino, legumbres de grano, arveja, haba, garbanzo, lenteja.

Plantas estivales: maíz, sorgo, mijo, girasol, soja, algodón, maní, cáñamo, tabaco.

Plantas de media estación: en las especies de este grupo no son los granos ni los frutos los que se utilizan como producción agrícola, sino que son las raíces o tallos engrosados, y hojas. La floración de estas especies se produce a expensas de las sustancias de reserva que son las que se utilizan para la producción de los órganos cosechables. Por lo tanto, todas aquellas condiciones climáticas que favorezcan la floración están perjudicando su producción. Estas especies prosperan bien en sitios donde hay largos periodos con niveles térmicos de 10 a 20 °C. Entre estas especies, se encuentran: papa, remolacha, zanahoria, coliflor, cebolla, espinaca.

Características generales de los cultivos invernales

- Requieren enfriamiento en los primeros estados de crecimiento, aunque cada especie requiere un enfriamiento diferente y dentro de cada especie, también cada variedad.
- El mínimo de crecimiento se encuentra alrededor de 5 °C, siendo cultivos que pueden extenderse hacia elevadas latitudes.
- Bajo requerimiento calórico para madurar. Al bajo nivel térmico requerido para el crecimiento (5 °C), se suma una baja exigencia de temperatura para madurar. Ello indica que los cultivos pueden acercarse hacia los polos.
- Son más o menos resistentes a temperaturas inferiores a 0 °C.
- Adelantan el desarrollo con días largos
- Las exigencias en agua de los cultivos invernales son inferiores a los estivales. A menor temperatura menor evaporación, y por lo tanto consumo de agua.

Características generales de los cultivos de verano

- No requieren enfriamiento, realizándose en lugares donde el descenso térmico invernal es muy poco acentuado.
- Mínimo de crecimiento alrededor de 10 °C. Al hacer esta caracterización para cultivos estivales, debe tenerse en cuenta, especialmente, la suma de temperaturas.
- Tienen gran requerimiento calórico para madurar. Su cultivo se desplaza hacia el Ecuador.
- No resisten temperaturas inferiores a 0 °C, por lo que su cultivo se realiza en el período libre de heladas, que cuanto mayor sea, más favorable será.
- El adelanto de la floración se produce con días cortos.
- Exigencias de agua más marcadas que en los invernales, por la mayor evapotranspiración.

Cultivos hortícolas⁶

Su estudio se hace principalmente con relación a las exigencias térmicas, porque normalmente se hacen con riego. Se agrupan en cultivos de inviernos y de veranos según sus exigencias térmicas.

Los invernales prefieren temperaturas entre 14 y 18 °C, siendo perjudiciales las altas temperaturas del verano (cultivos de media estación). Dentro de ellos hay cultivos que resisten heladas, como repollos y otras crucíferas, espinacas y acelga (cultivos para hoja) y otros que son dañados por las heladas: coliflor, brócoli, lechuga, zanahoria, apio, arveja, papa. A todos estos los favorecen temperaturas entre 10 y 20 °C.

Hay otros cultivos que están adaptados a diversas temperaturas (13 a 26 °C), pero que no resisten heladas, salvo ciertas excepciones como la cebolla y el ajo.

Otro grupo de hortalizas son cultivos de verano. No soportan temperaturas inferiores a 0 °C: melón, pepino, zapallo, poroto, tomate, chaucha, pimiento, maíz dulce. Hay un grupo de especies hortícolas netamente estivales, como la sandía, batata, berenjena y variedades de pimiento, para las durante el periodo de crecimiento la temperatura no debe descender de 21 °C.

Modalidad bioclimática de los cultivos perennes

Criófilos: su característica principal es la exigencia en frío, que depende de la especie.

El proceso normal de estas especies (prototipo: manzano⁷) consiste en un período invernal desprovisto de hojas, sin actividad fenológica visible, pero en actividad fisiológica (satisfacción de horas de frío). Pasado el período invernal, se produce brotación y floración en primavera. A partir de estas dos fases, se inician los procesos vegetativo y generativo.

El vegetativo comienza con la brotación, foliación, el alargue de las ramitas en primavera, luego en verano hay poca actividad de crecimiento, hasta llegar el

⁶ Más información: Garbi, M. 2021. Fenología y bioclimatología de los principales cultivos hortícolas. En: Producción hortícola periurbana. Aspectos técnicos y Laborales. Martínez, S.; Carbone, A. & Garbi, M. Coords. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120969>

⁷ Actualmente, por mejoramiento genético se han obtenido cultivares de manzano con menor requerimiento en frío invernal, ampliando la posibilidad respecto a áreas de cultivo. Fenoy, J.L. 2015. Producción de manzanas en el centro norte entrerriano. Resultados de 10 años de observaciones. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_produccion_de_manzanas_en_el_centro_norte_de_entre_rios.pdf
Alayon Luaces, P.; Rodríguez, V. 2010. Análisis fenológico de cultivares de manzana (*Malus domestica* Borkh.) de bajo requerimiento de horas de frío en el San Luis del Palmar (Corrientes). Agrotécnica 20 (2010): Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/334-848-1-PB.pdf>

otoño, que comienza el amarilleo de las hojas y su posterior caída, para entrar en el descanso. El proceso generativo comienza con la floración, fructificación y maduración de los frutos.

La inadecuada satisfacción de horas de frío (horas con temperatura por debajo de 7 °C) produce duración prolongada de la floración, dobles floraciones, desvitalización de la planta, caída de yemas y reducido rendimiento.

Termófilos: la característica de los perennes termófilos es la exigencia de temperaturas elevadas. No es necesaria una interrupción del crecimiento, sino que cuanto mayor sea el tiempo con temperaturas favorables, mayor será la actividad fotosintética, y por lo tanto, el rendimiento.

Deben preferirse zonas en las cuales no haya interrupción de crecimiento, considerando que esto puede ocurrir con temperaturas inferiores a 12 a 15 °C. La planta presenta actividad durante todo el año, siendo de follaje persistente, aunque anualmente van renovando por partes su follaje. Normalmente se produce la defoliación en el momento de brotación principal en primavera.

Como ejemplo de estos cultivos están los cítricos (*Citrus* sp.), especies subtropicales, que en la Argentina son más importantes que el ananá o el cacao. Estas últimas no soportan temperaturas debajo de 0 °C, en cambio los cítricos tienen resistencia. La fase principal (cuajado de los frutos) coincide con la brotación y la floración de primavera. Durante todo el verano continúa el crecimiento de los frutos, por lo que es importante que durante este periodo la temperatura sea suficientemente elevada. En el país, la producción de cítricos está limitado por el centro sur de la provincia de Buenos Aires (37- 38° de latitud) (isoterma de 18 °C), no sólo por el verano fresco sino por las heladas demasiado intensas. La limitación en el cultivo de los cítricos se encuentra en la temperatura mínima invernal. Entre las especies con menor tolerancia se encuentra el limonero (-2 °C), seguida por el naranjo dulce (- 5°C) y mandarinos (- 8 °C).

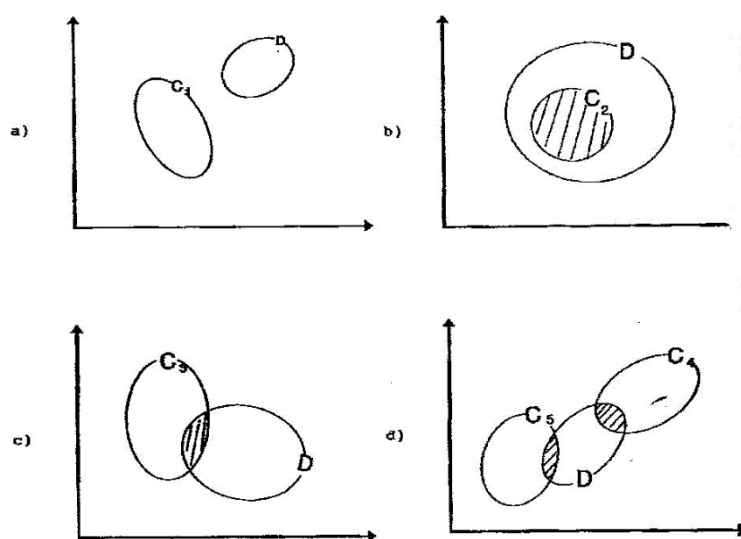
Tiempo y adversidades bióticas en las plantas⁸

Los elementos climáticos también inciden en los distintos procesos que llevan a la manifestación de una enfermedad o ataque de los insectos, siendo fundamental conocer qué estadios pueden ser de importancia en el ciclo de desarrollo de los agentes biológicos adversos y cuáles pueden actuar sobre procesos normales de dichos estadios.



La interacción PATOGENO - AMBIENTE- HUESPED es tan compleja que suele ser muy difícil determinar cuál de ellos es el factor principal.

En la manifestación de una adversidad biótica existen relaciones básicas con el ambiente, pudiendo darse los siguientes casos (Figura 8), que deben tenerse en cuenta para el pronóstico de la manifestación de la adversidad:



Fuente de la imagen. Castillo, F.E.; Castellvi Sentis, F. 1996. Agrometeorología. Ediciones Mundi-Prensa.

Figura 8. Relaciones básicas enfermedad-clima

No favorable para la enfermedad: C_1 no cubre el medio favorable (D) para la enfermedad.

Siempre favorable para la enfermedad: el clima (C_2) cae siempre dentro del medio favorable para la enfermedad

⁸ Elaborado por la Dra. Susana Martínez. Profesora Titular Climatología y Fenología Agrícola. FCAyF, UNLP.

En estos casos (a y b), el pronóstico es prácticamente innecesario, porque las enfermedades nunca o siempre se van a producir, respectivamente.

Favorable durante una parte del año: el clima (C₃) es favorable durante una parte del año

Favorable a la enfermedad en ciertas épocas: dos climas distintos favorables para la enfermedad en diferentes momentos (C₄, C₅)

Las condiciones descritas se refieren al microclima del cultivo, es decir, a las condiciones climáticas en la parte aérea de la planta (canopeo), y la información meteorológica de la que se dispone comúnmente es la del abrigo meteorológico. Sin embargo, puede ser orientativa.

Avisos, alarmas y pronósticos

Aviso: según el desarrollo anual de los elementos meteorológicos, se puede anunciar la posibilidad de la iniciación de una enfermedad o parásito. Es una información previa que se da al agricultor sobre las condiciones ambientales que pueden coincidir con la incubación de la enfermedad.

Boletín de alarma: generalmente es dado por fitopatólogos, consiste en la comunicación del ataque de un insecto o enfermedad por primera vez en ese año en algún lugar del área. A diferencia de la alarma, se trata de un hecho concreto, y no una posibilidad.

Los servicios de alarmas de plagas y enfermedades se basan en los pronósticos de estas.

El **pronóstico** es el conocimiento con antelación de los plazos y niveles de población y daños producidos por las plagas con el fin de poder adoptar medidas. Los pronósticos pueden ser a largo, mediano o corto plazo.

Bibliografía

Garabatos M. 1991. Temas de Agrometeorología. Tomo 2: Elementos climáticos que incitan el crecimiento y los fenómenos periódicos de las plantas verdes. Buenos Aires, Argentina: Edición del Consejo Profesional de Ingeniería Agronómica. 210 pp. *Biblioteca Central*.

Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía.

CIREN CORFO. 1989. Publicación CIREN N° 85. Requerimientos de clima y suelo. Disponible en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Requerimientos-de-clima-y-suelo.-Chacras-y-horatalizas-1989c.pdf>.

Radiación solar

Los vegetales requieren de la radiación solar para diferentes procesos que son fundamentales para su crecimiento y desarrollo.

El rendimiento final de un cultivo depende fundamentalmente de tres procesos: Intercepción de la radiación solar a lo largo del ciclo de cultivo por parte de los órganos capaces de efectuar la fotosíntesis

- Eficiencia con la que esta radiación interceptada es utilizada para producir biomasa
- Fracción de esta biomasa total que se destina a los órganos aprovechables
- Radiación solar y radiación fotosintéticamente activa

El sol es la única fuente de energía natural que mantiene a los seres vivos a través de procesos como la fotosíntesis, así como la fuente de casi todos los procesos meteorológicos y de sus variaciones. El sol entrega energía en forma de radiación electromagnética (como fotones, que se desplazan en el vacío a la velocidad de la luz: $300.000 \text{ km s}^{-1}$). El espectro de radiación presenta diferentes longitudes de onda y frecuencia, siendo su energía directamente proporcional a su frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda.

La longitud de onda de la radiación o frecuencia de la radiación determina su calidad. El 99% de la radiación solar está comprendida en longitudes de onda de 150 a 4000 nm (nanómetros), entre las que se encuentran:

Radiación ultravioleta (UV) (230 y 380 nm): Posee, en general, escasa acción térmica y fotosintética. Este tipo de radiación es la gran responsable del deterioro de los plásticos utilizados en horticultura, para evitar lo cual, se comercializan láminas plásticas con una protección especial anti-ultravioleta, consiguiéndose mayor duración.

Radiación visible (380 y 730 nm): Juega un papel primordial en la fotosíntesis. Las reacciones luminosas de la fotosíntesis son el resultado de la absorción de fotones por las moléculas de los pigmentos, especialmente de la clorofila. La energía de los fotones de longitudes de onda superiores a los 760 nm no activa a las moléculas de los pigmentos, los fotones de longitudes de onda inferior a los 390 nm tienen demasiada energía, y causa la ionización y degradación de los pigmentos. La radiación fotosintéticamente activa representa un 45 - 50% de la radiación solar incidente, y es la comprendida entre 390 y 760 nm. La

incidencia de una débil luminosidad visible es responsable de determinadas anomalías como el ahilado de plantas (frecuente en almácigos), la coloración irregular y menor firmeza en frutos (tomate, pimiento, etc.), menor contenido de materia seca y azúcares. Una radiación visible muy elevada puede inducir desequilibrios hídricos de la transpiración, conduciendo a fisiopatías como desecamiento de cálices en berenjenas, podredumbre apical en frutos de tomate o pimiento.

Radiación infrarroja (730 y 4000 μm): Es una radiación térmica, responsable del aporte de calor.

Intensidad de la radiación

La energía o intensidad de la radiación se expresa como la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie y de tiempo ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{min}^{-1} = \text{Ly}.\text{min}^{-1} = 7 \times 10^2 \text{ W.cm}^{-2}$).

La producción de biomasa de un cultivo está estrechamente vinculada con la radiación total interceptada durante su estación de crecimiento, ya que la intensidad de radiación determina las tasas de fotosíntesis a lo largo de su ciclo y éstas la producción de materia seca.

Si los factores ambientales, tales como el agua, la temperatura o los nutrientes minerales no limitan la producción, hay un aumento lineal de la producción final de biomasa al incrementarse la integral de la radiación interceptada durante todo el ciclo del cultivo.

Sin embargo, no todas las plantas muestran la misma exigencia en iluminación para conseguir una mayor eficiencia fotosintética. En función de esta exigencia, puede obtenerse la siguiente clasificación:

Plantas heliófilas: la máxima eficiencia fotosintética se da con valores muy elevados de radiación (600 a 1000 $\mu\text{m}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$): melón, pimiento, berenjena, batata, clavel, rosa.

Plantas con necesidades intermedias: la máxima eficiencia fotosintética se consigue con iluminación de 190 a 380 $\mu\text{m}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$: repollo, papa.

Plantas de sombra: se saturan lumínicamente con valores entre 200 a 300 $\mu\text{m}.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$: plantas ornamentales de interior.

Para un uso eficiente de la radiación por parte de la planta, es importante realizar un manejo adecuado del proceso fotosintético, de tal forma que su

eficiencia sea máxima. Las siembras tempranas, el uso de cultivares adaptados a condiciones climáticas específicas y los cultivos múltiples en zonas donde la estación de crecimiento es larga, son prácticas diseñadas para hacer un uso óptimo de la fotosíntesis. También es importante mantener superficie foliar fotosintéticamente activa (duración del área foliar), dado que las diferencias en la producción final de biomasa se deben principalmente a la duración del área verde más que a la capacidad fotosintética del tejido vegetal en sí. Otra vía para alcanzar una intercepción de radiación eficiente es manejando la densidad de la población del cultivo. Para determinar la densidad óptima de un cultivo hay que considerar el tamaño de la planta y la limitación de factores medio ambientales, tales como radiación, agua disponible, o fertilidad del suelo, que pueden reducir la densidad óptima para cada especie.

Heliofanía

Junto con la temperatura, la duración del día tiene una acción fundamental en el desarrollo de los seres vivos (procesos fotoestimulantes). La respuesta biológica a un cambio de las proporciones de luz y oscuridad en un ciclo diario de 24 horas se denomina fotoperiodismo.

La duración del día se computa según la cantidad de horas de luz, definiéndose:

Heliofanía teórica o astronómica (HT): cantidad de horas que el sol se encuentra por encima del horizonte, y varía según la latitud y la época del año. Su valor se obtiene por tablas.

Heliofanía efectiva o real (HE): duración de las horas de luz en función de la presencia de nubosidad, nieblas, polución, etc.

Heliofanía relativa (HR): relación porcentual entre la HE y la HT; $HR = (HE/HT) \times 100$

El fotoperiodo se define como la duración de horas de luz, sumando a la heliofanía teórica o astronómica los crepúsculos matutino y vespertino (sol 6° por debajo del horizonte) (Figura 9).



Figura 9: Crepúsculos

El efecto de la duración del día no se refiere a la intensidad de la luz, sino a la cantidad de horas del periodo de iluminación diaria. Pequeñas intensidades de luz, como la luz crepuscular o la recibida bajo cielos nublados producen efecto fotoperiódico. Desde el momento que la acción fotoperiódica puede ser provista por luz de muy baja intensidad, la luz lunar puede actuar con efecto

fotoperiódico en plantas a día largo produciendo una especie de inducción que las lleva a florecer rápidamente.

Según la exigencia de las plantas en la duración del día para florecer, pueden clasificarse en:

Plantas a días cortos: florecen con días de menos de 12 a 14 horas. Su desarrollo se acelera, anticipando la entrada en floración tanto más, cuantos más cortos son los días. Son originarias de regiones tropicales o subtropicales. Dentro de las especies cultivadas se encuentran: maíz, soja, arroz, mijo, algodón, tabaco, haba, sésamo, poroto. Se los siembra en primavera y florecen del solsticio de verano, cuando los días empiezan a acortarse.

Plantas a días largos: florecen con días de más de 12 a 14 horas. Su desarrollo se acelera y su floración se anticipa tanto más, cuanto más largos son los días. Corresponde a especies originarias de latitudes medias o zonas montañosas de la zona templada. Son cultivos invernales cuya floración se manifiesta en primavera con los días alargándose: cereales de invierno, alpiste, lino, arveja, vicia, lechuga, espinaca.

Plantas intermedias o indiferentes: no manifiestan exigencia fotoperiódica, siendo capaces de florecer con cualquier duración del día. Por ejemplo: tomate, algunas variedades de girasol.

Radiación solar en la superficie terrestre

La intensidad y duración de la radiación que se recibe sobre un punto dado de la superficie terrestre están determinadas por factores de orden astronómico, como los movimientos de rotación y traslación de la Tierra. Estos desplazamientos, junto con la inclinación del eje terrestre, condicionan el ángulo con que los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre en distintas latitudes, momentos del día y del año.

En el movimiento de rotación, la tierra gira sobre sí misma de oeste a este en torno a un eje imaginario que cruza al planeta por sus polos y tiene una inclinación de $66^{\circ} 33'$ respecto al plano de la órbita terrestre, ángulo que se mantiene constante durante todo el año. El movimiento de rotación tiene una duración de 23 h 56 min y determina la alternancia de los días y las noches.

La traslación alrededor del sol se completa en 365,26 días, y provoca la sucesión de las estaciones del año. Hay dos momentos en el año (21/03 y 23/09) en que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre el Ecuador

(0° de latitud). Estos momentos se denominan equinoccios y producen que el día y la noche duren 12 horas en cualquier punto de la Tierra.

Durante el periodo que transcurre desde el 21/09 al 21/03, equinoccios de primavera y otoño respectivamente, el hemisferio sur queda más expuesto al sol. En la mitad de este periodo (21 - 22 de diciembre) los rayos inciden perpendiculares al Trópico de Capricornio (23° 27' S) determinando el Solsticio de verano, donde la duración del día es más larga y la noche más corta. El 21 de junio los rayos solares caen perpendiculares al Trópico de Cáncer, determinando el Solsticio de invierno. Lo opuesto se registra para cada una de estas fechas en el hemisferio norte (Figura 10).

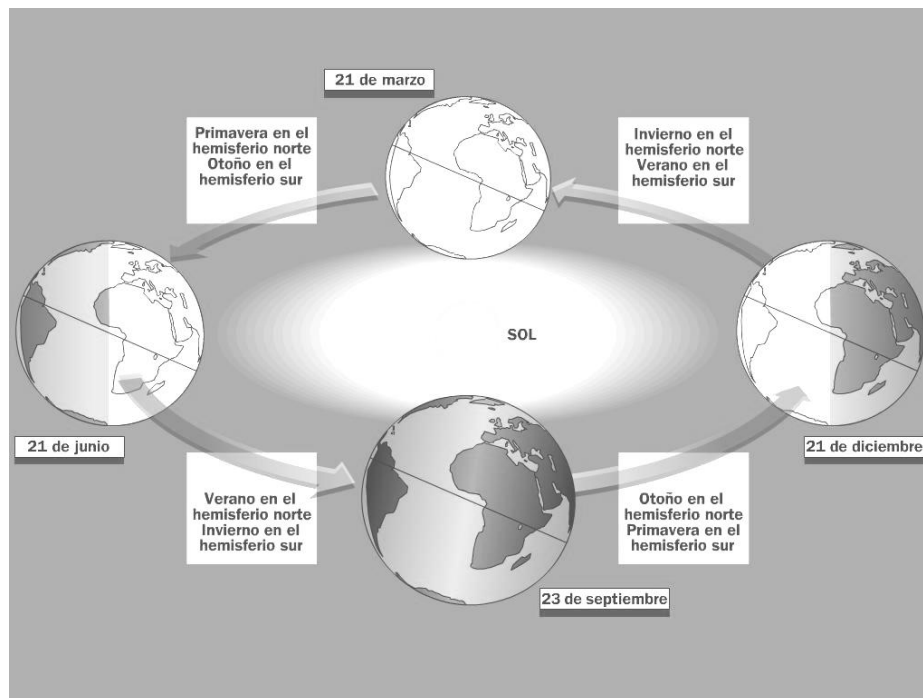


Figura 10. Traslación terrestre y su influencia en el goce de radiación

Hay que tener en cuenta que la radiación solar incide con mayor intensidad cuanto más perpendiculares llegan los rayos solares a una determinada superficie. Debido a la curvatura de la Tierra, la misma cantidad de luz solar se extenderá sobre un área mayor en los polos en comparación con el ecuador. Por lo tanto, el ecuador recibe luz solar más intensa, y una mayor cantidad de calor por unidad de área (Figura 11).

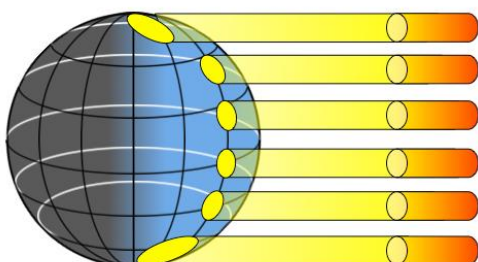


Figura 11. Radiación solar recibida según latitud

Fuente de la imagen: Webb, P.
https://espanol.libretexts.org/Geociencias/Oceanograf%C3%ADa/Libro%3A_Introducci%C3%B3n_a_la_Oceanograf%C3%ADa_%28Webb%29/08%3A_Oc%C3%A9anos_y_clima/8.01%3A_8.1_Presupuesto_de_Calor_de_la_Tierra

Además, la intensidad de la radiación disminuye rápidamente al aumentar el espesor de la capa atmosférica que debe atravesar, de tal manera que un pequeño aumento en la masa atravesada determina una gran merma de la intensidad de la radiación. Una mayor inclinación de los rayos solares hace que el trayecto a través de la atmósfera sea mayor, disminuyendo así la intensidad con que alcanzan la superficie (Figura 12).

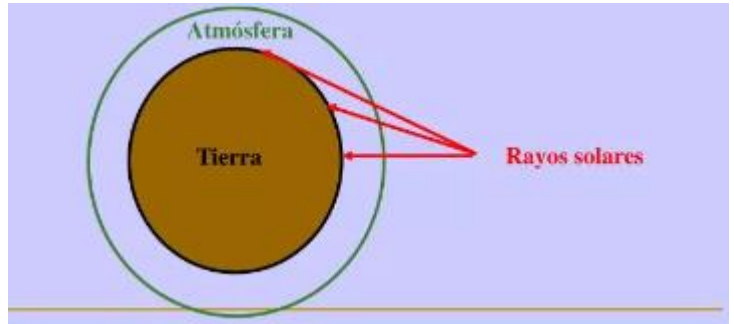


Figura 12. Atenuación de la radiación por la atmósfera
Fuente de la imagen: <https://www.slideserve.com/trevor-camacho/ley-de-bouguer>

En resumen, a medida que aumenta la distancia al ecuador (aumenta la latitud), se observa que los rayos solares llegan al suelo con mayor inclinación, disminuyendo la cantidad de calor recibida al año por centímetro cuadrado de suelo horizontal.

Consecuencia de todo lo anterior, se observa:

En otoño, invierno y primavera la cantidad de calor solar recibida diariamente disminuye desde el ecuador a los polos

En verano, la cantidad de calor solar recibida diariamente aumenta desde el ecuador a los polos

Cuanto mayor es la latitud, mayor es la variación de las cantidades a lo largo del año

Efecto de la atmósfera sobre la radiación solar

La energía que llega a la parte superior de la atmósfera, llamada constante solar, comienza a transformarse a medida que atraviesan las diferentes capas atmosféricas. Así, se producen distintos fenómenos de variada significación meteorológica como:

Reflexión: se produce cuando la radiación al incidir sobre un cuerpo reflector (gases, nubes, partículas sólidas) cambia la dirección de los rayos con igual ángulo al incidente, sin modificar su intensidad ni calidad (sin cambiar λ). El porcentaje de energía reflejada respecto al incidente se denomina albedo.

Absorción: la radiación incidente puede traspasar la superficie del cuerpo, entrar a él y ser captada por sus moléculas que aumentan su energía cinética, y por lo tanto, su temperatura. El cuerpo se comporta como absorbente de la

radiación recibida. En la atmósfera los principales responsables de la absorción son el oxígeno, el ozono y el vapor de agua, seguidos por el dióxido de carbono.

Transmisión: la radiación puede también penetrar la superficie de un cuerpo y traspasarlo, saliendo de él sin modificarse ni en calidad ni en intensidad. Es decir, el cuerpo es transparente a esa radiación.

Dispersión: el rayo incidente puede ser desviado por diversos constituyentes de la atmósfera en todas direcciones, sin modificar su calidad. Durante este proceso las partículas no modifican su energía, por lo que su temperatura permanece constante.

A causa de estos fenómenos, la radiación global experimenta modificaciones en su intensidad y calidad, resultando diferentes flujos de radiación:

Radiación Directa: es el flujo de radiación que llega en forma unidireccional a la superficie terrestre sin transformar su calidad (longitud de onda) e intensidad. Su dirección o inclinación corresponde a la latitud, al momento del día o época del año (estaciones) variando su intensidad en función del ángulo con el que incide sobre la superficie.

Radiación difusa: es el flujo de radiación que alcanza la superficie terrestre luego de sufrir fenómenos de dispersión y absorción al atravesar la atmósfera. No varía su intensidad ni calidad. Se recibe en forma multidireccional, midiéndose indirectamente, a través del flujo de radiación incidente por unidad de superficie, impidiendo la recepción de la radiación directa mediante una pantalla.

Radiación global (RG): es el conjunto de las radiaciones directas más las radiaciones difusas que se registran en la superficie terrestre.

Albedo (α): parte de la radiación global que alcanza la superficie es reflejada en función de las características y del estado de la superficie. Es la relación porcentual entre la radiación incidente sobre la superficie y la reflejada.

Radiación terrestre (RT): es el flujo de radiación emitido por unidad de superficie desde la tierra. La superficie terrestre transforma los flujos de energía (absorbida) de longitud onda corta en energía (emitida) de onda larga.

Contrarradiación atmosférica (CR): es el flujo de radiación emitido por la atmósfera, recibido sobre una superficie horizontal. La atmósfera es casi transparente a la onda corta (radiación solar), pero no a la radiación de onda

larga proveniente de la radiación terrestre. De esta manera, la atmósfera absorbe, en forma parcial, la radiación terrestre y la devuelve hacia la tierra produciendo un “amparo térmico”. La diferencia entre ambas se conoce como Radiación Efectiva.

El aporte de estos distintos flujos de radiación constituye el balance de radiación o radiación neta (R_n):

$$R_n = R_G - \alpha - R_T + C_R$$

La R_n es positiva durante el día, incrementando su valor desde la salida del sol (momento en donde $R_n = 0$) hasta alcanzar un valor máximo durante el mediodía; luego decrece y alcanza el valor cero en el anochecer, momento a partir del cual R_n tomará valores negativos.

Medición de la radiación

Ubicación del instrumental en la estación meteorológica

En función del movimiento aparente del sol en el hemisferio sur, todo el instrumental destinado a registrar las distintas características de la radiación solar debe ubicarse en el sector de la estación meteorológica con exposición al norte.

Instrumental para la medición

Radiación global: piranógrafo de Robitzsch

Consta de 4 láminas bimetálicas (elemento sensible o sensor), dos de ellas blancas y las dos centrales ennegrecidas. La luz solar que incide sobre el sensor es absorbida por las placas negras y reflejada por las blancas, lo que provoca una diferencia de temperatura y dilatación. Sus movimientos se transmiten por medio de un sistema de palancas (transmisor) a una plumilla que está sobre un tambor cubierto con una cinta de papel (unidad de registro). La rotación del tambor es diaria o semanal, originada por un reloj. Todo el aparato está cubierto con una caja que tiene un domo protector de vidrio que queda sobre el sensor. Se obtiene así un gráfico que permite conocer las calorías recibidas por cm^2 en un momento dado o a lo largo del día.



Fuente de la imagen: Caleda, P. Instituto Nacional de Astrofísica 2023.
<https://www.beniculturali.inaf.it/sicap/opac.aspx?WEB=INAFS&TBL=PST&ID=5513>

Piranógrafo de Robitzsch

Heliofanía: heliofanógrafo de Campbell Stokes

Registra la duración de insolación diaria (número de horas de sol durante el día). El heliofanógrafo tiene una esfera de cristal. Los rayos del sol concentrados por la esfera harán una quemadura a lo largo de la línea media de una banda de cartulina (papel fotosensible), en la que queda una huella carbonizada durante las horas de insolación. Para su instalación se nivela, se orienta y se coloca a la latitud correspondiente. Para la calibración se busca que la gráfica esté en la estación que le corresponda, la esfera de cristal bien ajustada y limpia y el aparato bien nivelado y ajustado a la latitud correcta. El eje debe apuntar al norte astronómico.



Fuente de la imagen. Fernández Arboleya, M.V. 2006.

<https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Heliografo.jpg>

Heliofanógrafo de Campbell Stokes

Sensores de radiación

Actualmente existen sensores que permiten registrar los distintos tipos de radiación (directa, difusa, global, PAR, ultravioleta, infrarroja) utilizando distinto tipo de filtros, registrando la información en data loggers o conectados a estaciones meteorológicas automáticas.



Fuente de la imagen. Ureña Elizondo, F. 2011. Utilización de estaciones meteorológicas automáticas como nueva alternativa para el registro y transmisión de datos.
file:///C:/Users/PC/Downloads/Utilizacion_de_estaciones_meteorologicas_automatic.pdf

Sensor de radiación global

Clima argentino: radiación solar

El territorio continental se extiende desde los 21°47' S hasta los 55° 58' S. El gran desarrollo latitudinal provoca la variación anual de la cantidad de radiación solar recibida y la duración astronómica del día.

En el norte del país, en La Quiaca, la radiación astronómica durante el solsticio de verano (21/12) es de 990 cal cm⁻² día⁻¹, mientras que en el solsticio de invierno es de 570 cal cm⁻² día⁻¹. En Tierra del Fuego la radiación es de 1035 cal cm⁻² día⁻¹ y 170 cal cm⁻² día⁻¹ en el solsticio de verano e invierno, respectivamente.

En lo que respecta a la heliofanía, en La Quiaca, el día más largo (21/12) tiene una duración de 13 h 30', mientras que el día más corto (21/06) es de 10 h 47', esto significa que en el transcurso de un año la duración del día sufre una

oscilación de 2 h 43'. A medida que avanzamos hacia el sur los días de verano se hacen cada vez más largos, con relación a los registrados en La Quiaca. En la ciudad de Buenos Aires la duración del día el 21/12 es de 14 h 29' y la de junio es de 9 h 51', siendo su variación anual de 4 h 38'. En el extremo sur del país, en Ushuaia, se observa una duración del día de 17 h 26' para el solsticio de verano y de 7 h 07' en el invierno, siendo su variación anual de 10 h 19'.

Sintetizando en el país, a partir del solsticio de verano, la duración del día aumenta notablemente del extremo norte al extremo sur, y en el solsticio de invierno ocurre a la inversa. No existe en el territorio argentino, incluyendo las dependencias antárticas, lugares donde el día más largo dure 24 h, como en poblaciones del hemisferio norte. La heliofanía efectiva oscila entre 8 y 6 h con un máximo en la zona de cuyo por los cielos diáfanos y mínima en la selva tucumano-oranense y en los bosques andino-patagónicos lugares con elevados valores de precipitación anual.

Bibliografía

De Fina, A.; Ravelo, A. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. EUDEBA
Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). 2013. Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía.

Temperatura del suelo

El suelo con su capacidad de absorber la radiación solar, transformándola en energía calórica constituye la puerta de entrada de la energía que mueve el mecanismo de los procesos meteorológicos. El aire, cuyo poder de absorción es muy pequeño, no se calienta por sí mismo, sino gracias al calor que le cede el suelo convirtiéndose éste en un factor muy importante desde el punto de vista meteorológico.

Desde el punto de vista agrícola la temperatura del suelo es de considerable importancia. El suelo constituye el ambiente en que comienza el desarrollo de las plantas. Antes que las condiciones atmosféricas comiencen a actuar sobre el desarrollo de un vegetal, éste ya ha estado bajo la influencia de las condiciones ambientales del suelo, y así seguirá a lo largo de toda su vida. El crecimiento y desarrollo de las plantas transcurre normalmente dentro de determinados límites. El proceso de germinación depende de la temperatura del suelo, más que la del aire. La temperatura de germinación además es variable según las especies. Así la temperatura mínima a 5 cm es de 10 °C para la alfalfa, 16 °C para el maíz y de 22 °C para el algodón. Por otra parte, la absorción de nutrientes, siempre y cuando haya humedad adecuada en el suelo, depende en gran medida de la temperatura del suelo. La actividad de determinados microorganismos del suelo depende también de la temperatura edáfica. Los fijadores de nitrógeno que ven disminuida su actividad por debajo de los 10 °C y aumenta con el consiguiente aumento de la temperatura, hasta determinados límites.

Bajo la influencia alternada de los balances de radiación diurna (positiva) y nocturna (negativa), el suelo presenta una variación diaria de la temperatura, cuya amplitud suele ser mayor que la temperatura del aire. Existe también una variación de la marcha anual de la temperatura del suelo, que se debe a los procesos de calentamiento y enfriamiento que se producen a lo largo de las estaciones del año.

Si se observa la marcha diaria de la temperatura en superficie se constata que normalmente el mínimo de la temperatura se produce en el momento de la salida del sol y la máxima alrededor de las 14 horas. En el caso de la marcha anual, la máxima tiene lugar un poco después del solsticio del verano y la mínima un poco después del invierno. Si se observa la marcha de la temperatura del suelo no en la superficie, sino a cierta profundidad, se constata que la amplitud de las variaciones diurnas o anuales (diferencia entre las temperaturas más altas y bajas), disminuye muy rápidamente a medida que aumenta la profundidad y al mismo tiempo, el momento de ocurrencia de las máximas y mínimas se retrasa cada vez más. A cierta profundidad, la amplitud

térmica se hace despreciable. Esa profundidad se denomina cota isotérmica, y para las condiciones locales se encuentra aproximadamente a 60 cm para valores diarios y 10 m, considerando la marcha anual.

El movimiento del calor en el suelo se produce de las capas más calientes a las más frías, casi en un 95%, por conducción molecular (forma típica de transmisión de calor en los sólidos), muy poco o casi nada por convección (aire) y procesos de cambios de estado del agua en el suelo.

La capacidad de un suelo para absorber energía, y por lo tanto modificar su temperatura depende de factores externos como la radiación solar y de la forma en que incidan el resto de los elementos del tiempo y el clima. También depende de factores internos, como la composición del suelo, dado que la transmisión del calor dependerá de los minerales presentes y la cantidad de agua o aire. El color del suelo, así como su cobertura, determinará el albedo, incidiendo sobre la temperatura; así como la topografía o exposición.

Un suelo más seco (mayor contenido de aire en su sistema poroso), será más fácil de calentar que un suelo húmedo, debido a mayor calor específico del agua⁹. Así, cuando un suelo incorpora agua, se necesita más calor para obtener el mismo aumento de temperatura que en un suelo seco. Sin embargo, un suelo húmedo transmitirá mejor el calor en profundidad, dado que el agua posee mucho mayor poder de conducción calórica que el aire (mayor conductibilidad térmica). Así, regando un suelo, se consigue mejorar la conductibilidad de un suelo y se facilita la penetración del calor a la profundidad. Este hecho es de gran importancia en la lucha contra heladas. En este caso, el manejo del suelo consistirá en aumentar la conductividad térmica manteniéndolo moderadamente húmedo y compacto (mediante pasaje de rodillos) para minimizar la cantidad de aire.

Considerando la buena conductibilidad térmica del agua en combinación con su calor específico, cuando un suelo seco comienza a ser humedecido, el agua incorporada comienza al principio a aumentar la capacidad de conducción del suelo, pero cuando la cantidad de agua incorporada ha superado un determinado nivel para cada tipo de suelo, el agua comienza a actuar en sentido inverso, dificultando el calentamiento del suelo por el valor de su C_e .

La materia orgánica aporta al suelo mayor porosidad y gran capacidad de retención de agua, por lo que los suelos con mucha materia orgánica, que han absorbido mucha agua, se comportan como relativamente fríos.

⁹ Calor específico (C_e): cantidad de calor que hay que suministrar a una unidad de sustancia para elevar su temperatura en una unidad (1 °C), expresándose en $\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$. C_e del agua: $1 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$. C_e del aire: $0,24 \text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$

Temperatura del aire

La temperatura del aire es una medida indirecta de la disponibilidad calórica del ambiente atmosférico. Según como se la considere puede actuar sobre el crecimiento y sobre el desarrollo.

Sobre el crecimiento, la temperatura actúa según sus valores absolutos, estando relacionadas la acción con las llamadas temperaturas cardinales (Figura 13):

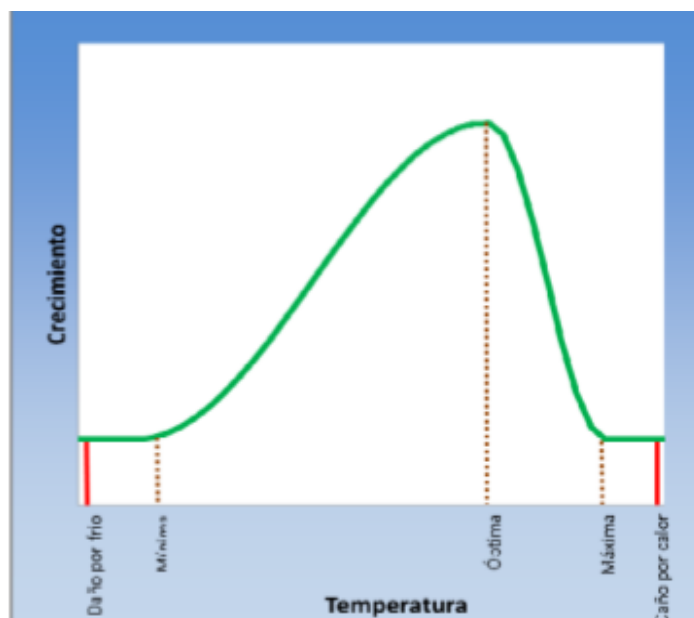
Temperatura óptima: intervalo de valores térmicos más favorables para el crecimiento y desarrollo de un cultivo.

Temperatura vital o umbral: temperatura por encima o por debajo de la cual el crecimiento o desarrollo del vegetal comienza a presentar cambios y modificaciones. Así, se define una temperatura vital o umbral máxima o mínima, respectivamente.

Temperatura letal: temperatura que se encuentran por debajo o por encima de las respectivas temperaturas que una planta puede tolerar, pudiendo producirse en los tejidos vegetales desde daños menores hasta la muerte. Así, se define una temperatura letal máxima o mínima, respectivamente.

El efecto perjudicial de las altas temperaturas puede producir quemaduras, aceleración de la maduración resultando en frutos con bajo contenido de azúcar, caída de flores por problemas de fecundación. Generalmente, los daños por altas temperaturas se conjugan con condiciones de alta irradiación, vientos secos, deficiente humedad edáfica y del aire.

Las bajas temperaturas pueden producir problemas por enfriamiento, en cultivos exigentes en temperatura, aun cuando esta no descienda de 0 °C o por congelamiento.



Fuente de la imagen: Horticulture/HighTunnels/2010-04sppr.
Disponible en:

https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2056&context=extension_curall

Figura 13. Relación entre la temperatura y el crecimiento (temperaturas cardinales)

La temperatura también incide sobre el comportamiento de hongos, bacterias, virus e insectos. Con temperaturas más elevadas (con valores óptimos según el organismo) se aceleran las reacciones químicas, y por lo tanto, los procesos fisiológicos. Por ejemplo, los insectos tienen un ritmo de maduración que es una función lineal de la temperatura, dentro de ciertos rangos. La temperatura también determina un punto que define la “temperatura umbral” para el insecto, por debajo de la cual el mismo se encuentra en diapausa (reposo).

Acción de la temperatura sobre el desarrollo

Sobre los procesos del desarrollo la temperatura ejerce su acción por un efecto por:

Acción positiva de las temperaturas en aumento

Acción positiva de las bajas temperaturas

Acción por su variación diaria y anual (termoperiodismo)

Acción positiva de las temperaturas en aumento

Las plantas, para completar su ciclo vegetativo, deben acumular cierta cantidad de temperatura, que representan la demanda energética necesaria para avanzar a la próxima etapa. Después de la germinación y en forma gradual, la temperatura del aire se vuelve de gran importancia para las etapas vegetativas y reproductivas. Una forma de considerar el efecto de las temperaturas sobre el desarrollo es a través de la suma de temperaturas o suma de unidades calóricas. Este índice se refiere a la cantidad de temperatura por encima de un determinado nivel, que una especie necesita acumular durante un subperiodo para alcanzar la fase reproductiva.

En ciertos cultivos como maíz, arveja, maní, girasol, entre otros, la duración de la etapa vegetativa puede definirse únicamente por la suma de temperaturas o unidades calóricas necesarias para completar el ciclo de cultivo. En cambio, en otras especies como la soja, el subperiodo nacimiento-floración es influenciado conjuntamente por la acumulación de temperaturas y el fotoperiodo.

La suma de temperaturas o suma de unidades calóricas puede calcularse de manera directa (método directo), sumando el valor de las temperaturas medias diarias mayores de 0 °C. Así, se determinó una suma térmica de 2000° C para el trigo o 3000°C para el maíz. Otra forma (método residual) consiste en restar a cada temperatura media diaria aquellas temperaturas por debajo de las cuales el vegetal no crece (cero vital, cero de crecimiento o temperatura base). En la mayor parte de los casos se usa la temperatura de 6 °C como cero útil. Sin embargo, se observó que el cero vital es variable según los cultivos.

Acción positiva de las bajas de las temperaturas

Las sumas de temperaturas (acción positiva) no pueden explicar correctamente el crecimiento y desarrollo de algunas especies que exigen estar sometidas durante un período de su ciclo a la acción de temperaturas relativamente bajas, es decir requieren un período de "enfriamiento". Es el caso de las especies perennes que pierden su actividad vegetativa durante el invierno (vegetales caducifolios) o de aquellos cereales de crecimiento invernal (cereales de invierno).

Las plantas perennes satisfacen su requerimiento en bajas temperaturas durante el periodo de descanso, periodo durante el que deben acumular una cantidad variable de horas de frío, según la especie y variedad (Tabla 3). Se llama horas de frío al número de horas en que la temperatura del aire permanece por debajo de 7 °C.

Tabla 3. Exigencia en horas de frío para diferentes especies criófilas

Especie	Horas de frío
Manzano	900 – 1000
Peral	800 – 900
Duraznero	+ 600
Ciruelo europeo	500 - 550
Ciruelo japonés	400 - 450
Damasco	300 - 350
Cerezo	200 – 300
Almendro	200 – 250

Cuando las horas de frío se producen en forma continua, sin alternancia de bajas y altas temperaturas, son más efectivas, dado que la alternancia de bajas y altas temperaturas puede hacer que las últimas anulen en cierto punto a las primeras. Las bajas temperaturas continuadas no son en absoluto perjudiciales para las plantas, así por ejemplo si en el manzano se superan las 1000 horas de frío esta circunstancia no implica ningún efecto nocivo para la planta.

Las horas de frío pueden conocerse en forma directa, a partir del registro y contabilización de la temperatura horaria o mediante distintos métodos de estimación.

Acción perjudicial de la falta de frío

Anomalías en la floración: reducción de la energía de fase, atraso en la floración, segundas floraciones, falta de sincronía en la floración de plantas dioicas (falta de sincronismo de la floración masculina y femenina)

Anomalías en la brotación: es común en años de temperaturas más elevadas observar ramitas de frutales criófilos, poco exigentes en frío, con una floración prematura con el desarrollo inclusive de pequeños frutitos, pero sin apertura de las yemas foliares, que producirán las hojas. Al no haber hojas que hagan fotosíntesis, se pierden las flores abiertas. Además, descensos térmicos producen el helamiento de los mismos.

Anomalías en la fructificación: cuando los años no son suficientemente fríos, en las plantas se observan pocos frutos que, además, son de tamaño variado debido a que se han producido a través de una dilatada floración. A su vez hay una cantidad menor de frutos por la pérdida de yemas, determinando una producción pobre y desuniforme. Es posible efectuar una estimación de rendimiento de una planta exigente al frío en función de las temperaturas invernales que ha soportado.

Ciertas especies anuales también presentan un requerimiento de frío necesario para la inducción de la etapa reproductiva, denominado vernalización. A diferencia de lo que ocurre en plantas perennes, en especies anuales se produce cuando la planta presenta tejidos activos (no se encuentra en reposo). La alternancia de temperaturas puede producir la desvernalización, revirtiendo el efecto vernalizante de las bajas temperaturas.

Acción de la temperatura por su variación o amplitud: termoperiodismo

El termoperiodismo es la influencia que tiene la amplitud térmica anual, diaria o asincrónica sobre el crecimiento y desarrollo de los vegetales. El termoperíodo es la variación diaria o anual de temperatura.

El termoperiodismo diario considera la variación diaria de la temperatura, y juega un papel preponderante en el desarrollo, como se observa, por ejemplo, en tomate.

El termoperiodismo asincrónico es una variante del termoperiodismo diario, que se presenta en los climas que, como el de nuestro país, se caracterizan porque la temperatura del aire no muestra un crecimiento diario definido desde invierno a verano, o a la inversa, una disminución paulatina y constante de verano a

invierno. Durante el año se produce una alternancia de periodos de altas y bajas temperaturas. Estas variaciones en la marcha térmica producen trastornos en las especies que tienen poca exigencia en frío y un bajo umbral de brotación o floración. El caso típico es el del almendro, que cuando se suceden periodos fríos satisface rápidamente su poca exigencia en frío, y luego, en los periodos cálidos posteriores comienza a brotar y a florecer. Estas flores y brotes no llegan a prosperar porque los descensos térmicos posteriores y heladas producen daños irreversibles.

Aspectos climáticos de la temperatura del aire

La temperatura del aire está condicionada principalmente por el balance de radiación solar (radiación neta), si bien también está muy influenciada por la naturaleza de la superficie terrestre y muy particularmente, por las diferentes proporciones entre tierra y agua, altitud y vientos dominantes.

La atmósfera tiene muy poca capacidad de absorber la radiación solar (radiación de onda corta), siendo por medio de la superficie terrestre que recibe la mayor parte de la energía calórica (radiación de onda larga). La superficie terrestre actúa como vía de entrada de la energía que envía a las capas inferiores del suelo por conducción y hacia las capas de la atmósfera por procesos de conducción, radiación, advección y turbulencia (Figura 14).

Conducción: el aire posee muy baja conductividad calórica por lo que, si fuera el único proceso de transporte de energía, las variaciones diarias de la temperatura se registrarían solo hasta unos pocos centímetros de altura sobre el suelo.

Radiación: si bien la atmósfera no absorbe la radiación solar (de onda corta), si lo hace con la radiación terrestre (de onda larga) debido a dos de sus componentes: el vapor de agua y el dióxido de carbono.

Advección: transporte de calor por masas de aire que se desplazan en sentido horizontal.

Convección: traslado de grandes masas de aire en sentido vertical, transportando calor.

Turbulencia: movimiento irregular debido a pequeños remolinos superpuestos a la corriente general que se desplazan con la misma. Al pasar de un lugar a otro estos remolinos también transportan el calor.

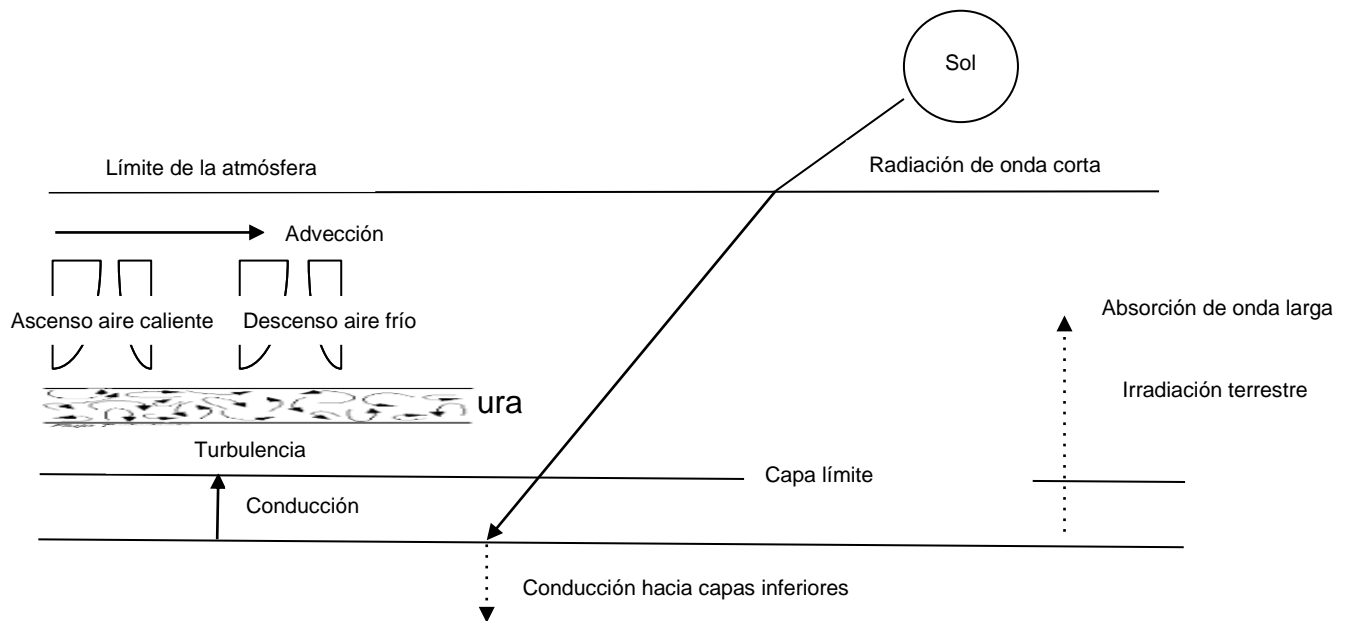


Figura 14. Esquema de los procesos intervinientes en el calentamiento del aire

Durante el día, la temperatura se eleva rápidamente y sigue subiendo hasta las 15 h después que el sol alcanza su altura máxima, al ser la radiación incidente mayor que la emitida. Después, cae continuamente durante toda la noche, registrándose el mínimo, generalmente hacia la salida del sol. La oscilación de la temperatura diaria, suponiendo que no haya un cambio en la masa de aire, ni otros efectos perturbadores, depende fundamentalmente:

Del estado del cielo: con cielo cubierto por nubes la radiación emitida por el suelo y la atmósfera es absorbida y devuelta por las nubes en gran parte, disminuyendo el máximo y aumentando el mínimo de temperatura.

De la estabilidad del aire: si existe una inversión, es mayor ya que la capa de aire a calentar es menor y la temperatura se eleva rápidamente hasta romper la inversión.

De la naturaleza de la superficie: sobre el mar la oscilación diaria es menor que sobre el suelo y el máximo ocurre antes, una hora y media después que el sol haya alcanzado su altura máxima (se produce antes el equilibrio entre la radiación incidente y la emitida, debido al menor calentamiento del agua).

Caracterización de la temperatura

Considerando los valores de interés para la producción agropecuaria, la descripción de la temperatura puede hacerse a través de los valores de temperatura media, máxima, mínima, la amplitud térmica y bioperíodos.

Temperatura media diaria

Puede calcularse:

- Sumando y promediando las temperaturas registradas en las 24 horas del día. Este método solo es aplicable cuando se cuenta con observaciones horarias.
- Sumando y promediando las tres observaciones diarias de 8, 14 y 20 horas. Este método es el utilizado en la República Argentina y el valor obtenido se aproxima bastante al obtenido promediando las temperaturas horarias.
- Sumando y promediando las temperaturas mínima y máxima del día.

Temperatura media mensual: se calcula sumando la temperatura media de todos los días y dividiendo esta suma por el número de días que posee el mes.

Temperatura media anual: se promedian las doce temperaturas medias mensuales, cometiéndose en la práctica un error bastante pequeño comparado con el valor obtenido al sumar las temperaturas medias diarias y dividir las por 365, que da un valor más exacto.

Temperaturas máximas medias y mínimas medias: promedio de las temperaturas más altas o más bajas registradas en el período considerado (día, mes, año).

Temperaturas máximas absolutas y mínimas absolutas: son las temperaturas más altas y bajas registradas en el período considerado (día, mes, año).

Amplitud térmica

Amplitud térmica media anual: diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del mes más frío.

Amplitud anual extrema o absoluta: diferencia entre la temperatura máxima más elevada y la mínima más baja, registradas durante el período de años considerados.

Amplitud térmica media mensual: para cada mes del año, diferencia entre la temperatura máxima media y mínima media.

Bioperíodos térmicos

Períodos del año con temperaturas medias diarias iguales o mayores a ciertos niveles considerados como las temperaturas de crecimiento para los diferentes grupos bioclimáticos de cultivos.

Bioperíodo de 5 °C: período con temperaturas mayores o iguales a 5 °C, favorables para el crecimiento de cultivos invernales (trigo, avena, cebada, centeno)

Bioperíodo de 10 °C: período con temperaturas mayores o iguales a 10 °C, favorables para el crecimiento de cultivos de media estación (papa) o de verano con alguna resistencia a heladas (girasol)

Bioperíodo efectivo de 10 °C: es similar al bioperíodo de 10 °C pero se deben descontar los días que coinciden con el período de heladas (sorgo y maíz)

Bioperíodo efectivo de 15°C: período con temperaturas medias diarias mayores o iguales a 15 °C, sin heladas favorables para cultivos muy exigentes en calor (soja, algodón y arroz)

Amplitud diaria de la temperatura

Está determinada por: la latitud, las estaciones del año, la distancia al mar, la topografía, la altura y la nubosidad.

Latitud: la amplitud diaria aumenta desde los polos hacia el Ecuador, debido a que en éste el día dura 12 horas y a medio día el sol envía sus rayos verticalmente en todas las épocas del año. Durante la noche, como ésta es relativamente larga, la temperatura del suelo sufre un descenso pues a la caída del sol se halla muy caliente. En latitudes medias, la amplitud diaria es mayor en verano, debido a que el sol envía sus rayos mucho más verticalmente y por más tiempo que en invierno. Además, la pérdida de calor es mucho más intensa en las noches estivales que en las invernales y el descenso de temperatura es más pronunciado en las noches de verano, aunque éstas sean más cortas.

Distancia al mar: la amplitud diaria es mayor cuanto mayor es la distancia al mar debido al calentamiento diferencial del agua y el suelo. En los continentes la temperatura llega a valores muy altos durante el día y muy bajos durante la noche.

Topografía: en los valles hay mayor amplitud que en las laderas de montañas ya que el aire más pesado se acumula en el fondo del valle provocando descensos de temperaturas.

Altura: la amplitud diaria disminuye considerablemente con la altura, ya que el aire absorbe muy poco la radiación solar y prácticamente se calienta y enfría por contacto con el suelo.

Nubosidad: cuanto más nuboso es un clima menor es la amplitud porque durante el día las nubes obstaculizan el paso de los rayos solares y evitan un excesivo calentamiento del suelo mientras que por la noche interceptan la radiación terrestre impidiendo un marcado descenso de la temperatura del suelo y en consecuencia de la del aire.

Variación anual de la temperatura:

La diferencia de temperatura entre los meses más cálidos y fríos es mayor en latitudes más elevadas y para la misma latitud sobre los continentes que sobre los océanos. Los menores valores de oscilación sobre los océanos o zonas próximas se deben al efecto moderador del mar, pues el calor específico, la penetración del calor y el calor latente de evaporación son elevados.

Amplitud anual de la temperatura:

Exceptuando las regiones cercanas al Ecuador, donde la temperatura es prácticamente igual durante todo el año, en el resto de las regiones de la tierra la temperatura varía con las épocas del año. La causa primordial de esta variación radica en las variaciones de la duración del día y de la inclinación de los rayos solares que llegan a la superficie. Todas las causas que determinan la amplitud térmica diaria actúan sobre la amplitud anual. La única causa que actúa en sentido inverso es a la latitud ya que la cantidad de calorías recibida por la superficie terrestre en un día de invierno y en un día de verano es muy distinta en las regiones polares. Esta diferencia va disminuyendo a medida que nos acercamos al Ecuador.

Variación de la temperatura con la altura:

En la atmósfera la temperatura disminuye con la altura unos 6,5 °C por km hasta la tropopausa (nivel en que la temperatura deja de descender o lo hace muy lentamente). Esta disminución no es constante para un lugar determinado, dependiendo del momento del día y de la época del año.

Ciertos procesos pueden dar lugar a que la temperatura aumente con la altitud, produciéndose lo que se denomina inversión de temperatura. Estas pueden deberse a:

- Pérdida de calor por radiación desde la superficie en noches despejadas de invierno, provocando el descenso de la temperatura de las capas de aire adyacentes al suelo.
- En los valles, durante noches despejadas, el aire frío proveniente de las laderas se va acumulando por ser más pesado y en este caso la temperatura del aire aumenta con la altura.
- Cuando se encuentran dos masas de aire de distinta temperatura, el aire frío más denso empuja y eleva el aire más cálido, reemplazándolo.
- Por advección de aire cálido sobre una superficie fría (agua, terreno frío o cubierto de nieve).

Balance calórico

El balance de radiación (R_n) es positivo o negativo según el momento del día y el lugar. Sin embargo, el planeta no se está calentando ni enfriando constantemente, sino que existe un equilibrio térmico, dado por el Balance Global o Balance de energía. Este concepto establece que, durante un período de tiempo considerado, el nivel medio de energía calórica del sistema en conjunto permanece constante, siendo sus fluctuaciones las responsables de los cambios conocidos como climáticos. Si en determinado momento se realiza la cuantificación de la cantidad de calor intercambiado, es decir la obtención del balance calórico general, el resultado sería igual a cero. Se han visto los diferentes flujos de calor que intervienen en el balance de radiación, pero la superficie no sólo devuelve energía calorífica a la atmósfera por radiación de onda larga, sino por medio de otros mecanismos de transferencia de calor que integrados determinan el balance calórico. Constituyen mecanismos de transferencia de calor:

Radiación neta o calor radiado (Q_r): calor disponible para la realización de otros flujos calóricos.

Calor latente (Q_{lat}): interviene en los procesos de cambio de estado del agua en la atmósfera (evaporación, condensación y congelación). Son ejemplos de estos procesos la formación de nubes, de granizo, precipitación.

Calor sensible (Q_a): procesos de calentamiento o enfriamiento del aire determinante del calor sensible, medible a través de termómetros.

Procesos de transferencia de calor por medio de movimientos horizontales (advectivos) y verticales (convectivos) de aire (Q_w).

Conducción térmica en forma directa desde el suelo (Q_s): transferencia de calor muy importante desde el punto de vista meteorológico ya que los procesos de calentamiento y enfriamiento del suelo determinan las distintas temperaturas del aire.

Transferencia de calor mediada por los procesos biológicos (Q_b): consumiendo o liberando calor, como el proceso de fotosíntesis, respiración, transpiración, metabolismo.

El resultado final de todos los flujos intervinientes da origen al Balance Calórico:

$$Q_r + Q_{lat} + Q_a + Q_w + Q_s + Q_b = 0$$

Medición de la temperatura

Temperatura del aire

Para medir la temperatura del aire debe evitarse que el depósito del termómetro sea alcanzado por el calor transmitido por radiación. Para ello se coloca el termómetro en el interior del abrigo meteorológico, que debe estar pintado de blanco, ser bien ventilado y ubicado en un lugar donde el viento circule libremente.

Los termómetros deben colocarse a 1,50 m de altura para obtener datos comparables entre los distintos observatorios.

Termómetro común: posee un bulbo esférico alargado para asegurar una buena superficie de exposición, que se prolonga en un tubo capilar de vidrio de Jena. La escala está dividida en grados y fracciones de grado quedando, junto con el tubo capilar, encerrados dentro de un tubo de protección.

Termómetro de máxima: es un termómetro de mercurio en vidrio para la medición directa de la temperatura máxima del aire alcanzada en un periodo de tiempo dado. La característica principal de este instrumento es un pequeño estrangulamiento o contracción que presenta el tubo capilar cerca de su base.

Cuando la temperatura del aire asciende, el mercurio se dilata y ejerce una presión que lo extiende desde el bulbo a la columna venciendo el estrangulamiento. Al descender la temperatura, el mercurio del bulbo se contrae y se produce la ruptura de la columna al no poder el mercurio que en ella se encuentra vencer la contracción o estrangulamiento citado. La lectura se efectúa sobre el extremo de la columna de mercurio del capilar. Para que este termómetro pueda volver a indicar otra temperatura máxima es necesario efectuar una operación llamada "puesta a punto", que consiste en tomar el termómetro por el extremo opuesto al bulbo y sacudirlo con un movimiento brusco y rápido hasta que el mercurio del capilar se una al del bulbo venciendo el estrangulamiento. La verificación de que la unión ha sido real se hace comparando la lectura del termómetro de máxima con la del común, ambas deben ser iguales.

Termómetro de mínima: es un instrumento de alcohol en vidrio. Conviene que el bulbo termométrico sea de forma esférica alargada, a horquilla, para aumentar la superficie de exposición y con ello su sensibilidad. En el interior del tubo capilar va colocado un índice de porcelana o vidrio. Al descender la temperatura, el índice es arrastrado por acción de la tensión superficial que se ejerce en el menisco. En cambio, cuando la temperatura asciende, el índice queda inmóvil porque sobre él ya no actúa esa tensión. La lectura se realiza sobre el extremo del índice opuesto al bulbo y para dejar el termómetro en condiciones de realizar una nueva lectura debe ser "puesto a punto" inclinando el termómetro de manera tal que el índice se desplace por acción de la gravedad hasta detenerse en el menisco de la columna. Para medir la temperatura mínima en abrigo meteorológico, se coloca el termómetro en posición casi horizontal con el extremo del bulbo levemente bajado a 1,25-2 m sobre el nivel del suelo.

Termógrafo: el elemento sensible se compone de dos tiras metálicas de diferentes coeficientes de expansión, soldadas entre sí en toda su longitud y que tienden a flexionarse con la de mayor expansión. Uno de los extremos del bimetalico se deja fijo y cuando ocurre una variación de la temperatura, se produce un cambio del radio de curvatura del sistema resultando deformaciones del elemento sensible que son transmitidas, a través de su extremo libre, a un sistema de palancas para su amplificación y luego a una pluma que inscribe un trazo sobre una faja. El tambor sobre el que está adosada la faja, gira mediante un mecanismo de relojería.

Temperatura del suelo

Se basan en el mismo principio que los termómetros comunes, pero se diferencian de éstos en:

la longitud variable de su capilar, tanto mayor cuanto mayor sea la profundidad en la que irá ubicado el bulbo

presentan forma acodada, con un ángulo de 30° con la vertical, a una distancia del bulbo igual a la profundidad a la que se quiere ubicar éste

Para su instalación, se entierra el bulbo y la parte del capilar correspondiente, quedando sobre la superficie el resto del instrumento (escala) que se ajusta por medio de un soporte especial.

Los geotermómetros son ubicados en orden creciente de profundidad, de este a oeste (5, 10, 15, 20, 50 cm, etc.).

Temperatura en la Argentina

Temperatura media: la temperatura media anual varía de 23 °C en el NO de Formosa hasta 5 °C en Ushuaia.

La temperatura media del mes más cálido varía de 29 °C en Salta-Formosa a 10 °C en el extremo S de Tierra del Fuego. Los factores que influyen principalmente sobre este elemento son: el escaso ancho del continente sudamericano, y su angostamiento progresivo aumentando la distancia al Ecuador.

La temperatura media del mes más frío corresponde al mes de julio, y es de 17 °C en el N de Formosa hasta 1°C en el extremo sur de Santa Cruz. Sin considerar las zonas más elevadas, se puede concluir que el invierno del territorio argentino es suave, lo que permite la cría de ganado a campo, por otra parte, si bien existe en nuestro país regiones productivas muy importantes de frutas criófilas, esta suavidad en los inviernos limita a otras regiones que podrían tener posibilidades.

Amplitud anual de la temperatura

La temperatura varía anualmente según las estaciones y según la ubicación geográfica. La amplitud anual está condicionada por tres efectos: la altitud del terreno, el efecto marítimo y la latitud. En el país la amplitud anual oscila entre 10°C y 15°C, siendo mínima en el extremo sur del territorio (7 °C). En comparación con el hemisferio norte, estos valores son moderados.

Las características descritas determinan la suavidad del clima argentino, por lo que se cuenta con recursos forrajeros tanto en invierno como en verano en distintas regiones del país. Sin embargo, los valores térmicos de cada región determinan la raza ganadera que presenta mejor adaptabilidad. Así, la isoterma¹⁰ de 26 °C del mes de enero delimita las regiones del país aptas para la cría de ganado europeo. La región del país donde el valor de la isoterma de enero es superior a 26 °C es apta para la cría de ganado asiático o hindú, debido a su mayor tolerancia al calor y a que los mecanismos de termorregulación son lo suficientemente eficaces hasta los 32 °C. La isoterma de 5 °C del mes de julio representa el límite entre la ganadería (templada) a campo y con estabulación (en establos) (Figura 15).

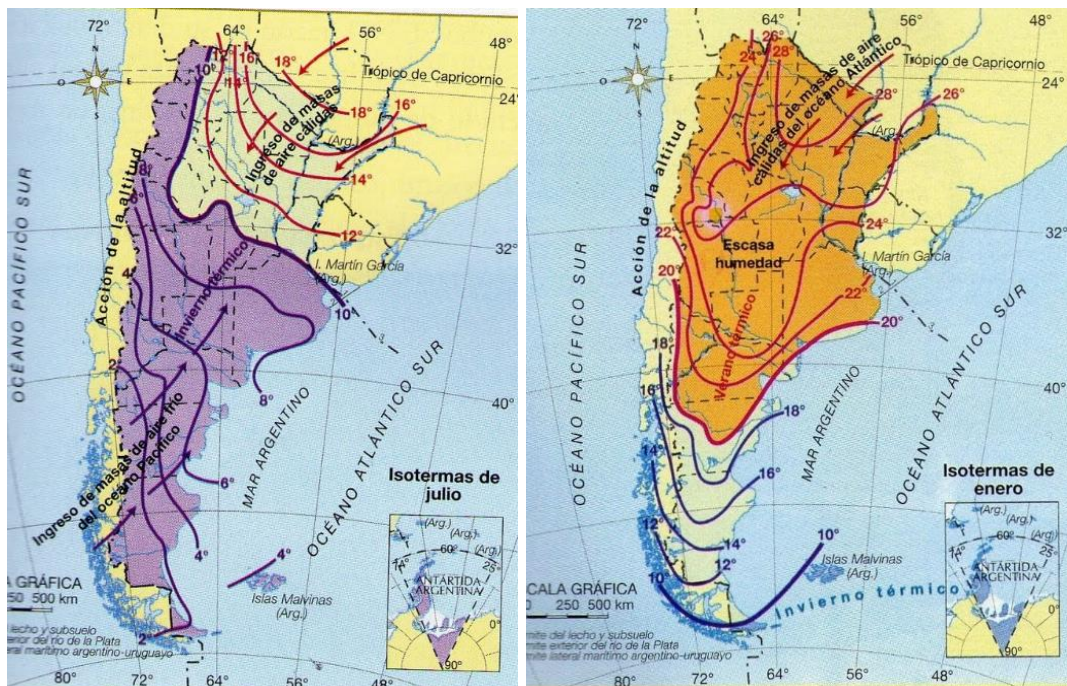


Figura 15. Isotermas de julio y enero

Bibliografía

- Castillo, F.E.; Castellvi Sentis, F. 1996. Temperatura. En: Agrometeorología. Pp. 185-206. Ediciones Mundi-Prensa.
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1975. Climatología y Fenología Agrícolas. Pp. 33-68. EUDEBA. 2º Ed.
- Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (eds.). 2011. Temperatura del suelo y el aire. En: Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Pp: 47-55.

¹⁰ Isoterma: línea que une puntos de igual temperatura

Humedad del aire. Precipitación

Agua en la atmósfera: ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso natural de transformaciones naturales del agua por el cual se mantiene más o menos constante el contenido de vapor de agua en la atmósfera (Figura 16). Este ciclo sucede gracias a los siguientes procesos:

Evaporación: el agua líquida de distinta procedencia (océanos, mares, ríos, lagos, etc.), de las capas superficiales del suelo, o contenida en los seres vivos, pasa al estado de vapor, y así a formar parte de la humedad de la atmósfera, y puede ser transportada por los movimientos de ésta a distintos puntos del planeta. Para este proceso se requiere energía (calor latente de evaporación $\approx 600 \text{ cal.g}^{-1}$), que es provisto en forma directa o indirecta por la radiación solar. El 80% del agua evaporada proviene de los océanos y la transpiración de las plantas contribuye con un 10%.

Condensación: el agua en estado de vapor puede pasar a su forma líquida, liberando una cantidad de energía equivalente a la absorbida en la evaporación (calor latente de condensación). Así, se forman pequeñas gotas que se mantienen en suspensión formando nubes, lo que ocurre cuando el aire alcanza la máxima cantidad de agua en estado de vapor que puede contener a una determinada temperatura (aire saturado).

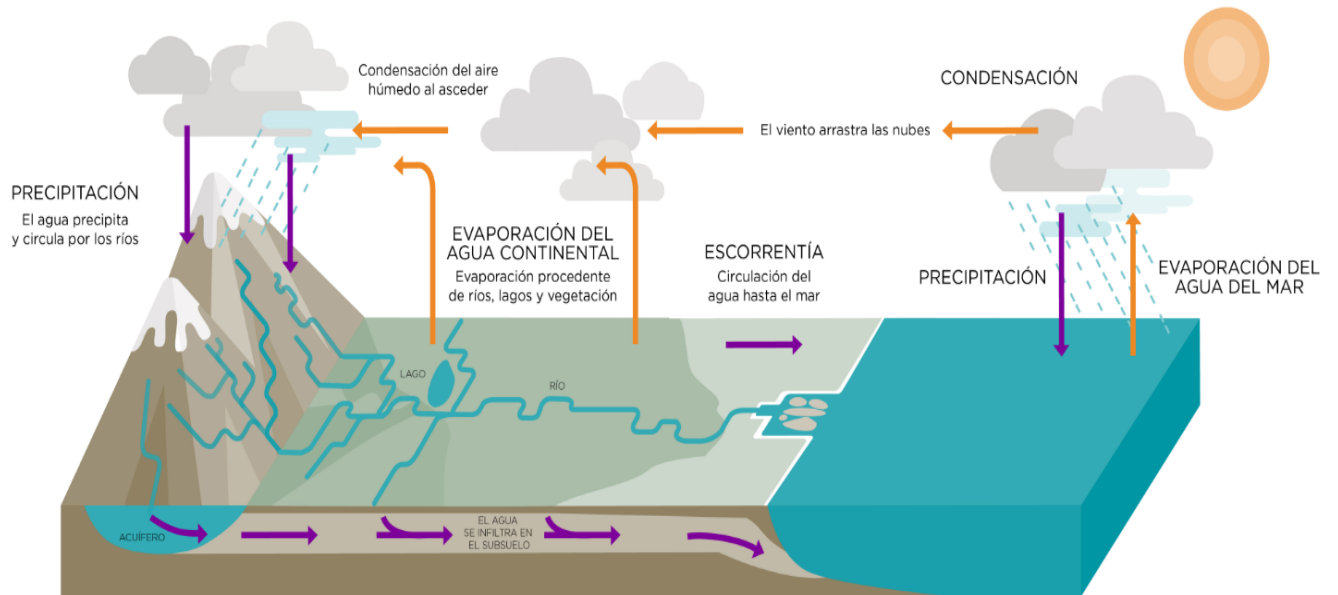
Solidificación o congelación: es el cambio del agua de estado líquido a sólido, proceso en el que se libera energía al ambiente (calor latente de solidificación = 80 cal.g^{-1})

Fusión o derretimiento: pasaje de hielo a agua líquida, lo que implica absorción de energía (calor latente de fusión = 80 cal.g^{-1})

Deposición: es el pasaje de gas a sólido, que implica liberación de energía (calor latente de deposición = 620 cal.g^{-1})

Sublimación: transformación directa de sólido a gas, y siendo el proceso inverso al anterior, requiere energía (calor latente de sublimación = 620 cal.g^{-1})

Ciclo del agua



IGN - Atlas Nacional Interactivo de Argentina

Figura 16. Esquema del ciclo hidrológico

Fuente: <https://ide.ign.gov.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=9afbdac4af82412d9a7657168198e5f3>

Humedad del aire

El vapor de agua (humedad) es uno de los principales gases que componen la atmósfera.

Importancia meteorológica del vapor de agua

- Absorbe muy fácilmente las radiaciones térmicas. Debido a ello, una masa de aire húmedo se calienta más que una masa de aire seco bajo la acción del sol.
- Por su condensación o congelación, produce distintos fenómenos meteorológicos como nubes, nieblas, lluvia, nieve, granizo.
- Regula la pérdida de calor terrestre y también regula la intensidad de las heladas (forma parte de los gases con efecto invernadero).
- Regula la velocidad con que se evapora el agua sobre la superficie terrestre y de los mares y océanos

Importancia agrícola del vapor de agua

- Regula la desecación de los suelos
- Infiuye en la tasa de transpiración de las plantas
- Puede afectar a la fecundación, por problemas de adherencia del grano de polen en condiciones de baja humedad relativa

- Incide en la aparición de plagas y enfermedades, por el valor de humedad relativa o por la condensación de agua (rocío), condición que puede ser favorable para la infestación por esporas de hongos, por ejemplo
- Influye en la planificación de las labores culturales, como por ejemplo en la cosecha, siendo deseable que se realice en ausencia de rocío.

La cantidad de vapor de agua o humedad que puede contener el aire depende directamente de la temperatura. El aire a menor temperatura puede contener menor cantidad de agua en estado de vapor, llegando más rápidamente a la saturación y pudiendo condensarse. La forma más común de expresar el contenido de vapor de agua en el aire es a través de la humedad relativa.

La **Humedad relativa (HR)** es la relación entre la cantidad de vapor de agua que se halla en el aire y la máxima capacidad que podría contener a igual temperatura (100%).

La humedad relativa varía siempre que cambie la cantidad de vapor de agua presente en el aire y también cuando varía la temperatura y volumen de aire.

Por ejemplo, un descenso térmico trae una disminución en la capacidad del aire para mantener agua en estado de vapor, motivo por el cual aumenta la humedad relativa, aun cuando no se haya modificado la cantidad de vapor de agua (Figura 17). Cuando la temperatura, y por tanto la capacidad del aire, disminuye hasta que la humedad relativa alcanza el 100%, se llega a **saturación**. La temperatura para la cual dicha humedad relativa fue alcanzada, sin modificar la cantidad de vapor de agua, es la **temperatura de punto de rocío (TR)**. Un enfriamiento más allá de este punto da lugar a la condensación.

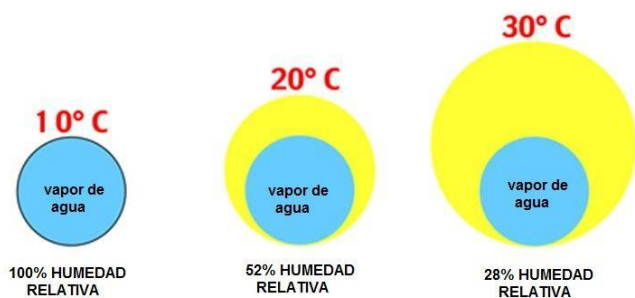


Figura 17. Esquema que relaciona la temperatura del aire con su humedad relativa
Fuente de la imagen:
<https://www.areaciencias.com/meteorologia/humedad/>

Otro concepto importante es el de **Déficit de saturación (DS)**: cantidad de vapor de agua que puede admitir una masa de aire a determinada temperatura hasta alcanzar el estado de saturación a esa misma temperatura. Puede también entenderse como la diferencia entre cantidad de vapor de agua que una masa de aire puede contener a saturación y la que efectivamente tiene, sin que haya variación de temperatura. Su unidad de medida se expresa en mm de Hg o mb.

Medición de la humedad relativa

El higrotermógrafo o termohigrógrafo es un instrumento que mide la humedad relativa y la temperatura.

La parte sensible del aparato que mide la humedad (higrógrafo), está constituida por un haz de cabellos desengrasados que se alarga cuando aumenta la humedad relativa del aire, y se acorta cuando la humedad disminuye. Al pasar del aire seco al saturado, el alargamiento ronda el 2%, no siendo lineal la relación entre la humedad relativa y el alargamiento. Para transformar la variación de longitud del cabello en movimiento del brazo portador de la plumilla, se utilizan sistemas de palancas. La faja del higrógrafo tiene grabadas verticalmente las horas del día. Horizontalmente están marcados los valores de 0 a 100, dando directamente los valores de la humedad relativa. Si bien la precisión de este instrumento varía en +/-5%, proporciona una información valiosa y de fácil obtención. La unidad para la medición de la temperatura (termógrafo) tiene como sensor una placa metálica cuyos cambios de longitud determinan el movimiento de la plumilla que marca el valor de la temperatura sobre la cinta de papel.



Variación de la humedad relativa

La variación diaria de la humedad relativa sigue una marcha inversa a la de la temperatura. Por lo tanto, los máximos se producirán en la noche y los mínimos a la tarde y a medio día.

En el año, la variación de la humedad relativa sigue una marcha diferente, según el régimen de precipitaciones. Cuando éstas son uniformes a lo largo del año, la relación con la temperatura determina máximos de humedad relativa invernales y mínimos estivales; pero cuando las lluvias caen en una sola estación del año (invierno o verano), se puede producir algún corrimiento.

Condensación del vapor de agua

La condensación es una causa directa de las diversas formas de precipitación. Para que se produzca condensación, el aire debe enfriarse hasta la temperatura del punto de rocío o inferior, alcanzando el estado de saturación. Este enfriamiento del aire puede ser directo o por ascenso.

El enfriamiento directo puede producirse por la irradiación del suelo y consiguiente enfriamiento del aire o también por la circulación, movimiento o desplazamiento de una masa de aire frío. En ambos casos, la causa es la

formación de condensaciones a nivel de la superficie: nieblas, neblinas, rocío, escarcha (cuando el enfriamiento de la masa de aire supera el punto de congelación).

El enfriamiento por ascenso está dado porque, el aire, al ascender encuentra presiones más bajas, por lo que se expande, y al expandirse se enfría y puede alcanzar el punto de saturación o excederlo. Por el contrario, el aire descendente se calienta por compresión y el agua condensada se evapora (Figura 18). Este cambio de temperatura del aire se da sin intercambio de calor con el medio ambiente (procesos adiabáticos), debido a que el movimiento se da a una velocidad tal que no hay tiempo suficiente para un intercambio eficaz de calor con el aire del entorno. Este enfriamiento adiabático es el principal responsable de las mayores condensaciones que se producen en la atmósfera y de la formación de nubes.



Figura 18. Esquema de una burbuja de aire en movimiento vertical

Fuente de la imagen: <https://www.tutiempo.net/meteorologia/masas-de-aire.html>

Nubes

Las nubes son un conjunto visible de minúsculas partículas de agua líquida o hielo o de ambas al mismo tiempo, que se encuentran en suspensión en la atmósfera. La formación y disipación de nubes está relacionada con los movimientos ascendentes y descendentes del aire.

Las partículas provienen de la condensación o la congelación del vapor de agua. Las gotas de nubes tienen un tamaño entre 0,01 y 0,1 mm de radio. Las corrientes ascendentes que se producen dentro de una nube hacen que las gotas se mantengan suspendidas hasta que se evaporan o hasta que aumentan de tamaño y caen en forma de gotas de lluvia. Para la formación de gotas deben estar presentes núcleos de condensación, que son componentes sólidos de la atmósfera (impurezas), de entre 0,1 y 10 μm , presentes en cantidad variable (sales oceánicas, polvo atmosférico, etc.), necesarios para que comiencen a aglutinarse las pequeñas gotas presentes en la nube. Para que las nubes precipiten es necesario el crecimiento de las gotas que, al aumentar su masa, vence la resistencia del aire y cae como precipitación.

El aumento de tamaño de la gota puede darse por coalescencia. Mediante este proceso, gotas de mayor tamaño, en su movimiento en la nube, van captando gotas más pequeñas, e incrementando su tamaño a costa de estas. Cuando en la nube hay presencia de cristales de hielo, el crecimiento de la gota se

produce por la incorporación de las gotas a estos cristales, que van así, aumentando su tamaño hasta que precipitan (Figura 19). En este último caso, si en el descenso encuentran temperaturas superiores a 0 °C, precipitarán en forma líquida, y si la temperatura se mantiene por debajo de 0 °C, en forma sólida, como granizo.

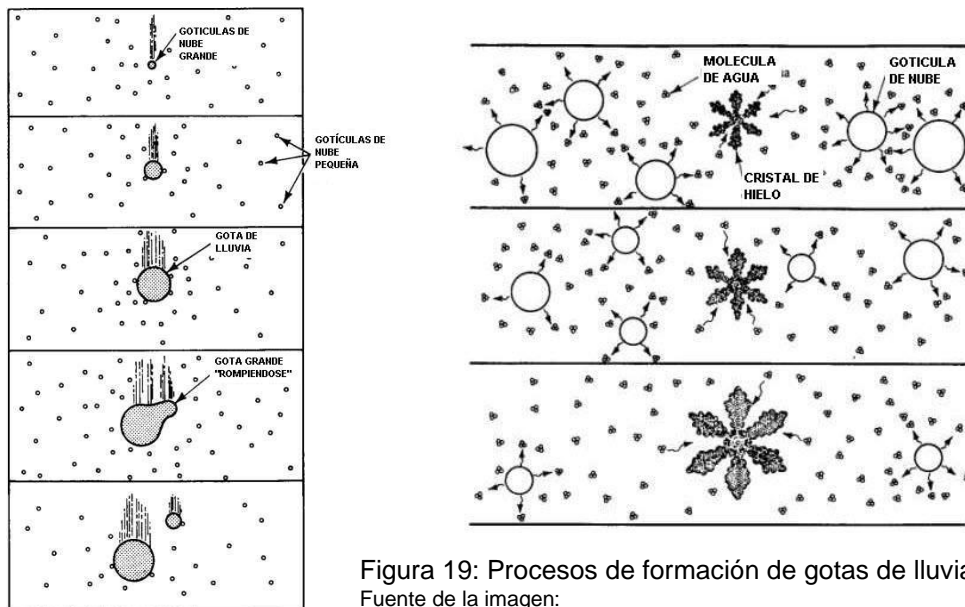


Figura 19: Procesos de formación de gotas de lluvia
 Fuente de la imagen:
<http://www.canalextramadura.es/noticias/meteocuriosidades/como-se-forman-las-gotas-de-lluvia>

Precipitación

La precipitación es el producto líquido o sólido de la condensación del agua atmosférica que cae o se deposita sobre la superficie de la tierra.

La precipitación tiene efecto sobre el crecimiento y desarrollo vegetal, y consecuentemente sobre la producción, pues su presencia, ausencia o variación, determina que los rendimientos sean mayores o menores en un lugar donde los elementos bioclimáticos (temperatura y duración del día) han posibilitado la implantación de un cultivo. Por ejemplo, en aquellas regiones donde la temperatura es alta todo el año, la duración del día varía poco y las lluvias son continuas, como en las regiones ecuatoriales, el cultivo puede implantarse en cualquier época del año (no existe un ciclo biológico definido). En las regiones tropicales, donde existe una verdadera estacionalidad de las precipitaciones (época seca y húmeda), los cultivos se hacen en la época húmeda.

Clasificación de la precipitación

La precipitación desde una nube puede adquirir distintas formas que dependen del tipo de nube y de las condiciones atmosféricas que se presentan durante su ocurrencia. Puede ser líquida o sólida y en ambos casos es un hidrometeoro. Según su estado físico y diámetro de las gotas, los hidrometeoros se clasifican en:

Llovizna: precipitación líquida cuyas gotas no superan los 0,5 mm de diámetro. Proviene de nubes bajas estratificadas. Puede ser un buen aporte de agua al suelo, por su característica de no erosionarlo, producir un buen mojado y poder alcanzar cantidades significativas.

Lluvia: precipitación líquida formada por gotas de 0,5 a 3 mm de diámetro. Se produce por nubes de desarrollo vertical con temperatura en la base superior a 0 °C.

Chaparrón o chubasco: precipitación compuesta por gotas de mayor tamaño, que se da en forma intensa y discontinua, con escasa extensión horizontal. Poseen poca duración, pero mucha intensidad.

Nieve: el agua se solidifica formando cristales hexagonales que se agrupan en copos.

Aguanieve: es una variedad de nieve, compuesta por una mezcla de nieve y lluvia, que se produce cuando la temperatura en el ambiente no es suficiente para favorecer la precipitación en forma de nieve.

Granizo: se forma en nubes que se encuentran en gran parte de su espesor con temperatura inferior a 0 °C, y en las que las gotas de agua son arrastradas hacia arriba por corrientes de aire, congelándose rápidamente formando piedras de hielo. Cuando alcanzan un diámetro de 5 a 50 mm, pueden vencer la corriente ascendente y precipitan. Ocurre en forma ocasional y con una distribución muy irregular.

Rocío: condensación directa sobre la superficie, cuando la temperatura es superior a 0 °C.

Escarcha: condensación directa sobre la superficie, cuando la temperatura es inferior a 0 °C.

Procesos involucrados en la precipitación

Para que se produzca precipitación es necesario que exista ascenso de una masa de aire, enfriamiento, condensación y crecimiento de las gotas. El ascenso del aire puede ser provocado por distintas causas, que determinan la clasificación de las precipitaciones según su origen. Las causas de ascenso del aire pueden ser:

Ascenso convectivo: el calentamiento de aire en superficie provoca expansión y ascenso de la masa de aire, que al ascender se expande, se enfría adiabáticamente, condensa y puede producir precipitaciones que se caracterizan por ser aisladas, intensas y de corta duración (chaparrones) (Figura 20). Este tipo de precipitación tiene cierta importancia en la zona central de la Argentina (Córdoba, La Pampa), particularmente en verano.

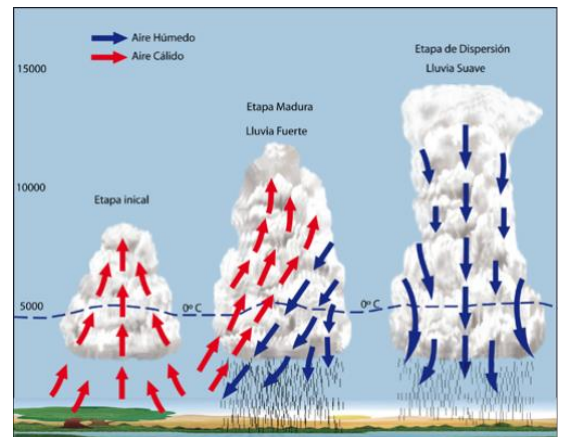


Figura 20. Precipitación convectiva
Fuente de la imagen:
<https://www.iagua.es/respuestas/que-consiste-precipitacion-atmosferica>

Ascenso orográfico: al encontrar una cadena montañosa, la masa de aire se eleva, se enfría, condensa y precipita, dando origen a la precipitación orográfica (Figura 21). La escala e intensidad de la precipitación orográfica está estrechamente relacionada con la altura y la extensión horizontal de la barrera del relieve y las características de aire que llega a ella. Este tipo de precipitaciones se presentan en las áreas montañosas de Tucumán, Salta, Jujuy.

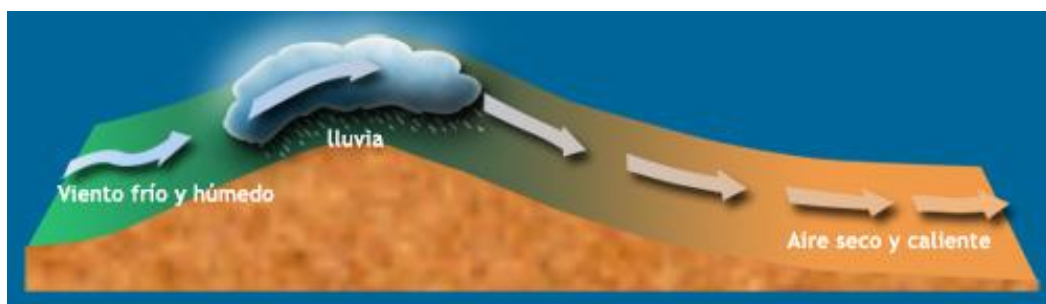


Figura 21. Esquema de precipitación orográfica

Fuente de la imagen: <http://cienciasvirtual.com/apuntesbach/ctma2bach/atmosfera/meteorologia.htm>

Ascenso por convergencia: se producen en una zona de baja presión hacia la que converge aire procedente de zonas de alta presión (Figura 22). En la Argentina se dan en el Noroeste.

Ascenso frontal: encuentro de dos masas de aire con distinta temperatura y humedad, en donde el aire más cálido (menos denso) se eleva, con el consecuente enfriamiento y condensación (Figura 23). Puede producir precipitaciones de distinta duración e intensidad dependiendo de las características de las masas de aire. Estas precipitaciones frontales son el tipo predominante en la Argentina.

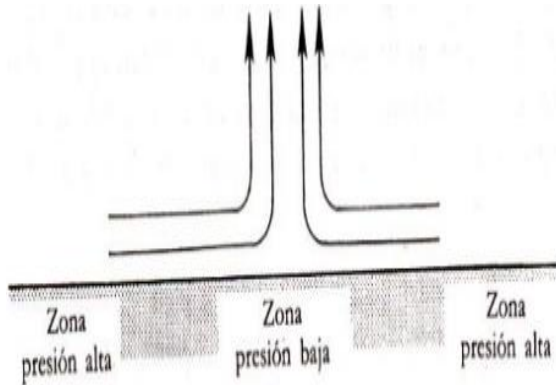


Figura 22. Ascenso por convergencia



Figura 23. Ascenso frontal

Fuente de las imágenes: Salcedo Hurtado, E. 2011.
<https://es.slideshare.net/dianagesama/temperatura-y-circulacin-2>

Medición de la precipitación

La cantidad de precipitación se expresa por la altura de la lámina de agua formada sobre un suelo completamente horizontal e impermeable, suponiendo que no se produce evaporación, infiltración ni escurrimiento. La altura se expresa en mm: 1 mm de precipitación equivale a 1 litro de agua por m^2 y es igual a $10 m^3$ por ha (10.000 litros por ha).

También es importante la intensidad: relación entre la cantidad y el tiempo de precipitación. Se expresa generalmente en mm/hora.

Para la medición de la cantidad de precipitación se utiliza el pluviómetro y el pluviógrafo (Figura 24), siendo este último el que permite también la determinación de la intensidad.

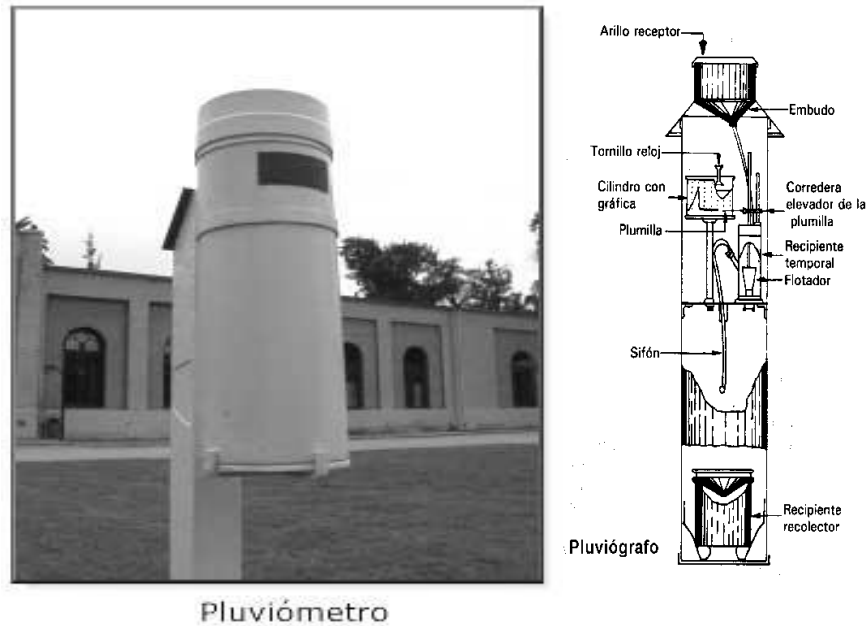


Figura 24. Pluviómetro y pluviógrafo

Factores que inciden sobre la precipitación

Latitud: en general, la precipitación es mayor en latitudes menores. En el ecuador la precipitación es más abundante que en zonas templadas y que en las regiones polares.

Dirección de los vientos: el contenido de humedad de los vientos depende de su origen, determinando la cantidad de lluvias que presenta una región. Cuando los vientos soplan de la tierra hacia el mar, la condensación es escasa, por lo que también lo es la precipitación.

Distancia al mar: cerca de la costa, la llegada de aire caliente y húmedo es más común que hacia el interior de los continentes. Así, la cantidad de lluvia normal anual disminuye desde la costa hacia el interior de los continentes.

Relieve del suelo: la presencia de cadenas montañosas obliga a las masas de aire a ascender provocando la ocurrencia de precipitaciones orográficas.

Aspectos climáticos de la precipitación

Este elemento climático es un fenómeno discontinuo, el valor promedio de la precipitación no es un valor continuo. El comportamiento de la precipitación

está caracterizado por la gran variabilidad que presenta tanto en los valores anuales como mensuales.

Precipitación diaria: precipitación mayor a 0,1 mm acumulada entre las 8 horas de un día y las 8 horas del día siguiente.

Precipitación mensual: es la correspondiente a la suma de todas las precipitaciones diarias del mes.

Precipitación anual: es la precipitación total acumulada desde las 8 horas del 1° de enero de un año hasta las 8 horas del 1° de enero del año siguiente, es igual a la suma de los valores de precipitación mensual de los 12 meses del año.

Precipitación media mensual: promedio de una serie no inferior a 30 años de precipitaciones mensuales.

Precipitación media anual: promedio de una serie larga de años de precipitaciones anuales.

Frecuencia media de días de lluvia: número medio mensual de días en que ocurrieron lluvias cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm.

Frecuencia media de días con granizo: número medio mensual de días en que precipitó granizo cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm.

Frecuencia media de días con nevadas: número medio mensual de días en que ocurrieron nevadas cuya cantidad fue mayor o igual a 0,1 mm. Se mide con nivómetro, a la nieve acumulada en el instrumento se la derrite y se hace la lectura con el pluviómetro.

Ejemplo: 1 cm de nieve = 1 mm en precipitación.

Precipitación en la Argentina

En la Argentina no existen zonas en las que la precipitación supere los 2000 mm anuales, observándose su disminución hacia el SO, desde 1700 a 2000 mm anuales (NE Misiones) hasta 250 – 300 mm en región de Cuyo. En la región patagónica se registran unos 200 mm anuales, a excepción de Bariloche, donde en invierno precipitan entre 1800 a 2000 mm. La región más seca se distribuye en San Juan, La Rioja, Catamarca y parte de Salta, con valores anuales de 100 mm. En la región de la Sierras Orientales de Tucumán, Salta y Jujuy aumentan los valores de precipitación por aumento de la altura, decreciendo nuevamente hacia el oeste (Figura 25).

La aptitud agrícola y ganadera de una región no solo depende de la cantidad anual de las precipitaciones sino también de la distribución de estas a lo largo de los 12 meses del año, lo que se define como su **régimen de precipitación**. Como criterio general, el régimen de precipitaciones se puede definir:

Monzónico: las precipitaciones del semestre cálido son iguales o mayores al 80% de la precipitación anual. Las precipitaciones se concentran en la estación cálida. (Jujuy, Salta, Tucumán).

Mediterráneo: las precipitaciones del semestre frío son iguales o mayores al 60% de la precipitación anual. Las precipitaciones se concentran en la estación invernal (Región Cordillerana norte de la Patagonia).

Isohigro: las precipitaciones se distribuyen más o menos uniformemente a lo largo del año (provincias de litoral y de las estepas pampeana y patagónica).

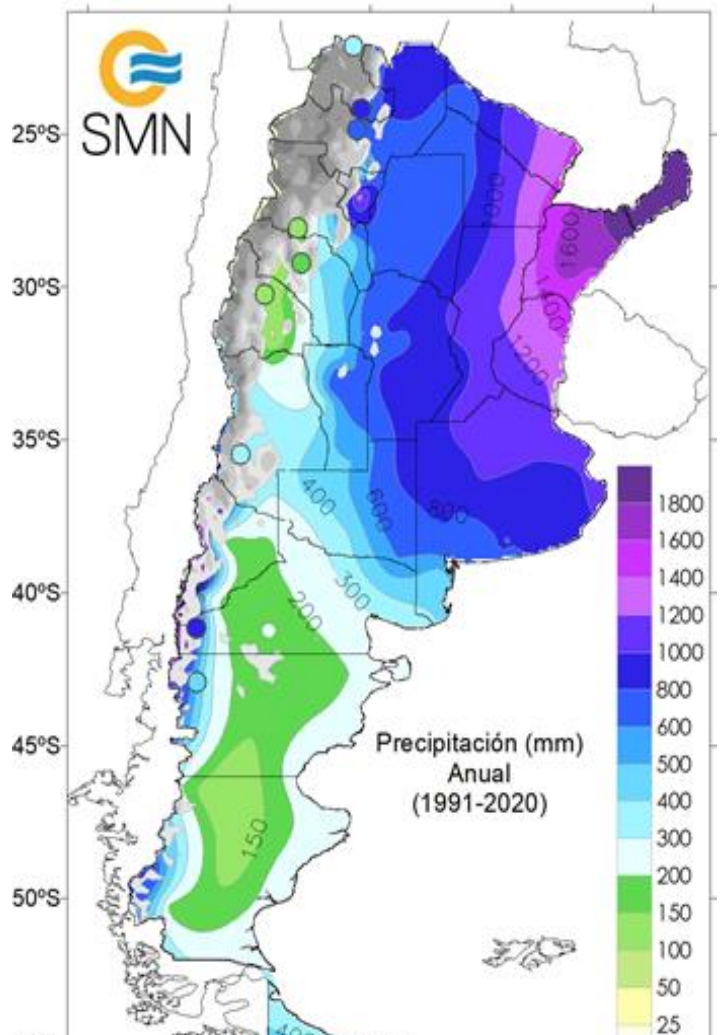


Figura 25. Precipitación anual (mm) para la Argentina. Período 1991-2000

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional:
<https://www.smn.gob.ar/clima/atlasclimatico>

Bibliografía

- Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.) 1996. Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca central.*
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

Evapotranspiración

En las plantas, el agua refrigera y transporta los nutrientes, existiendo una relación directa entre la transpiración y la materia seca producida; siendo por esto relevante la evaporación, la transpiración (evapotranspiración de las plantas) y el balance hídrico del suelo.

La evaporación se mide por la altura en mm de la capa de agua evaporada durante un período de tiempo dado. Físicamente, la evaporación es el pasaje del agua líquida a agua vapor. Para la realización de este proceso las moléculas del agua líquida deben aumentar su energía cinética por la incorporación de otra energía, que es, por lo general, la energía solar. La evaporación es un proceso continuo a cualquier temperatura. La cantidad de agua que se evapora en la unidad de tiempo es distinta, según sea una superficie de agua libre o una superficie de suelo variando, en este caso según el suelo esté cubierto o desnudo.

En una superficie de agua libre (mar, lagunas, etc.) la intensidad de evaporación está regulada por distintos factores:

- Cantidad de energía solar (energía incidente) que recibe, y que hace aumentar la temperatura y la energía molecular.
- Viento: a mayor velocidad del viento, mayor intensidad de evaporación debido al "arrastre del vapor", que favorece su disipación, evitando que el ambiente llegue a la saturación, con lo que cesaría la evaporación.
- Hidrolapso: distribución vertical de la humedad del aire (gradiente vertical de humedad). A mayor gradiente, mayor intensidad de evaporación.

Otras condiciones importantes se refieren al área de la superficie en estudio y, sobre todo, a la rugosidad. A mayor rugosidad (olas u ondas) mayor superficie por unidad del área y mayor evaporación. La calidad del agua también incide sobre la evaporación, dado que la presencia de sólidos disueltos (sales) aumentan la tensión entre moléculas de agua, por lo que mayor salinidad se relaciona a una menor evaporación.

En una superficie de suelo desnudo (sin cubierta), la intensidad de evaporación, además de todos los factores vistos, obedece a la cantidad de agua disponible en el suelo (si el suelo está seco no evapora); siendo una condición especial de regulación el poder con que el agua esta retenida en el suelo.

En un suelo cubierto, la intensidad de pérdida de agua depende no solo de los factores físicos, sino también de los factores de la cobertura vegetal: la densidad y el tipo de plantas, profundidad de raíces, albedo de la capa foliar, regulación transpiratoria (apertura y cierre de estomas). La transpiración tiene una velocidad o intensidad que varía con las características mismas del vegetal, y depende también de la cantidad de agua que encuentra disponible en el suelo.

El contenido de agua en el suelo es variable, y depende de la cantidad de agua que llega al suelo por precipitación y la que el suelo pierde por evapotranspiración.

El suelo es un sistema disperso compuesto por tres fases: líquida (25%), gaseosa (25%) y sólida (50%). El espacio que queda entre las partículas sólidas constituye el espacio poroso, que puede ser llenado en mayor o menor grado por el agua. Así, se puede definir:

Suelo saturado: todo el espacio poroso se encuentra lleno de agua, sin presencia de aire. En este punto, el porcentaje de agua representa la cantidad máxima de agua en el suelo.

Agua gravitacional: cantidad de agua que un suelo saturado pierde por gravedad. Es decir, agua que va hacia la profundidad "percolando", obedeciendo a la fuerza de gravedad, y así el suelo deja de estar saturado, y en los espacios porosos aparece aire otra vez.

Capacidad de campo: cantidad de agua que queda en un suelo después de haber descendido o escurrido el agua gravitacional. Este contenido de agua es constante para cada suelo, y se dice que el suelo está a la humedad equivalente. El agua que queda en el suelo se encuentra formando una película alrededor de todas las partículas sólidas del suelo y llenando los canales que se forman dentro del suelo en virtud del ordenamiento de esas partículas; en esos capilares, el agua es retenida por tensión superficial.

Coefficiente de marchitez: si el suelo se seca por evaporación, la cantidad de agua irá disminuyendo. Si se observa una planta en ese suelo, la misma comenzará a manifestar síntomas de marchitez o decaimiento en el momento en que la cantidad de agua del suelo es insuficiente para satisfacer las funciones vitales del vegetal. Es la cantidad de agua del suelo, cuando la planta entra en marchitez, y es la cantidad de agua mínima compatible con la vida del vegetal.

Agua útil: toda el agua del suelo que está entre la capacidad de campo y el coeficiente de marchitez. Es el agua utilizable por la planta.

Agua higroscópica: agua que no es asimilable por las plantas pues no alcanza el límite mínimo para satisfacer la capacidad de absorción de las raíces. Se da cuando un suelo totalmente seco que se va irrigando muy lentamente: al principio el agua se fijará como una película muy adherida a las partículas sólidas, que muy difícilmente deja el suelo.

En la Figura 26 se esquematizan distintos contenidos de humedad del suelo.

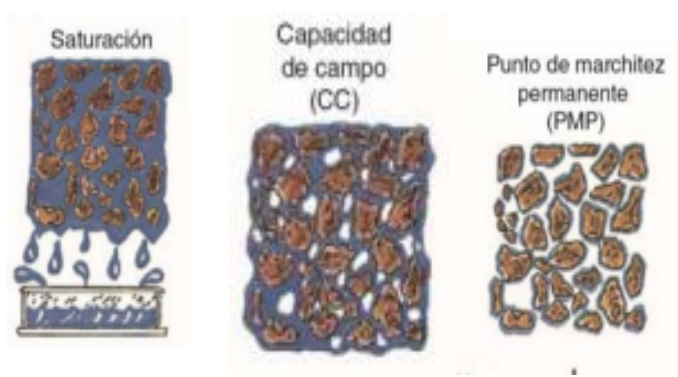


Figura 26. Esquema de los contenidos de humedad del suelo

Fuente: adaptado de Cruz, R. et al. En: https://cenicana.org/pdf_privado/no_clasificaci

El suelo útil no es el suelo saturado, pues en él no hay gases necesarios para las plantas. El suelo adecuado es el que se encuentra en su humedad equivalente o capacidad de campo, y es la cantidad de humedad que mejor responde a un más activo crecimiento.

Cuando un suelo está saturado, la disponibilidad de agua en la superficie evaporante es ilimitada. Pero a medida que se va secando, o sea, que decae la cantidad de agua por debajo de la capacidad de campo, la cantidad de agua evaporada va a ser cada vez menor y, en consecuencia, disminuye la capacidad evaporativa de un suelo a medida que disminuye su cantidad de agua.

Es importante diferenciar los siguientes conceptos:

Evapotranspiración potencial (ETP): cantidad de agua posible de perderse desde un suelo por evaporación desde el mismo suelo y por transpiración de las plantas cuando el contenido de humedad del suelo es óptimo, o sea, está en su capacidad de campo. Su conocimiento permite establecer el grado en que se satisfacen las necesidades de agua de un área determinada, siendo de suma importancia para la planificación y desarrollo de las actividades agropecuarias y forestales.

Evapotranspiración real (ER): pérdida de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas, según el contenido circunstancial de agua en el suelo. En condiciones ideales (sin restricción hídrica), la ER puede tener igual valor que la ETP, pero nunca será superior a ésta.

Unidades de la evapotranspiración potencial

La evapotranspiración se expresa en milímetros (mm) acumulados de agua perdida en una determinada cantidad de tiempo, que puede ser una hora, un día, un mes, un año, o el ciclo completo del cultivo.

Medición de la evaporación y evapotranspiración

La evapotranspiración es un elemento continuo, cuyo registro se realiza principalmente en las estaciones agrometeorológicas por su importancia en las actividades agropecuarias y forestales.

Su medición se realiza mediante un tanque de evaporación, con dimensiones y características preestablecidas, en el que se realiza diariamente la medida de la altura del agua, al mismo tiempo que se lee la precipitación (Figura 27).

También puede utilizarse el evaporímetro de Piché que mide la mide la evaporación en un tiempo dado. Consiste en un tubo de vidrio graduado de 0 a 30 ml, cerrado en uno de sus extremos y lleno de agua. La parte abierta del tubo se cierra con un disco de papel secante poroso, que posee un anillo que presiona asegurando el cerramiento. El agua evaporada está marcada por el descenso del nivel de agua que se observa en el tubo medidor. Este aparato se coloca dentro del abrigo meteorológico (Figura 28).



Fuente de la imagen. Instrumentos meteorológicos. MeteoRed. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/1410/instrumentos-meteorologicos-4/>

Figura 27. Tanque de evaporación



Fuente de la imagen. Petra Ramos. AEMET. Disponible en: https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/493_evaporimetro-piche

Figura 28. Evaporímetro de Piché

La evapotranspiración implica procesos físicos que dependen de distintos factores. Así, se han desarrollado distintos métodos de estimación, a partir de la medición de estos factores como, por ejemplo: temperatura media mensual, humedad del aire, radiación neta, velocidad del viento. Las estaciones meteorológicas automáticas ofrecen el dato de evapotranspiración potencial diaria, calculada por estos métodos de estimación, a partir del registro de otros elementos meteorológicos (Figura 29).

UBICACION: LAT 34 59 S - LONG 57 59 W de G - A.S.N.M. 45 m

Fecha	Temperatura del aire			Temp. Suelo h=(-0,05 m) °C	Radiación Solar Wat./m2	Presión Barométrica Hpa.	Viento * (h=10 m)				Lluvia Cant. mm.	ETP mm	HR %	
	Media °C	Máx. °C	Min. °C				Vel. Med. Km/H.	Dir. Dom.	Vel. Máx. Km/H.	Dir.				
01/12/2022	19,4	22,4	16,4	22,3	2831,0	1008,6	11,2	SSW	46,7	S	3,4	2,2	88	
02/12/2022	19,6	26,6	14,6	21,5	8719,0	1012,5	7,9	SSW	27,4	SSE	0,0	6,0	76	
03/12/2022	20,1	26,2	13,2	21,6	8370,0	1010,9	6,4	E	30,6	E	0,0	5,9	73	
04/12/2022	23,4	33,3	14,4	21,9	8456,0	1008,9	5,5	ENE	29,0	SE	0,2	6,4	72	
05/12/2022	27,5	34,4	19,1	23,2	8674,0	1010,4	8,5	ENE	33,8	ENE	0,0	7,3	66	
06/12/2022	28,1	34,8	21,9	24,1	8841,0	1010,7	10,2	NE	35,4	ENE	0,0	7,8	62	
07/12/2022	28,8	34,9	24,3	24,6	6573,0	1008,3	8,3	NE	32,2	NNE	0,0	6,1	58	
08/12/2022	27,8	35,9	19,9	24,7	7878,0	1004,7	6,8	W	45,1	WSW	4,6	6,5	68	
09/12/2022	27,9	37,8	17,6	25,0	8171,0	1004,2	10,9	N	66,0	W	22,2	7,5	68	
10/12/2022	24,3	29,3	19,3	23,7	8561,0	1010,5	10,5	ESE	33,8	E	0,0	7,3	67	
11/12/2022	26,4	35,6	18,7	24,2	7577,0	1004,9	12,7	NNW	62,8	SW	11,2	6,5	77	
12/12/2022	19,6	27,6	13,7	23,2	7331,0	1006,9	6,5	SSW	38,6	WSW	0,4	5,6	66	
13/12/2022	19,8	26,2	10,8	22,2	8548,0	1010,6	5,7	SSW	27,4	NE	0,2	6,1	69	
14/12/2022	25,7	32,2	17,6	22,6	8524,0	1007,5	10,7	N	33,8	NNW	0,0	7,9	59	
15/12/2022	21,4	26,6	15,5	22,8	6861,0	1013,5	9,9	SSE	53,1	SSE	4,8	5,6	71	
16/12/2022	17,7	24,1	11,2	21,7	8467,0	1016,7	8,9	ESE	35,4	ESE	0,0	6,1	71	
17/12/2022	19,3	25,4	11,6	21,3	8279,0	1013,7	10,6	ESE	37,0	E	0,0	6,4	68	
18/12/2022	22,5	27,6	18,6	21,8	8438,0	1014,6	13,4	ENE	40,2	E	0,0	7,1	65	
19/12/2022	24,1	29,1	20,3	22,7	8592,0	1015,2	12,9	ENE	40,2	ENE	0,0	7,1	68	
20/12/2022	25,0	30,6	20,7	23,7	8603,0	1015,2	14,7	ENE	43,5	E	0,0	7,3	69	
21/12/2022	24,2	30,3	19,9	24,0	8576,0	1014,7	13,8	ENE	37,0	ESE	0,0	7,2	68	
22/12/2022	25,5	31,6	20,8	24,4	7882,0	1011,2	14,1	ENE	38,6	NE	0,0	7,0	66	
23/12/2022	23,0	26,4	20,3	24,3	4167,0	1009,1	8,2	ENE	32,2	ENE	6,0	3,3	82	
24/12/2022	18,3	22,0	13,1	22,8	2694,0	1012,9	10,4	SW	48,3	S	12,8	2,1	85	
25/12/2022	16,9	23,7	9,0	21,1	8164,0	1017,0	5,6	SW	29,0	SSE	0,0	5,3	71	
26/12/2022	20,0	27,9	11,6	21,3	8718,0	1013,7	4,8	E	29,0	E	0,0	6,2	70	
27/12/2022	24,2	30,4	15,5	22,2	8559,0	1009,9	7,9	NNE	29,0	NNE	0,0	7,3	61	
28/12/2022	23,7	29,6	16,5	23,0	8491,0	1009,0	10,1	SW	40,2	SSW	0,0	6,9	66	
29/12/2022	21,5	30,1	11,4	22,6	8759,0	1012,6	6,0	ENE	33,8	E	0,0	6,8	60	
30/12/2022	27,7	35,0	20,4	23,4	8554,0	1007,6	12,6	N	37,0	N	0,0	8,5	53	
31/12/2022	23,9	31,2	16,6	24,3	8598,0	1011,4	12,5	ESE	46,7	S	0,0	7,8	58	
Media	23,1	29,6	16,6	23,0	7788,9	1010,9	9,6	E					68	
Total					241456,0						65,8	197,1		
Normal del Mes (1964-2020)	22,2										81,3			
Ranking (1964-2020)	15													
													Ranking (1911-2020)	57

S/D=Sin datos disponibles

ETP= calculada por PENMAN-MONTEITH EMA DAVIS *

Ranking: ubicación del mes en la serie histórica ordenada de mayor a menor

Fuente de la imagen: Datos meteorológicos registrados con una estación automática Davis Advantage Pro2 (lat 34° 59' S - long 57° 59'W de G - a.s.n.m. 45 m), procesados por el Ing. Agr. H. Martín Pardi, Sección Agrometeorología de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P.

Figura 29. Ejemplo de presentación del valor de ETP en un boletín agrometeorológico

Balance hidrológico del suelo

El balance hidrológico define la cantidad de agua que entra y sale del suelo en un determinado tiempo. Puede ser anual, mensual, diario.

Agua almacenada en el suelo = agua recibida – agua perdida

La entrada natural de agua a un suelo se da por la precipitación. De la cantidad de agua que precipita, una parte de ella no penetra, se escurre hacia niveles más bajos. Otra parte se infiltran en la superficie aumentando el contenido de agua del suelo y saturando las distintas capas, hacia la profundidad hasta que alcanza la napa o una capa impermeable donde se pierde por escurrimiento profundo. Solo una parte del agua queda en la profundidad donde se desarrollan los cultivos. El agua en el suelo se almacena como resultado de las fuerzas de retención de las partículas, y vuelve por evapotranspiración a la atmósfera (Figura 30). Conociendo los ingresos y egresos de agua al suelo, puede aplicarse la fórmula de balance, adecuada a escala macro (cuencas hidrológicas, masas continentales) hasta a nivel de campos o parcelas.

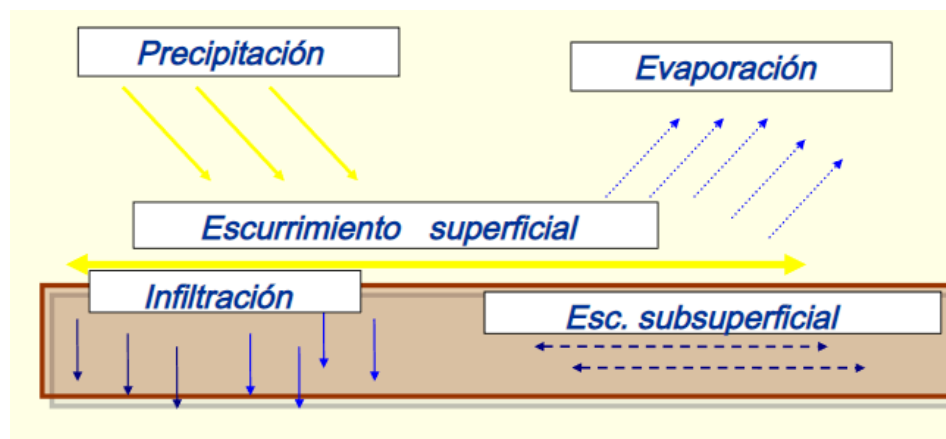


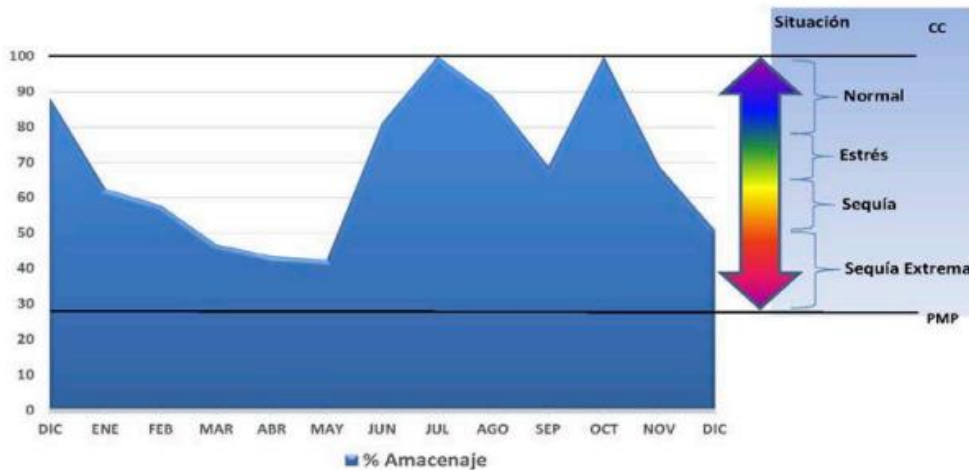
Figura 30. Movimiento del agua en el suelo

Para conocer la climatología del agua en el suelo, están ampliamente difundidas las estimaciones que se realizan mediante el cómputo del Balance Hidrológico Climático Mensual. Este método consta del cálculo de entradas (precipitaciones o riegos), y salidas (evapotranspiración) de agua del suelo. Por medio de este balance y de la comparación de la marcha estacional de la precipitación con relación a la evapotranspiración, pueden calcularse otros parámetros de humedad que se encuentran relacionados, tales como el exceso, la deficiencia y el almacenaje de agua en el suelo (Figura 31).

Balace Hidrológico	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Exceso de agua en mm	---	---	---	---	---	---	38	---	---	19	---	---
Deficit de agua en mm	25	9	29	12	4	---	---	2	15	---	18	35
mm de agua almacenada en el suelo hasta 1m de profundidad	188	174	141	131	128	244	300	266	207	300	207	153

CC= capacidad de campo, Cantidad de agua que puede almacenar el suelo 300mm
PMP=punto de marchitez permanente, cantidad nula de agua disponible para la una planta 75mm

Gráfico 1: Evolución del almacenaje de agua en el suelo considerando una profundidad de 1 m, un valor máximo de 300mm en suelo argiudol típico con b2t (2018/19)



Fuente de la imagen: Datos meteorológicos registrados con una estación automática Davis Advantage Pro2 (lat 34° 59' S - long 57° 59'W de G - a.s.n.m. 45 m), procesados por el Ing. Agr. H. Martin Pardi, Sección Agrometeorología de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAYF, U.N.L.P.

Figura 31. Ejemplo de presentación distintos parámetros de humedad en el suelo en un boletín agrometeorológico

El balance hidrológico climático es de escala macroclimática, dado que usa valores medios de precipitación y ETP. Representan la situación hídrica media o normal de una región, pudiendo utilizarse para la comparación de la disponibilidad hídrica entre distintas regiones o la delimitación de regiones según su aptitud productiva (agrícolas, ganaderas, forestales). También existen metodologías que se basan en la utilización de datos diarios, o incluyen mayor número de variables. La selección del tipo de balance a utilizar depende del tipo de estudio que se desee de riego a aplicar, no es de utilidad un balance climático, sino que debe recurrirse a metodologías que apliquen datos diarios.

El Servicio Meteorológico Nacional brinda información sobre el balance de agua en el suelo, que puede utilizarse para conocer el agua útil en el perfil para distintas regiones del país en la fecha deseada (https://www.smn.gov.ar/monitoreo_estados). También emite mensualmente boletines agrometeorológicos que presentan datos referidos a la evolución del agua almacenada en el suelo para el periodo en estudio y su comparación con datos históricos de referencia (<http://repositorio.smn.gov.ar/handle/20.500.12160/376>).

Medición de la humedad del suelo

La medición directa de la humedad del suelo en determinado momento y en forma continua es una de las mediciones de mayor importancia, dado se encuentra vinculada directamente al crecimiento y desarrollo vegetal. Los métodos e instrumentos son variados y distintos en cuanto a su exactitud. Uno de ellos, de uso práctico en el campo es el tensiómetro.

El tensiómetro mide la tensión o succión de agua del suelo. El instrumento consiste en un tubo de plástico lleno de agua y herméticamente cerrado, con un manómetro de vacío en la parte superior y una capsula de cerámica porosa en el extremo inferior. Cuando hay evaporación de agua desde el suelo, el agua del tensiómetro se mueve desde el tubo a través de la cápsula de cerámica hacia el suelo (por la succión del agua del suelo). A medida que el tensiómetro pierde agua se genera un vacío en el tubo, que es registrado por el manómetro. Una lectura de 0 indica suelo saturado. A medida que el suelo se va secando, aumenta el valor de la lectura. Cuando hay ingreso de agua al suelo, ésta retorna al tensiómetro y la lectura del manómetro comienza a descender (Figura 32).



Diagrama de un tensiómetro y de una estación de dos tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.



Estación de tres tensiómetros instalados a diferentes profundidades del suelo.

Fuente de las imágenes. Enciso, J.M.; Porter, D. & Périès, X. Uso de sensores de humedad del suelo para eficientizar el riego. Texas A&M. AgriLife Extensión. Disponible en: <http://riograndewater.org/media/1080/e-618s-irrigation-monitoring-with-soil-water-sensors-spanish-version.pdf>

Figura 32. Tensiómetro

Sequía

Según el criterio del balance hídrico, se puede considerar este problema desde dos puntos de vista:

La sequía como fenómeno agrícola o agroclimático: carencia de agua en las plantas

La sequía desde un punto de vista meteorológico: período de tiempo sin precipitación

Según el balance hidrológico, la duración de la sequía está dada por el período comprendido entre los extremos de fecha en que la humedad del suelo esté por debajo de un cierto límite, mientras que su intensidad depende la magnitud del déficit de agua durante el periodo.

Un límite de utilidad es el coeficiente de marchitez, pero otro límite lo puede constituir la capacidad de campo o humedad equivalente. Recordando estas definiciones:

Capacidad de marchitez permanente o coeficiente de marchitez: máxima cantidad de agua del suelo en que se observa la marchitez de las plantas, que no desaparece aun poniéndolas en ambiente saturado por 24 horas.

Capacidad de campo: máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional.

Capacidad a humedad equivalente (agua útil o agua capilar): máxima cantidad de agua retenida por el suelo después de haber drenado toda el agua gravitacional bajo la fuerza centrífuga de 10.000 g durante 30 minutos.

Causas de la sequía

Precipitación por debajo del óptimo o normal

Elevadas temperaturas que implican una elevada evapotranspiración

Clasificación de las sequías

Según un criterio meteorológico, en función de la precipitación:

Sequía absoluta: período de 15 días consecutivos o más con menos del 0,2 mm de precipitación

Sequía relativa o parcial: período de 29 días o más con precipitación diaria inferior a 0,2 mm

Período seco: 15 días con menos de 0,2 mm

Según su forma de ocurrencia:

Accidentales: se presentan sin una periodicidad fija o fluctuante. Las sequías accidentales se parecen al proceso del tiempo atmosférico

Periódicas o permanentes: estas responden al concepto de clima. Periódicamente ocurre una sequía que se transforma en un fenómeno climático

Según su origen:

Sequía edáfica: como consecuencia de una disminución del agua del suelo

Sequía atmosférica: producida por altas temperaturas y baja humedad relativa, promueven una excesiva transpiración

Por su apariencia:

Aparentes: el agua del suelo desciende por debajo del coeficiente de marchitez. El fenómeno es perceptible a la vista por el estado de las plantas

Inaparentes: la humedad no baja del coeficiente de marchitez, pero sí por debajo de la capacidad del campo. No manifiesta daño alguno en la planta, pero sí en el rendimiento

Por su época de ocurrencia: invernales, estivales, otoñales y primaverales

Métodos de lucha contra las sequías

Medidas orientadas hacia la demanda

Se pretende que los recursos hídricos deficitarios, puedan usarse de manera más eficaz:

Modificación de la demanda del predio/cultivo

Reducción de pérdidas por escorrentía, drenaje y evaporación

Cumplimiento de la asignación de dotaciones de riego

Medidas orientadas a la oferta

Uso eficiente del recurso existente

Reducir pérdidas de transporte de agua y embalse (impermeabilizar)

Mejorar la capacidad de almacenamiento del suelo: a través de prácticas culturales que mejoren la infiltración y la capacidad de retención del agua (incorporación de materia orgánica compostada) o reduzcan la pérdida de agua por evaporación, como el uso de mulching (cobertura del suelo).

Reducir la evaporación de espejos de agua: mediante sustancias que aumentan la tensión superficial del agua y reducen la tensión de saturación del aire sobre el agua (menor gradiente vertical y déficit de saturación). En general, los métodos antievaporativos han permitido el ahorro del 45% de la evaporación en condiciones favorables al 30% en condiciones desfavorables.

Utilizar prácticas eficientes de riego, como el riego por goteo combinado con el uso de mulching.

Incrementar los recursos existentes

Reutilización de aguas residuales

Utilización de agua subterránea

Desalinización de agua: es una técnica cara, que requiere gran cantidad de energía, en la mayoría de los casos combustibles fósiles. Actualmente existen filtros que pueden desalinizar el agua con presión hidrostática, reduciendo significativamente la cantidad de energía necesaria.

Utilización de agua del aire: sistemas que permiten aprovechar la humedad contenida en el aire, en forma de nieblas (atrapa nieblas).

El impacto de las sequías también puede reducirse utilizando cultivos y variedades más tolerantes, planificando la ubicación espacial y temporal de los cultivos, o adoptando sistemas de seguros, entre otros.

Características hídricas de la Argentina

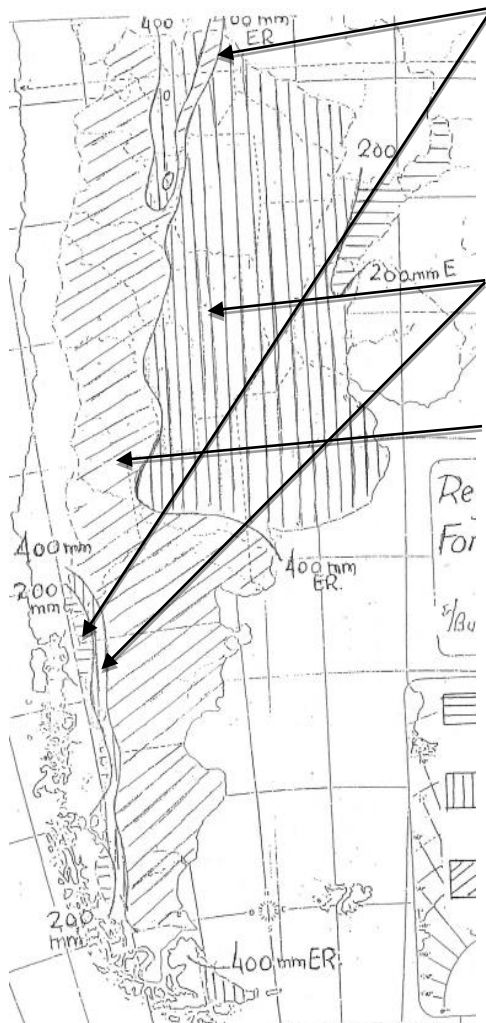
El territorio argentino puede caracterizarse como mayoritariamente seco, es decir, que presenta menor disponibilidad de agua que la requerida para el óptimo crecimiento y desarrollo de los cultivos. Existen áreas que presentan deficiencia todo el año, y otras donde se encuentran muy marcadas la estación seca y la estación húmeda.

Los niveles de evapotranspiración o necesidad de agua son útiles para delimitar las distintas regiones productivas, como se explica a continuación:

Regiones forestales

Hay dos formas de explotación de árboles, una es en forma natural y otra es por la plantación. Según las exigencias bioclimáticas de cada especie, se puede hacer la siguiente clasificación (Figura 33):

Forestales higrófilos naturales: las condiciones, son: 400 mm de ETP, que sería el límite para la tundra, por otra parte, la ER no debe superar ese valor, ya que los árboles toman aspecto de arbustos. En cuanto al exceso de agua, esta debe exceder los 200 mm anuales.



Forestales higrófilos con riego o xerófilos sin riego: en estas regiones se cumplen las condiciones anteriores en cuanto a ETP y ER, pero el exceso es menor a 200 mm

Forestales higrófilos y xerófilos con riego: en estas regiones la ETP es superior a los 400 mm, por lo que es necesario suplementar con riego.

Figura 33. Regiones forestales

Regiones agrícolas

Para la definición de regiones agrícolas, la condición límite se debe a una problemática térmica. Los límites corresponden al período libre de heladas, con más de 150 días de duración y con una ETP menor a 500 mm. Observando (Figura 34):

Agricultura sin riego: deficiencia anual menor a 200 mm

Agricultura con riego: deficiencia anual mayor a los 200 mm

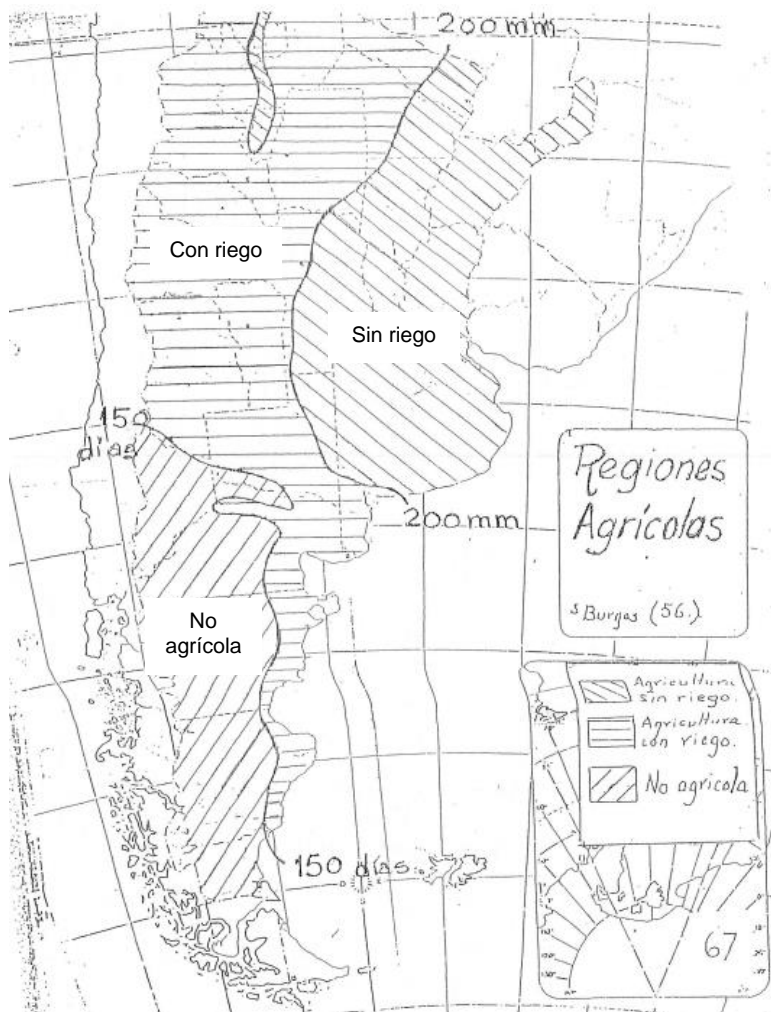
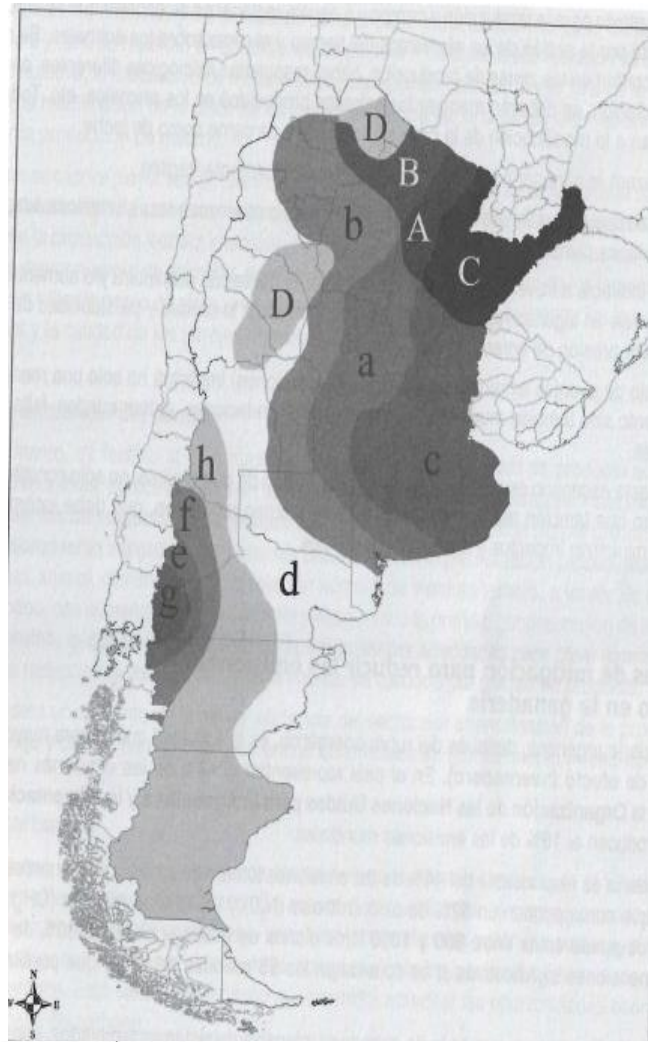


Figura 34. Regiones agrícolas

Regiones ganaderas

Como se desarrolló previamente, respecto a las temperaturas, la isoterma de 26 °C se utiliza para delimitar las regiones del país aptas para la cría de ganado europeo (climáticamente corresponde a la isoterma de 26 °C del mes de enero). La región del país donde el valor de la isoterma de enero es superior a 26 °C no es apta para la producción de estas razas, siéndolo para la cría de ganado asiático o hindú, debido a su mayor tolerancia al calor y a que los mecanismos de termorregulación son lo suficientemente eficaces hasta los 32 °C. Inclusive, el ascenso térmico que experimentan es poco pronunciado hasta los 38 °C. La isoterma de 5 °C (representada climáticamente por la isoterma de 5°C del mes de julio) representa el límite entre la ganadería (templada) a campo y con estabulación (en establos). Puede hacerse una zonificación o subdelimitación en las regiones ganaderas según el tipo de pastoreo, con valores climáticos que tengan una acción indirecta sobre el ganado (sobre su alimentación). Siendo utilizables los índices hidrológicos propuestos por Thornthwaite: índice hídrico, índice de aridez (meses deficitarios de agua), e índice



I. Ganado tropical	
Temperatura media del mes más cálido (enero)	> 26 °C
A. Pastoreos normales a campo	IH 0 a +20
B. Pastoreos normales con henificación por sequía	IH 0 a -20
C. Pastoreos deficitarios en Ca y P	IH > +20
D. Pastoreos de suelos áridos y salinos. (Riego o alimentación complementaria)	IH < -20
II. Ganado mayor de clima templado sin estabulación	
Temperatura media del mes más cálido (Enero)	< 26 °C
Temperatura media del mes más frío (Julio)	> 5 °C
a) Pastoreos normales sin henificación	IH 0 a +20
b) Pastoreos normales con henificación por sequía ocasional	IH 0 a -20
c) Pastoreos deficitarios en Ca y P.	IH > +20
d) Pastoreos de suelos áridos y salinos. (Riego complementario y/o alimentación complementaria)	IH < -20
III. Ganado mayor de clima templado con estabulación	
Temperatura del mes más cálido (Enero)	< 26 °C
Temperatura del mes más frío (Julio)	< 5 °C
e) Pastoreos normales con henificación por frío. Ración complementaria	IH 0 a +20
f) Pastoreos normales con henificación por frío ó sequía ocasional	IH 0 a -20
g) Pastoreos deficitarios en Ca y P con henificación por frío y ración suplementaria	IH > 20
h) Pastoreos de suelos áridos y salinos. Riego. Henificación por frío y sequía. Ración complementaria.	IH < -20

Fuente: Valtorta, S.E.; Spescha, L. Tiempo, clima y ganadería. En: En. Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (Eds.). Agrometeorología. Ed. Facultad de Agronomía. UBA. pp: 385-407.

Figura 35. Regiones ganaderas clasificadas según el índice hídrico (IH) de Thornthwaite (1948)

de exceso¹¹, los que permiten evaluar la calidad y cantidad, como así también su desarrollo a lo largo de los meses del año, de las pasturas naturales. Si se aplican estos índices para la Argentina y regiones de la misma latitud, los límites serían los siguientes: las regiones ideales son aquellas en las que el índice hídrico tiene un valor comprendido entre 0 a 20; en cambio de 20 a 40 o superiores a 40 ya se observan deficiencias. El pastoreo será abundante en todas ellas, pero malo en calidad en las superiores a 20 y 40, pues en estos casos se dispondría de pastoreos hipocalcémicos. Si se analizan las regiones con índices inferiores a 0, se observa que con índices entre 0 y -20 hay pastoreos normales, pero deberían complementarse con henificación, y si el índice toma valores comprendidos entre -20 y -40 o más se trata de regiones carentes de pastoreo donde casi todo el año deberá darse alimento suplementario al ganado (Figura 35).

Bibliografía

- Castillo, F.E. y Castellvi Sentis, F. (Coord.) 1996. Agrometeorología. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 517 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1973. Climatología y Fenología Agrícolas. Buenos Aires, Argentina: EUDEBA. 281 pp. *Biblioteca central.*
- Murphy, G.M. y Hurtado, R.H. (Eds.) 2013. Agrometeorología. Buenos Aires, Argentina: Editorial Facultad de Agronomía. 489 pp. *Biblioteca parcial del Curso, 1 ejemplar.*

¹¹ Índices hidrológicos de Thornthwaite: Índice hídrico = $(100 \times \text{exceso de agua}) - (60 \times \text{deficiencia de agua}) / \text{ETP}$; Índice de aridez = $100 \times \text{deficiencia de agua} / \text{ETP}$; Índice de exceso = $100 \times \text{exceso de agua} / \text{ETP}$.

Helada

Helada meteorológica: todo descenso de la temperatura del aire a 0 °C o un valor inferior.

Helada agrometeorológica: descenso térmico capaz de causar daño en los tejidos vegetales. Hay que tener en cuenta que no toda temperatura igual o inferior a 0 °C va a causar daños en los vegetales. El daño depende de muchos factores, como la especie, la variedad, la edad, el estado sanitario y fundamentalmente el estadio fenológico del vegetal en el momento de ocurrencia de la helada. Ciertos cultivos tropicales no resisten heladas, siendo dañados por temperaturas del aire superiores a 0 °C (ej.: 3 °C a 5 °C); mientras que cultivos invernales son capaces de resistir heladas suficientemente severas sin sufrir daño apreciable. La severidad de los daños está estrechamente relacionada con las diferentes fases fenológicas donde se presentan períodos críticos de máxima sensibilidad y períodos que podemos denominar de máxima resistencia o latencia.

Condiciones que determinan la formación de la helada

El grado de nubosidad

Cielos despejados: ofrecen condiciones para la pérdida de calor por irradiación nocturna. Hojas, flores, tallos, suelo y demás objetos pueden acusar 5 °C menos que la temperatura del aire circundante.

Cielos nublados o cubiertos: las nubes medias o bajas impiden que los cuerpos vegetales y la superficie de suelo irradien su calor hacia el espacio exterior, por lo tanto, no se enfrían. Los órganos vegetales tienen una temperatura igual a la del aire circundante.

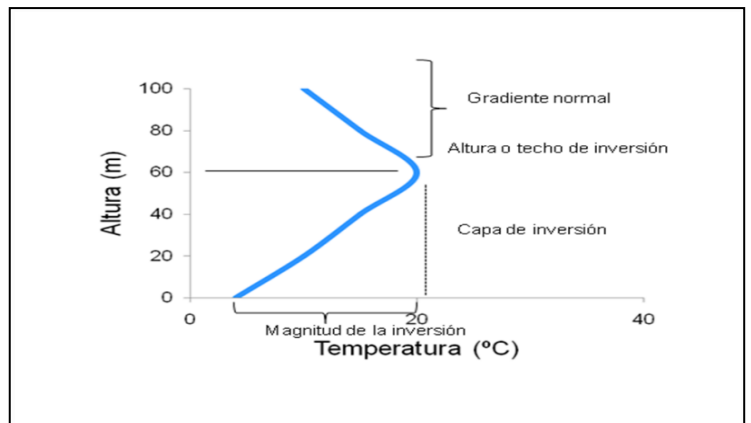
Mayor densidad del aire frío

A medida que el aire se enfría se hace más denso, deslizándose hacia lugares más bajos; se estanca y se sigue enfriando por irradiación. El enfriamiento de la capa de aire durante toda la noche llega a ser muy intenso.

Viento y movimientos turbulentos

Un viento con velocidad apreciable evita que los vegetales y el suelo adquieran una temperatura inferior a la del ambiente, ya que el mismo los pone en contacto con nuevas masas de aire más cálido. Cuando el aire está en calma, ocurre todo lo contrario, se forma una capa de aire con temperatura inferior a la del aire circundante, enfriándose considerablemente por irradiación.

El aire calmo favorece la estratificación del aire frío sobre el suelo que pierde calor por radiación durante la noche. En tales condiciones, la temperatura cae más rápidamente cerca de la superficie, y las capas próximas al suelo resultan más frías que las subsiguientes, produciéndose lo que se denomina “inversión térmica” dado que, en este punto,



la temperatura aumenta con la altura. Después de cierta altura, la temperatura adquiere su comportamiento normal, disminuyendo con la altura. La altura a la que se retoma el gradiente normal de temperatura se denomina “techo de inversión”. La altura del techo de inversión varía según el tipo de suelo, cobertura vegetal y condiciones meteorológicas, pudiendo considerarse un valor promedio de 9 a 60 m.

Grado de exposición a la intemperie

Durante la noche los cuerpos (vegetales) tienden a enfriarse por el calor que irradian hacia el cielo y a los cuerpos vecinos. Estos últimos, a su vez, irradian calor hacia los primeros y los atemperan en su pérdida de calor. La atmósfera también irradia calor hacia el suelo y vegetales, pero es insignificante comparada con la intensidad de calor emitido por los objetos vecinos. Un vegetal se enfría tanto más intensamente cuanto más expuesto a la intemperie se encuentre.

Poder emisivo de los cuerpos

Depende del poder emisivo de los cuerpos expuestos a la irradiación nocturna. La madera tiene bajo poder emisivo, los metales alto; los vegetales tienen un poder emisivo intermedio.

Evapotranspiración

Confiere una apreciable pérdida de calor de los vegetales y del suelo en conjunto.

Clasificación de las heladas

Por su tipo genético (origen)

Heladas radiativas: se producen por la radiación nocturna del suelo, lo que conduce a enfriamientos sucesivos de las capas de aire cercanas al mismo. Son de carácter local y están caracterizadas por una quietud completa del aire. En zonas agrícolas de nuestro país predominan las heladas de tipo radiativo.

Heladas advectivas: se producen debido al avance de una masa de aire muy fría, con temperaturas inferiores al punto de congelación siempre acompañadas por vientos, motivo por el cual también se las conoce como heladas de viento. Son de carácter dinámico (movimientos de aire importantes), regionales (abarcan grandes extensiones) y muy poco frecuentes en el hemisferio sur.

Heladas mixtas: resultante de la combinación de los dos tipos anteriores (radiativas y advectivas). Ocurre cuando sobre una región se produce el avance de una masa de aire frío (aunque de temperaturas no menores de 0 °C), generalmente decrece su velocidad (vientos), con posterior enfriamiento por el balance negativo nocturno. Este proceso es muy frecuente en la zona agrícola de nuestro país, especialmente en la génesis de heladas primaverales, otoñales y aún estivales.

Las heladas radiativas, a su vez, se diferencian en heladas blancas y negras. La distinción visual consiste en la formación de escarcha o cristales de hielo sobre el suelo, plantas y objetos.

Las *heladas blancas*, se producen cuando la atmósfera posee un elevado contenido de humedad, facilitando la condensación y formación de cristales de hielo sobre diferentes superficies. Masas de aire húmedo dan origen a heladas blancas.

Las *heladas negras* ocurren en atmósfera con bajos valores de humedad, característica que impide la formación de hielo. El nombre deriva de la apariencia negruzca que toman los órganos vegetales (especialmente las hojas) que han sido dañados por el descenso térmico. Masas de aire seco dan origen a las heladas negras.

Por su época de ocurrencia

- Estivales
- Invernales
- Primaverales (tardías o últimas)
- Otoñales (tempranas o primeras)

Las heladas primaverales y otoñales se caracterizan por su fecha de ocurrencia. Generalmente son de baja intensidad. Las invernales se caracterizan por su intensidad y finalmente las estivales son de poca intensidad y escasa duración. Estas últimas se registran en localidades como: Valle del Río Colorado, valle del Río Negro, Mendoza, La Pampa, Buenos Aires, sur de Córdoba y Santa Fe.

Por su intensidad

Se clasifican por la intensidad de la temperatura registrada y su frecuencia. Se establecen intervalos de temperaturas, anotando el valor de su frecuencia.

Régimen agroclimático de heladas

Se refiere a la caracterización o descripción de las heladas por medio de información estadística. Generalmente, se utilizan los siguientes parámetros:

Época de ocurrencia: está relacionada a la clasificación hecha previamente. Para poder conocer este parámetro deben calcularse las fechas medias de primera y última helada. Para su determinación es necesario disponer de un registro meteorológico de muchos años de extensión. De cada año del registro se sacan las primeras y últimas fechas con temperaturas mínimas iguales o inferiores a 0 °C, promediando por separado las fechas primeras y últimas heladas.

El período de tiempo en días que va desde la fecha media de primera helada a la fecha media de última helada se conoce con el nombre de período medio con heladas. A la inversa el lapso (en días), que va desde la fecha media de última helada a la fecha media de primera recibe el nombre de período medio sin heladas o estación de cultivo.

También es de importancia registrar las fechas extremas de primera y última helada, es decir la fecha en que se ha registrado más temprana y más tardíamente el fenómeno para el periodo estudiado.

Intensidad: se realiza a partir de la temperatura más baja registrada (temperatura mínima anual). En la Argentina, las heladas invernales, aunque pueden ser intensas, resultan de escasa peligrosidad, dado que las temperaturas extremas alcanzadas, generalmente, se encuentran por encima de los niveles críticos de la mayoría de los cultivos de ciclo invernal. También es importante considerar la intensidad de las heladas otoñales y primaverales,

dado que la magnitud del descenso de la temperatura impacta directamente en el daño que producen.

Duración de las heladas: número de horas y fracción de horas durante los cuales transcurre la helada. Se bien no es un dato fácil de registrar, es importante dado que la duración de la helada se asocia al tiempo de congelamiento, además de ser importante para la aplicación de métodos de protección contra heladas. También es un dato de importancia la frecuencia (cantidad de veces) con que ocurren heladas de cierta duración.

Tipo de helada: el origen de la helada puede determinar qué tipo de método de lucha resulta aplicable.

Índice de peligrosidad: existen metodologías que cuantifican el riesgo por heladas según su época de ocurrencia, intensidad, duración, frecuencia y tipo genético.

Métodos de protección contra heladas

Métodos indirectos: no actúan sobre el microclima, por lo que no tratan de evitar la ocurrencia o intensidad de heladas, sino sus daños. Mediante estos métodos se busca tomar los recaudos necesarios para que las adversidades meteorológicas incidan lo menos desfavorablemente posible. Son menos costosos que los métodos directos, y aplicables aun a cultivos que puedan ser menos remunerativos. Entre ellos se encuentran:

Ubicación del sitio de cultivo: se busca implantar cultivos en lugares donde no exista riesgo de daño por heladas. Para esto, debe recurrirse a estudios climatológicos y microclimatológicos de la región.

Selección de variedades/cultivares/portainjertos: utilizando aquellos que se comporten como resistentes a la adversidad, o que por puedan escapar a la adversidad, manifestando sus fases sensibles fuera del periodo de peligrosidad. Por ejemplo, las especies de floración temprana (primaverales) son más susceptibles a daños provocados por heladas tardías, por lo que, para cada zona, es necesario seleccionar variedades cuya floración se produzca luego de la fecha media de última helada.

Ciclo de cultivo: conociendo la duración del ciclo de cultivo y duración del periodo libre de heladas, se pueden elegir las especies y variedades más adecuadas para una zona. Así, puede definirse las fechas promedio seguras para la plantación o siembra. La selección de la fecha óptima de siembra (que puede depender no solo de la especie, sino también del cultivar) es una de las formas más eficiente de luchar contra las adversidades de un lugar en especies

anuales, dado que así se ofrece a la planta la menor exposición a adversidades durante todo su ciclo.

Métodos directos: actúan sobre las condiciones del microclima, tratando de evitar la ocurrencia de la helada o disminuyendo su intensidad. Se pueden subdividir en dos tipos:

Pasivos: se desarrollan con anterioridad a la ocurrencia de la helada, pueden actuar en forma permanente. Por ejemplo:

- Regulación del drenaje de aire frío nocturno
- Supresión de focos de aire frío
- Formación de espejos de agua
- Modificación sobre la disposición de los cultivos
- Modificación en las propiedades calóricas del suelo
- Uso de reparos o pantallas

Regulación del drenaje de aire frío nocturno

Las irregularidades del terreno hacen que el aire frío formado por las condiciones de enfriamiento del suelo se desplace de acuerdo con esas irregularidades buscando los niveles más bajos. Estas microcorrientes de aire frío formarán luego grandes corrientes que pueden llegar a ser perceptibles en las noches de heladas.

Una técnica permanente de lucha contra las heladas es establecer una contención a ese desplazamiento de aire frío, cuando se conoce previamente la dirección probable del desplazamiento nocturno. En primer término, debería evitarse la entrada de aire frío externo. Para ello se utilizan generalmente las cortinas forestales o el aprovechamiento de bosques naturales para su establecimiento.

En nuestro país no es común el empleo de estos macizos forestales, pues los bosques naturales no son muy abundantes. Para que la cortina forestal sea efectiva no debe tener una sola hilera de árboles sino una densidad mayor entre los 20 y los 100 m. Se debe colocar una cortina en el lugar por donde entra el drenaje de aire frío. En general las cortinas forestales tienen un efecto contrario a la producción agrícola cuando son densas (conveniente contra las heladas). Cuando la cortina es densa y el viento tiene la dirección igual a la del drenaje, o sea, que la cortina lo para, el viento pasa por encima de la cortina y al bajar forma una turbulencia con las contracorrientes formadas y se forma y se aumenta el efecto nocivo del viento. Las cortinas forestales son efectivas en la lucha contra las heladas, siempre que se considere lo dicho previamente.

Supresión de los focos de aire frío

Existen focos de aire frío nocturno que es posible determinar, como por ejemplo el caso de campos bajos o pantanosos que pueden llenarse de aire frío por la noche y rebalsar, perjudicando a las propiedades que se hallan inmediatamente debajo de esos focos con su drenaje. En general, los terrenos húmedos, pantanosos, las ciénagas, etc., son lugares en los cuales el agua es abundante; también lo es la vegetación palustre. Tienen el inconveniente de intensificar el frío nocturno. En primer término, impiden el calentamiento diario del sol porque la vegetación que cubre el agua evita su calentamiento. Además, este tipo de vegetación pantanosa que está siempre presente introduce una gran capa aislante entre el suelo y el aire durante la noche que impide que el calor que tiene este suelo pase a la atmósfera y mitigue el descenso térmico nocturno. En segundo término, el aumento de la evaporación que provee la vegetación y el agua presentes trae consigo un enfriamiento por el calor que se consume en la evaporación. La supresión de estos focos es aconsejable cuando se quiere evitar los daños por heladas.

Formación de espejos de agua

En lugares donde los cursos de agua son comunes, se pueden utilizar para beneficiar una región próxima. Como ejemplo, debido al efecto atemperador del agua, el Río de la Plata modifica completamente las condiciones de las heladas hasta unos 5 a 10 km desde su ribera. Esto determina que en Buenos Aires se registren temperaturas mínimas menos extremas que en localidades más alejadas (datos de 1943 indicaron temperatura media mínima anual de -5 °C en Buenos Aires vs. -8 °C en San Miguel). Esta diferencia se debe al gran espejo que forma el río. Ese espejo de agua, durante las noches tiende a formar una convección de aire caliente que toma el calor del agua y asciende hacia zonas más frías; baja sobre la tierra y forma una circulación convectiva en toda la ribera, generando una zona de protección. Este efecto puede hacerse en pequeña escala, ampliando y dándole profundidad a cursos de agua estrechos. Para obtener cierta efectividad es necesario llegar a una profundidad de por lo menos un metro en el espejo de agua, alcanzando la superficie protegida 10 veces la superficie del espejo. La superficie del espejo debe estar libre de toda vegetación, porque de lo contrario sería un foco de aire frío.

Modificaciones sobre disposiciones de los cultivos

Toda distribución del cultivo que lo aleje del suelo lo hará menos susceptible a las heladas. Esto se debe a la inversión térmica que hace que la temperatura cerca del suelo sea inferior a la que está un poco alejada del mismo. Como

ejemplo, en la conducción de vides, los parrales son disposiciones de cultivos que menos sufren las heladas que los viñedos en espalderas o viñedos bajos.

Modificaciones a las propiedades calóricas del suelo

El suelo, según sus características físico-químicas y su estructura tiene gran importancia en la expresión de la temperatura mínima nocturna. Todo lo que aumente la capacidad calórica del suelo y su conductibilidad serán medidas que pueden tener un efecto favorable reduciendo la intensidad de las heladas.

Uso de reparos o pantallas

Consisten en obstáculos que se ponen a la radiación nocturna de diferentes materiales (cañas, tejidos, plásticos, etc.). Lo que hacen estas pantallas es evitar la radiación nocturna del suelo, la pérdida de radiación y contribuir a formar un microclima favorable al cultivo, que se quiere proteger.



Cobertura de paja y túneles de polietileno

Activos: se realizan durante o poco tiempo antes de la helada. Su acción desaparece cuando dejan de actuar. Entre estos métodos se encuentran algunas alternativas que no es recomendable aplicar en producciones agroecológicas, como la adición de calor por calefacción, que implica que la quema de combustibles fósiles, o la generación de nieblas artificiales.

Otro método activo de protección consiste en la utilización del riego por aspersión.

Cuando se riega una planta y la temperatura del aire está por debajo de 0 °C, el órgano de la planta se recubre con una capa de hielo. Lo que produce el efecto del riego por aspersión sobre las heladas se vincula al proceso físico del cambio de estado del agua. El calor latente de solidificación libera unas 80 cal.g⁻¹ de agua que se transmite por conducción a través del hielo que se forma sobre los órganos de la planta, reemplazando al calor que la planta pierde por radiación. De esa manera, la temperatura de los órganos vegetales puede ubicarse por encima de la temperatura del aire, e incluso en niveles próximos a 0 °C, cuando la temperatura del ambiente se



Riego por aspersión para control de helada en arándano

encuentra por debajo de esa marca. Es importante que el riego se mantenga de manera ininterrumpida durante todo el lapso de duración de la helada, porque de lo contrario el efecto es contraproducente.

El agua también puede usarse mediante el riego por surcos durante el día, mejorando la absorción de calor por el suelo. Para la aplicación de este método debe considerarse no generar condiciones de humedad que sean adversas para el cultivo, y tiene el riesgo de que en sitios con humedad relativa del aire muy baja va a favorecerse la evaporación, perdiéndose calor y potenciando la disminución de la temperatura.

Sistema de defensa contra heladas

Estos sistemas tienen como base:

Un **pronóstico de heladas**: que tiene como objetivo alertar durante el día sobre la posibilidad de ocurrencia de una helada, a fin de comenzar los preparativos para el control en la noche

Una **alarma**: que indica el momento para iniciar la defensa

Control de temperatura dentro de la plantación: orienta sobre el manejo del sistema de protección contra heladas

Edición 22
San Pedro

**Servicio de alarma
para control de heladas**
desde el 1° de Agosto

suscribite
eeasanpedro.clima@inta.gov.ar

54 3329 592576

seguinos en
@intaheladas

INTA
Secretaría de Agroindustria
Ministerio de Producción y Trabajo
Presidencia de la Nación

**SERVICIO DE ALERTA
PARA CONTROL DE HELADAS**

Es un programa que el INTA ofrecerá a los productores y Asesores del Valle Inferior del Rio Chubut para prevenir el riesgo y disminuir los efectos dañinos.

Se llevará a cabo durante los meses de agosto y noviembre, momento en que se produce la floración y posterior crecimiento de los frutos.

Para proteger el daño que pueden ocasionar las heladas, los productores utilizan distintos mecanismos de defensa, y para que estos sean más eficientes, el servicio de alarma constituye una herramienta que brinda información y acompañamiento en las noches en que se perciben descensos de temperatura, abarcando todo el Valle Inferior del Rio Chubut.

Agosto – Septiembre – Octubre – Noviembre

Para que el sistema funcione es necesario que Ud., señor productor, tome los datos de temperatura y los transmita a una central.

Con esos datos se elaborará el pronóstico y Ud. podrá defender su producción en la época crítica del cultivo.

Granizo

El granizo está formado por piedras de hielo transparente o semi opacas, que pueden ser de unos pocos milímetros hasta de 5 a 6 cm.

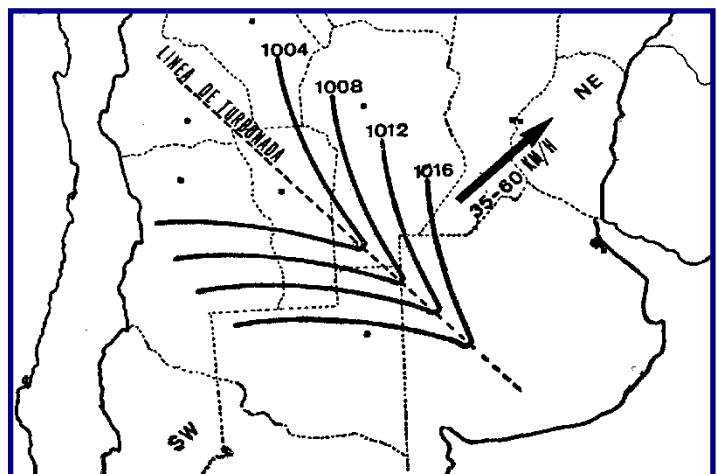
Es una adversidad que en la Argentina provoca daños de importancia, con importantes pérdidas económicas. El sur de Mendoza (San Rafael) es una de las regiones con más riesgo de daño por granizo.

En las plantas provoca la pérdida de área foliar, rotura de tallos y caída de flores y frutos; y como efecto secundario, la penetración de agentes patógenos a través de las heridas que causa.

Formación del granizo

El granizo se forma en las nubes de gran desarrollo vertical, de entre 2000 a 12.000 m (cumulonimbus), que presentan corrientes ascendentes y descendentes muy fuertes de aire húmedo, y que en la parte media y superior presentan temperaturas inferiores a 0 °C. De esta manera, algunas gotas de agua pueden congelarse y formar cristales de hielo, y también pueden formarse cristales de hielo por deposición sobre núcleos de congelamiento. El crecimiento de estas formaciones, que alcanzar un tamaño suficiente para caer, y las características térmicas de la nube determinan que la precipitación sea sólida (granizo) o por derretimiento resulte en una precipitación líquida.

Para la producción de granizo se requieren condiciones atmosféricas que determinen una importante corriente de aire ascendente, lo que se da cuando se produce una rápida disminución de la temperatura del aire con la altura (más frecuente en primavera o verano). Estas condiciones se producen casi exclusivamente cuando sobre una región pasa una depresión barométrica en forma de V, produciendo un fenómeno denominado turbonada. La



Depresión barométrica en forma de V. Los números en los extremos de las líneas isobaras indican mb de presión atmosférica. Fuente: De Fina & Ravelo, 1975

turbonada se manifiesta al mismo tiempo sobre todas las localidades situadas sobre la línea que divide las dos partes de la V (línea de turbonada), que puede

alcanzar una longitud de 1000 km. Sin embargo, el granizo siempre se registra sobre áreas pequeñas relativamente aisladas.

Las tormentas graniceras son más frecuentes al interior de los continentes y latitudes medias. Las localidades ubicadas en llanuras, próximas a cadenas montañosas, muestran mayor frecuencia de granizo.

Entre los métodos de lucha, actualmente se realiza la siembra de nubes con adición de núcleos de condensación como el yoduro de plata, con el objetivo de que compitan con las gotas de agua evitando que se formen piedras de granizo grande y destructivo. También puede recurrirse a compañías aseguradoras que emiten pólizas contra el daño de granizo.

Viento

El viento es el movimiento del aire en sentido horizontal, y es un elemento climático de importancia, ya que da lugar a la ocurrencia de distintos fenómenos meteorológicos, debido a la distinta cantidad de humedad y diversas temperaturas del aire en movimiento. Puede también llegar a ser una adversidad climática, como el caso de los vientos cálidos y secos como el zonda, o que por su velocidad produzca pérdida de fertilidad por erosión, roturas de plantas o infraestructura, perjuicios en la polinización, aumento de la evapotranspiración, traslado de agentes causantes de enfermedades.

Para caracterizar esta adversidad es necesario conocer:

Velocidad: se registra con un anemómetro que registra distancia recorrida por unidad de tiempo (km/h).

Dirección: la dirección del viento se conoce a través de las veletas, que debe estar colocada a 10 m sobre el nivel del suelo, en un área libre de la influencia de árboles o edificaciones.

Frecuencia de los vientos: número de veces en que se presentan vientos de determinada velocidad o intensidad.

Como método de defensa contra el viento se utiliza la implantación de cortinas forestales, que deben presentar las características que se describieron previamente entre los métodos de prevención de daños provocados por heladas. Puede considerarse en general, que una cortina forestal debe tener una densidad óptima de 35 a 40 %, dado que si son muy densas producen flujos turbulentos aumentando el daño. También es deseable que posean un diseño aerodinámico (levantamiento paulatino de la altura de los árboles). El

área protegida depende de la velocidad del viento, cuanto más fuerte, mayor es área protegida. La protección de la cortina es de 30/40 veces la altura máxima de los árboles. Así, una cortina de 25 m protege unos 700 a 1000 m por detrás de la misma.

Bibliografía

- Castillo, F.E.; Castellvi Sentis, F. 1996. Heladas y Protección contra Heladas. En: Agrometeorología. Pp. 221-234. Ediciones Mundi-Prensa.
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1975. XIII. Rocio. Heladas. En: Climatología y Fenología Agrícolas. Pp. 183-200. EUDEBA. 2º Ed.
- De Fina, A.L.; Ravelo, A.C. 1975. XX. La lucha contra las adversidades climáticas en Agricultura. En: Climatología y Fenología Agrícolas. Pp. 265-276. EUDEBA. 2º Ed.
- Murphy, G.M.; Hurtado, R.H. (eds.). 2011. XVIII.º1 Heladas. En: Agrometeorología. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Pp: 315-337.
- Tassara, M.A. 2007. Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado – frío. Ediciones INTA.