



**Incidencia de las sequías
en la agricultura
y en áreas naturales**

Ana M. Planchuelo

Incidencia de las sequías en la agricultura y en áreas naturales

Ana María Planchuelo

CREAN-IMBIV-CONICET-UNC, Facultad de
Ciencias Agropecuarias, Casilla de Correo 509,
5000 Córdoba. aplanch@gmail.com

*** Incidencia de las sequías en la agricultura y en áreas naturales**

Edición

Ana María Planchuelo

Diseño gráfico:

Alejandro Barbeito

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño gráfico de la tapa y de las páginas interiores, pueden ser reproducidas, almacenadas o transmitidas de ninguna forma ni por ningún medio, sea este electrónico, mecánico, grabación, fotocopia o cualquier otro, sin la previa autorización escrita de los autores.

ISBN en trámite

INTRODUCCIÓN

Esta presentación es una compilación de información sobre las metodologías de evaluación y pronóstico de eventos meteorológicos conducentes a períodos de sequías y los efectos de las sequías en los cultivos.. Se dan pautas sobre ejemplos de manejos agrícolas para evitar los daños que las sequías producen en la producción agropecuaria. Con el propósito hacer una lectura amena y didáctica sobre estos temas agroclimáticos, no se citan todas las referencias bibliográficas consultadas, sino que se dan las citas específicas de algunos artículos que amplían los conceptos o ejemplifican las acciones a tomar ante los eventos de sequías. El núcleo de la temática se viene desarrollando ampliamente en diversos proyectos de investigación y transferencia de tecnología del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y

Naturales (CREAN), que es una unidad de investigación asociada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba y al Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina. Parte de este trabajo fue presentado como conferencia en la Segunda Reunión de EUROCLIMA en San José, Costa Rica, por invitación del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en Abril 2015. Se pone a disposición de la comunidad agrícola y público en general por medio de la página web: <http://www.crean.unc.edu.ar/>, dado que la difusión de las investigaciones es un tema prioritario para el área de extensión del CREAN. Para mayor información se sugiere consultar la bibliografía citada o dirigirse a la autora o al personal del CREAN.

CONCEPTOS DE SEQUÍAS

Las sequías son fenómenos recurrentes que acontecen desde tiempos prehistóricos en diversas zonas de la tierra. La causa principal de la ocurrencia de sequías es la falta de lluvias por un período prolongado, que provoca que los niveles de agua disponible estén por debajo de los niveles normales, de un ambiente climático determinado, en un área geográfica dada. Los dos componentes que tienen que intervenir para que ocurra una sequía son, la sequedad (igual a la falta de agua) y la larga duración de la misma.

Es importante destacar que existe una gran diferencia entre sequía y aridez. La aridez está relacionada con regiones en donde la baja precipitación es una característica permanente del clima, mientras que la sequía es una anomalía temporal, que puede suceder en casi todas las zonas climáticas, aún aquellas que tengan exceso de precipitaciones (Ravelo, 2000, Morales et al., 2000).

El ciclo del agua es un continuo, en donde la lluvia es la repositora del agua que se pierde del sistema por evaporación (aguas superficiales y suelo desnudo) y por la transpiración de las plantas. En la **Figura 1** se muestra el ciclo del agua con todos los componentes intervinientes. Cuando las lluvias son escasas se producen períodos de sequías que según el nivel de afectación e intensidad se clasifican en distintas categorías (Ravelo, 2012).

Sequía meteorológica se produce cuando las precipitaciones son inferiores a los promedios normales para ese ambiente climático y en ese período estacional. Este tipo de sequía causa un tiempo seco que afecta temporalmente el ambiente, el cual puede reponerse, luego de una lluvia moderada. Si la falta de lluvias se prolonga por un período más prolongado, pueden acontecer otras formas de sequías que tienen mayor impacto social y económico.

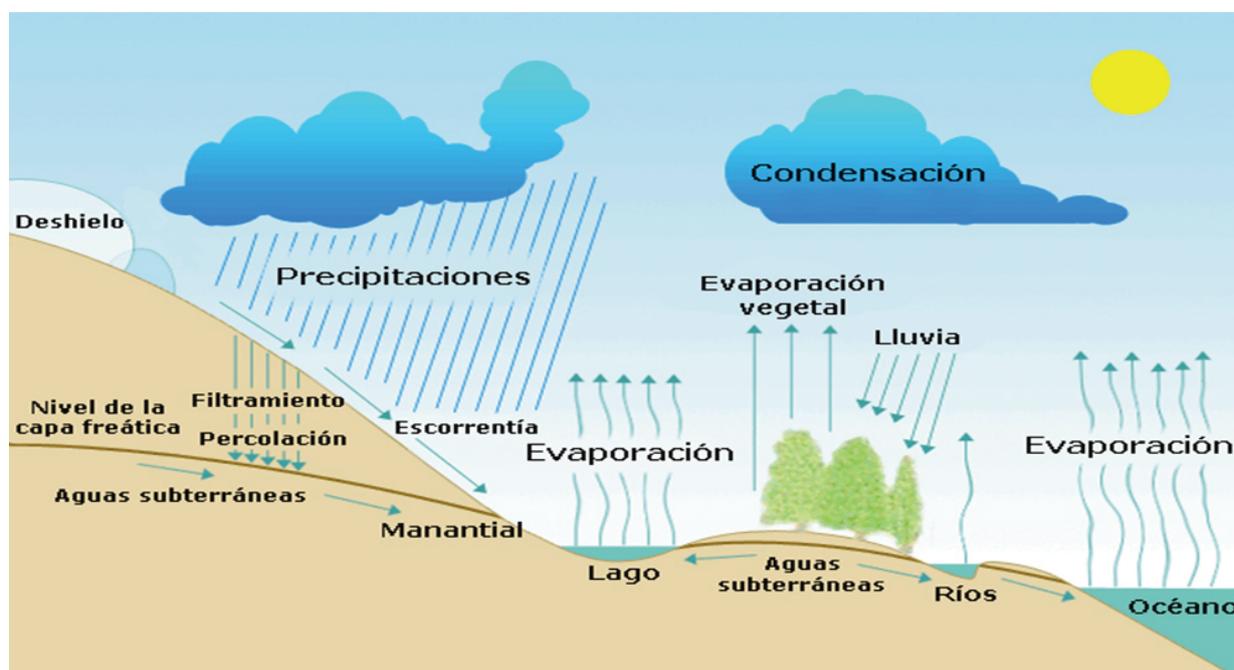


Figura 1.- Ciclo del agua con todos los componentes intervinientes.

Sequía agrícola ocurre cuando la cantidad de las reservas de agua del suelo no satisfacen las necesidades de las plantas, consecuentemente, se produce una disminución considerable de los rendimientos de los cultivos y de la producción ganadera. Este tipo de sequía surge por la falta prolongada de precipitaciones, y es potenciada por un mal manejo agrícola, que causa erosión edáfica y provoca que las condiciones no sean adecuadas para la retención de agua. Por lo tanto, las plantas sufren un déficit hídrico, a pesar de que el agua podría estar disponible, si las condiciones de suelo fueran apropiadas.

Sequía hidrológica ocurre cuando hay un défi-

rráneos. Este tipo de sequía afecta la disponibilidad de agua para satisfacer las demandas del entorno natural y social.

Sequía socio-económica se produce como consecuencia de la ocurrencia de los tipos de sequías anteriormente descritas, que causan un impacto negativo en las comunidades y en todos los eslabones de las actividades de las cadenas productiva y sociales.

En la **Figura 2** se muestra en forma de cuadro todos los componentes que actúan para que se produzcan eventos de sequías de distintas magnitudes. Los principales desencadenantes son las condiciones meteorológicas reinantes, en donde las escasas precipitaciones, conjunta-



Figura 2: Factores intervinientes y secuencia en la ocurrencia de diferentes tipos de sequías y sus impactos.

cit de lluvias muy prolongado y se ven afectados los niveles de los cursos de aguas superficiales como son los arroyos, ríos, lagos y represas y no se reponen los acuíferos subte-

mente con otros factores como altas temperaturas y mucha radiación solar, crean ambientes en donde se pierde mucha agua a la atmósfera y se produce una **sequía meteorológica**. Como

ya se expresó, las características del suelo influyen notablemente sobre la capacidad de retener agua y si esa capacidad es nula o escasa se produce un déficit hídrico en el suelo que afecta negativamente a los cultivos y se genera una **sequía agrícola**. Cuando el déficit hídrico se prolonga en el tiempo se ven afectados los caudales de agua superficiales y subterráneos y ocurre una **sequía hidrológica**.

Como se puede apreciar el factor tiempo es uno de los componentes principales. Cuando las sequías ocurren en áreas deforestadas la falta de

cobertura vegetal desprotege al suelo, deteriorando su fertilidad y acelerando los procesos que provocan la desertificación (Boletta et al. 2010, Ravelo et al., 2011). Los impactos de las sequías prolongadas no solo son ambientales y agrícolas sino también las consecuencias de la falta de agua afecta a todos los componentes de las cadenas productivas. En consecuencia las sequías tienen impactos negativos en actividades agrícolas, ganaderas e industriales y también consecuencias sociales y económicas conexas (Ravelo, 1980; Planchuelo & Ravelo, 1985, Boletta et al., 2014).

Componentes que influyen en la severidad de una sequía

Para evaluar los efectos de las sequías en los cultivos hay que considerar los referentes al estado y conservación del suelo y los estados de las plantas en el momento en que está ocurriendo una falta de agua.

El clima y las condiciones meteorológicas afectan a las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos. También se ven afectados los organismos que tienen las capacidades de formar el suelo por descomposición de la materia orgánica, lo que afecta a su capacidad para retener y liberar calor y humedad. La lluvia, por una parte, añade componentes químicos al suelo, pero por otra parte, cuando las lluvias son intensas y extremas el exceso de agua arrastra las materias nutritivas del suelo y lo deteriora.

La disponibilidad de agua en el suelo es el factor principal para que se produzca la imbibición en la semilla para que germine. El agua es el elemento que activa las funciones fisiológicas y metabólicas que redundan en el crecimiento y desarrollo de las células que forman los tejidos y órganos de las plantas. Además, el agua cumple una función importante en la transpiración, que sirve para refrescar a las hojas, de las altas temperaturas, que podrían desecar y dañar a toda la planta.

En el proceso de la fotosíntesis, el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera penetra por los

estomas de las hojas, para formar junto con las moléculas de agua los hidratos de carbono que nutren a la planta. Los estomas abiertos son una amenaza de pérdida de agua, que puede causar una deshidratación. Para prevenir la deshidratación, las plantas deben absorber agua por las raíces y transportarla a la parte aérea. Los desequilibrios entre la absorción de agua y la pérdida de agua a la atmósfera pueden causar un déficit hídrico que lleva a un mal funcionamiento de muchos procesos celulares. Por ello, el equilibrio entre la absorción, transporte y pérdida de agua representa un importante desafío para que las plantas terrestres estén sanas.

Un cultivo herbáceo en pleno desarrollo está compuesto en gran proporción de agua, que varía entre un 70 y un 90% del peso total de una planta, según las características de la especie, la edad de la planta y las condiciones ambientales reinantes.

Las plantas en sus ambientes naturales están en equilibrio con las condiciones meteorológicas y de suelo del lugar en donde habitan y conforman un paisaje biológico sustentable.

En cuanto a la falta de agua las especies tolerantes al déficit hídrico, no experimentan daños por la escasez de agua, mientras que las especies renuentes evitan o reducen el efecto del dé-

deficit hídrico, anticipando o postergando su aparición, como lo hacen las plantas anuales, o modificando su ciclo como lo hacen las plantas perennes.

Las especies cultivadas fueron originariamente silvestres, en algún lugar en donde vivían en condiciones ambientales acordes a sus requerimientos biológicos, por lo tanto, podían completar su ciclo de vida y cubrir todas las etapas de nacimiento, crecimiento, desarrollo y reproducción. Pero, cuando el hombre a través de los años las domesticó y logró cultivarlas en ambientes agrícolas totalmente modificados, las especies perdieron sus características de resi-

supresión del crecimiento y a la muerte anticipada de la planta, antes de que se cumpla su ciclo de vida. Con los avances de la fitotecnia y a través de técnicas de mejoramiento vegetal se han logrado obtener variedades adaptables a diferentes condiciones ambientales, para muchos cultivos de importancia comercial.

Para poder evaluar la ocurrencia de sequías hay que tener en cuenta todos los factores intervinientes del sistema suelo-planta. Mediante programas computarizados se pueden calcular índices que cuantifican numéricamente la gravedad de la sequía utilizando datos de la evapotranspiración real, el balance hídrico del

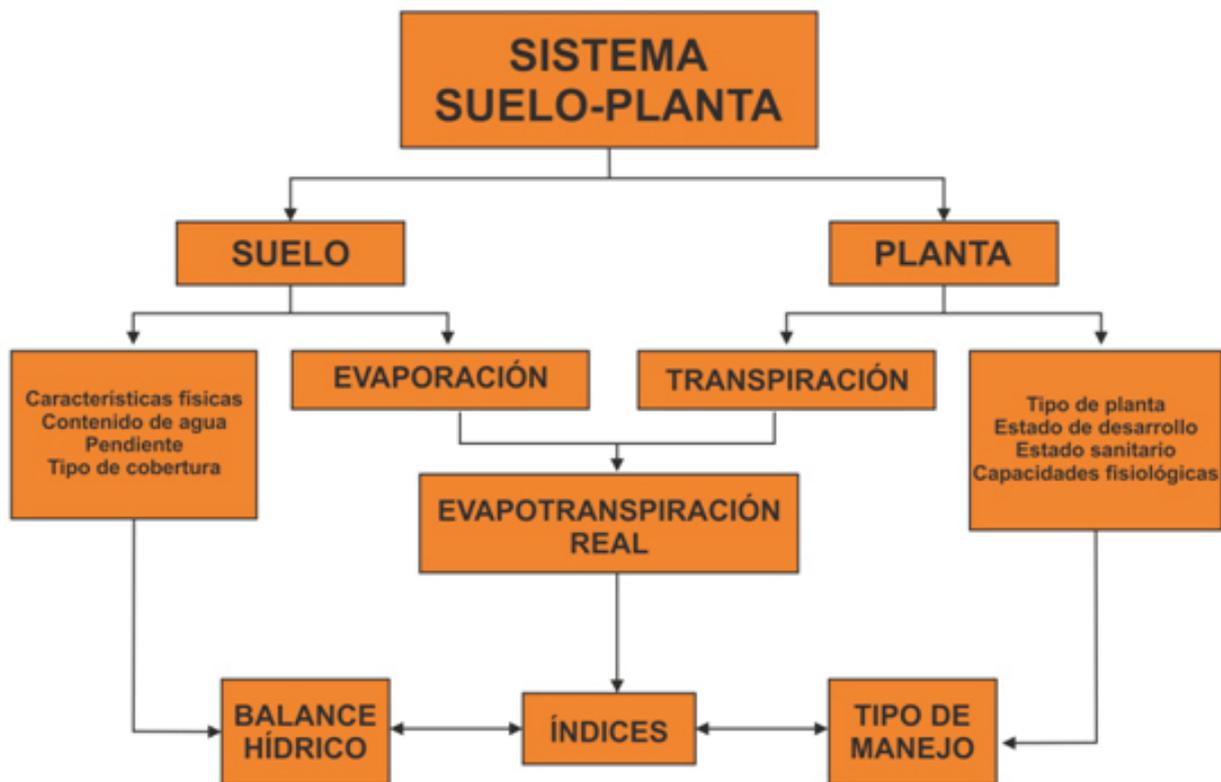


Figura 3. Componentes que intervienen para hacer una evaluación de la ocurrencia de sequías.

liencia para sobreponerse a condiciones medioambientales adversas. Muchas de las especies cultivadas son sensibles al déficit hídrico y la falta de agua puede llegar a la disminución o

suelo y el tipo de manejo agrícola. La figura 3 muestra un diagrama de flujo de los factores que intervienen para hacer una evaluación de la ocurrencia de sequías.

Métodos para evaluar las sequías

Si bien no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías, es posible, mediante el análisis de la información climática, meteorológica e hidrológica, realizar una identificación, valoración y previsión de este fenómeno ambiental. Dado que la deficiencia de agua, para satisfacer las demandas de la atmósfera y del cultivo, crea un estado de estrés en las plantas y que ese estado repercute en la producción del cultivo, se aplican varios índices para evaluar las sequías en los suelos agrícolas. Los índices utilizan una o varias variables de relevancia en el proceso de las sequías y las categorizan según su intensidad. Se listan a continuación los índices más utilizados para la evaluación de las sequías.

- Índice Estandarizado de Precipitación (SPI):

La sigla SPI, proviene del nombre en inglés “*Standardized Precipitation Index*” desarrollado por McKee *et al.* (1993). Este índice es utilizado en la evaluación de sequías que aplica el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) porque ha demostrado ser muy adecuado para determinar la ocurrencia y seguimiento de las sequías en la pradera pampeana argentina. La **Tabla 1** muestra los valores correspondientes a cada categoría de humedad ambiente que va desde “humedad extrema” hasta sequía extrema, pasando por nueve casos de situaciones intermedias. En la tabla se dan los valores cromáticos

Tabla 1. Escala de valores del SPI

Escala de valores del IPS	Categoría del Índice
2,00 ó superior	Humedad extrema
1,50 a 2,00	Humedad excesiva
1,00 a 1,50	Humedad moderada
0,50 a 1,00	Humedad incipiente
-0,50 a 0,50	Condición Normal
-0,50 a -1,00	Sequía incipiente
-1,00 a -1,50	Sequía moderada
-1,50 a -2,00	Sequía severa
-2,00 ó superior	Sequía extrema

utilizados en los mapas de evaluación de sequía que elabora el Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) y que figuran en la página de internet en la sección “Monitoreo de las Sequías con la siguiente dirección de URL:

http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/monitoreo/monitoreo_intro.html

- Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI):

La sigla PDSI proviene del nombre en inglés Palmer Drought Severity Index, desarrollado por Palmer (1965). El PDSI, mide la pérdida de humedad, basándose en el concepto de oferta y demanda de la ecuación del balance hídrico. El indicador se calcula sobre la base de datos termo-pluviométricos, y de “Contenido de Agua Disponible” (CAD) del suelo. A partir de las entradas se pueden calcular la evapotranspiración real, la recarga del suelo, la escorrentía y la pérdida de humedad del horizonte superficial. Estos procesos forman parte de las subrutinas algunos programas de pronóstico de rendimiento y aplicarlos en estudios de monitoreo de cultivo y pronóstico de rendimientos (Ravelo & Planchuelo, 2003; Ravelo *et al.* 2003).

El PDSI describe las condiciones de excesos de humedad, normalidad y falta de humedad según distintos valores intermedios dentro de una escala que tiene números positivos y negativos que van de 4,00 a -4,00.

Tabla 2. Escala de valores del SPI

Escala de valores del PDSI	Categoría del Índice
4,0 ó más	Humedad extrema
3,0 a 3,9	Muy húmedo
2,0 a 2,9	Humedad moderada
1,0 a 1,9	Humedad incipiente
-0,9 a 0,9	Condiciones normales
-1,0 a -1,9	Sequía incipiente
-2,0 a -2,9	Sequía moderada
-3,0 a -3,9	Sequía severa

El PDSI se continúa utilizando en numerosos países como un indicador confiable de las condiciones hídricas, a pesar de las limitaciones destacadas por Alley (1984). En la Argentina (CREAN, 2012) y en Estados Unidos (NOAA, 2012) se publican periódicamente los índices PDSI y SPI, los cuales permiten identificar condiciones hídricas extremas y su evolución en el tiempo. Ravelo *et al.* (2012) presentaron el desarrollo de un atlas de sequías en la Argentina para el período 1980-2011 utilizando los índices PDSI, SPI y NDVI. En Estados Unidos, Hayes *et al.* (1999) identificaron correctamente las sequías de 1996 utilizando el SPI, mientras que en la Argentina, Zanvettor & Ravelo (2000) utilizaron el mismo índice para evaluar la sequía de 1999-2000.

-Índice de Humedad de Cultivos (CMI): La sigla CMI proviene del nombre en inglés "*Crop Moisture Index*", desarrollado por Palmer (1968). El Índice CMI utiliza un enfoque meteorológico para vigilar en forma semanal a las condiciones de cultivo actuales. Fue desarrollado a partir del cálculo del índice de severidad de sequías (PDSI). Considerando que el PDSI monitorea a largo plazo condiciones meteorológicas húmedas y secas, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad a corto plazo en las principales regiones productoras de cultivos. Se basa en la temperatura media y precipitación total por cada semana dentro de una división del clima, así como el valor de CMI de la semana anterior. El CMI responde rápidamente a las condiciones cambiantes, y se pondera según la ubicación y la hora para que los mapas, que normalmente muestran el mensual CMI en las regiones con cultivos, que se puede utilizar para comparar las condiciones de humedad en diferentes lugares. Debido a que está diseñado para monitorear las condiciones de humedad a corto plazo que afectan a un cultivo en desarrollo, el CMI no es una herramienta que sirva para realizar el seguimiento de la sequía a largo plazo. La rápida respuesta de CMI a las condiciones cambiantes a corto plazo, pueden proporcionar información engañosa sobre las condiciones a largo plazo. Por ejemplo, una lluvia beneficiosa durante un

período de sequía puede permitir que el valor de CMI indique condiciones adecuadas de humedad, mientras que la sequía a largo plazo en ese lugar persiste. Una característica que limita el uso del CMI, como herramienta de vigilancia de la sequía a largo plazo es que el CMI normalmente comienza y termina cada estación de crecimiento cercano a cero. Esta limitación impide que el CMI se utilice para supervisar las condiciones generales de humedad fuera de la estación de crecimiento, especialmente de las sequías que se extienden durante varios años. El CMI también puede no ser aplicable durante la germinación de semillas al comienzo de la temporada de un cultivo específico.

- Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI): El NDVI cuya sigla proviene del inglés por "*Normalized Difference Vegetation Index*" es un índice derivado de información satelital. El NDVI está directamente relacionado con: el porcentaje de la cobertura vegetal, con la biomasa verde o herbácea total (toneladas/ha) para cada tipo de vegetación, con el "índice del área foliar" (LAI) y con la actividad fotosintética de la vegetación. El NDVI es un indicador de la vegetación verde y se ha usado para estimar la precipitación efectiva acumulada sobre un cierto período, para estimar la capacidad de carga animal de las pasturas, los rendimientos producidos por diferentes tipos de cultivo (Ravelo & Planchuelo, 2002, Ravelo *et al.*, 2007) y la calidad del ambiente como hábitat para distintos animales, pestes y enfermedades. También puede ser utilizado para el monitoreo y evaluación de las sequías (Kogan, 1997; Peters *et al.*, 2002, Ravelo *et al.*, 2005). Sus ventajas son la amplia cobertura geográfica, su complementación con otros índices meteorológicos y su relación con la productividad de los cultivos.

Ninguno de los índices se puede considerar ideal, pero sí para algunos casos, unos son mejores otros. La elección de un indicador depende de la información disponible y del uso de ese índice. Muchos de los índices de sequía pueden ser graficados de manera de visualizar de una forma clara su variabilidad temporal o geográfica y pueden utilizarse para boletines in-

formativos o de alerta temprana. También pueden ser utilizado para métodos de pronóstico de sequías (Mishra & Desai, 2006) y de evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de sequías (Ra-

velo, 2012). Estas acciones pueden permitir preparar planes de prevención de daños o de mitigación de los efectos negativos de las sequías (Zanvetor & Ravelo, 2000; Ravelo *et al.*, 2001).

El ciclo hidrológico de las sequías

Un sistema de detección, monitoreo y evaluación de los ciclos hidrológicos pueden permitir realizar un pronóstico de la ocurrencia de sequías. Los pronósticos puede ser utilizado para la planificación de acciones de alerta temprana y mitigación de los daños que producen las sequías, tal como lo proponen Ravelo *et al.* (2014). Es importante que la información generada por el sistema de alerta se dé a conocer a los agricultores, decisores de acciones de mitigación y al público en general por medios gráficos como ser boletines (Ravelo *et al.*, 2008-2009) y páginas de internet de instituciones oficiales y centros de investigaciones agroclimáticas. Dicho sistema se integrará al conjunto de los aspectos ambientales y socio-económicas que deben ser adecuadamente considerados para lograr un uso sustentable del recurso agua.

A continuación se presenta un ejemplo concreto sobre un sistema de alarma de sequía que se puso en funcionamiento a partir de un episodio de sequía ocurrida en la Provincia de Córdoba, Argentina a mediados del 2008. Ese sistema se constituyó como un Programa de “Monitoreo, Evaluación e Impacto de las Sequías en la Provincia de Córdoba”, para generar boletines decádicos sobre el estado agro-meteorológico provincial y difundirlos en forma impresa y digital a los decisores agronómicos, agricultores y público en general. La **figura 4** muestra la carátula de un Boletín generado por el CREAN y los mapas de la Provincia de Córdoba en donde se representan las condiciones de sequía usando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para fines de agosto y principios de setiembre de 2008.

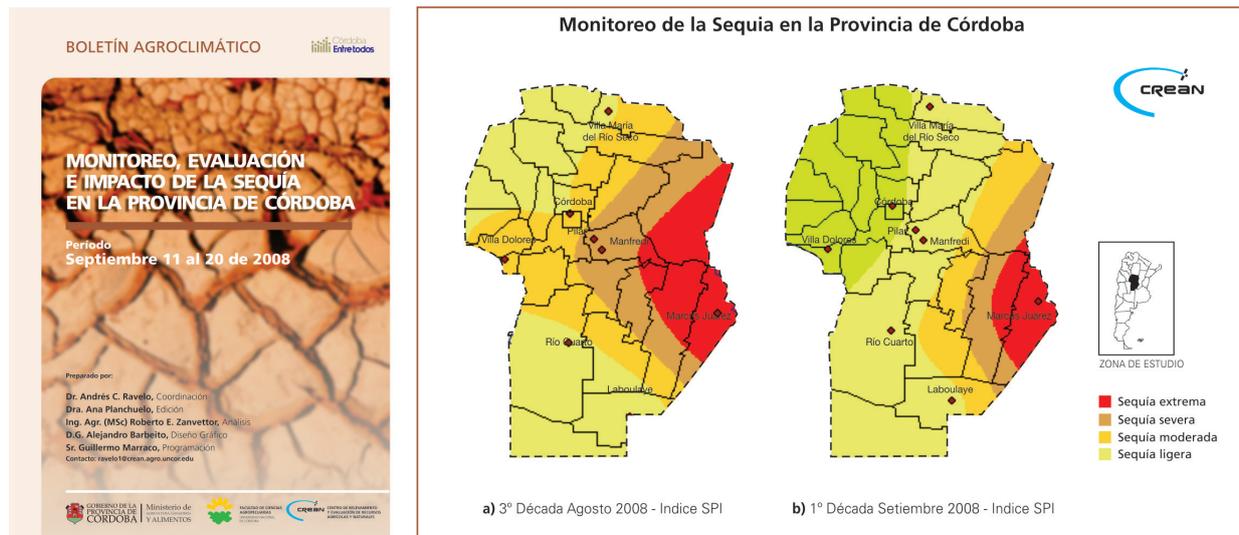


Figura 4. Carátula del Boletín y mapas de la provincia de Córdoba, Argentina, mostrando las áreas afectadas por sequías según la escala de colores del Índice Estandarizado de Precipitación, para los meses de agosto (3ra década) y septiembre (1ra década) de 2008.



Figura 5. El gerenciamiento racional de la sequía considera a los procesos de mitigación y resiliencia como partes integrales del ciclo.

En el primer mapa correspondiente a la 3^{ra} década del mes de agosto, se puede observar que una sequía moderada indicada con color amarillo, se extiende en forma de medialuna por el oeste de la provincia y sequías severas indicadas en color marrón claro se extienden hacia el este provincial. Las sequías de categoría extrema son señaladas con color rojo y comprenden a las áreas del noreste de los Departamentos de Marcos Juárez y Unión y parte del sudeste del Departamento San Justo con extensión hacia la provincia de Santa Fe. En el mapa que se encuentra a continuación correspondiente a la segunda década de setiembre se observa una retracción en las áreas con sequías en particular en la zona noroeste como resultado de precipitaciones registradas en la zona centro y norte de la provincia, sin embargo el epicentro de las sequías extremas se mantiene en el Departamento de Marcos Juárez que es una de las zonas más importante de la

producción agrícola provincial. En el boletín se daban a conocer también los estados de los principales cultivos y la afectación que tenían por la falta de agua. Se pudo comprobar la efectividad de la información suministrada en los boletines para la toma de decisiones respecto a la vulnerabilidad de los cultivos durante una de la sequía extrema de mayor magnitud alcanzada en los últimos 28 años para Marcos Juárez y alrededores.

Uno de los componentes más importantes para la correcta operación del sistema integrado de sequías es disponer de personal capacitado en los aspectos científicos y técnicos.

La **figura 5** ilustra sobre un ciclo racional de las sequías en su consideración, su evaluación y respuesta en términos de mitigación y desarrollo de mecanismos de resiliencia de las comunidades urbanas y rurales. El ciclo se cierra con una planificación eficiente y apropiada para la próxima ocurrencia de la sequía.

En la actualidad se encuentran disponibles boletines agro-meteorológicos que evalúan los episodios de ocurrencia de sequías en distintas partes de Latinoamérica. Para más información

se sugiere consultar las páginas web de las siguientes instituciones que tratan la evaluación de las sequías.

CREAN: http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/monitoreo/monitoreo_intro.html. Córdoba, Argentina

CONAGUA: <http://www.conagua.gob.mx/OCPN07/Noticias/Boletin>. Culiacán, México

Observatorio Ambiental: <http://mapas.snet.gob.sv/meteorologia/decadico.pdf>. El Salvador

Métodos directos para subsanar problemas de sequías

Los métodos directos son los que tienden a compensar la falta de agua en el suelo para que el sistema suelo-planta pueda satisfacer las pérdidas por evapotranspiración y se mantengan activas todas las funciones fisiológicas de las plantas para completar el ciclo biológico y la producción del cultivo.

Métodos de Riegos

El riego es el método directo más efectivos para reponer el agua perdida y faltante en el terreno, para que pueda ser usada por la planta en todos sus procesos fisiológicos y de transpiración. Hay distintos métodos de regar y varían en la eficiencia del uso del agua y en los costos de manejo y distribución del agua.

- **Riegos por inundación de lámina o por surco:** Son unos de los métodos más primitivos y si bien tienen menor costo que otros son poco eficientes en el uso del agua, dado que parte de la suministrada se pierde por evaporación, si embargo se sigue usando en muchas sistemas productivos de quintas y establecimientos rurales que tiene cupos de agua de riego que proviene de acequias con esclusas de distribución

de agua por canales (**Figura 6**, primera foto).

- **Riegos por aspersión:** Estos tipos de riego necesitan de una infraestructura de bombeo y distribución mucho más costosa que los anteriores pero es más eficiente en el uso del agua para amplias zonas agrícolas de cultivos densos, ya que en cultivos ralos se pierde agua en zonas fuera del radio de absorción de las raíces del cultivo. La eficiencia del sistema depende de la presión obtenida en el bombeo, la dimensión de los aspersores y la calidad de los materiales de transporte del agua. La segunda foto de la **figura 6** muestra un tipo de aspersor fijo y la **figura 3** un tipo de sistema de aspersión autopropulsado.

- **Riego por goteo:** Esta forma de riego es una de las más usada en zonas áridas que necesita de infraestructura para poder bombear y distribuir el agua, pero es más económico y eficiente que el anterior por que usa menores caudales de agua que es suministrada directamente en la base de cada planta. El agua se extrae de un pozo y por medio de una bomba se distribuye a una red de tubos que tienen dispensadores de



Figura 6. Métodos de riego por surco, por aspersión con aspersores fijos y por aspersión con aspersores móviles autopropulsados

agua que proveen el agua a las plantas en forma individual. La presión del suministro se controla por medio de válvulas a la salida y finales de líneas. Por medio del riego por goteo

se pueden agregar abonos líquidos o pesticidas orgánicos en caso que sean necesarios. Ver esquema de sistema de riego por goteo en la **figura 7**.

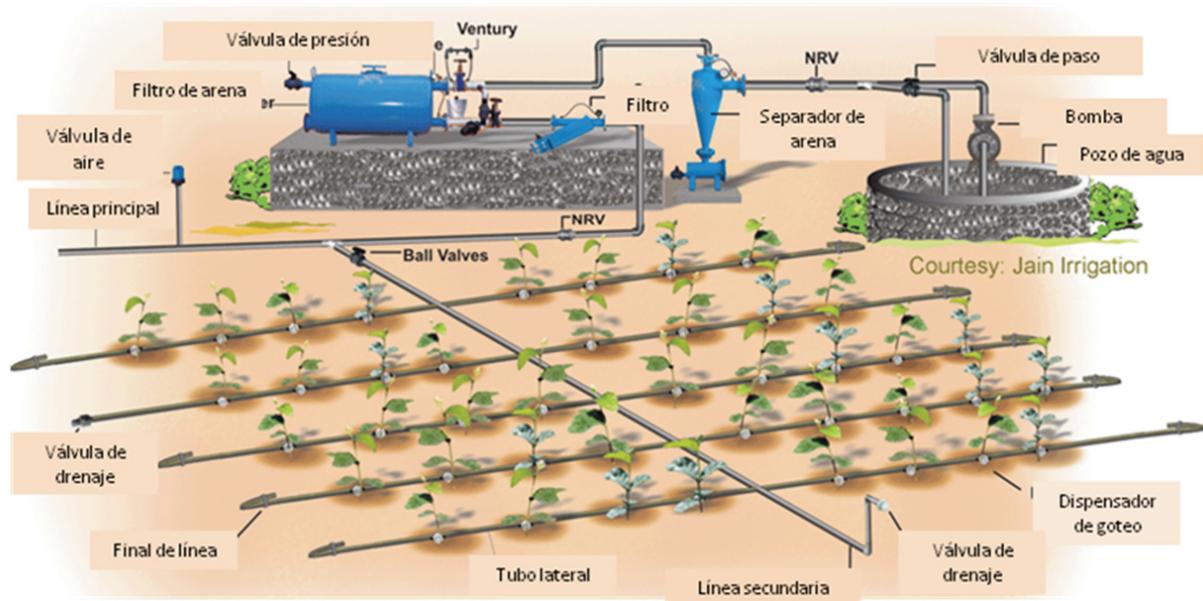


Figura 7. Sistema de riego por goteo (adaptado de Jain Irrigation)

Métodos de generar agua para riego

- **Reservorios de agua:** Para hacer más efectivo el riego es necesario hacer un manejo controlado y eficiente del suministro de agua, conservando y aprovechando las diversas fuentes de aprovisionamiento. Considerando que los embalses y pozos pueden sufrir deficiencias de agua durante períodos prolongados de sequías (sequías hidrológicas), es conveniente considerar alguna metodología de recarga artificial de acuíferos (RAA).

La recarga de los reservorios se puede hacer usando métodos de derivación de agua superficiales corrientes o lóaticas como son la procedente de ríos, riachuelos, arroyos o manantiales. Estas corrientes de agua tienen un flujo que varía considerablemente con los montos de las precipitaciones ocurridas en el inicio de la cuenca y es posible que arrastren muchos sedimentos. La derivación de estos tipos de aguas superficiales requiere de un estudio ingenieril de evaluación de pendientes, de caudales máximos y mínimos y

otros factores que hacen al movimiento en masa de una corriente de agua.

Los cuerpos de aguas lénticas naturales como los lagos, lagunas, charcas, humedales, son fuentes de agua factibles de ser utilizadas para riegos pero por estar quietas tienen el problema de la eutrofización que comienza con el crecimiento de algas unicelulares, sigue con un aumento de la biomasa verde y puede terminar por convertir al cuerpo de agua en tierra pantanosa o seca.

Los reservorios artificiales formados por esorrentías de agua de lluvia, como las albardas o tajamares son métodos muy antiguos que almacenamiento de agua para riego que sirvieron de base a la agricultura de subsistencia en épocas pre y post-colombinas de Centro y Sudamérica. Estas construcciones con bordes de pircas generalmente de formas circulares, semicirculares o alargadas se llenan lentamente y con un

manejo adecuado nunca se agotan. Pueden tener también procesos de eutrofización como las lagunas naturales.

La desalinización de aguas de mar y la depuración de aguas servidas son metodologías apropiadas para pequeños establecimientos que necesitan riegos en épocas de escases de lluvias. Estos métodos de rescate o cosecha de agua pueden ser encarados a mayor escala por comunas o asociaciones regionales que establezcan métodos de almacenamiento y depuración de agua para alcanzar una calidad adecuada para distintos usos comunitarios como ser almacenamiento o riegos. Para estos métodos no se necesiten realizar perforaciones para extraer agua subterránea y desabastecer las napas, ni cupos de agua de acequias.

- **Cosecha de agua:** La cosecha de agua de tejados consiste en recolectar la lluvia que se desliza por la superficie de un techo inclinado, recogerla en canaletas y trasportarla por tuberías hasta un depósito de almacenamiento. El agua almacenada se puede destinar a riegos de huertas. **La figura 8** muestra un simple modelo de cosecha de agua de lluvia en una vivienda.

- **Economía de agua para riego:** Es importante realizar mejoras en las infraestructuras de almacenaje en reservorio apropiados para que

sean eficientes y no se pierda agua por infiltración o evaporación. También en la conducción del agua durante la distribución a los distintos usuarios o áreas de cultivo es conveniente usar estructuras mejoradas en lugar de simples zanjas o canales de tierra que van disminuyendo el caudal a lo largo del recorrido por infiltración y evaporación.

- **Control de contaminación y salinización:** Uno de los mayores inconvenientes en el uso de agua de pozos o de acuíferos subterráneos son las posibles contaminaciones, bacteriológicas por infiltraciones de aguas servidas, o químicas por arrastre de productos agrícolas o efluentes industriales. Otro factor que se debe controlar es la progresiva salinización de las aguas cuando se profundizan los posos que llegan a napas de aguas salitrosas o cuando se agota flujo de agua dulce y se produce infiltración de agua marina. Es muy importante tener en cuenta que el deterioro de la calidad del agua de los sistemas de regadío puede causar un impacto ambiental más dañino que la propia sequía.

Purificación de agua

- **Lluvia artificial por bombardeo de nubes.** Consiste en bombardear nubes desde la tierra con cohetes o desde aviones, con sustancias químicas como cloruro de calcio, carburo de

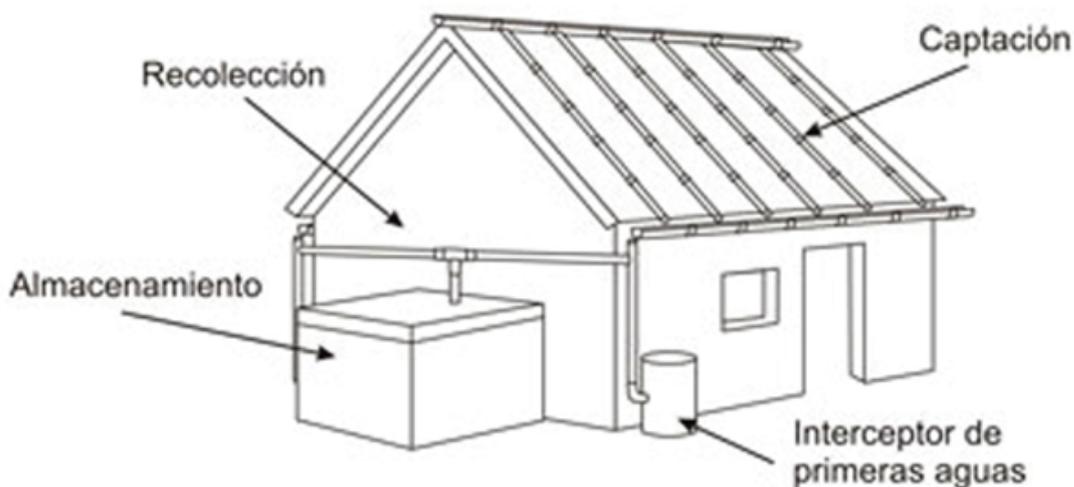


Figura 8. Esquema de cosecha de agua de lluvia de un tejado de una vivienda. El modelo fue puesto en marcha en una escuela rural en Galvarino, Chile.

calcio, óxido de calcio, mezclas de cloruro de sodio y urea o de urea y nitrato amónico que son capaces de absorber el vapor de agua de la atmósfera o de la nube y estimular la condensación del agua en pequeñas partículas. Las partículas estimulan la formación de vientos ascendentes y facilitan la formación de masas nubosas que luego pueden precipitar. Otras sustancias utilizadas como yoduro de plata o hielo seco, producen un enfriamiento en las nubes ya formadas de manera que se formen gotas de agua que cuando se hacen suficientemente grandes precipitan y forman una lluvia. Estos son métodos muy costosos y poco eficientes que se ha tratado de usar en casos extremos de sequías por organismos estatales de algunos países.

cientos que se ha tratado de usar en casos extremos de sequías por organismos estatales de algunos países.

Otros métodos de evitar los problemas de falta de agua en las plantas

• **Aplicación de sustancias anti-transpirantes:** Evitan la pérdida de humedad formando una película sobre las hojas, o inducen el cierre de los estomas, o que disminuyen el calor latente en el ambiente del canopeo. Este es un método costoso que se aplica únicamente a productos de alto valor comercial, en algunos casos árboles frutales.

Métodos indirectos para subsanar problemas de sequías

Tienden a evitar que la falta de agua ocurra en un período crítico del cultivo utilizando un cultivo más resistente o modificando las condiciones de trabajo

• **Elección de especies o variedades resistentes o tolerantes a las sequías:** La elección de la especie o variedad de un cultivo para soportar posibles sequías es una estrategia económica muy importante en los sistemas agrícolas. Las características que pueden influir a la tolerancia al estrés hídrico están relacionadas con una serie de características genéticas propias de cada especie o variedad. Entre mejoras genéticas están:

- Las características de los sistemas radiculares, que en variedades mejoradas pueden lograr una mayor profundización o extensión de la cabellera de raíces para abarcar mayor superficie de extracción de agua del suelo.

- El aumento de la presión osmótica de las células para lograr una mejor extracción del agua dado que la fuerza con que entra el agua en la planta se mide por el valor del déficit de la presión de difusión, según la teoría de la tensión y cohesión.

- Mejor posición y estructura de los estomas para evitar la salida del vapor de agua por transpiración, y un menor índice estomático, que es la relación entre números de es-

tomas y la superficie total de la hoja que hace más eficiente el uso del agua en la planta.

- La morfología, posición y estructura de la hoja que permita un mejor índice de área foliar para las optimizar las funciones de la fotosíntesis y la transpiración.

- La plasticidad en los requerimientos hídricos que permitan obviar los períodos de sequías sin daños acordando las fases del ciclo biológico o reduciendo el ciclo total de cultivo para evitar períodos de sequías.

• **Prácticas agrícolas y sistemas productivos adecuados:** Entre las prácticas agrícolas aconsejables para la reducción de consumo de agua por los cultivos están:

- Rotación de cultivo (alternancia de diversos cultivos por ejemplo gramíneas y leguminosas) y barbecho (descanso de la tierra) para recuperar el equilibrio de los nutrientes del suelo, romper los ciclos de las plagas y patógenos. El barbecho se puede complementarse con pequeñas labranzas para la eliminación de malezas y/o cobertura del suelo con residuos de cultivos.

- Cubiertas protectoras o “mulching” que se utilizan para cubrir el terreno y sirven para disminuir la evaporación, mantener la humedad del suelo, evitar el lavado de ferti-

lizantes y nutrientes durante lluvias torrenciales y evitar la proliferación de malezas por oscurecimiento de la superficie, así como facilitar la nitrificación por el aumento de temperatura. Las cubiertas pueden ser naturales (hojas secas, paja, cortezas, virutas de madera o aserrín, compost u otros residuo orgánicos) o sintéticas (virutas de caucho, láminas de plástico o coberturas con rocas o gravilla en climas fríos).

- Elección de fecha de siembra para evitar los períodos críticos del cultivo con posibles sequías: La fecha de siembra del cultivo es crucial para coordinar el cumplimiento de las fases fenológicas en los momentos adecuados.

- Cultivos bajo cubierta para que se intercepten los rayos solares y evitar el exceso de temperatura que causa la radiación directa,.

Las coberturas pueden ser de distintos materiales y formas. Los cobertizos tipo invernaderos de vidrio con ventilación son los más costosos y se usan generalmente para plantas ornamentales, pero para cultivos semi-intensivos se pueden usar telas denominadas media-sobra, o telas plásticas, o estructuras tipo túneles que ideales para almácigos o plantas de bajo porte. Estas coberturas evitan el calentamiento directo de las superficies de las hojas que son las superficies de transpiración y pérdida de agua de la planta.

- Las prácticas agrícolas combinadas como inter-cultivos, sistemas silvo-pastoriles y agricultura orgánica con filosofías holísticas son métodos indirectos de paliar los problemas que trae la falta de agua y las sequías prolongadas.

Los cultivos en emprendimientos agrícolas

La mayoría de los emprendimientos agrícolas están orientados a obtener una producción rentable a corto plazo, con metodologías extractivas que no tienen en cuenta el deterioro medioambiental, que genera el mal manejo de los servicios que presta el ecosistema.

La elección y el manejo de los cultivos dependen de las características agroecológicas de las diversas regiones, de los precios de los insumos y de la demanda interna o internacional del producto a obtener. Para lograr la inserción de un nuevo cultivo en una cadena productiva, se debe romper con la secuencia tradicional de siembras, sustituyendo un cultivo ya afianzado por el nuevo y adaptando adecuadamente el manejo agrícola.

Otra posibilidad es la incorporación de nuevas tierras a la producción agrícola y establecer un nuevo cultivo en lugares incultos. Ambas posibilidades están enmarcadas en un ámbito de razonable incertidumbre tecnológica. Es por eso que la elección de uno o más cultivos, que se

van a introducir en un lugar, tienen que estar analizados desde un amplio espectro de conceptos, en donde las plantas son el centro de la atención. Con el aporte de diferentes protagonistas se puede construir un material genético de cultivo, apto para el ambiente y condiciones en donde se quiere cultivar.

En la figura 9 se muestra en forma gráfica los componentes que hace que una planta sea investigada, modificada genéticamente y utilizada como cultivo rentable. En el centro está una planta, como ejemplo, el trigo. El Botánico y el Fisiólogo Vegetal interpretan a la planta como un material de estudio y pueden aportar al Genetista las características morfo-fisiológicas que tienen que ver con los caracteres deseables para su cultivo, como por ejemplo los referentes a la economía del agua. El genetista por medio del mejoramiento vegetal, realizando cruzamientos o induciendo mutaciones, puede reafirmar o cambiar esos caracteres y obtener una nueva variedad comercial de ese cultivo, que puede ser patentada. El Ecólogo analiza,

cómo se inserta ese nuevo material genético en el entorno ecológico. El Agricultor analiza, cómo esa planta modificada genéticamente, se transformó en una variedad que es apta para ser cultivada en ese ambiente agrícola. Por último los Economistas, analizan a la variedad de cultivo obtenida en el proceso, como un producto de inversión para difundir, reproducir y comercializarlo.

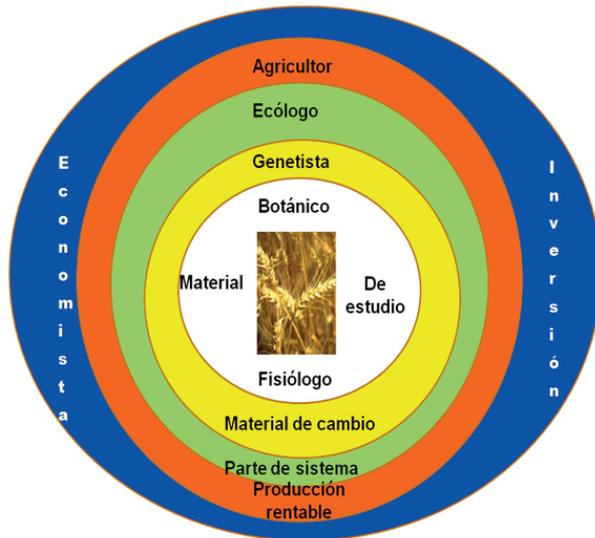


Figura 9.- Componentes del proceso de obtención y comercialización de una variedad comercial de un cultivo y el rol que tienen cada uno de los participantes en el proceso.

En general, para que los sistemas agrícolas sean rentables se tiene que elegir la especie de cultivo y dentro de ella el cultivar o variedad que mejor se adapte a las condiciones del ambiente y a los requerimientos del mercado. Es por esa razón, que es indispensable realizar estudios de factibilidad de cultivo, establecer una zonificación que verifique si se cumplen los requerimientos bio-ecológicos y establecer áreas pilotos de experimentación, antes de lanzar la producción de un cultivo no tradicional a gran escala. La soja, que en la actualidad es el cultivo de mayor superficie, producción y rentabilidad en el mundo, consolidó su liderazgo gracias a una profunda investigación y experimentación, lo largo de más de 50 años. En la actualidad se cuenta con variedades comerciales que se adaptan a distintos ambientes climáticos, porque a través del mejoramiento vegetal se alteraron los requerimientos de fotoperíodo que actúan induciendo la floración, según la

duración del día y se cambiaron los requerimientos de sumas térmicas para la producción de granos. La metodología de evaluación de las condiciones agroclimáticas de una región es una metodología útil para establecer la factibilidad de nuevos cultivos y planear una buena zonificación agrícola tal, como lo han documentado en distintas propuestas Pascale (1988); Ravelo *et al.* (1997, 1999), Ravelo & Planchuelo (2003)

Es una realidad que a pesar de que se den todas las condiciones óptimas de crecimiento y los cuidados necesarios de fertilidad de suelo, control de malezas, enfermedades y plagas, se hace imposible controlar los factores meteorológicos extremos, que pueden ocurrir durante el ciclo de un cultivo y ocasionar la pérdida de la producción. Es por esa razón, que es importante tener un sistema de alarma, que permita pronosticar con suficiente antelación las posibilidades de ocurrencias de heladas, sequías o excesos de precipitaciones, que pueden dañar los cultivos implantados. En el caso de las sequías es conveniente saber cuáles son los períodos críticos de los cultivos a la falta de agua, para regular la época de siembra y tomar los recaudos necesarios para prevenir o paliar los efectos de la sequía.

Una de las herramientas computarizadas más útiles para determinar y pronosticar las fechas de las principales fases fenológicas del ciclo de cultivo, son los Modelos Fenológicos de los Cultivos. Los programas una vez calibrados, para poder hacer los pronósticos requieren que se entren los datos meteorológicos desde una semana antes de la fecha de siembra hasta el momento de evaluación y mediante diversos algoritmos y subrutinas se obtienen las fechas de ocurrencia de la plenitud de las fases fenológica de ese cultivo y los rendimientos posibles (Ravelo & Planchuelo, 1987; Ravelo & Planchuelo, 1989, 1996; Ravelo *et al.*, 2007).

Identificación de los períodos críticos de los cultivos según sus requerimientos hídricos

Dentro de los principales cultivos de granos, están los cereales y las legumbres que son los que proveen la mayor parte de los alimentos básicos, para la alimentación humana y animal. Se indica a continuación las principales características de estos dos grupos de cultivos.

Cultivos de cereales

Se conoce con el nombre de cereales a las especies que pertenecen a la familia de las Gramíneas, y que se cultivan por sus granos, ricos en almidón y proteínas. Existen dos grupos de cereales, que se identifican por la época de crecimiento y por los requerimientos hidro-calóricos para completar su ciclo biológico. De acuerdo a estas características los cereales se clasifican en “cereales de invierno” y “cereales de verano”. Los cereales de invierno se desarrollan principalmente en el período invierno-primaveral, obteniéndose su producción al final de la primavera o comienzo del verano. En este grupo se destacan el trigo, la cebada, la avena y el centeno. Los cereales de verano necesitan mayores temperaturas para desarrollarse y se siembran a fines de primavera y se cosechan a finales de verano o principios de otoño. En este grupo se encuentran el maíz y el sorgo. Por lo tanto, las fechas de siembras varía de un grupo a otro y los cultivos deben adaptarse a las condiciones reinantes en cada período. Además, el manejo es distinto, principalmente porque los cereales de verano requieren agua en un período en donde las altas temperaturas provocan una pérdida de agua del suelo por evaporación y de las plantas por transpiración. Los períodos críticos para los requerimientos hídricos en la mayoría de los cereales son: espigazón o panojamiento y llenado de granos. A continuación se da una pequeña explicación de las características de los principales cereales, en orden de importancia.

Los cereales de invierno son: El trigo con varias especies y numerosas variedades comerciales. El trigo harinero hexaploide llamado

Triticum aestivum es el cereal panificable más cultivado en el mundo. Le siguen las variedades cultivadas de los trigos duros, *Triticum durum* y *T. compactum*. Las variedades se diferencian por el color del grano, su dureza y la temporada de cultivo. El trigo tiene variedades otoñales y primaverales que se diferencian por la cantidad de temperatura denominada integral térmica y la acumulación de grados días, siendo los primeros los de ciclos más largos. En general pueden desarrollarse bien con una precipitación anual de 300 a 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de las lluvias sea escasa en invierno y abundante en primavera. El **centeno** es un cereal perteneciente a la especie *Secale cereale*. Es un cultivo rústico con un ciclo parecido al del trigo, pero con menores requerimientos hídricos, se adapta muy bien a las bajas temperaturas, y crece bien en tierras ácidas y arenosas. La **cebada** tiene distintos tipos según el número de espiguillas fértiles en el raquis. Si sólo se desarrollan las centrales en cada lado del raquis, la cebada se denomina de dos carreras o cebada cervecera (*Hordeum distichum*), si se desarrollan las laterales es la cebada de cuatro carreras (*Hordeum tetrastichum*) y si se desarrollan las tres espiguillas de cada lado del raquis tendremos la cebada de seis carreras, también llamada forrajera (*Hordeum hexastichum*). La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia entre los cereales, después del trigo, maíz y arroz. La razón de su importancia se debe a su amplia adaptación ecológica ya que se puede producir en casi todos los climas y a su diversidad de aplicaciones. La avena ocupa el quinto lugar dentro de los cereales, siendo el cereal de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte. La mayoría de las avenas cultivadas son hexaploides, siendo la especie *Avena sativa* la más cultivada, seguida por la *Avena byzantina*.

La **figura 10** muestra en forma gráfica el ciclo de cultivo del trigo como ejemplo de los ciclos de los cereales de invierno. Se indica con las le-

tras “GP” la germinación y el desarrollo de la plántula, con la letra “V” las etapas de la fase vegetativa y con la letra “R” las de la fase reproductiva. La fase vegetativa comprende el macollaje, en donde se forma una roseta basal de hojas con yemas que forman los macollos a ras del suelo. La fase vegetativa termina cuando la planta llega a la altura máxima de crecimiento. La fase reproductiva, comienza con la aparición de la espiga (espigazón R1), sigue con la fecundación de los óvulos que van a formar la futura semilla, y el desarrollo del grano. Los granos hasta estar maduros pasan por los siguientes estadios:

- Grano acuoso (R2), cuando al apretarlo sale un líquido incoloro.
- Grano lechoso (R3) cuando el líquido es blanco como la leche.
- Grano de masa blanda o cérea (R4) cuando la textura del grano es una masa maleable.
- Grano en madurez fisiológica (R4) cuando la textura del grano es más firme. En este momento el grano puede germinar y dar

una nueva planta, pero tiene mucha humedad y no puede cosecharse

- Grano en estado de cosecha (R5) es cuando el grano perdió humedad y se puede cosechar.

Los cereales de verano son: El maíz que es un cereal que pertenece a la especie *Zea maíz*. A diferencia de los otros cereales, el maíz tiene dos tipos de inflorescencias bien diferenciadas, la masculina en la parte apical de la planta y las femeninas, que son las que van a formar los granos, en las axilas de las hojas. Es una especie originaria de las zonas de México y América Central. Actualmente, es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial, superando a la producción del trigo y el arroz. Es un cultivo que requiere altas temperaturas entre 25 y 30°C en el momento de fructificar y es bastante exigente en la incidencia de luz solar. Las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo, cuando las plantas comienzan a crecer requiere menos cantidad de agua que en la fase de desarrollo. La fase de floración y de cuajado de los granos son las más críticas a la falta de

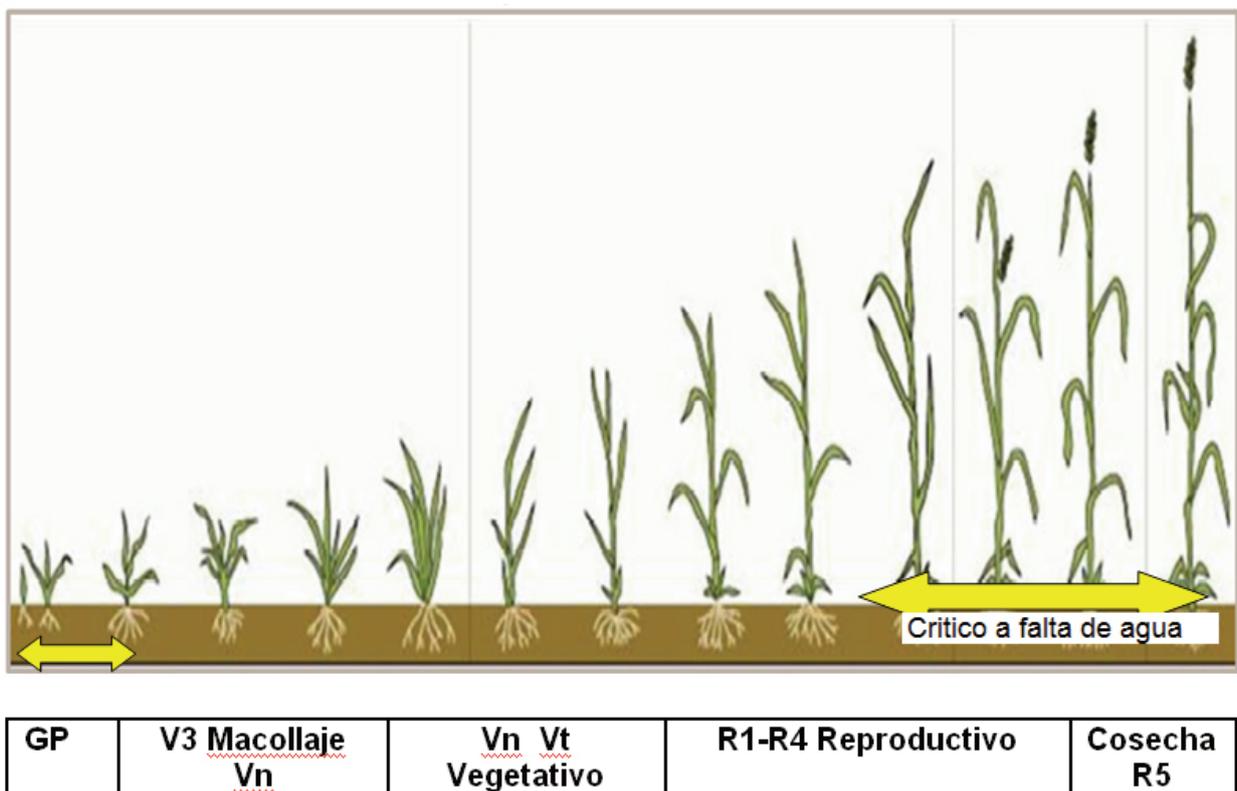


Figura 10.- Ciclo del cultivo de trigo mostrando las diferentes fases vegetativas (V) y reproductivas (R) y los períodos críticos a la falta de agua (flechas amarillas)

agua y de ella depende la producción de granos. El **sorgo** pertenece al género *Sorghum* y tiene muchas especies oriundas de las regiones tropicales y subtropicales de África oriental. Hay especies graníferas, para pasturas y también malezas. Por mejoramiento vegetal, se han desarrollado variedades mejoradas para grano de menor porte que las primitivas que tenían problemas de vuelcos, por su gran altura. El sorgo tiene un comportamiento fisiológico similar al maíz pero es más exigente en temperaturas y más resistente a las sequías. Precisamente, su resistencia a la sequía y al calor lo hace un cultivo importante en regiones áridas.

La **figura 11** muestra en forma gráfica el ciclo del cultivo de maíz como ejemplo de un cereal de verano. Se indica con la letra “V” las etapas de la fase vegetativa y con la letra “R” las de la fase reproductiva. El desarrollo de los granos sigue la misma secuencia que la del trigo. Con una flecha amarilla se marca el período más exigente en agua.

Para el **maíz dulce, choclo o elote** (*Zea mays* var. *saccharata*) el ciclo termina cuando se llega a la madurez fisiológica, antes que comience la deshidratación de los granos.

El **arroz** pertenece a la especie *Oryza sativa* y tiene cerca de diez mil variedades, en su gran mayoría provenientes de Asia. Es el único cultivo que se siembra en terrenos inundados, porque tiene un sistema especial de tejidos que evita la asfixia radicular, debido a que el aire circula desde los estomas de las hojas hacia la base de la planta y sale por las raíces y se difunde en el suelo creando una interface de óxido-reducción. El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, después del maíz. Para su desarrollo necesita temperaturas preferentemente por encima de los 25°C y es exigente en humedad dado su modo de cultivo, aunque actualmente hay variedades y modos de cultivos de secano. La mayor parte de las áreas cultivadas tienen abundantes lluvias durante el período de crecimiento y desarrollo del cultivo que tienen que disminuir, después del llenado de los granos hasta la maduración y cosecha.

La **figura 12** muestra en forma gráfica el ciclo del cultivo del arroz en donde se muestra la secuencia de la fase vegetativa (V) y la fase reproductiva (R). Con una flecha amarilla se marca el período en que es más exigente en agua.

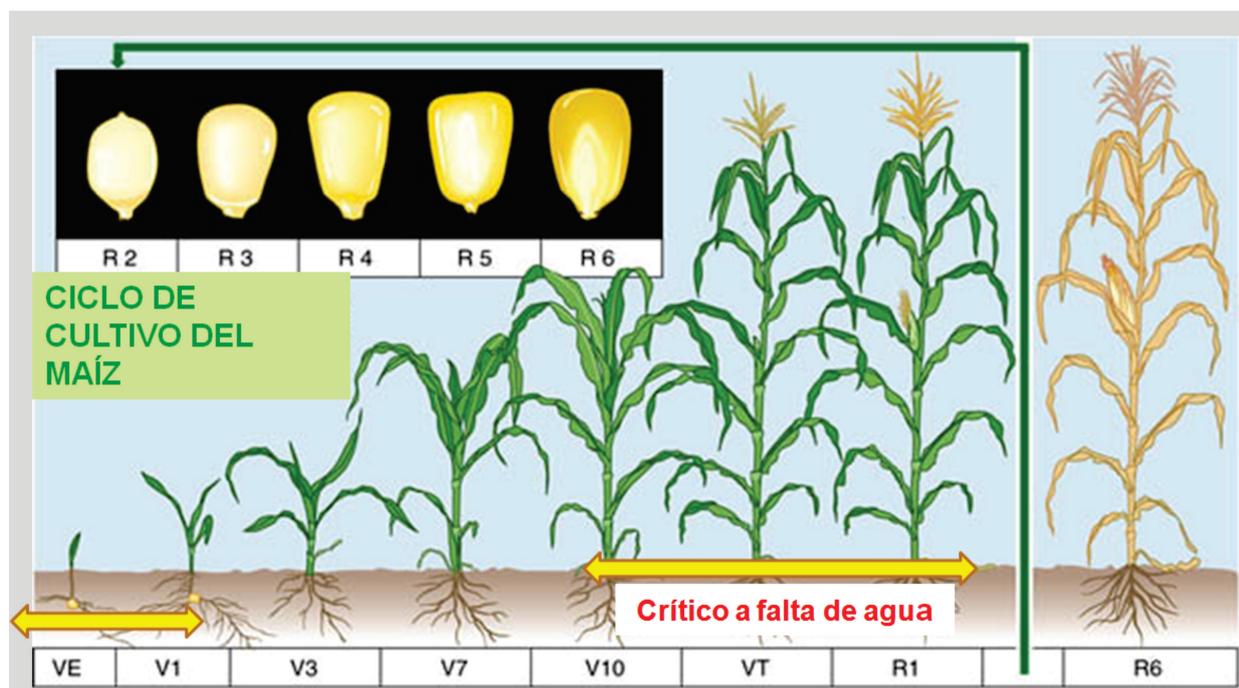


Figura 11.- Ciclo del cultivo de maíz mostrando las diferentes fases vegetativas (V) y reproductivas (R) y con los períodos críticos a la falta de agua (flechas amarillas).

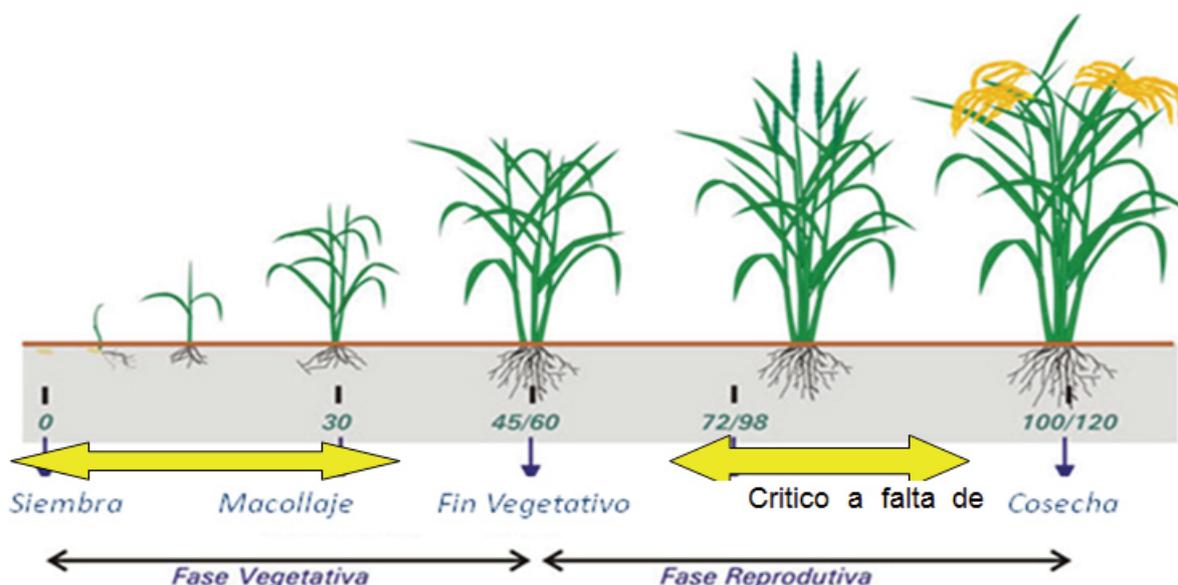


Figura 12.- Ciclo del cultivo del arroz mostrando las diferentes fases vegetativas (V) y reproductivas (R) y con los períodos críticos a la falta de agua (flechas amarillas).

Para favorecer los análisis de las condiciones meteorológicas reinantes y su afectación en los cultivos se presenta en la **Tabla 3**, un análisis en forma integrada de los períodos fenológicos de los cultivos con las necesidades y/o tolerancia a la falta de agua del suelo, expresada en valores promedios de la escala del Índice de Severidad de Sequía (PDSI). Esta información

resulta de utilidad para interpretar los valores del PDSI que se indican en los Boletines Meteorológicos que están disponibles en las páginas web de diversas instituciones.

Con una anticipada evaluación es posible establecer un estado de alerta sobre las deficiencias de agua que pueden afectar a la producción agrícola.

CULTIVOS	FASES FENOLÓGICAS			
	Germinación	Período vegetativo	Período reproductivo	Período de cosecha
Arroz	3,0 a 4,0	2,5 a 3,5	2,5 a 3,9	-1,0 a -1,9
Avena	1,5 a 3,0	0,9 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Cebada	1,5 a 3,0	0,9 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Centeno	1,5 a 3,0	0,9 a 2,5	1,5 a 2,5	-1,0 a -1,9
Maíz	2,5 a 3,5	1,5 a 2,9	2,0 a 3,5	-1,0 a -1,9
Trigo	1,5 a 3,0	1,0 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Sorgo	2,5 a 3,0	0,9 a 2,0	1,5 a 2,5	-1,0 a -1,9

Tabla 3.- Relaciones entre las fases de los cereales y las necesidades de agua expresadas en valores del PDSI.

Cultivo de legumbres

Se denomina **legumbre** a las semillas comestibles que producen varias especies de la familia de las Leguminosas o Fabáceas. Las legumbres han sido cultivadas desde la antigüedad, por una gran cantidad de culturas distribuidas en muchas regiones del mundo, de donde son originarias diversas especies. Los granos de las legumbres tienen un gran valor alimenticio por el elevado contenido de proteínas y aceites. Además, como casi todas las especies de la familia Leguminosas tienen una relación simbiótica con microorganismos que forman nódulos en las raíces con bacterias del grupo de los Rhizobium. Esta simbiosis es una relación mutua entre la planta y las bacterias, en donde ambas se ven beneficiadas y le permite a la planta fijar el nitrógeno atmosférico y transformarlo en un compuesto asimilable por la planta. Esta capacidad que tienen las leguminosas, es muy importante para mejorar los suelos pobres, aportando nitrógeno asimilable que sirve para otras especies

que no tienen esa capacidad y pueden colonizar áreas que de otro modo permanecerían casi deshabitadas de vegetación. Las legumbres no solo son importantes para la alimentación humana sino también para la alimentación animal, por medio de sus granos y partes vegetativas como forraje. Son también proveedoras de materia prima para diversas industrias alimenticias y de innumerables productos.

Seguidamente se listan las principales legumbres cultivadas indicando los nombres comunes más usados y el nombre científico de la especie que representan.

Legumbres para alimentación humana

- Arveja, alverja, guisante o chícharo (*Pisum sativum*)
- Frijol, poroto, judía, alubia o habichuela (en grano seco) y chaucha, vainitas, poroto verde (en estado de fruto verde) (*Phaseolus vulgaris*)
- Garbanzos (*Cicer arietinum*)

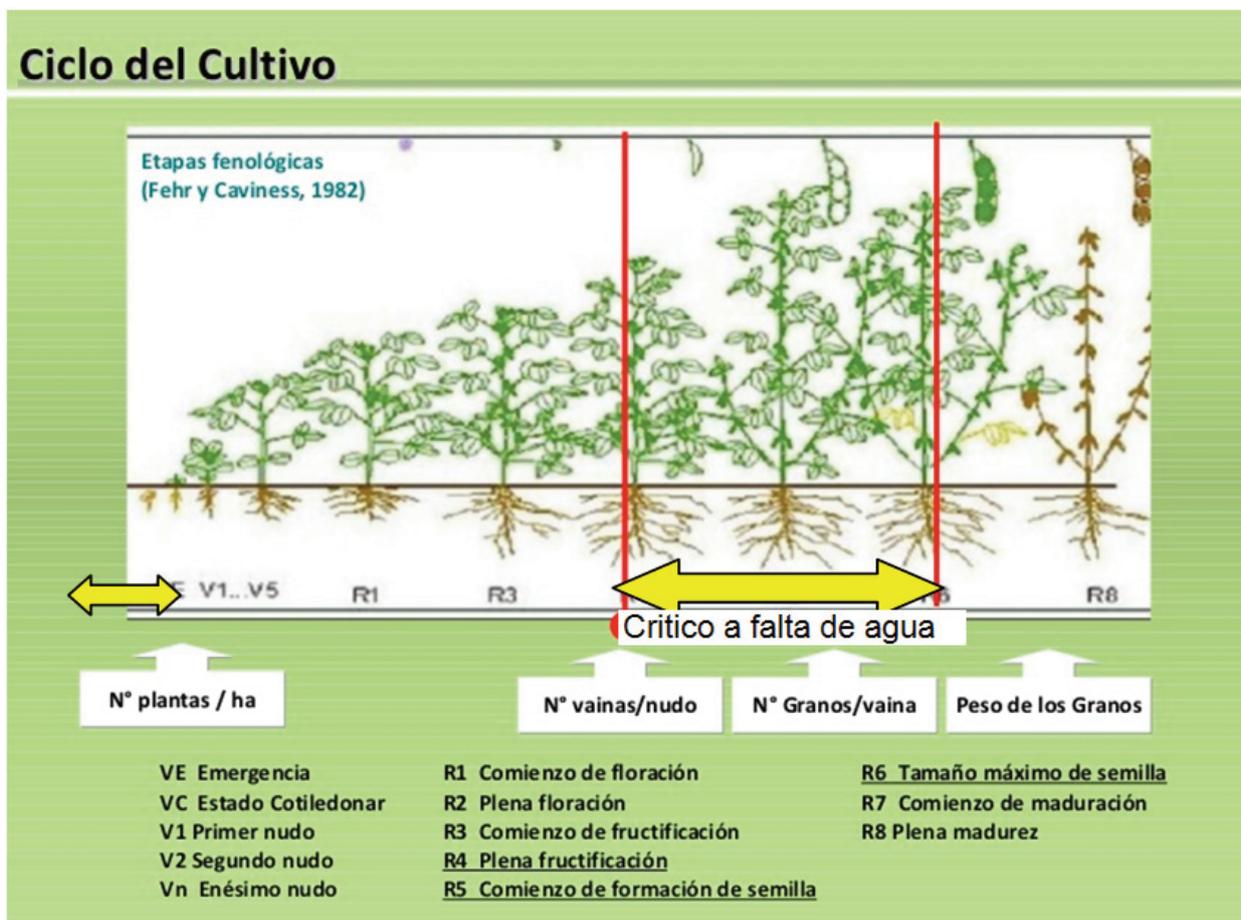


Figura 13.- Ciclo de cultivo de una leguminosa (soja) mostrando las diferentes fases vegetativas (V) y reproductivas (R) y los períodos críticos a la falta de agua (flecha amarilla y remarcado rojo).

- Habas (*Vicia faba*)
- Lentejas (*Lens culinaris*)
- Lupino, chocho, altramuza (*Lupinus*)
- Maní, cacahuetes, cacahuete (*Arachis hypogaea*)
- Soja o soya (*Glycine max*)

del cultivo de la soja como ejemplo de un ciclo cultivo de una legumbre.

Con una flecha amarilla y un recuadro en rojo se marca el período en que es más exigente en agua.

Legumbres para alimentación animal

- Alfalfa (*Medicago*) como pastura
- Lupino, chocho, altramuza (*Lupinus*), como pastura y grano
- Soja o soya (*Glycine max*) como grano
- Tréboles (*Melilotus* spp., *Vicia* spp., *Trifolium* spp.,) pasturas

En la **Tabla 4** se presenta en forma integrada los períodos del ciclo de las legumbres con las necesidades y/o tolerancia a la falta de agua del suelo expresada en valores promedios de la escala del Índice de Severidad de Sequía (PDSI). La confrontación de los datos permitirá interpretar si existen deficiencias o abundancia de agua en el suelo según las necesidades de la planta para el desarrollo de los cultivos.

La **Figura 13** muestra en forma gráfica el ciclo

FASES FENOLÓGICAS				
Cultivo	Germinación	Período vegetativo	Período reproductivo	Período de cosecha
Arveja,	1,0 a 2,0	2,5 a 3,5	2,5 a 3,9	-1,0 a -1,9
Frijol,	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Garbanzos	1,3 a 2,0	0,9 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Habas	1,5 a 2,5	1,2 a 2,5	1,5 a 2,5	-1,0 a -1,9
Lentejas	1,0 a 2,0	1,5 a 2,9	2,0 a 3,5	-1,0 a -1,9
Lupino,	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	2,0 a 3,0	-1,0 a -1,9
Maní	1,0 a 2,5	1,2 a 2,0	1,5 a 2,5	-1,0 a -1,9

Tabla 4.- Relaciones entre las fases de los cultivos de leguminosas y las necesidades de agua expresadas en valores del PDSI.

Cultivos varios

Seguidamente se listan los períodos sensibles a las sequías de varios tipos de cultivos de importancia alimenticia humana y animal que pueden ser considerados para ser incorporados a sistemas agropecuarios.

Cultivos hortícolas

Los cultivos hortícolas se pueden clasificar en

anuales y perennes o según la parte de la planta que se cosecha y utiliza. Desde el punto de vista de la producción hortícola para consumo, los únicos que cumplen en forma completa el ciclo de la planta, son aquellos en los que la parte comestible es el fruto, como en el caso de los tomates, pimientos y berenjenas. Los cultivos en los que se utilizan sólo las hojas como la lechuga, o las partes tiernas del tallo como los es-

párragos, y los que tienen bulbos como la cebolla, se cosechan antes de la floración, de manera que el ciclo del cultivo es más corto. Sin embargo es necesario destinar lotes especiales para obtener semillas para la siembra de estos cultivos y en este caso el ciclo de cultivo se prolonga hasta la fructificación y madurez de las semillas. De manera que los ciclos de cultivos son cortos para la producción hortícola o más largos para la producción de semillas hortícolas.

Se lista a continuación los períodos críticos a la falta de agua de diversos cultivos hortícolas

- **Cultivos de hoja:** lechuga, acelga, repollo, apio, entre otros. El período crítico es en toda la fase vegetativa.

- **Cultivo de fruto:** tomate, pimienta, berenjena, calabaza entre otros. El período crítico es en las fases de floración y desarrollo del fruto.

- **Cultivo de tubérculo y raíz:** papa, batata, remolacha, entre otros. El período crítico es en la iniciación de tubérculo y almacenamiento en raíz

- **Cultivo de bulbo:** cebolla, ajo, entre otros. El período crítico es en toda la fase vegetativa

Cultivos frutales

Las plantas de cultivos frutales son perennes y tienen distintos requerimientos bioclimáticos dependiendo del grupo al que pertenecen. Se clasifican según el tipo de ambiente en donde se cultivan en frutos de climas tropicales, de climas cálidos, de climas fríos. También se clasifican por el tipo de perennidad de las hojas en frutales perennifolios o caducifolios. Otra clasificación es por el tipo de frutos como son los cítricos, los frutales de pepita, de carozo y de bayas o compuestos pulposos. A continuación se dan algunas características de los principales cultivos frutales.

- **Frutales tropicales:** Piña, papaya, mango, plátano o banano, chirimoya, dátil, coco, caqui, entre otros. No resisten bajas temperaturas. Tienen altos requerimientos hídricos y térmicos. La época más sensible a la falta

de agua es desde el fin de floración hasta el desarrollo y maduración de los frutos.

- **Frutales cítricos:** Limones, naranjas, mandarinas, pomelos, entre otros. No resisten bajas temperaturas y tienen moderados a altos requerimientos hídricos y térmicos. La época más sensible a la falta de agua es desde el fin de la floración hasta el desarrollo y maduración de los frutos.

- **Frutales de carozo:** duraznos, pelones, damascos, almendros, cerezo, guindos entre otros. Crecen bien en climas templados fríos necesitan sumar horas de bajas temperaturas en época de receso invernal para romper la dormición y poder inducir la floración, pero sin embargo son sensibles a las heladas en época de floración. La época más sensible a la falta de agua es desde el fin de la floración hasta el desarrollo y maduración de los frutos.

- **Frutales de pepita:** manzano, peral, membrillo. También necesitan acumular horas de frío para poder florecer, pero son sensibles a las heladas. La época más sensible a la falta de agua es desde el fin de floración hasta el desarrollo y maduración de los frutos.

Cultivos de pasturas

Las pasturas son especies que se cultivan para alimento animal directo en el terreno o para el secado como heno o ensilado. Las principales pasturas se dividen en gramíneas y leguminosas, estas últimas son las que proveen la mayor proporción de proteínas de la dieta del ganado. Generalmente se hacen consociaciones de gramínea con leguminosas. Las especies a utilizar dependen de las características agroclimáticas de la zona. En el mercado existen mezclas de semillas de pasturas para distintos ambientes y para mantener el suelo siempre cubierto con especies de diferente ciclo biológico. Las épocas más sensibles a la falta de agua dependen de las mezclas de especies, pero en general si bien hay especies tolerantes a las sequías la mayoría de las pasturas necesitan una buena distribución de lluvias durante todo el ciclo vegetativo.

Cultivos industriales

Muchos de los cultivos industriales como la

caña de azúcar, el tabaco, el algodón y la yerba mate, son propios de climas cálidos, que requieren altas temperaturas, no resisten heladas y tienen altos requerimientos hídricos durante la época de crecimiento vegetativo, pero ambientes más secos durante la cosecha.

Cultivos forestales

Los cultivos forestales para la obtención de madera o pasta de papel se clasifican en caducifolios, que son los que pierden las hojas durante el invierno como la mayoría de las especies de roble, fresno, álamos, entre otros y los perennifolios que son los que van renovando las hojas periódicamente pero nunca quedan desnudos, como las coníferas (pinos, cedros entre otros) y eucaliptus. Los requerimientos térmicos, hídricos y lumínicos varían considerablemente de una especie a otra. En general las especies caducifolias son más sensibles al déficit hídrico luego del período de reposo invernal, cuando entran en la fase de brotación. La mayoría de las especies perennifolias requieren una buena distribución de las precipitaciones durante todo el año.

Problemática de la agricultura extensiva e intensiva convencional

Como se comentó con anterioridad muchos de los emprendimientos agrícolas están orientados a obtener una producción rentable a corto plazo y eso trae aparejado el alto consumo de insumos sintéticos como abonos químicos, pesticidas o biocidas que la transforman el sistema en una agricultura química o industrial, sin tener en cuenta el uso de los recursos naturales en forma sustentable y sostenible. Para incrementar la producción se hace un uso excesivo y a veces inadecuado de fertilizantes sintéticos que son posibles contaminantes ya que contribuyen a la eutrofización de las aguas superficiales y/o a la contaminación con nitrógeno del agua freática. También, para la protección de la producción y combatir las malezas, plagas y enfermedades se utilizan sustancias biocidas sintéticas que penetran en el interior de las cé-

Cultivos ornamentales

Los cultivos ornamentales se clasifican por el tamaño de la planta, en herbáceas, sub arbustivas, arbustivas y bulbosas. También se clasifican por los usos, en plantas de flor de corte o para jardinería. Si bien la mayoría de los cultivos se hacen bajo cubierta, cuando se trata de plantas arbustivas o sub-arbustivas los cultivos son a campo, igualmente los tulipanes y otras bulbosas de flor de corte. Las exigencias bioclimáticas de estos tipos de cultivos, varían considerablemente entre las especies y generalmente necesitan cuidados especiales durante todo el ciclo de cultivo especialmente en el momento de la floración. En ningún momento las plantas pueden estar sometidas a estrés hídrico, excepto que se traten de plantas xerofíticas que son resistentes a la falta de agua como los cactus y las plantas crasas. La xerojardinería es un recurso viable de cultivar plantas ornamentales en zonas con bajos recursos de agua de lluvia y de riego y contribuyen a hermostrar el entorno citadino con bajos costos de mantenimiento, tal como lo proponen Planchuelo (2010) y Planchuelo & Barbeito (2010).

lulas de los organismos, interrumpiendo las reacciones bioquímicas que sustentan la vida y son perjudiciales para la salud humana y animal.

Está bien documentado que cuando se usa un solo herbicida repetidamente sobre un cultivo, se desarrolla resistencia al herbicida en la población de malezas. La potencial transferencia de genes de Cultivos Resistentes a Herbicidas (CRHs) a variedades silvestres o parientes semidomesticados pueden crear super-malezas. Como consecuencia se necesitan usar mayores dosis y herbicidas más potentes, que causan serios problemas ambientales y aumentan los costos de producción. Por otro lado, la misma resistencia se probó en insectos dañinos, plagas, y enfermedades o pestes como respuesta al uso prolongado insecticidas, plaguicidas, fungicidas

y otros productos químicos que se aplican a los cultivos en el manejo integrado de sanidad vegetal. La toxicidad de estos productos afecta directamente al medio ambiente por contaminación del aire en las pulverizaciones, por los residuos en el suelo, en las aguas superficiales y profundas por escorrentías e infiltraciones y en la salud de los trabajadores rurales por manipular o aplicar estos productos. Es por las razones anteriormente explicadas que

se está volviendo a los principios de una agricultura sustentable y sostenible que esté en armonía con los recursos naturales sin dañar el ambiente. En la **Tabla 5** se dan las diferencias entre el manejo de la agricultura convencional y de la agricultura ecologista, que tiende a cuidar el medio ambiente. En la **Tabla 6** se indican los fundamentos de las diversas formas de agriculturas que protegen el sistema ambiental, indicando las bases de su

TIPO DE AGRICULTURA	CONVENCIONAL	ECOLOGÍSTA
Superficies	Grandes	Pequeñas/medianas
Productores	Grandes, arrendatarios y pool de siembra	Familias Pequeños Medianos/grandes
Tipo de cultivos	Genéticamente modificados	Variedades naturales
Fertilización	Fertilización química	Fertilización orgánica
Control de enfermedades	Químico: fungicidas	Alertas, productos biológicos
Control de plagas	Químico, Plaguicidas	Biológico, agentes parasíticos
Control malezas	Químico Herbicidas	Manual, cultivos alternados
Contaminación ambiental	Contaminante	No contaminante

Tabla 5.- Diferencias entre manejo de agricultura convencional y ecologista.

manejo. Estos tipos de propuestas agroecológicas son generalmente manejadas por pequeños agricultores que aprovechan todos los recursos naturales en forma eficiente. En las regiones semiáridas o áridas en donde el recurso agua es escaso, es común que se tengan sistemas de cosecha de lluvia que permite el riego y numerosos usos domésticos del agua. La cosecha del agua de lluvia (conocida como RWH, por sus siglas en

inglés) es una buena alternativa agrícola para zonas en donde ocurren episodios de sequías y el riego se hace indispensable para los cultivos y además porque disminuye el impacto ambiental de la sobre-explotación de las aguas superficiales y las napas freáticas. Este tipo de práctica es muy antigua y actualmente se está haciendo muy popular en zonas de climas áridos y en los no áridos pero con episodios de sequías frecuentes.

TIPO DE AGRICULTURA	BIODINÁMICA	ORGÁNICA	PERMACULTURA	NATURAL
BASES	<u>Físico</u> <u>Espiritual</u>	<u>Físico</u> <u>Espiritual</u>	<u>Científico</u> <u>Ecológica</u>	<u>Científico</u> <u>Formal</u>
PAUTAS	No labranza No fertilización No poda No biocidas	Uso de energía y productos naturales	Insumos naturales, adecuación al terreno	Sistemas integrados, rural/urbano y paisajista
BIODIVERSIDAD	Alta	Alta	Mediana	Alta
MERCADEO	Local	<u>Nacional</u> <u>Exportación</u>	<u>Nacional</u> <u>Exportación</u>	Local
CONSUMIDOR	<u>Agricultor</u>	<u>Especial con</u> <u>filosofía holística</u>	Preocupados por la salud y la ecología	<u>Con conciencia</u> <u>ecológica</u>

Tabla 6.- Diferencias de conceptos y manejos de los distintos tipos de agricultura ecologista.

Recomendaciones para el manejo sustentable de los cultivos

A continuación se presentan algunos métodos de cultivos que pueden ser útiles para evitar o disminuir el impacto de las sequías agrícolas.

Inter-cultivos o milpas

Para evitar los daños del ecosistema que producen las metodologías agrícolas extractivas es recomendable que los cultivos estén manejados adecuadamente de una manera sustentable y sostenible sin deteriorar el medio ambiente. Para tener una buena producción es indispensable no sólo satisfacer las necesidades fisiológicas de las plantas, sino también cuidar los recursos agroecológicos, de suelo y biodiversidad del ambiente. Las propuestas agroecológicas de la actualidad son una vuelta a los sistemas agrícolas tradicionales, que se basan en los conceptos de agrobiodiversidad.

Las técnicas de la milpa que utilizaban y siguen utilizando los pequeños productores de comunidades maiceras tienen un protagonismo preferencial en áreas marginales para la agricultura extensiva. El inter-cultivo, tradicional en donde el maíz y el poroto o frijol son los principales componentes de las parcelas en las milpas,

puede ser un ejemplo de uso sustentable de los recursos de suelo y agua. Las asociaciones de una gramínea (maíz, sorgo, trigo por ejemplo) y una leguminosa (frijol, arveja, garbanzo u otra legumbre antes mencionada) cultivadas simultáneamente en un mismo terreno, forman un mutualismo en donde ambos cultivos se ven beneficiados. La leguminosa tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y aportarlo al suelo para que sea enriqueciendo y aprovechado por la gramínea que no tiene esa capacidad de hacerlo. Por otro lado la gramínea aporta el sostén y la sombra a las legumbres volubles que se enredan alrededor de su tallo erguido. Con respecto a recurso hídrico las distintas estructuras de las raíces hacen un eficiente uso del agua, dado que las raíces pivotantes de las leguminosas absorben agua de las capas las capas profundas del suelo y las raíces fasciculadas de las gramíneas absorben agua de las capas más superficiales. La incorporación de un tercer cultivo rastrero como son los zapallos y calabazas completan un esquema de inter-cultivo complejo y sustentable porque el suelo cubierto impide el crecimiento de malezas y evita

la erosión por pérdida de los horizontes superficiales del suelo por voladuras provocadas por fuentes vientos o escorrentías causadas por intensas lluvias.

La **Figura 14** muestra un ejemplo de intercultivo o cultivos consociados, es decir sembrados al mismo tiempo y que comparten el mismo espacio con las mismas características de suelo, agua y nutrientes. En este caso se trata un ensayo experimental en donde se consociaron el

ambos cultivos experimentaron un incremento de producción de granos de entre un 10 al 15 por ciento cuando estaban consociados en relación a los cultivos separados.

La **Figura 15** muestra un intercultivo de avena (*Avena sativa* L.), lupino (*Lupinus albus* L.) y mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) que se realizó en un predio de huerta productiva familiar en Coronel Oviedo, Departamento Asunción, Paraguay. Este sistema de cultivo forma parte de un



Figura 14.- Muestra de un ensayo experimental de intercultivo de lupino blanco, y trigo en Córdoba, Argentina.

trigo (*Triticum aestivum* L.) y el lupino blanco (*Lupinus albus* L.) en el predio del CREAN en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina para la evaluación de rendimientos de ambos cultivos consociados y en forma independiente. Se pudo verificar que

programa de extensión relacionado con el manejo agrícola y de conservación de suelos. Se comprobó que el sistema de intercultivo da buenos resultados para la recuperación y fertilidad de los suelos y da una mejor producción de los cultivos de las siguientes campañas agrícolas.



Figura 15.- Intercultivo de avena, lupino y mandioca. Foto tomada durante la gira técnica de la Segunda Reunión de Trabajo de los Estudios de Caso en Sequía y Desertificación (DLDD) EUROCLIMA.

Sistemas agro-silvo-pastoriles o silvo-pastoriles

Una alternativa para hacer más eficiente y sustentable el uso de los predios agrícolas y favorecer la economía del agua es implantar un sistema agro-silvo-pastoril que combina la presencia simultánea de árboles, con cultivos y ganado dentro de una parcela, o sistemas silvo-pastoril que sólo contempla la presencia de árboles y pastura para uso pecuario. Estos sistemas son ideales en zonas con vegetación arbórea rala que permiten la entrada de luz para los cultivos o pasturas que crecen debajo del canopeo. Los árboles pueden ser naturales o implantados, en ese caso se pueden considerar

árboles productores de frutos comestibles, de usos maderables como algunas leguminosas que a su vez mejoran el suelo con la incorporación de nitrógeno atmosférico y sus frutos son alimentos para el ganado. Los cultivos pueden ser aquellos que se adapten a las condiciones ambientales y cuyos rastrojos sirvan para alimento del ganado, como es el maíz y el sorgo. En el caso de que no se cultiven granos puede incorporarse pasturas de mezclas de pastos con leguminosas o simplemente dejar la vegetación espontánea si es apta para el tipo de sistema pecuario que se incorpore.

Agricultura orgánica un sistema antiguo en expansión

La agricultura orgánica tiene sus orígenes en la agricultura primitiva de comunidades con pocos recursos que debían cuidar el medio que les proveía de alimentos.

Los monasterios medievales tenían huertas diseñadas con espíritu holístico, cuidando los principios de la naturaleza. Experimentaban nuevos cultivos de América, establecían calendarios de tareas según muestran manuscritos y pinturas murales y esculturas de la época.

La agricultura ecológica moderna comenzó en Alemania a fines del siglo XIX. En estos momentos es un sistema agrícola en amplia expansión por las necesidades de tener alimentos más saludables y proteger el medio ambiente. Aproximadamente el 2% del suministro alimenticio de los EEUU es orgánico y el crecimiento promedio anual de venta es del 23%. Europa es uno de los sectores de más rápido crecimiento de la agricultura.

La agricultura orgánica al igual que otros tipos como: natural, ecológica, biológica o agroecológica, se basa en el principio de encontrar un equilibrio con el ecosistema. Utiliza en forma óptima los recursos naturales para producir alimentos sin utilizar organismos genéticamente modificados (OGMs) y cultivarlos libres de productos agregados que provengan de la síntesis química como herbicidas, insecticidas, fertili-

zantes y fungicidas.

Para que un producto sea categorizado como orgánico debe tener un certificado que se aplica a productos cultivados y procesados con normas estándares, verificadas por organizaciones autónomas estatales o privadas acreditadas. En muchos países han creado normas nacionales y otros países están en el proceso de crear y poner en práctica las suyas, con el fin de apoyar al sector de la agricultura orgánica. Los inspectores comprueban que se lleven a cabo prácticas orgánicas tales como el manejo del cultivo, barreras entre las granjas orgánicas y granjas convencionales vecinas.

Las inspecciones de procesamiento incluyen una revisión de los métodos de limpieza y control de plagas de las instalaciones, transporte y almacenamiento de ingredientes, así como contabilidad y control de auditorías.

Los alimentos orgánicos reciben un mínimo de procesamiento para mantener la integridad de los mismos sin ingredientes o conservantes artificiales.

Problemática ambiental y el manejo sustentable de la tierra

Los profundos cambios ambientales que se están experimentando en los últimos treinta años, son inducidos por un aumento en la concentración de los gases productores del efecto invernadero. Estos gases alteran el balance entre la radiación solar absorbida y la radiación infrarroja emitida, produciendo una mayor retención de energía en la atmósfera, capaz de afectar el equilibrio de los ecosistemas naturales y la utilidad de los sistemas productivos y sociales

Según encuestas de diferentes regiones del mundo, el calentamiento global es hoy una preocupación mayor en la vida cotidiana de las personas.

En ciertas ciudades europeas se ha constatado que más del 90% de la población tiene preocupación por los efectos que dicho fenómeno podría traer a futuras generaciones.

La agricultura, en el futuro, deberá tender a un equilibrio entre el progreso tecnológico, la responsabilidad de conservar los recursos naturales, el respeto al ambiente y la preservación de la biodiversidad.

El manejo sustentable de los recursos naturales es una de las prioridades más importantes que

la comunidad internacional debe atender de inmediato. Así como en los últimos veinte años el énfasis internacional fue el manejo económico nacional y global en los próximos veinte años deberá ser el manejo eficiente del ambiente.

Gestión ambiental o gestión del medio ambiente es el conjunto de acciones conducentes al manejo integral y sustentable, (auto-soporta) del sistema ambiental, mediante un desarrollo sostenible (perdura en el tiempo).

También se puede definir como las estrategias mediante las cuales se organizan las actividades antrópicas que afectan al medio ambiente, con el fin de lograr una adecuada calidad de vida, previniendo o mitigando los problemas ambientales.

Según un estudio de la ONG “Soil Association” (Asociación para los Suelos) del Reino Unido, la agricultura orgánica utiliza métodos ecológicamente no contaminante y la rotación de cultivos favorece la absorción de una mayor cantidad de dióxido de carbono, en comparación con otros métodos agrícolas, lo que permite una gran disminución de los factores que afectan al calentamiento global.

Propuesta integradora

Dado que las sequías afectan a múltiples sectores de la población es necesario no considerarlas como un evento independiente de otros factores ambientales. Existe una relación dinámica entre todas las partes interesadas en evitar los efectos negativos de las sequías. Por lo tanto, es recomendable tener un enfoque más integrador del cuidado ambiental, para poder desarrollar una gestión de uso de los recursos del agua y de la tierra en forma eficiente. Para lograr los objetivos, no hay nada mejor manera que comenzar con un plan de educación ambiental a todos los niveles de la población adecuando los contenidos a los distintos sectores. La educación ambiental es un proceso que se basa tanto en la reflexión como en el análisis crítico permanente, y le permite al individuo

comprender las relaciones de interdependencia con su entorno, a partir del conocimiento reflexivo y crítico de su realidad biofísica, social, política, económica y cultural. En un plan de educación ambiental se pueden explicar los fenómenos climáticos (lluvias, cambios en la temperatura, estaciones), los ciclos bioquímicos (ciclo del agua, ciclo del carbono) y los manejos agrícolas para la producción de cultivos sin contaminantes (evitando el uso de biocidas) entre otros.

Estas propuestas educacionales sirven para propiciar un mejoramiento de la calidad de vida, en una concepción de desarrollo humano que satisfaga las necesidades de las generaciones presentes y asegurando el bienestar de las generaciones futuras. En la **Figura 16** se propone en forma gráfica un sistema integrador de la gestión ambiental.



Figura 16.- Esquema integrador de educación ambiental, adaptado de la propuesta de MC. Cruz Elisa Torrecillas Núñez, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

Agradecimientos

La autora agradece a los organizadores del Taller del Proyecto IICA-EUROCLIMA: Agricultura Sostenible, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático, por permitir la participación en el evento y al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) por la invitación y el apoyo económico. Especiales agradecimien-

tos a Ronny Cascante, Coordinador de Proyecto IICA-EUROCLIMA, por coordinar la presentación, a Alejandro Barbeito por el apoyo en la confección de las ilustraciones y al personal del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) por permitir el uso de datos de su página web.

Bibliografía citada

- Alley, W.M., 1984. The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23:1100-1109.
- Boletta, P.E.; Planchuelo, A.M.; Ravelo, A C; Zanvetor, R. 2014. Efectos de la sequía sobre tres cultivos en áreas deforestadas del Departamento Moreno, Santiago del Estero (Argentina). *Reu. Binacional Uruguay-Argentina Agroclimatología*. AT5-001. Piriápolis (Uruguay). Oct.1-3, 2014.
- Boletta, P.E., Ravelo, A.; Planchuelo, A.M., Grilli, M. & Zanvetor, R.E., 2010. Evaluación de sequías, deforestación y desertificación en el Chaco Seco. *RALDA Agrometeorología sin fronteras*: 150-151
- CREAN, 2012. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CONICET/UNC. Monitoreo de Sequias. <http://crean.org.ar/monitoreo> Consultada el 22/05/2013.]
- Hayes, M.J.; Svoboda, M.D., Wilhite, D.A. & Vanyarkho, O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bull. American Meteorology Society* 80:420-438.
- Kogan, F.N. (1997) Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 621-636.
- McKee, T.B.; Doesken, N.J. & Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc., pp. 179-184.
- Mishra, A.K. & Desai, V.R. 2006. Drought forecasting using feed-forward recursive neural network. *Ecol. Modelling* 198:127-138.
- Morales, A.; Olcina J. & Rico, A. 2000. Diferentes percepciones de las sequías en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas* n° 23. Instituto Universitario de Geografía. Universidad de Alicante.
- NOAA, 2012. National Weather Service, Climate Prediction Center. Drought monitoring. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/cdus/palmer_drought/wpdanote.shtml Consultada el 2/11/2013.
- Pascale, A., Mejia, L., Planchuelo Ravelo, A.M. & Rovere, O., 19 – 88. Zonificación Agroecológica para Cultivos no Tradicionales en la Zona Costera Central. Edit. Fund. Ciencia, 170 pp, Ecuador
- Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Ji, L., Viña, A., Hayes, M. & Svoboda, M.D. 2002. Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 68(1):71-75.
- Planchuelo, A.M. 2010. Xerojardinería, Como Cultivar Plantas Resistentes a la Sequía. COOPI. 29pp.
- Planchuelo, A.M. & Barbeito, A.. 2010. Xerojardinería: Un proyecto de asesoramiento para cultivar plantas resistentes a las sequías en las sierras de Córdoba, V Congreso de Floricultura: E3-8, Concordia, Argentina.
- Planchuelo, A.M. & Ravelo, A.C. 1985. Drought/Crop Condition Assessment Methods for Northeast Brazil, Mexico, Paraguay and Uruguay. Edit. Univ. Missouri Press. Missouri, U.S.A. 12.
- Ravelo, A.C., 1980. Drought/Food production problems in Haiti: A case study for 1978. Tech. Report to USAID/OFDA, 57 pp.
- Ravelo, A.C., 2000. Caracterización Agroclimática de las sequías extremas en la región pampeana argentina. *Rev. Facultad Agronomía* 20(2): 187-192.
- Ravelo, A.C., 2012. Informes Finales del Proyecto PREMIA. OMM - CONAGUA. <https://sites.google.com/a/wmo.int/mex/system/app/pages/search?scope=searchsite&q=ravelo>.
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A.M., 1987. Lupifen: Un modelo fenológico para el lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Actas III Reun. Argent. Agrometeorología*: 75-84
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A.M., 1989. Calibración de un modelo fisiológico de rendimiento para arroz. *Actas IV Reun. Argent. Agrometeorología*: 11-18
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A.M., 1996. Lupifen II: Un modelo fenológico para el lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *Revista Fac. Agronomía* 16(1-2): 89-97.
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A.M., 2002. Utilización de los perfiles de NDVI (NOA y SPOT-Vegetation) para la evaluación de rendimientos de soja y maíz. *Actas IX Reun. Agrometeorología*,
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A.M., 2003. Aptitud agroecológica de la pradera pampeana argentina para el cultivo del lupino blanco (*Lupinus albus* L.). *AgriScientia* 20: 35-44.
- Ravelo, A.C. & Planchuelo, A., 2003. Evaluación de los rendimientos de maíz en la pradera pampeana argentina mediante información satelital. *Revista Arg. Agrometeorología* 2(2): 213-218. ISSN 1666-017X.
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., & Zanvetor, R., 1997. Ap-

- titud agroclimática de la provincia de Córdoba para el cultivo de lupino blanco (*Lupinus albus* L.). RADA: 97-98.
- Ravelo A.C., Planchuelo, A.M., & Zanvettor, R., 1999. Zonificación agroecológica del lupino blanco (*Lupinus albus* L.) para la Provincia de Córdoba (Argentina). Rev Fac. Agronomía 19 (3): 243-450.
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M. & Cherlet, M., 2005. Monitoring land cover and drought occurrence along an ecological gradient in Argentina. In Veroustraete, F., E. Bartholomé & W.W. Verstraeten. Proceeding Second International VEGETATION Users Conference: 255-259. ISBN
- Ravelo, A.C.; Sanz Ramos, R. & Douriet Cárdenas, J.C. 2014, Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México Agriscientia vol.31 no.1 On-line ISSN 1668-298X
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., Zanvettor, R., Barbeito, A. & Marraco, G., 2008-2009. "Boletín Agrometeorológico: Monitoreo, Evaluación e Impacto de la Sequía en la Provincia de Córdoba". Auspiciado por el Ministerio de Agricultura de la Provincia de Córdoba. (Total 15 Boletines durante períodos de sequías extremas).
- Ravelo A.C., Zanvettor, R. & Da Porta, W. 2001. Desarrollo de un sistema para la detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas en Argentina. Revista Argentina de Agrometeorología 1(2): 27-34.
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., Abraham, E. & Navone, S., 2011. Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO. PDF in Webpage FAO.
- Ravelo, A., de la Casa, A., Ovando, G. & Planchuelo, A.M., 2007. Modelling soybean and corn yields using ground and remote sensing information in Central Argentina. In: Rocha, J., Massart, M., Nègre, T. & Léo, O. Proceedings. The second International workshop on crop monitoring and forecasting in South America: 31-35.
- Ravelo, A.C., Murphy, G., Santa, J.A. & Planchuelo, A.M., 2003. Monitoreo de Cultivos y Pronóstico de Rendimientos: Argentina. en Ravelo, A., Planchuelo, A.M., Rojas, O., Nègre, T. & Cherlet, M., 2003. Ed.. Proceedings, Taller en Monitoreo de Cultivos y Pronóstico de Rendimientos: Herramientas para la Alerta Temprana de Seguridad Alimentaria: 19-34. JRC-FAO-CREAN,
- Ravelo, A., de la Casa, A., Ovando, G. & Planchuelo, A.M., 2007. Modelling soybean and corn yields using ground and remote sensing information in Central Argentina. In: Rocha, J., Massart, M., Nègre, T. & Léo, O. Proceedings. The second International workshop on crop monitoring and forecasting in South America: 31-35.
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., Abraham, E. & Navone, S., 2011. Evaluación de la Desertificación en Argentina. Resultados del Proyecto LADA/FAO. PDF in Webpage FAO.
- Ravelo, A.C., A.M. Planchuelo, R.E. Zanvettor & P.E.C. Bolla, 2012. Atlas de las sequías en Argentina. Actas XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. Maligne, Mendoza.
- Zanvettor, R.E & Ravelo, A.C. 2000. Using the SPI to monitor the 1999-2000 drought in Northeastern Argentina. Drought Network News 12(3): 3-4.

