

CURSO DE DIVULGACIÓN Y FORMACIÓN EN BUENAS PRÁCTICAS AGRARIAS

Curso General

MARZO 2024



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, PESCA
Y ALIMENTACIÓN



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de
Recuperación,
Transformación
y Resiliencia

Contenido

TEMA 1. ASPECTOS GENERALES	3
1.1 DO NOT SIGNIFICANT HARM (DNSH).....	4
TEMA 2. CONSERVACIÓN Y CALIDAD DE LOS SUELOS EN ZONAS AGRÍCOLAS DE REGADÍO	6
2.1 EL SUELO: ASPECTOS GLOBALES, FUNCIONES Y RETOS.....	6
2.2 CALIDAD DEL SUELO, ÍNDICES E INDICADORES	7
2.3 DINÁMICA DEL CARBONO EN EL SUELO, PRÁCTICAS AGRARIAS, EROSIÓN	9
2.4 CATÁLOGO DE BUENAS PRÁCTICAS PARA MITIGAR LA DEGRADACIÓN DEL SUELO:	13
TEMA 3. BALANCE DE AGUA.....	17
3.1 Introducción.....	17
3.2 Balance de agua.....	17
3.3 Cálculo de las necesidades hídricas	17
3.4 Gestión del riego en parcela	21
3.5 Uniformidad de riego.....	23
3.6 Calendario de riego.....	24
TEMA 4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y USO SOSTENIBLE DE PLAGUICIDAS	25
4.1 ANÁLISIS DE SUELO	25
4.7 AGRICULTURA DE PRECISIÓN	31
4.8 USO SOSTENIBLE DE LOS PLAGUICIDAS	31
TEMA 5. EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS – MITIGACIÓN	38
5.1 INTRODUCCIÓN	38
5.2 EL SUELO	40
5.3 TIPO DE NUTRIENTES.....	42
5.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ABSORCIÓN	44
5.5 TIPOS DE FERTILIZANTES.....	45
5.6 TIPOS DE APLICACIÓN. FERTIRRIEGO.....	48
5.6.1 Equipamiento para el fertirriego.....	48
5.6.2 Calidad de agua y fertirriego	49
5.6.3 Preparación de soluciones	49
5.6.4 Concentración de fertilizantes en el agua de riego.....	50
5.7 COMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES	51
5.8 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA FALTA DE EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS.....	53
5.8.1 Retos para mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno en sistemas agrarios.....	54

5.9 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN.....	55
TEMA 6. EFICIENCIA EN EL USO DE LA ENERGÍA EN REDES DE RIEGO PRESURIZADAS	58
6.1 INTRODUCCIÓN	58
6.2 NECESIDADES DE PRESIÓN DE UNA RED DE RIEGO: DESDE EL EMISOR DE RIEGO HASTA LA ESTACIÓN DE BOMBEO.....	58
6.2.1. PRESION NECESARIA: en los Emisores de Riego por Aspersión, Maquinas de Riego y Goteo- Localizado.....	61
6.2.2. PRESIÓN NECESARIA: en Hidrante	68
6.2.3. Red Parcelaria y Perdidas de Carga.....	75
6.2.4. PRESION NECESARIA: en Estación de Bombeo	76
6.3 ESTACIONES DE BOMBEO COLECTIVAS: CARACTERISTICAS Y FUENTE DE ENERGIA	78
6.3.1 Características de la estación de bombeo.....	78
6.3.2 Control de consumos	79
6.3.3 Fuentes de energía y opciones de ahorro energético.....	80
TEMA 7. PRINCIPIOS BASICOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LOS AGROECOSISTEMAS	83
7.1 INTRODUCCIÓN	83
7.2 AGROSISTEMA Y PAISAJE.....	83
7.3 SERVICIOS ECOSISTEMICOS	85
7.4 INSTENSIFICACION ECOLOGICA	86
7.5 MARCO NORMATIVO.....	86
7.6 ELEMENTOS NO PRODUCTIVOS DEL PAISAJE	88
7.6.1 Estructuras Vegetales de Conservación: Tipologías.....	89
7.6.2 Mejora de la habitabilidad para la fauna	90

1. TEMA 1. ASPECTOS GENERALES

Con motivo de la crisis económica generada en la Unión Europea debido a la pandemia de COVID-19, el Reglamento (UE) 2020/2094 del Consejo de 14 de diciembre de 2020 por el que se establece un Instrumento de Recuperación de la Unión Europea para apoyar la recuperación tras la crisis de la COVID-19 define, como su título indica, un Instrumento de Recuperación que ofrece ayuda financiera a gran escala para inversiones públicas y reformas que aumenten la resiliencia de las economías de los Estados miembros y los preparen mejor para el futuro, garantizando que estas inversiones y reformas se centren en los retos y las necesidades de inversión relacionados con las transiciones ecológica y digital, garantizando así una recuperación sostenible. Posteriormente, el Parlamento Europeo y el Consejo adoptaron el Reglamento (UE) 2021/241 de 12 de febrero de 2021 por el que se establece el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (MRR). Para recibir los fondos disponibles del Mecanismo, cada Estado Miembro debía presentar un Plan con las Reformas e Inversiones propuestas.

España presentó el “Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española” y fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros el 27 de abril de 2021, y por el Consejo de Ministros de Economía y Finanzas de la UE (ECOFIN) el 13 de julio, contempla diez políticas tractoras que se articulan a través de 30 componentes y 212 medidas (Reformas e Inversiones).

Nuestros proyectos se encuentran en la primera política tractora es la denominada “Agenda Urbana y Rural, lucha contra la despoblación y desarrollo de la agricultura”, dedicada al desarrollo del sector agrario, cuyas inversiones lidera, mayoritariamente, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA). Dentro de ella, se incluye el Componente nº 3 “Transformación y digitalización del tejido empresarial y cadena logística del sistema agroalimentario y pesquero”. La parte de este componente cuya implementación corresponde al MAPA, incluye 11 inversiones y 6 reformas asociadas. Nuestros proyectos se encuentran en la primera medida de inversión del Componente 3 es el “Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos” (Inversión C3. I1), con el objetivo de: 100.000 hectáreas modernizadas con ahorro de agua y/o energía mediante el ahorro de agua y la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad energética.

Toda la normativa aplicable se resume en:

- Reglamento (UE) 2021/241 de 12 de febrero de 2021 por el que se establece el MECANISMO DE RECUPERACIÓN Y RESILIENCIA (MRR)
- Reglamento (UE) 2020/852 del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de junio de 2020 relativo al establecimiento de un marco para facilitar las inversiones sostenibles REGLAMENTO DE TAXONOMÍA y sus correspondientes ACTOS DELEGADOS
- PLAN DE RECUPERACIÓN TRANSFORMACIÓN Y RESILIENCIA DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA, aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros el 27 de abril de 2021, y por el Consejo de Ministros de Economía y Finanzas de la UE (ECOFIN) el 13 de julio
- 1º CONVENIO CON LA SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS S.A. en relación con las obras de modernización de regadíos del “Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos” incluido en el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Economía Española. FASE I», suscrito el 25 de junio de 2021, y la PRIMERA ADENDA al convenio el 12 de mayo de 2022.

- CONVENIO CON LA SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS S.A. en relación con las obras de modernización de regadíos del "Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos" incluido en el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia de la Economía Española. FASE II, suscrito el 21 de julio de 2022.
- CONVENIOS SUSCRITOS ENTRE LA SOCIEDAD MERCANTIL ESTATAL DE INFRAESTRUCTURAS AGRARIAS S.A. Y LAS CORRESPONDIENTES COMUNIDADES DE REGANTES

1.1 DO NOT SIGNIFICANT HARM (DNSH)

El Plan para la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en regadíos (C3.I1 Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la economía española) y todos los proyectos que lo integran, además de cumplir con la legislación ambiental, han de respetar el principio de “no causar un perjuicio significativo” (principio DNSH en sus siglas en inglés Do Not Significant Harm) a los objetivos medioambientales considerados en el llamado Reglamento de Taxonomía.

Reglamento del Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, como ya se ha señalado, obliga a que los planes de recuperación de los estados miembros y todas las reformas e inversiones que los integran, no causen un perjuicio significativo (principio DNSH) a los seis objetivos medioambientales, según lo dispuesto en el llamado Reglamento de Taxonomía:

1. Mitigación del cambio climático
2. Adaptación al cambio climático
3. Utilización y protección sostenibles de los recursos hídricos y marinos
4. Economía circular
5. Prevención y el control de la contaminación
6. Protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas

Los proyectos serán considerados ambientalmente sostenibles cuando contribuyan a/con uno o varios de los seis objetivos medioambientales y no causen ningún perjuicio significativo a ninguno de los restantes. (diapositiva de contribución)

El Reglamento de Taxonomía tiene un ámbito de aplicación más amplio y detalla en su artículo 17 cuándo se considerará que una actividad económica causa un perjuicio significativo:

- a) a la mitigación del cambio climático, cuando la actividad dé lugar a considerables emisiones de gases de efecto invernadero;
- b) a la adaptación al cambio climático, cuando la actividad provoque un aumento de los efectos adversos de las condiciones climáticas actuales y de las previstas en el futuro, sobre sí misma o en las personas, la naturaleza o los activos;
- c) a una utilización y protección sostenibles de los recursos hídricos y marinos, cuando la actividad vaya en detrimento:
 - i) del buen estado o del buen potencial ecológico de las masas de agua, incluidas las superficiales y subterráneas, o

- ii) del buen estado ecológico de las aguas marinas;
- d) a la economía circular, especialmente a la prevención y el reciclado de residuos, cuando:
 - i) dicha actividad genere importantes ineficiencias en el uso de materiales o en el uso directo o indirecto de recursos naturales, como las fuentes de energía no renovables, las materias primas, el agua o el suelo en una o varias fases del ciclo de vida de los productos, en particular en términos de durabilidad y de posibilidades de reparación, actualización, reutilización o reciclado de los productos,
 - ii) la actividad dé lugar a un aumento significativo de la generación, incineración o eliminación de residuos, excepto la incineración de residuos peligrosos no reciclables, o
 - iii) la eliminación de residuos a largo plazo pueda causar un perjuicio significativo y a largo plazo para el medio ambiente;
- e) a la prevención y el control de la contaminación, cuando la actividad dé lugar a un aumento significativo de las emisiones de contaminantes a la atmósfera, el agua o el suelo, en comparación con la situación existente antes del comienzo de la actividad, o
- f) a la protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas, cuando la actividad:
 - i) vaya en gran medida en detrimento de las buenas condiciones y la resiliencia de los ecosistemas, o
 - ii) vaya en detrimento del estado de conservación de los hábitats y las especies, en particular de aquellos de interés para la Unión.

Particularizando en los planes de recuperación, la Comisión Europea elaboró una Guía técnica sobre la aplicación del principio de “no causar un perjuicio significativo” en virtud del Reglamento relativo al Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, para apoyar a los estados miembros. Este documento y los llamados Actos Delegados del Reglamento de Taxonomía, recogen las bases para comprobar y justificar el cumplimiento del principio DNSH. Partiendo de estos instrumentos, para cada proyecto de modernización de regadíos incluido en el Plan, se ha justificado el cumplimiento del principio DNSH y se ha plasmado a través de un cuestionario de autoevaluación y de toda la documentación asociada que lo fundamenta, y que está incluida en el propio proyecto. En el cuestionario de autoevaluación se detalla para el proyecto en cuestión, objetivo a objetivo, si contribuye sustancialmente o incluso al 100% a la consecución del mismo o, como mínimo, no causa un perjuicio significativo sobre él, siguiendo las definiciones y criterios de referencia citados.

2. TEMA 2. CONSERVACIÓN Y CALIDAD DE LOS SUELOS EN ZONAS AGRÍCOLAS DE REGADÍO

2.1 EL SUELO: ASPECTOS GLOBALES, FUNCIONES Y RETOS

Aspectos globales

El suelo es un recurso vivo, dinámico y no renovable, el cual está necesitado de unas condiciones mínimas y adecuadas que le permitan llevar a cabo sin problemas aquellas funciones indispensables para su mantenimiento y conservación, así como para la producción de alimentos, y para el mantenimiento de la calidad ambiental local, regional y global (Doran et al., 1999).

Se trata de una matriz compleja, formada por una parte viva en constante movimiento, y otra parte mineral con una dinámica más lenta.

Características del suelo

Los suelos presentan características muy diversas, en función de diferentes factores, tales como el material de origen, los procesos erosivos, los organismos que lo habitan, la actividad antropogénica, etc.

Estas características cambian de manera prácticamente continuada y a lo largo del tiempo de manera irreversible.

Funciones y retos

El suelo es un recurso no renovable fundamental para la vida, tanto desde el punto de vista ecológico, como desde el punto de vista de la actividad humana.

Funciones ecológicas, tales como:

- Hábitat de organismos vivos
- Purificación del agua
- Retención de carbono
- Biodegradación de contaminantes
- Regulación del clima

Funciones ligadas a la actividad humana, tales como:

- Suministro de materiales de construcción
- Fuente de productos farmacéuticos
- Suministro de alimentos, fibra y combustibles
- Sustrato de la herencia cultural

Resulta, por lo tanto, de vital importancia para la humanidad proteger los suelos para preservarlos en unas condiciones óptimas de calidad que permitan su correcto funcionamiento como sistema indispensable.

Solo así se podrá dar respuesta a los grandes retos a los que se enfrenta la humanidad con respecto a los suelos: adaptarse a los cambios globales derivados del cambio climático al tiempo que se mitiga el mismo, con el fin de mantener la competitividad y proporcionar alimento a una población en constante crecimiento.

2.2 CALIDAD DEL SUELO, ÍNDICES E INDICADORES

Calidad del suelo:

La calidad del suelo se puede definir de múltiples formas, pero la más utilizada ha sido la propuesta por Doran & Parkin en 1994, según la cual se define como la capacidad del suelo para mantener una productividad biológica, una calidad ambiental y para promover la salud de animales, plantas y seres humanos.

La calidad del suelo depende de tres componentes básicos: características físicas, químicas y biológicas.

Indicadores de calidad

Para poder determinar la calidad del suelo resulta necesario disponer de parámetros que reflejen los problemas del suelo.

Un indicador de calidad del suelo debe ser una propiedad medible que influya en la capacidad del suelo para llevar a cabo una función determinada.

Debe:

- Informar sobre procesos ecológicos y estar correlacionados con funciones del suelo
- Ser sensibles al manejo y al clima
- Funcionar en todos los ambientes
- Poseer un valor mínimo de referencia para comparar los cambios
- Integrar propiedades y procesos
- Ser de fácil medición
- Ser económico
- A ser posible, formar parte de bases de datos existentes

Pueden ser: físicos, químicos o biológicos. Los indicadores físicos y químicos son muy estables, por lo que requieren tiempo para que sus valores cambien apreciablemente. Sin embargo, los parámetros relativos a la biomasa y la actividad biológica, son muy sensibles, por lo que, un cambio en la parte biológica del suelo puede considerarse como una alerta ante un posible colapso ambiental, permitiendo reaccionar a tiempo.

Índices de calidad

La calidad del suelo es un concepto subjetivo, que necesita de distintos indicadores para tener una estimación relativamente adecuada.

Un solo indicado a nivel individual, por muy importante que sea, no es suficiente para cuantificar la degradación del suelo, ya que la propia variabilidad de este puede afectar más a un parámetro que a otro.

Por ello, en las últimas décadas, existe una tendencia a integrar matemáticamente estos indicadores con el objetivo de aportar un valor numérico a la calidad del suelo.

Los índices de calidad pueden ser agrupados en:

- Índices simples: formados por dos parámetros, normalmente como un cociente entre ambos. Por ejemplo, el cociente metabólico (qCO_2), que representa la cantidad de sustrato mineralizado por unidad de carbono procedente de la respiración microbiana. Se considera un buen indicador de alteraciones por metales pesados, deforestación, cambios en el manejo, entre otros, actuando como un indicador del estrés en el suelo. Otros pueden estar relacionados con la actividad enzimática. Estos índices aportan información, pero no la suficiente, por lo que resulta necesario el desarrollo de índices que incluyan un mayor número de indicadores.
- Índices multiparamétricos: aquellos índices definidos por dos o más indicadores.

Índices multiparamétricos:

Las metodologías para el establecimiento de índices multiparamétricos son variadas, si bien hay ciertos métodos genéricos, compuestos de las siguientes etapas:

1. Definición de objetivos: para qué queremos obtener un índice. Por ejemplo, para evaluar la incidencia del manejo agrícola sobre la calidad del suelo, para evaluar la incidencia de un contaminante, etc.
2. Definición de las funciones de la calidad: es el paso más subjetivo. Por ejemplo, funciones de productividad, de protección ambiental, de transferencia y absorción de agua, su capacidad para resistir la degradación, su habilidad para promover el desarrollo vegetal.
3. Elección de un conjunto de parámetros: deben elegirse un número mínimo de indicadores lo suficientemente sensibles como para ser válidos en conjunto. A veces, la elección se basa en la experiencia personal, pero se suelen seleccionar mediante análisis estadístico multivariante, que evalúa la variación conjunta de un grupo de variables y selecciona las variables con más peso.
4. Transformación de los parámetros: se trata de un paso fundamental, ya que las magnitudes de diferentes indicadores pueden ser muy diferentes, de manera que el peso de uno sería mucho mayor que el del otro. Se puede hacer mediante la estandarización de los resultados, o mediante transformación logarítmica.
5. Integración de los indicadores en el índice: se trata de la relación entre los indicadores y el nivel de calidad que expresa. Existen dos modos de integración, bien una regresión múltiple, mediante la cual se define un valor para una variable (normalmente carbono o nitrógeno) en función de diversas variables independientes, de modo que el estado de degradación del suelo reflejaría una distancia respecto a las condiciones ideales de índice, o bien, la suma de los valores de los diferentes indicadores ponderados matemáticamente.

6. Establecimiento del nivel de calidad: es un paso sencillo, poco utilizado, que clasificaría los suelos en función del nivel de calidad, y que podría ayudar a tomar decisiones sobre manejos o actuaciones en el suelo.

Ejemplo de desarrollo de un índice multiparamétrico:

Se presenta un ejemplo de desarrollo de un índice multiparamétrico de calidad en suelos no agrícolas.

2.3 DINÁMICA DEL CARBONO EN EL SUELO, PRÁCTICAS AGRARIAS, EROSIÓN

Dinámica del carbono en el suelo:

El suelo se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables del planeta, cuya preservación resulta de vital importancia.

Uno de los principales indicadores de calidad del suelo es el carbono orgánico del suelo (COS):

- El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS). Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas, lo que supone una mejora en la productividad del suelo.
- Por otro lado, un elevado contenido en COS mejora la estabilidad estructural del suelo, al aumentar la porosidad y la formación de agregados. Esta mejora de la estabilidad estructural supone un aumento de la aireación y la infiltración del suelo, lo que promueve el crecimiento de las plantas y, por lo tanto, mejora la producción.
- Del mismo modo, esta mejora en las condiciones estructurales del suelo supone un aumento de la capacidad de filtrado del suelo y, por lo tanto, un aumento de la disponibilidad de agua limpia.
- Además, el suelo actúa como una importante reserva de carbono, conteniendo más carbono que la atmósfera y la vegetación terrestre en conjunto. Este COS es dinámico, por lo que, en función de las condiciones, puede encontrarse retenido, actuando como sumidero de carbono, o puede liberarse, actuando como fuente neta de gases de efecto invernadero.

Es decir, el contenido de carbono orgánico en el suelo contribuye al aumento de la biodiversidad de los suelos, a su fertilidad y producción agrícola, a su capacidad de retención y filtrado de agua, así como a la adaptación y mitigación del cambio climático, ayudando a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030, adoptados por los líderes mundiales en el año 2015, y que recogen la necesidad de restaurar los suelos degradados y mejorar la salud de estos.

COS y Biodiversidad

La biodiversidad del suelo refleja el conjunto de organismos vivos en el suelo, que generan una red de actividad biológica basada en las interacciones existentes entre estos organismos (bacterias, hongos, protozoos, insectos, gusanos, otros invertebrados, mamíferos).

Comunidades complejas de organismos en los suelos (una mayor biodiversidad):

- Determinan la magnitud y la dirección de los flujos de Carbono entre la atmósfera y el suelo (contribuyendo a su fijación o a la emisión de GEI)
- Influyen en la disponibilidad de nutrientes

- Mejoran la estructura del suelo
- Promueven el control biológico de las plagas al presentar enemigos naturales de éstas.

Es decir, una mayor biodiversidad, contribuye al aumento de la fertilidad del suelo, al aumento de la productividad, al aumento de la disponibilidad de agua y a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Se ha demostrado que las pérdidas en la biodiversidad del suelo afectan a múltiples funciones de los ecosistemas, como la fijación de carbono o la retención y disponibilidad de nutrientes.

Una gestión agrícola insostenible degrada el entramado de interacciones comunitarias entre las plagas y sus enemigos naturales, así como la estructura del suelo, reduciendo su productividad y su resiliencia.

COS en las tierras áridas y semiáridas

Las tierras áridas contienen una importante diversidad biológica.

Se pueden distinguir cuatro categorías diferentes de tierras áridas:

- Áridas semi-húmedas
- Semiáridas
- Áridas
- Hiperáridas

Las tierras áridas representan el 42% de la superficie terrestre y el 44% de las tierras cultivadas del mundo. El 72% de estas tierras áridas se encuentran en países en vías de desarrollo.

Sin embargo, en las tierras áridas, debido a la escasez de agua, la productividad vegetal se encuentra limitada, lo que afecta a la acumulación de COS y MOS en los suelos. En consecuencia, los suelos áridos presentan un bajo contenido en carbono orgánico (<1% en muchos casos).

Pese a ello, al representar un porcentaje tan elevado de la superficie terrestre, las tierras áridas suponen un 30% de las reservas mundiales de COS. Las condiciones áridas conservan, además, este COS durante un mayor tiempo. Por ello, las tierras áridas juegan un papel fundamental en los esfuerzos mundiales por retener el carbono atmosférico.

Las tierras áridas deberían ser consideradas áreas claves para invertir en la gestión sostenible de las reservas de carbono.

Por ello, España se unió a la iniciativa 4 por 1000, a través del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), que fue lanzada en la Cumbre de París (COP21). Esta iniciativa consiste en mejorar el contenido en materia orgánica incrementando un 4% el COS a través de la implementación de BPA, que se traduciría en un almacenamiento anual de 4 mil millones de toneladas de carbono en el suelo, lo que supondría un contrapeso al aumento de CO₂ atmosférico.

Con el crecimiento anual de un 4 por 1000 (0,4%) del COS, se demuestra que incluso un pequeño incremento en el almacenamiento de COS es crucial para mejorar la fertilidad de los mismos y la

producción agrícola, y contribuir así a conseguir el objetivo a largo plazo marcado en el Acuerdo de París, de limitar el incremento de la Tª media global a un máximo de 1,5 o 2°C

Cambios en el contenido de COS - Global

El contenido de COS a nivel mundial ha disminuido considerablemente. En los ecosistemas agrarios, se estima que la reserva de COS se ha reducido entre un 25% y un 75%.

Hay dos grupos de factores que influyen en el COS: los factores naturales (material de la roca madre, cobertura del suelo, vegetación, topografía y climatología) y los factores antrópicos (uso y gestión del suelo).

De estos, los que más influyen en la cantidad de COS son el clima y el uso del suelo. De este modo, la agricultura intensiva, ha contribuido a la pérdida de entre un 30 y un 50% del COS en las últimas dos décadas del siglo XX. En este sentido, el sobrepastoreo, así como el arado en profundidad, producen una rápida mineralización del COS.

Cambios en el contenido de COS - España

En España, los suelos presentan una baja concentración de COS en la capa superficial del suelo (0-30 cm), siendo los suelos localizados en el arco mediterráneo, aquellos que presentan una menor concentración de COS de Europa.

La media de COS en España se sitúa en 1,7%, con una mediana del 1%. Es decir, el 50% de los suelos en España presentan menos del 1% de COS. Un contenido de carbono del 1% representa el umbral por debajo del cual la producción de cultivos se vería comprometida, incluso suministrando fertilizantes sintéticos. España se encuentra, por lo tanto, en una situación de riesgo para los ecosistemas agrarios a largo plazo, lo que supone un riesgo para la productividad agrícola.

Geográficamente, los suelos con un mayor contenido en carbono se localizan en el noroeste de España, concretamente en Galicia, mientras que las concentraciones más bajas se sitúan en Andalucía, Castilla y León y Murcia, así como en la cuenca del Ebro.

En España, los suelos agrícolas presentan valores de concentración de COS hasta un 38% menores que suelos ocupados por bosques.

Del total de 21 provincias, un 42% están en riesgo de pérdidas importantes en la calidad de sus suelos, dado su bajo porcentaje de COS. Particularmente, la provincia de Sevilla presenta un rango de entre el 0 y el 1 % de COS.

Esta concentración de COS está condicionada, como ya se ha visto con anterioridad, por el tipo de cultivo y el clima.

Con respecto al clima, los suelos ubicados en zonas húmedas y frías son los que tienen mayores concentraciones de COS, frente a los suelos ubicados en zonas más calurosas y secas.

Con relación al uso agrícola del suelo, los cultivos de tubérculos (patata, principalmente), presentan valores porcentuales de COS más elevados, frente al cultivo de vid y olivo, que presentan los más bajos.

Manejos agrícolas que influyen en la dinámica del COS:

Dada la función de los suelos como sumidero de Carbono, y visto que los suelos agrícolas son los que han perdido más cantidad de COS históricamente debido a las prácticas intensivas, estos se han dejado de considerar como meros soportes de plantas que producen alimentos y otras materias primas, para ser considerados un elemento central en la provisión de servicios ecosistémicos.

De este modo, el tipo de manejo que se dé al suelo tiene una influencia directa en su capacidad para aportar servicios ecosistémicos. Entendiendo estos como la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad y que hacen posible la vida humana, de acuerdo con la definición aportada por la FAO.

Como dijo Masanobu Fukuoka, padre de la filosofía de la agricultura natural *“El verdadero éxito de un agricultor no es el tamaño de su cosecha, si no la salud de su suelo”*.

En línea con la filosofía de Fukuoka, existen prácticas agrícolas dentro de la Agricultura regenerativa, que tienen la capacidad de revertir la tendencia histórica de pérdida de COS, bien incrementando la entrada de carbono, bien ralentizando su salida por reducción de la mineralización de la MOS.

Por ejemplo, manejos asociados a la Agricultura de conservación (AC), cuya finalidad es hacer un mejor uso de los recursos agrícolas a través de un manejo integrado del suelo, el agua y los recursos biológicos disponibles, unido a la utilización limitada de factores de producción externos.

La AC se fundamenta en:

- Reducción o supresión del laboreo, realizando la siembra sin alteración mecánica del suelo
- Mantenimiento de una cobertura vegetal en, al menos, un 30%: retención de rastrojos
- Rotaciones o diversificación de cultivos: rotación con leguminosas.

Particularmente, en relación con el COS, los manejos que incrementan las entradas de carbono son:

- Aplicación de lodos de depuradora
- Aplicación de compost
- Aplicación de residuos ganaderos y agrícolas
- Utilización de cultivos entre líneas
- Utilización de cultivos de raíces profundas
- Utilización de siembra directa
- Cubiertas vegetales
- Agricultura ecológica

Los manejos que reducen las salidas de carbono son:

- La reducción o supresión del laboreo
- Siembra directa
- Uso de cubiertas vegetales

En relación con la iniciativa mencionada con anterioridad “4 por 1000”, que busca aumentar el contenido de COS, el MAPA publicó en 2018 un documento que puede ser consultado, en el que recoge:

- Las nociones científicas básicas de las diferentes prácticas relacionadas con el sector agrario y ganadero que pueden contribuir a aportar a los suelos de España el 0,4% de Carbono Orgánico anual
- El potencial de aplicación de dichas prácticas para los suelos españoles

En agricultura, son varios los factores que producen el incremento del contenido COS. Los datos recopilados por los grupos de investigación coinciden en el aumento de MO proporcionado por los restos vegetales de los cultivos

Por ejemplo, si se aplicaran restos de poda en los principales cultivos leñosos en España, el incremento potencial del COS se acercaría a los 15 millones de toneladas.

Si se aplicaran rastrojos en los principales cultivos de herbáceos en España, el valor del COS fijado en el suelo sería de 2.707 millones de toneladas al año, y de 8.751 toneladas al año si se incorporara también paja y cañas.

En este sentido, existen normativas de aplicación a la gestión sostenible de los suelos, como puede ser el RD 1051/2022, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios.

Así como:

Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales

Directiva 2014/52/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente

Estrategia temática para la protección del suelo (Unión Europea): Healthy soils – new EU Soil Strategy

Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias

2.4 CATÁLOGO DE BUENAS PRÁCTICAS PARA MITIGAR LA DEGRADACIÓN DEL SUELO:

A continuación, se van a poner en conocimiento algunas prácticas de manejo para mantener y/o mejorar la calidad del suelo frente a problemas que suceden en las explotaciones bajo regadío.

Degradación por salinización:

La salinización consiste en un aumento de la concentración de sales más solubles que el yeso (NaCl_2 , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 ...).

Estas sales ascienden por capilaridad a las primeras capas del suelo y, al vaporarse el agua, dan lugar a eflorescencias pulverulentas de color blanco y sabor salado.

Su origen puede ser natural o antrópico, siendo un problema de degradación del suelo únicamente cuando su origen se debe a causas antrópicas, debido, por ejemplo, a riegos inadecuados o con agua de mala calidad, vertidos de aguas salinas...

La salinidad afecta a la productividad de los cultivos.

Soluciones:

- Estrategias correctoras: aplicables a suelos altamente salinos. En primer lugar, se deberá considerar el cultivo de especies que toleren el nivel de salinidad. Si no es posible, se implementarán mejoras tecnológicas que “laven” el suelo. Tras alcanzar un grado de salinidad aceptable, se deberán implementar medidas de mantenimiento.
- Estrategias preventivas: aplicables a zonas no salinas. Con el fin de evitar que se movilicen las sales del suelo, se deberá conocer el nivel de salinidad del suelo, así como planificar y diseñar adecuadamente el riego, y aplicar estrategias de mantenimiento.
 - Información de suelos disponible, obtenida en el proceso de evaluación de los suelos
 - para identificar las áreas aptas para el riego
 - Características del agua disponible para el riego y posibilidades de mejorar su calidad, si es el caso, por medio de plantas que permitan la mezcla de aguas de distintas
 - procedencias y el control de calidad del agua a suministrar al agricultor
 - Establecer un sistema de riego acorde con el agua disponible y el riesgo de salinización
 - Prever la instalación de un drenaje artificial asociado al sistema de riego para poder dar salida al agua de drenaje, que es la que evitará que se acumulen sales en el suelo
 - Calcular las dosis de riego de manera que se aporte agua suficiente para mantener la zona radicular con un contenido salino lo más bajo posible al satisfacer las necesidades operativas y asegurando una fracción de lavado
- Estrategias de mantenimiento: aplicables cuando el grado de salinidad sea adecuado a los cultivos. Se deberá aportar el agua de riego necesaria y con una calidad adecuada, así como tener en cuenta que los fertilizantes químicos son sales, por lo que pueden producir salinización.

Consideraciones:

- Mantener la concentración de la fase líquida del suelo aproximadamente igual a la del agua de riego
- Fertilizantes químicos son sales: riesgo de salinización
- Las aguas de riego contienen, en mayor o menor medida, sales disueltas

Resulta, por lo tanto, muy importante, controlar la calidad del agua y llevar a cabo un manejo de la misma sostenible, eligiendo cultivos tolerantes a la cantidad de sales y aplicando cantidades de agua que no generen riesgo de salinización, así como mediante la selección de fertilizantes químicos con un índice salino adecuado.

Degradación por sodificación:

La sodificación es un proceso por el que se produce un incremento del porcentaje de sodio disponible en el medio debido a un aumento del pH (medio básico), que genera efectos nocivos en la estructura, la conductividad hidráulica, el movimiento del agua... Con estas condiciones, el crecimiento de las raíces se ve dificultado. Además, el Na resulta tóxico para algunos cultivos.

Su origen puede ser natural, por ejemplo, los Solotnez, o antrópico, debido al uso de aguas de riego de baja calidad

Solución:

Intercambio de Na por Ca, mediante el aporte de este último y el cultivo de especies tolerantes a los niveles de Na existentes.

El Ca puede proceder de:

- El propio suelo, si contiene yeso a poca profundidad, mediante el arado profundo
- Agua del riego
- Yeso aplicado en enmienda
- En suelos calizos, mediante la aplicación de un ácido que libere el Ca
- Introducción de cultivos tolerantes y aporte de MO en suelos alcalinos con CaCO_3

En la planificación de la mejora de un suelo sódico, para determinar la viabilidad económica, se deberá establecer:

1. Hasta qué porcentaje se quiere disminuir el Na^+
2. Hasta qué profundidad se requiere disminuir el ESP

Es recomendable que las enmiendas se encuentren disponibles en la zona.

Degradación por acidificación:

La acidificación es un proceso natural en el que el suelo presenta valores de pH por debajo de 7.

Puede generarse por: aplicación de fertilizantes con NH_4 o urea (ácidos), por fijación de Nitrógeno, por extracción de cationes básicos por parte de los cultivos (Mg Ca, Na...), por lluvias ácidas, etc.

El diagnóstico de condiciones de acidez de un suelo se realiza atendiendo a varios parámetros complementarios:

1. Valores de pH (indicador inicial del problema)
2. Valor del porcentaje de saturación (V) de cationes básicos
3. Porcentaje de acidez
4. Porcentaje de aluminio intercambiable (Alint)

Un cambio en el pH del suelo provoca que ciertos nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos no se encuentren disponibles, o se encuentren en exceso y que resulten tóxicas, como el aluminio.

Se considera que, cuando el porcentaje de aluminio intercambiable efectivo: $100 \times (\text{Alint}/\text{CICE})$ suponga entre un 15% y un 30%, el riesgo de toxicidad es elevado para la mayoría de los cultivos.

Su origen puede ser natural en zonas húmedas templadas y tropicales, o como parte de un proceso de degradación antrópica.

Solución:

Para plantear una mitigación de la acidez del suelo se pueden plantear diferentes estrategias, bien hacia la adaptación de los cultivos a las condiciones del suelo, bien hacia la modificación del pH.

- Para la adaptación, se pueden utilizar especies y variedades tolerantes al Aluminio:
 - Alfalfa, judías, guisantes, trébol rojo, espinaca, algodón: muy sensible
 - Trigo, soja, trébol blanco, sorgo: sensible
 - Cacahuete, patata, arroz, banano: moderadamente tolerante
 - Piña, té, café, caña de azúcar: tolerante
- Para modificar el pH: Encalado. Consiste en el aporte de material (enmienda) para corregir la acidez del suelo. Se suele aportar CaCO_3 , que, mediante una reacción química, intercambia el Aluminio por calcio.

La enmienda que se utilice, no obstante, deberá ser aquella que resulte más económica en la zona: roca caliza triturada y pulverizada, óxido cálcico, enmiendas orgánicas, yeso... Es recomendable que se utilicen calizas magnésicas para evitar desequilibrios Ca/Mg.

Deberá evitarse aportar enmienda en exceso, ya que un sobre encalado puede tener efectos desfavorables sobre la disponibilidad de nutrientes y sobre los microorganismos del suelo e incluso puede provocar, en algunos tipos de suelo, una reacidificación a medio plazo al incrementar la mineralización de la materia orgánica con liberación de aluminio

Degradación por inundaciones:

La llegada ocasional de agua a un suelo con mal drenaje hace que los poros se llenen de agua y quede anegado. Esto afectará, por una parte, al número de días en que se podrán llevar a cabo labores agrícolas, pero puede provocar también la muerte de los cultivos por falta de oxígeno.

Es importante, tanto mantener el suelo en condiciones adecuadas de estructura que faciliten el filtrado del agua, como contar con un correcto sistema de drenaje.

3. TEMA 3. BALANCE DE AGUA

3.1 Introducción

El suelo es el lugar del almacenamiento del agua que utilizan las plantas. El volumen de agua disponible en el suelo no es continuo a lo largo del tiempo, ya que depende de las precipitaciones y del riego. El manejo del agua es FUNDAMENTAL para la agricultura para mantener los niveles adecuados de productividad de los cultivos, evitando procesos de erosión y de contaminación.

3.2 Balance de agua

Relación entre el agua que llega al suelo y la que sale.

ENTRADAS: Lluvia (P), Riego (R), Rocío, Capilaridad, etc.

SALIDAS: Evaporación (E), Transpiración (T), Evapotranspiración del cultivo (Etc), Escorrentía (superficial), Percolación (profunda).

La utilidad más importante del balance hídrico en el suelo para la agricultura es la de conocer en cada momento la cantidad de agua almacenada en la zona del suelo ocupada por las raíces, para:

- Gestión del riego
- Gestión de los recursos hídricos

Existen aplicaciones informáticas que permiten la realización de un balance de agua de forma sencilla.

Problema: no tienen en cuenta el agua perdida por escorrentía o percolación profunda, y las entradas solo sol lluvia y riego

Dos gratuitas gestionadas por la FAO:

- CROPWAT: útil para balances de agua sencillos y elaboración de calendarios de riego
- AQUACROP: más actualizado, incluye estimación de rendimientos de cultivo. Requiere del uso de más datos

3.3 Cálculo de las necesidades hídricas

Antes de calcular las necesidades hídricas de un cultivo, vamos a ver que funciones realiza el agua en la planta.

El agua constituye el 95% de la planta: constituye los tejidos y contiene sustancias esenciales disueltas (provenientes del suelo).

- La planta pierde agua por Transpiración (T), desde las cubiertas vegetales, y Evaporación (E), desde la superficie del suelo y de la propia planta.
- Estos procesos se producen simultáneamente → Evapotranspiración (ET)

- La cantidad de agua evaporada y transpirada depende de la cubierta vegetal del suelo, el tipo de cultivo, y su salud
- Cada cultivo tiene una ET (ETc), que representa la cantidad de agua que requiere para su producción óptima
- La mayor parte del agua se pierde por transpiración
- Sólo un 5% del agua absorbida por la planta se usa para su crecimiento y fotosíntesis
- El 95% del agua restante es transpirada
- Es un “mal” inevitable con importantes funciones
- Actúa como refrigerador para la planta

Evapotranspiración (ET)

- La ET es un factor fundamental del ciclo hidrológico
- Su estimación es imprescindible para la gestión y el manejo de los recursos hídricos en la agricultura de regadío, siendo parte fundamental en los cálculos y el diseño del sistema de riego
- Unidades de medida:
 - Se expresa como las unidades de altura de agua evapotranspirada (mm) por unidad de tiempo (hora, día, semana, mes) → mm/d
 - Una altura de agua de 1mm equivale a 1 L/m²
 - Tasa de evapotranspiración de 5 mm/día = tasa de 5 L/m². d
- ET₀ = ET de referencia → ET de un cultivo de hierba de 8 a 15 cm
- ET_c = ET de cultivo → ET de un determinado cultivo en crecimiento activo, bien provisto de agua, de altura uniforme, libre de enfermedades ni otras limitaciones.
- La ET depende de cuatro factores básicos:
 - Energía requerida por la planta para evaporar el agua, principalmente aportada por el Sol. Se puede estimar: a 20º se necesitan 2,45 MJ/m² para evaporar 1L de agua por m²
 - Déficit hídrico del aire: gradiente de concentración de vapor de agua entre el suelo y el aire
 - Transporte del vapor de agua: el viento renueva el aire pudiendo admitir más cantidad de vapor de agua → Debe conocerse la velocidad del viento
 - Abastecimiento continuo de agua a la superficie para que el proceso siga transcurriendo
- Estos factores, dependen a su vez de:
 - Demanda evaporativa de la atmósfera (meteorología y periodo de tiempo)
 - Contenido de humedad y naturaleza del suelo (textura, conductividad eléctrica)

- Cubierta vegetal y manejo del cultivo (especie, riego, estado de crecimiento, salud...)
- Estimación de Evapotranspiración de referencia (ET₀)
- Existen varios métodos de cálculo para la obtención de los valores de evapotranspiración de referencia (ET₀):
 - Método del tanque de evaporación: mide la cantidad de agua evaporada de tanques evaporímetros. Es un método sencillo, pero inexacto, dadas las diferencias entre la evaporación de una superficie de agua libre y la transpiración de las plantas. Cada vez se utiliza menos
 - Método de Hargreaves: utiliza valores de temperatura y radiación solar. Resulta útil en zonas en las que solo se dispone de datos meteorológicos básicos. Utiliza dos ecuaciones derivadas, y resulta adecuado para el cálculo de la ET₀ semanal o mensual
 - Método de Penman-Monteith: es el método recomendado actualmente. Su cálculo deriva de la aplicación de una ecuación
 - La red de estaciones agroclimáticas (SIAR) proporciona valores de ET₀ diarios calculados con esta ecuación en todas las zonas regables de España
 - Cuando se calcula a escala horaria es necesario realizar algunas correcciones para evitar errores, sobretodo en periodos ventosos
- Red de estaciones agrometeorológicas SIAR: 468 Estaciones Agroclimáticas, 361 pertenecen al Ministerio y 107 a las CCAA, las estaciones están diseñadas para recoger los valores necesarios para el cálculo de la ET₀. Se ubican en zonas representativas, una estación cada 10.000 ha de regadío

Estimación de la Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

- ET_c: es la evapotranspiración de un cultivo que se desarrolla libre de enfermedades, con una buena fertilización y que crece en un campo extenso bajo condiciones óptimas → representa el límite máximo de evapotranspiración del cultivo cuando no existen obstáculos.
- Procedimientos del cálculo:
 - Directos: uso de lisímetros de pesada, que calcula la ET_c en función del peso del agua en el suelo
 - Enfoque del coeficiente de cultivo (K_c): relaciona entre sí la ET₀ y la ET_c
 - Integra el efecto del cultivo sobre la evapotranspiración
 - Si K_c < 1, ET_c es menor que ET₀
 - Si K_c > 1, ET_c es mayor que ET₀
 - Depende del momento del cultivo

ET_c=ET₀ x K_c

- K_c: Coeficientes de cultivo: existen estimaciones de K_c para numerosos cultivos → Cuaderno FAO56

- Coeficientes de cultivo (Kc):
 - Kc simple (Kcs): integra la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo en un único coeficiente → El más habitual para la programación del riego
 - Kc dual: se realiza a una escala diaria de tiempo con coeficientes separados para la evaporación y para la transpiración
- Kcs estimados mediante integral térmica:
 - Cuantifica la relación entre temperatura y Kc mediante una suma de grados
 - La temperatura ambiente tiene una influencia directa sobre la velocidad de crecimiento
 - De este modo, se puede relacionar la fase del cultivo (inicial, desarrollo, crecimiento y final) con la temperatura ambiente
 - Si un día salen grados negativos, no se “descuentan” sino que no se suma ningún valor,
- Kcs estimados mediante integral térmica. EJEMPLO
 - El trigo necesita acumular aproximadamente 2000°C, con cierto margen de variación, para conseguir la madurez desde el momento en que se siembra. Para saber cuándo va a alcanzar la madurez deberíamos ir sumando las unidades de calor día tras día hasta llegar a esos 2000°C.
 - Desde que se siembra, las temperaturas efectivas de crecimiento para el trigo día a día han sido: 10, 12, 8, 14, 16, 25.... Se van sumando hasta llegar a la denominada integral térmica de 2000°C. Será entonces cuando el cultivo habrá llegado a su madurez y sabremos los días que ha tardado en llegar a ese número. Es evidente entonces, que cuanto más calor haga día tras día, antes se llegará a dicha integral.
- Necesidades hídricas (NH) → cantidad de agua que requiere un cultivo para su correcto crecimiento. Los aportes serán mediante lluvia (PE) o riego
 - Precipitación efectiva (PE): lluvia almacenada en el suelo disponible para la planta → Red SIAR
- Necesidades de riego netas (NHn) → cantidad de agua que debe aportarse mediante riego para compensar las pérdidas por ETc

$$NHn = ETc - PE$$

- Necesidades de riego brutas (NHb) → cantidad de agua que un sistema de riego debe emitir para satisfacer las NHn. Debe tener en cuenta la eficacia de aplicación de la instalación de riego

$$NHb = NHn \times Ea$$

Necesidades de riego brutas (NHb)

Depende de la eficiencia de aplicación (Ea): cantidad de agua emitida por un sistema de riego que llega a ser aprovechada por los cultivos

La Ea está influenciada por las pérdidas por evaporación y arrastre, percolación profunda o escorrentía superficial

Por ejemplo: el riego por goteo pierde agua de manera subterránea si encuentra vías en el suelo

Cada sistema de riego presenta un valor de Ea: los más eficientes riego por goteo y microaspersión.

Hay otros factores que influyen: condiciones suelo. Por ejemplo, un suelo con problemas de salinidad, puede requerir de una mayor cantidad de riego para su lavado

3.4 Gestión del riego en parcela

- Tipos de agua en el suelo:
 - Agua gravitacional → agua que llena los poros más grandes y, al cabo de un tiempo, cae por su propio peso a zonas más profundas. Una vez toda el agua gravitacional desaparece, se dice que el suelo se encuentra a Capacidad de Campo (CC) (unos 3 días tras el riego), encontrándose el agua retenida en los poros más pequeños
 - Agua capilar → retenida en los microporos. Gran parte puede ser utilizada por las plantas
 - Agua higroscópica → fuertemente retenida por las partículas del suelo. No puede ser aprovechada por las plantas
 - Agua de constitución → agua que constituye las partículas del suelo. No puede ser aprovechada por las plantas
- A partir de la CC el suelo va perdiendo agua por evapotranspiración
- Punto de marchitez permanente (PMP) → punto a partir del cual las plantas ya no pueden absorber agua
 - El suelo sigue perdiendo agua, pero solo por evaporación de aire
- Desde el punto de vista de su utilización:



Agua sobrante: el agua que se pierde por gravedad (agua gravitacional)

Agua útil: aquella que puede utilizar la planta. Es igual a la CC menos el PMP. Determina el valor del CRAD (Capacidad de Retención de Agua Disponible en el Suelo)

Agua fácilmente disponible: agua que pueden obtener sin mermar su productividad. Depende del tipo del cultivo (entorno al 50% del agua útil)

Agua no disponible: agua fuertemente retenida por el suelo que no pueden utilizar las plantas. Se mantiene después del PMP

- El movimiento del agua en profundidad en el suelo se llama infiltración
- La permeabilidad es la capacidad del suelo para permitir la infiltración
- La velocidad de infiltración depende de la textura, la estructura y la materia orgánica del suelo
 - La velocidad de infiltración es mayor al inicio del riego
 - La compactación del suelo y la presencia de grietas afectan a la velocidad de infiltración

DEBE CONOCERSE EL TIPO DE SUELO ANTES DE PROCEDER AL RIEGO

- La caracterización del suelo es imprescindible para conocer sus propiedades hidráulicas
- Si se desea utilizar la CRAD para programar el riego, deben realizarse mapas de la CRAD de la zona
- Estos mapas deben ser suficientemente detallados para caracterizar las diferencias sustanciales entre zonas con suelos de distintas características hidráulicas
- Caracterizando los suelos por tipología, se pueden programar las dosis de riego por aspersión y la frecuencia en función de la textura del suelo, la velocidad de infiltración, la capacidad de retención, etc.
- Procedimiento:
 1. Zonificación con ayuda de imágenes satélite y entrevistas a técnicos locales
 2. Toma de muestras a varias profundidades
 3. Traslado a laboratorio para determinar la CRAD
- Dispositivos para medir la humedad del suelo
- Tensiómetros: miden el potencial hídrico del suelo
 1. Constituidos por un tubo de plástico que presenta en un extremo una cápsula de cerámica porosa y, en el otro, un manómetro
 2. Mide la fuerza que ejerce el suelo sobre el agua, a partir del cuyo valor se puede conocer el contenido de la humedad del suelo
 3. Se instalan 2 o 3 tensiómetros a diferentes profundidades
 4. Presentan ventajas:
 - Herramienta rápida y práctica para medir la tensión del agua in situ
 - Bajo coste y fácil de instalar

- No están influenciados por el contenido de sales del agua del suelo
- 5. Presentas desventajas:
 - Requieren de un mantenimiento periódico
 - No funciona bien en suelos muy secos o de texturas gruesas
- Sondas de humedad: miden el contenido volumétrico
 1. Existen 2 tipos: sondas TDR y sondas FRD
 2. Ambas están compuestas por electrodos metálicos que se insertan en el suelo
 3. Miden la humedad, la conductividad eléctrica del suelo y la temperatura
 4. Sondas TDR: miden la humedad volumétrica en función del tiempo recorrido por un pulso electromagnético
 5. Sondas FDR: miden la humedad volumétrica transformando los cambios de la frecuencia de resonancia de un circuito

3.5 Uniformidad de riego

La calidad del riego viene definida por la capacidad de aportar el agua que el cultivo requiere para su correcto desarrollo de forma uniforme en todas las parcelas. La calidad del riego se ve afectada por el tipo de sistema de riego, su correcto diseño y manejo y las condiciones meteorológicas, aunque los dos componentes que determinan la calidad del riego son la uniformidad y la eficiencia de aplicación.

La **Uniformidad de Riego** es la capacidad de un sistema de riego para aplicar la misma cantidad de agua en todos los puntos del área regada. Puede calcularse mediante el Coeficiente de Uniformidad (CU). Se ve afectada por factores meteorológicos (velocidad del viento) y por un mal diseño del sistema de riego

Para medir la uniformidad de un sistema de riego:

- Seleccionar una zona representativa, con las dimensiones de un marco de riego (zona entre 3 o 4 aspersores)
- Instalar una red de pluviómetros en la zona a evaluar
- Realizar un riego de duración media (al menos hora y media)
- Medir el volumen recogido por cada pluviómetro
- Calcular el CU

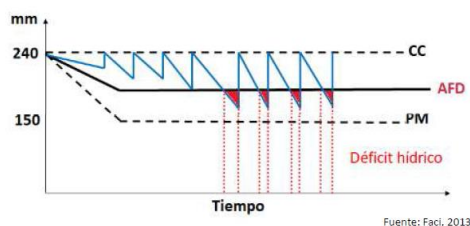
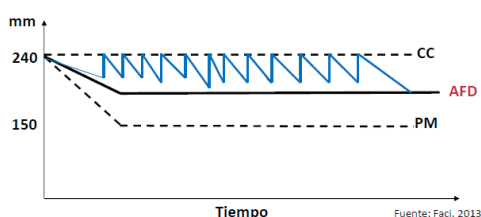
La **Eficiencia de riego (E)** es la proporción de agua emitida por un sistema de riego que llega a ser aprovechada por los cultivos. Los factores que disminuyen la eficiencia son:

- Pérdidas por evaporación y arrastre
- Pérdidas por percolación profunda
- Pérdidas por escorrentía superficial

Cada sistema de riego tiene una eficiencia potencial, que representa el valor máximo de eficiencia al que puede llegar.

Dosis y frecuencia de riego

- Principio fundamental de una programación: que, durante todo el ciclo, las necesidades hídricas del cultivo queden cubiertas sin déficit hídrico
- La programación debe tener en cuenta la humedad del suelo, la meteorología y el tipo de cultivo (ET_0 y K_c)
- La instalación de sondas de control del estado hídrico supone un importante apoyo
- 1) En primer lugar, se debe establecer un nivel de manejo de contenido de agua en el suelo, que definirá el contenido mínimo de agua que se desea mantener durante la campaña de riego



En muchos casos, existe una relación entre el calendario de riego y el sistema de riego instalado en parcela

3.6 Calendario de riego

- Para la aplicación de un correcto calendario de riegos es necesario un balance de agua lo más detallado posible
- En primer lugar, es imprescindible conocer la capacidad de retención de agua del suelo en cada uno de los sectores de la parcela
- Debe conocerse la cantidad de agua que hay en el suelo en el momento del inicio del riego. A partir de ahí, se hará un balance diario de las entradas y salidas
- El riego se define como la diferencia entre la cantidad de agua que sale como evapotranspiración y la que entra con la lluvia
- El momento del riego se decidirá en función del contenido en agua del suelo que queramos mantener, el sistema instalado en nuestra parcela y las condiciones de manejo comunitarias del agua (turnos, petición anticipada...)

Lo ideal es mantener el contenido de agua dentro de unos valores de AFD

4. TEMA 4. AGRICULTURA DE PRECISIÓN Y USO SOSTENIBLE DE PLAGUICIDAS

4.1 ANÁLISIS DE SUELO

Características

- Un análisis de suelo se enfoca específicamente en la evaluación cuantitativa de propiedades físicas y químicas del suelo para propósitos agrícolas o de gestión del terreno.
- Se centra en la determinación de aspectos como el pH, la concentración de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, etc.), la presencia de metales pesados y otros elementos.
- Su objetivo principal es proporcionar datos cuantitativos sobre la fertilidad del suelo y las necesidades nutricionales para cultivos específicos.
- Es una herramienta importante para tomar decisiones específicas sobre la fertilización, corrección del pH y otros aspectos relacionados con el manejo agrícola del suelo.

Objetivos

el análisis de suelo proporciona información crucial para optimizar la fertilización, mejorar la salud del suelo y las plantas, maximizar los rendimientos y reducir los impactos ambientales negativos en la agricultura.

- **Determinación y disponibilidad de nutrientes:** El análisis de suelo ayuda a identificar los nutrientes disponibles en el suelo. Esta información es crucial para entender qué nutrientes pueden faltar o estar presentes en exceso, lo que permite a los agricultores ajustar las prácticas de fertilización para optimizar el crecimiento de los cultivos.
- **Optimización de la fertilización:** Conocer la capacidad de retención de nutrientes del suelo ayuda a determinar las cantidades precisas de fertilizantes que deben aplicarse. Esto evita la aplicación excesiva o insuficiente de nutrientes, lo que podría perjudicar el crecimiento de las plantas o causar contaminación ambiental por lixiviación de químicos al agua subterránea.
- **Ajuste de pH:** El pH del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Un análisis de suelo revela el nivel de acidez o alcalinidad, permitiendo a los agricultores corregir el pH si es necesario para crear condiciones óptimas para el crecimiento de los cultivos.
- **Detección de problemas:** El análisis de suelo puede ayudar a identificar problemas como la salinidad, la presencia de metales pesados, la compactación del suelo, o la presencia de patógenos. Esto permite a los agricultores tomar medidas correctivas para mejorar la calidad del suelo y la salud de las plantas.
- **Maximización de rendimientos:** Al comprender las condiciones del suelo, los agricultores pueden tomar decisiones informadas sobre la selección de cultivos más adecuados para esa área en particular. Además, pueden implementar prácticas de manejo del suelo específicas que optimicen los rendimientos de los cultivos.

Pasos a seguir en el muestreo de suelos

El muestreo de suelo es un proceso crucial en la evaluación de la calidad y las características del suelo en un área específica. Aquí tienes los pasos básicos para realizar un muestreo de suelo:

1. Planificación del muestreo:

- **Objetivo:** Define claramente el propósito del muestreo (por ejemplo, análisis de nutrientes para cultivos específicos, evaluación de la calidad del suelo, etc.).
- **Zonificación:** Divide el área en secciones homogéneas basadas en el historial de uso de la tierra, topografía, tipo de suelo, cultivos, etc.

2. Selección de puntos de muestreo:

- **Diseño de la red de muestreo:** Decide la disposición espacial de los puntos de muestreo. Puedes optar por una cuadrícula regular, un diseño en zigzag o estratificado, dependiendo de la variabilidad del suelo.
- **Número de muestras:** Determina cuántas muestras tomarás en función del tamaño del área y el nivel de detalle requerido.

3. Recolección de muestras:

- **Herramientas adecuadas:** Utiliza una pala, una sonda de muestreo de suelo o un taladro para obtener muestras. Asegúrate de que estén limpias para evitar la contaminación cruzada.
- **Profundidad:** Toma muestras a la profundidad adecuada para el propósito del análisis. Por lo general, se toman muestras de la capa superior (0-15 cm) para análisis agrícolas, pero para otros estudios, podrías necesitar profundidades mayores.
- **Tamaño de la muestra:** Recolecta varias submuestras en cada punto y mézclalas para formar una muestra compuesta representativa.

4. Etiquetado y almacenamiento:

- **Etiquetado:** Etiqueta cada muestra con información relevante, como el lugar de muestreo, la profundidad, la fecha, etc.
- **Almacenamiento:** Coloca las muestras en bolsas o recipientes limpios y resistentes para evitar la contaminación y mantenlas refrigeradas o en un lugar fresco hasta que se envíen al laboratorio.

5. Envío al laboratorio y análisis:

- **Preparación para el análisis:** Completa los formularios necesarios y sigue las instrucciones del laboratorio para enviar las muestras.
- **Análisis:** El laboratorio realizará los análisis requeridos, que podrían incluir pruebas de pH, contenido de nutrientes, textura del suelo, presencia de contaminantes, entre otros.

6. Interpretación de resultados:

- **Interpretación:** Una vez que obtengas los resultados del laboratorio, analiza e interpreta la información para comprender la fertilidad del suelo, la estructura, y las posibles correcciones o ajustes necesarios.

Realizar un muestreo de suelo cuidadoso y preciso es esencial para obtener información precisa sobre la calidad del suelo y tomar decisiones informadas sobre su manejo y uso agrícola.

Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo se refieren a características relacionadas con la estructura, textura, densidad, porosidad y retención de agua, entre otros aspectos. Estas propiedades tienen un impacto significativo en la capacidad del suelo para sostener el crecimiento de las plantas y su interacción con el ambiente circundante. Algunas de las propiedades físicas más importantes del suelo incluyen:

1. **Textura del suelo:** Se refiere a la proporción de partículas de arena, limo y arcilla presentes en el suelo. Esta composición determina la capacidad de retención de agua y nutrientes, así como la capacidad de aireación del suelo.
2. **Estructura del suelo:** Describe cómo se organizan y agrupan las partículas del suelo en agregados. Una buena estructura del suelo facilita la penetración de raíces, el drenaje del agua y la circulación del aire.
3. **Porosidad:** Se refiere a la cantidad y tamaño de los poros en el suelo. Los poros permiten el paso y almacenamiento de agua, aire y nutrientes, lo que es esencial para el crecimiento de las raíces y la actividad microbiana.
4. **Densidad aparente:** Es la masa de suelo por unidad de volumen total, lo que puede influir en la capacidad de retención de agua y aire del suelo. Una alta densidad puede dificultar el crecimiento de las raíces.
5. **Permeabilidad:** Indica la capacidad del suelo para permitir el flujo de agua a través de él. Una buena permeabilidad es importante para evitar el encharcamiento y el lavado de nutrientes.
6. **Capacidad de retención de agua:** Se refiere a la cantidad de agua que el suelo puede retener entre sus partículas. Esta capacidad varía según la textura y la estructura del suelo.
7. **Color del suelo:** El color puede indicar la presencia de materia orgánica, minerales específicos o condiciones de drenaje, lo que puede tener implicaciones para el crecimiento de las plantas.

Estas propiedades físicas del suelo son fundamentales para entender su calidad y capacidad para soportar el crecimiento de cultivos saludables, y son consideradas en la toma de decisiones agrícolas y de manejo del suelo.

Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla que componen el suelo. Estas partículas varían en tamaño y características, y su combinación determina las propiedades físicas del suelo. La proporción de cada tipo de partícula influye en la capacidad del suelo para retener agua, nutrientes y aire, así como en su capacidad de drenaje. Los tres componentes principales de la textura del suelo son:

1. **Arena:** Las partículas de arena son las más grandes entre las tres y tienen una forma irregular. Los suelos arenosos tienen una alta proporción de partículas de arena, lo que les da una textura gruesa y suelta. Esto permite un buen drenaje, pero tienen una capacidad limitada para retener agua y nutrientes.
2. **Limo:** Las partículas de limo son más pequeñas que la arena y tienen una forma más suave. Los suelos con una proporción significativa de limo tienen una textura más suave y retienen mejor el agua y los nutrientes en comparación con los suelos arenosos. Tienen una capacidad de drenaje moderada.
3. **Arcilla:** Las partículas de arcilla son las más pequeñas y tienen una estructura laminar. Los suelos arcillosos tienen una alta proporción de arcilla, lo que les otorga una textura pegajosa y fina. Retienen grandes cantidades de agua y nutrientes, pero pueden tener problemas de drenaje y aireación.

La combinación de estos tres tipos de partículas en diferentes proporciones da lugar a diferentes tipos de texturas del suelo, como suelos franco-arenosos, franco-limosos, limo-arcillosos, entre otros. La textura del suelo es esencial para determinar las prácticas de manejo adecuadas, ya que influye en la selección de cultivos, el riego, la fertilización y otras decisiones agrícolas.

Textura arenosa

La textura arenosa se refiere a un tipo de suelo que contiene una alta proporción de partículas de arena en comparación con el limo y la arcilla. Este tipo de suelo se caracteriza por tener partículas de arena más grandes y gruesas, lo que le confiere una estructura suelta y granular. Algunas de las características clave de los suelos arenosos son:

1. **Gran tamaño de partículas:** Las partículas de arena son las más grandes entre los componentes del suelo, lo que da como resultado una textura áspera al tacto.
2. **Buena aireación y drenaje:** Debido a la estructura suelta, los suelos arenosos tienen una alta tasa de infiltración de agua y un buen drenaje, lo que evita el encharcamiento y ayuda a prevenir problemas de anegamiento para las raíces de las plantas.
3. **Baja capacidad de retención de agua y nutrientes:** A pesar de su buena capacidad de drenaje, los suelos arenosos retienen poca agua y nutrientes debido a la falta de capacidad de las partículas de arena para retenerlos. Esto puede requerir una irrigación más frecuente y una mayor aplicación de fertilizantes para mantener un suministro adecuado para el crecimiento de las plantas.
4. **Cálido y seco:** Debido a su capacidad para calentarse rápidamente y a la rápida circulación del aire, los suelos arenosos tienden a calentarse más rápido en primavera y pueden secarse más rápido durante periodos de sequía.

Los suelos arenosos son comunes en áreas costeras, dunas, y áreas donde han prevalecido procesos de erosión y transporte de sedimentos. La gestión de los suelos arenosos generalmente involucra la adición de materia orgánica para mejorar la retención de agua y nutrientes, así como prácticas que conserven su estructura porosa para facilitar el crecimiento de plantas.

Textura limosa

La textura arcillosa se refiere a un tipo de suelo que contiene una alta proporción de partículas de arcilla en comparación con la arena y el limo. Los suelos arcillosos se caracterizan por tener partículas de arcilla muy pequeñas y finas, lo que les confiere una textura pegajosa y suave al tacto. Algunas de las características clave de los suelos arcillosos son:

1. **Partículas pequeñas y alta cohesión:** Las partículas de arcilla son las más pequeñas entre los componentes del suelo, lo que les confiere una estructura fina y pegajosa. Esta finura hace que las partículas se compacten fácilmente, lo que puede dificultar la circulación del aire y el agua.
2. **Alta capacidad de retención de agua y nutrientes:** Los suelos arcillosos retienen grandes cantidades de agua y nutrientes debido a la alta superficie específica y capacidad de adsorción de la arcilla. Esto puede ser beneficioso para las plantas durante períodos secos, ya que retienen la humedad por más tiempo.
3. **Dificultad de drenaje y aireación:** La alta cohesión de las partículas de arcilla puede dificultar el drenaje del agua y la circulación del aire, lo que lleva a problemas de encharcamiento y reducción de oxígeno en las raíces.
4. **Suelos pesados y compactos:** Los suelos arcillosos tienden a ser más pesados y compactos cuando están mojados, lo que puede dificultar el crecimiento de las raíces y la penetración de las mismas.
5. **Suelos propensos a la erosión:** Debido a su capacidad para retener el agua, los suelos arcillosos pueden ser propensos a la erosión una vez que están secos y se agrietan.

La gestión de los suelos arcillosos a menudo implica la adición de materia orgánica, como compost o abonos verdes, para mejorar la estructura y la aireación del suelo. También se pueden implementar técnicas de labranza y rotación de cultivos para reducir la compactación y mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas.

Triángulo de clases texturales

El "triángulo de clases texturales" es una representación gráfica que ilustra las proporciones relativas de arena, limo y arcilla en un suelo, clasificando así su textura. Esta herramienta se utiliza para identificar y describir la textura del suelo basándose en porcentajes aproximados de estos tres componentes.

El triángulo de clases texturales tiene los lados etiquetados con los porcentajes de arena, limo y arcilla. Cada esquina del triángulo representa un tipo puro de partículas de suelo: arena pura, limo puro y arcilla pura. Las áreas dentro del triángulo representan combinaciones de diferentes proporciones de estos tres componentes, lo que da lugar a distintos tipos de suelo con texturas variadas.

Por ejemplo, si un suelo tiene un 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla, esta composición se ubicaría en el triángulo en una posición intermedia entre las esquinas correspondientes a la arena y el limo, reflejando una textura equilibrada.

Los suelos se clasifican en diferentes clases texturales según su ubicación en el triángulo. Algunos ejemplos comunes de clases texturales son:

- Suelo franco: Una combinación equilibrada de arena, limo y arcilla.

- Suelo arcilloso: Mayor proporción de arcilla y menos arena y limo.
- Suelo arenoso: Mayor proporción de arena y menos limo y arcilla.
- Suelo limoso: Mayor proporción de limo y menos arena y arcilla.

Este enfoque de clasificación permite a los agrónomos y agricultores comprender mejor las propiedades físicas del suelo y adaptar las prácticas de manejo de acuerdo con la textura del suelo en cuestión.

Estructura del suelo

La estructura del suelo se refiere a la forma en que las partículas de arena, limo, arcilla y materia orgánica se organizan y unen para formar agregados o grumos, así como la disposición de estos agregados en el suelo. Esta organización influye en la porosidad, la aireación, la infiltración del agua, la retención de nutrientes y la capacidad de soporte para el crecimiento de las raíces de las plantas. La estructura del suelo puede clasificarse en diferentes tipos principales:

1. Estructura granular: Presenta agregados de forma esférica o irregular, con una buena aireación y drenaje. Es comúnmente asociada con suelos bien desarrollados y ricos en materia orgánica.
2. Estructura laminar: Se caracteriza por la formación de capas planas y paralelas en el suelo, lo que puede afectar la infiltración del agua y la circulación del aire. Los suelos arcillosos suelen mostrar esta estructura.
3. Estructura en bloques: Se forman agregados angulares o poliédricos debido a la acción de la contracción y expansión del suelo por los ciclos de humedecimiento y secado. Puede ser típica en suelos arcillosos.
4. Estructura prismática: Presenta agregados prismáticos, con una buena infiltración de agua y aireación. Suele encontrarse en suelos bien drenados y con buena estructura.

La estructura del suelo es importante para el desarrollo de las raíces de las plantas, ya que una buena estructura facilita la penetración de las raíces, el intercambio de gases y la absorción de nutrientes. Además, influye en la capacidad de retención de agua y la resistencia a la erosión.

La manipulación y el manejo adecuado del suelo pueden mejorar su estructura. Estrategias como la adición de materia orgánica, la labranza mínima para evitar la compactación, la rotación de cultivos y la siembra de cubiertas vegetales son prácticas comunes para mantener y mejorar la estructura del suelo en la agricultura sostenible.

Densidad del suelo

La densidad del suelo se refiere a la cantidad de masa de suelo por unidad de volumen. Se expresa típicamente en unidades como gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o kilogramos por metro cúbico (kg/m^3). La densidad del suelo puede variar dependiendo de factores como la textura, la estructura, la cantidad de materia orgánica y la humedad presente en el suelo.

Existen diferentes tipos de densidades del suelo:

1. Densidad aparente: Es la masa total del suelo por unidad de volumen, incluyendo los espacios porosos entre partículas de suelo y agregados. Se calcula considerando el volumen total del suelo, incluyendo los poros. Se expresa comúnmente en g/cm^3 o kg/m^3 .
2. Densidad real o densidad de partículas: Es la masa de las partículas minerales del suelo por unidad de volumen, excluyendo los espacios porosos. Esta densidad no tiene en cuenta los espacios vacíos entre partículas y se expresa en unidades de masa por unidad de volumen, similar a la densidad aparente.

La densidad del suelo puede ser influenciada por varios factores:

- Textura del suelo: Los suelos arenosos tienden a tener una densidad más baja que los suelos arcillosos debido al tamaño y la forma de las partículas.
- Contenido de materia orgánica: Los suelos ricos en materia orgánica tienden a tener una densidad más baja debido a la materia orgánica que ocupa espacio en el suelo y reduce la compactación.
- Compactación: Actividades humanas como el pisoteo, el tráfico de maquinaria pesada o el exceso de labranza pueden compactar el suelo, aumentando su densidad.

La densidad del suelo es importante en la agricultura, ya que una densidad excesiva puede afectar negativamente la aireación, la infiltración del agua y el crecimiento de las raíces de las plantas. Estrategias de manejo como la adición de materia orgánica, la labranza mínima y la rotación de cultivos pueden ayudar a mejorar la estructura del suelo y reducir la densidad aparente para favorecer un entorno más propicio para el crecimiento de las plantas.

4.7 AGRICULTURA DE PRECISIÓN

4.8 USO SOSTENIBLE DE LOS PAGUICIDAS

Los productos fitosanitarios son sustancias químicas o biológicas utilizadas en la agricultura para proteger los cultivos de plagas, enfermedades y malezas. Este término abarca una amplia gama de productos que incluyen insecticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, nematicidas, bactericidas y reguladores del crecimiento de las plantas, entre otros.

Estos productos se utilizan para controlar o prevenir daños causados por organismos perjudiciales para las plantas, como insectos, hongos, bacterias, malezas, ácaros y nematodos, que pueden afectar negativamente la producción agrícola. Los productos fitosanitarios están diseñados para ser aplicados en los cultivos de manera selectiva para minimizar los daños causados por estas plagas y enfermedades.

Es importante destacar que los productos fitosanitarios pueden contener ingredientes activos sintéticos o ser de origen natural, como extractos de plantas, aceites esenciales o microorganismos beneficiosos, y suelen estar formulados en diferentes presentaciones (líquidos, polvos, granulados) para su aplicación en el campo.

El uso de productos fitosanitarios ha sido fundamental para mejorar la productividad agrícola al proteger los cultivos de las amenazas biológicas, pero su uso indebido o excesivo puede tener impactos negativos en la salud humana, el medio ambiente y la biodiversidad. Por lo tanto, su aplicación debe realizarse siguiendo estrictamente las recomendaciones de dosificación, frecuencia y métodos de aplicación establecidos por las autoridades regulatorias y los fabricantes, con el objetivo de minimizar los riesgos asociados con su uso y preservar la seguridad alimentaria y el equilibrio ambiental.

USO RESPONSABLE DE FITOSANITARIOS

El uso responsable de fitosanitarios es fundamental para garantizar la seguridad alimentaria, proteger la salud humana, preservar el medio ambiente y promover una agricultura sostenible. Aquí hay varias razones clave para un uso responsable de los productos fitosanitarios:

- 1. Protección de la salud humana:** El manejo adecuado de los fitosanitarios ayuda a reducir la exposición humana a sustancias químicas peligrosas. Un uso inadecuado o excesivo puede ocasionar riesgos para la salud de agricultores, trabajadores agrícolas y consumidores finales que pueden estar expuestos a residuos de pesticidas en los alimentos.
- 2. Preservación del medio ambiente:** El uso responsable de fitosanitarios ayuda a minimizar la contaminación del suelo, el agua y el aire. Esto reduce los efectos adversos en los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y la calidad del suelo, preservando así los recursos naturales y los ciclos biológicos.
- 3. Prevención de la resistencia de plagas y enfermedades:** Un uso excesivo o incorrecto de fitosanitarios puede conducir a la resistencia de plagas y enfermedades, lo que significa que los productos químicos pierden su efectividad con el tiempo. El uso responsable, siguiendo las dosis recomendadas y rotando diferentes clases de plaguicidas, ayuda a prevenir esta resistencia.
- 4. Sostenibilidad agrícola:** La implementación responsable de fitosanitarios forma parte de la agricultura sostenible. Cuando se usan de manera adecuada y prudente, contribuyen a la producción de cultivos saludables, previenen pérdidas significativas de cosechas y favorecen la seguridad alimentaria.
- 5. Cumplimiento normativo y seguridad alimentaria:** El uso responsable de fitosanitarios implica seguir las regulaciones y directrices establecidas por las autoridades sanitarias y agrícolas. Esto garantiza la seguridad alimentaria al asegurar que los niveles de residuos de pesticidas en los alimentos estén dentro de los límites permitidos y no representen riesgos para la salud humana.
- 6. Reducción del impacto económico:** Utilizar fitosanitarios de manera responsable puede ayudar a reducir costos a largo plazo. Evita la sobreutilización de productos químicos innecesarios, minimiza los riesgos de contaminación y resistencia, y puede favorecer la rentabilidad de las explotaciones agrícolas.

En resumen, un uso responsable de productos fitosanitarios no solo es beneficioso para la salud humana y el medio ambiente, sino que también contribuye a una agricultura más sostenible y rentable a largo plazo.

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP)

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) es un enfoque holístico y sostenible para controlar las poblaciones de plagas en la agricultura y en entornos donde puedan causar daños. Este método se basa en la combinación y coordinación de múltiples estrategias y herramientas para minimizar el impacto de las plagas, al tiempo que se reducen al máximo los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. El MIP se centra en estrategias preventivas y utiliza métodos de control que son efectivos, económicos y respetuosos con el entorno.

Las principales características del Manejo Integrado de Plagas incluyen:

- 1. Monitoreo y diagnóstico:** Implica la identificación y el seguimiento de las plagas para comprender sus ciclos de vida, comportamiento y niveles de infestación. El monitoreo regular permite tomar decisiones informadas sobre cuándo y cómo intervenir.

2. Prevención: Se enfoca en la implementación de prácticas culturales que reduzcan la susceptibilidad de los cultivos a las plagas, como la rotación de cultivos, la selección de variedades resistentes, el manejo adecuado del suelo y la mejora de las condiciones del entorno.

3. Control biológico: Utiliza organismos vivos, como enemigos naturales de las plagas (depredadores, parasitoides, bacterias, hongos) para controlar las poblaciones de insectos o enfermedades de manera natural y equilibrada.

4. Control químico racional: En caso de ser necesario, se recurre a productos químicos de manera selectiva y con dosis precisas, utilizando los plaguicidas de manera responsable y teniendo en cuenta su impacto en el medio ambiente y la salud humana.

5. Control físico y mecánico: Incluye el uso de métodos físicos, como trampas, barreras físicas, el uso de feromonas, así como métodos mecánicos como la eliminación manual de plagas.

6. Educación y capacitación: Es fundamental para promover el conocimiento sobre las plagas, fomentar prácticas sostenibles y capacitar a agricultores y profesionales en la implementación efectiva del MIP.

El MIP reconoce la importancia de integrar estas estrategias y adaptarlas a las condiciones específicas de cada cultivo y región. Al hacerlo, se reducen los riesgos de resistencia de plagas, minimiza la dependencia de pesticidas químicos y promueve una agricultura más equilibrada y sostenible.



ETAPAS DEL MIP

El Manejo Integrado de Plagas (MIP) consta de varias etapas interrelacionadas que se implementan de manera secuencial o simultánea, dependiendo de las condiciones específicas de cada cultivo y situación. Estas etapas comúnmente incluyen:

1. Identificación y monitoreo de plagas: Esta etapa implica la identificación precisa de las plagas presentes en el cultivo y la evaluación de su nivel de infestación. Se lleva a cabo a través de observaciones regulares para determinar la presencia, ubicación y nivel de daño causado por las plagas.

2. Establecimiento de umbrales de acción: Se establecen niveles de infestación de plagas en los que se justifica una intervención. Estos umbrales ayudan a determinar cuándo es necesario tomar medidas de control y qué enfoques son los más adecuados en función del nivel de infestación.

3. Prevención y reducción de plagas: Se implementan medidas preventivas para minimizar la incidencia de plagas. Estas medidas pueden incluir prácticas culturales como la rotación de cultivos, selección de variedades resistentes, uso de técnicas agrícolas adecuadas y manejo eficiente del suelo.

4. Monitoreo y toma de decisiones: Se realiza un monitoreo constante para evaluar la efectividad de las estrategias preventivas y determinar si se requiere una intervención adicional. Se toman decisiones informadas basadas en la observación y el análisis de datos para determinar el curso de acción más adecuado.

5. Intervención y control de plagas: En esta etapa, se implementan estrategias de control de plagas según sea necesario. Estos métodos pueden incluir el uso de enemigos naturales (control biológico), el empleo de productos químicos de manera selectiva y responsable (control químico racional), así como métodos físicos y mecánicos de control.

6. Evaluación y seguimiento: Después de la implementación de las estrategias de control, se realiza una evaluación para determinar la eficacia de las acciones tomadas. Se monitorea continuamente para asegurar que las poblaciones de plagas estén bajo control y para identificar cualquier cambio en la situación.

7. Registro y documentación: Se lleva un registro detallado de todas las acciones realizadas, incluyendo tipos de plagas encontradas, métodos de control utilizados, fechas de aplicación y resultados obtenidos. Esta información es fundamental para mejorar las prácticas futuras y tomar decisiones informadas.

Estas etapas del Manejo Integrado de Plagas se aplican de manera flexible y adaptativa, permitiendo ajustes según las condiciones cambiantes del cultivo, la aparición de nuevas plagas o el desarrollo de resistencia a los métodos de control utilizados. El objetivo principal es lograr un equilibrio entre el control de plagas, la rentabilidad económica y la conservación del medio ambiente.

MÉTODOS DE CONTROL

Dentro del Manejo Integrado de Plagas (MIP), se emplean varios métodos de control que buscan reducir las poblaciones de plagas de manera efectiva y sostenible. Estos métodos se seleccionan y aplican de manera integrada, considerando la interacción entre ellos y su impacto en el entorno. Algunos de los métodos de control utilizados en el MIP son:

1. Control biológico: Consiste en el uso de organismos vivos para controlar las poblaciones de plagas. Esto puede implicar la introducción de depredadores, parasitoides, o el fomento de enemigos naturales presentes en el entorno para controlar las plagas. También se incluyen microorganismos como bacterias, hongos o virus que atacan específicamente a las plagas.

2. Control cultural: Se refiere a prácticas agrícolas que reducen la incidencia de plagas. Esto puede incluir la rotación de cultivos, selección de variedades resistentes a las plagas, limpieza y desinfección de aperos, uso de técnicas de siembra y cosecha adecuadas, manejo de la vegetación cercana, entre otros.

3. Control mecánico: Implica el uso de métodos físicos para controlar las plagas. Esto puede incluir la eliminación manual de insectos o larvas, el uso de trampas, barreras físicas para impedir el acceso de las plagas, el uso de dispositivos mecánicos para interrumpir su ciclo de vida, entre otros.

4. Control físico: Este método utiliza factores físicos para controlar plagas, como el uso de calor, frío, radiación ultravioleta o luz, aplicados de manera selectiva y controlada para eliminar o reducir las poblaciones de plagas.

5. Control químico racional: Cuando es necesario el uso de pesticidas, se aplican de manera selectiva y responsable. Se utilizan productos químicos con baja toxicidad para los organismos no objetivo, y se aplican en dosis precisas y en momentos específicos para minimizar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

6. Control genético: Este enfoque implica la modificación genética de los organismos para hacerlos más resistentes a las plagas o interrumpir su ciclo de vida. Puede incluir la cría selectiva de cultivos resistentes o el uso de organismos genéticamente modificados (OGM) para controlar plagas específicas.

La clave del éxito del MIP es la integración y combinación adecuada de estos métodos, adaptándolos a las condiciones específicas de cada cultivo y entorno. La diversificación de estrategias de control y la reducción de la dependencia de un solo método contribuyen a un control más efectivo y sostenible de las plagas.

LEGISLACION VIGENTE

<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/uso-sostenible-de-productos-fitosanitarios/default.aspx>

La Directiva 2009/128/EC pretende la consecución del uso sostenible de productos fitosanitarios reduciendo sus riesgos y efectos para la salud humana y el medioambiente, y la promoción de la Gestión Integrada de Plagas y los métodos y técnicas alternativas, como los medios de control no químicos.

La Directiva fue transpuesta al ordenamiento nacional a partir de los Reales Decretos 1702/2011 de inspecciones periódicas de los equipos de aplicación de productos fitosanitarios, y el Real Decreto 1311/2012 por el que se establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios.

Además, se elaboró un Plan de Acción Nacional que englobaba todas las actuaciones realizadas para la consecución de los objetivos de la Directiva por los organismos competentes. Su periodo de vigencia finalizó el 31 de diciembre de 2017, por lo que fue necesaria su revisión y actualización. En los siguientes enlaces se puede descargar el PAN 2013-2017 y sus informes anuales de ejecución (de acuerdo a lo establecido en los artículos 7 y 9.3 del Real Decreto 1311/2012):

El Plan de Acción Nacional 2018-2022 sobre el uso sostenible de los productos fitosanitarios fue elaborado teniendo en consideración los resultados del anterior Plan 2013-17, los informes anuales y sus indicadores, las recomendaciones de la Comisión Europea y, por supuesto, los comentarios del sector. Fue aprobado por la Comisión Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural de 23 de noviembre de 2017.

El nuevo Plan de Acción Nacional 2023-2024 sobre el uso sostenible de los productos fitosanitarios ha sido elaborado teniendo en consideración los resultados del anterior Plan 2018-22, los informes anuales y sus indicadores, las recomendaciones de la Comisión Europea y, por supuesto, los comentarios del sector. Este nuevo Plan de Acción ha sido igualmente elaborado teniendo en cuenta que, en el momento de su aprobación, la normativa de uso sostenible de productos fitosanitarios está en discusión a nivel de la Unión Europea, y tras la finalización de estos debates este Plan de Acción deberá ser modificado en profundidad, es por ello que se plantea un periodo de vigencia del Plan de tan solo 2 años. Fue aprobado por la Conferencia Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural el 5 de diciembre de 2022.


GUIAS GESTION INTEGRADA DE PLAGAS

Las Guías de Manejo Integrado de Plagas (GIP) son documentos o manuales que proporcionan información detallada sobre estrategias y técnicas para implementar un enfoque de manejo integrado de plagas de manera efectiva y sostenible en la agricultura. Estas guías están diseñadas para ayudar a los agricultores, asesores agrícolas, investigadores y profesionales del campo a aplicar prácticas que reduzcan la dependencia de los plaguicidas químicos y promuevan estrategias más equilibradas y respetuosas con el medio ambiente.

Hay un total de 44 guías, agrupadas en 9 grupos según tipos de cultivo.

- Grupo viñedo
 - Guía GIP uva vinificación
 - Guía GIP uva mesa
- Grupo cultivos herbáceos
 - Guía GIP Cereales
 - Guía GIP Maíz
 - Guía GIP Arroz
 - Guía GIP Leguminosas
 - Guía GIP Alfalfa
- Grupo industriales
 - Guía GIP Patata
 - Guía GIP Girasol
 - Guía GIP Tabaco
 - Guía GIP Algodón
 - Guía GIP Remolacha
 - Guía GIP Lúpulo
- Grupo frutales no cítricos
 - Guía GIP Frutales de pepita
 - Guía GIP Frutales de hueso
 - Guía GIP Almendro
 - Guía GIP Avellano
 - Guía GIP Kiwi
- Guía GIP Pistacho
- Guía GIP Castaño
- Guía GIP Nogal
- Grupo hortícolas
 - Guía GIP Brassicas
 - Guía GIP Champiñón y setas
 - Guía GIP Hortícolas de hoja
 - Guía GIP Liliáceas
 - Guía GIP Fresa y fresón
 - Guía GIP Alcachofa y cardo
 - Guía GIP Solanáceas
 - Guía GIP Esparrago
 - Guía GIP Cucurbitáceas
- Grupo Forestales
 - Guía GIP Quercus
 - Guía GIP Frondosas
 - Guía GIP Eucalipto
 - Guía GIP Coníferas
- Grupo Pastos
- Usos no agrarios
 - Guía GIP Parques y Jardines
 - Redes de servicio

La estructura de las guías es siempre la misma:

	ÍNDICE	
	1. INTRODUCCIÓN	5
	2. ASPECTOS GENERALES	9
	3. PRINCIPIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE PLAGAS	13
	4. MEDIDAS ESPECÍFICAS PARA ZONAS DE PROTECCIÓN	17
	5. LISTADO DE PLAGAS	21
	6. CUADRO DE ESTRATEGIA DE GESTIÓN INTEGRADA DE PLAGAS	25
	ANEXO I. Metodología empleada para la definición de las Zonas de Protección	33
	ANEXO II. Especies empleadas para la definición de las Zonas de Protección	37
	ANEXO III. Fichas de plagas	41

5. TEMA 5. EFICIENCIA EN LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES NITROGENADOS – MITIGACIÓN

El objetivo general del tema es proporcionar a los participantes los conocimientos básicos necesarios para realizar planes de abonado racionales para cada parcela/cultivo. La motivación es variada ya que se pretende:

1. Optimizar la utilización de fertilizantes nitrogenados permitiendo ajustar las dosis y reducir los costes de producción.
2. Disminuir las pérdidas de nitrógeno de las parcelas de cultivo en sus distintas formas (lavado, emisiones de gases de efecto invernadero, amoníaco), con lo que se consigue disminuir el impacto negativo de los sistemas agrarios sobre el medio ambiente cercano y la atmósfera.

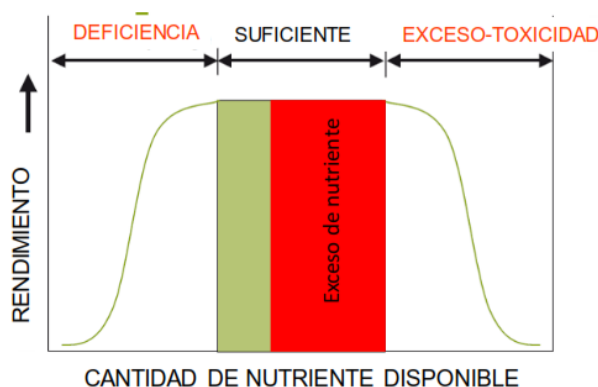
Para ello, se explicarán los siguientes apartados:

1. Problemas asociados a la falta de eficiencia de los sistemas agrarios.
2. Nutrientes esenciales y su absorción por las plantas.
3. Conceptos generales de suelos: textura, estructura, pH, salinidad, fertilidad, materia orgánica, capacidad de retención de agua, infiltración.
4. Cálculo de las necesidades de fertilización de los cultivos. Ilustrar mediante varios cultivos tipo dependiendo de la zona, un cultivo extensivo (p. ej. maíz) y otro leñoso (p. ej. Melocotonero).
5. Aplicación de fertilizantes. Tipos de maquinaria disponible, sistemas de regulación.
6. Fertirriego. Equipos básicos y modo de utilización.

5.1 INTRODUCCIÓN

Para conseguir la eficiencia en la aplicación de fertilizantes, es necesario conocer:

- El estado de fertilidad del suelo al inicio de la campaña. Cuando los valores están por debajo del óptimo de referencia, indica que la fertilización mejorará el estado nutricional del cultivo, pero no informa de la magnitud de la respuesta, pues esta depende de la eficiencia de la aplicación de los fertilizantes.
- Conocer los nutrientes esenciales (17) y dentro de estos, los macronutrientes (5) entre ellos el Nitrógeno, y micronutrientes.
- La relación entre la cantidad de nutriente disponible y el rendimiento de los cultivos



Los nutrientes son absorbidos por las plantas a través de las raíces desde el suelo, o el medio de cultivo en el que se encuentran. La falta o el exceso de ciertos nutrientes puede afectar negativamente en el crecimiento y la salud de las plantas, por lo que es fundamental proporcionar un equilibrio adecuado de nutrientes para un desarrollo óptimo. Los fertilizantes se utilizan para suplir las deficiencias de nutrientes en el suelo, y garantizar que las plantas reciban los elementos esenciales que necesitan para prosperar.

- La eficiencia en la aplicación de fertilizantes es fundamental para optimizar el uso de recursos, reducir costes y minimizar impactos ambientales.
- Existen numerosos factores que pueden influir en la eficacia de los tratamientos, pudiéndose establecer cuatro grupos principales:
 1. Factores biológicos
 2. Factores ambientales
 3. Factores técnicos
 4. Factores del cultivo



5.2 EL SUELO

El suelo es un componente vital de los ecosistemas terrestres y desempeña un papel fundamental en el soporte de la vida. Aunque no es un organismo vivo en sí mismo, es un ecosistema dinámico que alberga una amplia variedad de organismos vivos y desempeña funciones cruciales para el mantenimiento de la vida en la Tierra.

Algunos aspectos que podrían considerarse para pensar en el suelo como un "ente vivo" incluyen:

- **Microorganismos:** El suelo está lleno de vida microbiana, que incluye bacterias, hongos, virus y otros microorganismos. Estos microorganismos descomponen materia orgánica, liberan nutrientes esenciales para las plantas y participan en procesos biogeoquímicos que son fundamentales para la salud del suelo.
- **Ciclos Biogeoquímicos:** El suelo participa en varios ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo, entre otros. Estos ciclos implican interacciones entre componentes bióticos (organismos vivos) y abióticos (elementos químicos y procesos físicos) del suelo.
- **Estructura y Textura:** La estructura del suelo, que se refiere a cómo se agrupan las partículas del suelo, y su textura, que se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla, afectan la capacidad del suelo para retener agua, nutrientes y proporcionar soporte para las plantas.
- **Ciclo del Agua:** El suelo juega un papel crucial en el ciclo del agua al actuar como un reservorio temporal para el agua de lluvia y liberar gradualmente el agua a los cuerpos de agua o absorberla para el crecimiento de las plantas.
- **Hábitat para la Vida:** El suelo sirve como hábitat para una variedad de organismos, desde insectos hasta pequeños mamíferos. Además, las raíces de las plantas crean una red compleja en el suelo que contribuye a la estructura y la salud general del suelo.

En resumen, aunque el suelo no es un organismo vivo en sí mismo, es un componente esencial y dinámico de los ecosistemas terrestres que sustenta la vida al albergar una comunidad diversa de organismos y participar en procesos biogeoquímicos fundamentales. Considerar el suelo como un "ente vivo" destaca su importancia en la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres.

Conceptos generales

- a. **Textura y Estructura:** La estructura del suelo, que se refiere a cómo se agrupan las partículas del suelo, y su textura, que se refiere a la proporción de arena, limo y arcilla, afectan la capacidad del suelo para retener agua, nutrientes y proporcionar soporte para las plantas.
- b. **pH:** El pH del suelo es una medida que indica la acidez o alcalinidad del suelo. Es una escala logarítmica que va de 0 a 14, donde 7 es neutro. Valores por debajo de 7 indican un suelo ácido, mientras que valores por encima de 7 indican un suelo alcalino o básico. El rango de pH del suelo tiene importantes implicaciones para la disponibilidad de nutrientes y la salud de las plantas. Aquí hay algunas características asociadas con diferentes rangos de pH:
 - Ácido (pH < 7):** Suelos ácidos son comunes en áreas con mucha lluvia y descomposición de materia orgánica. Nutrientes como el aluminio, hierro y manganeso pueden volverse más disponibles, pero otros nutrientes esenciales pueden volverse menos disponibles.
 - Neutro (pH = 7):** Suelo neutro es ideal para muchas plantas de jardín y cultivos, ya que la mayoría de los nutrientes están fácilmente disponibles en este rango.

Alcalino o Básico (pH > 7): Suelos alcalinos son comunes en áreas con clima seco. Puede haber problemas de disponibilidad de ciertos nutrientes, como el hierro, zinc y fósforo, en suelos alcalinos.

La mayoría de las plantas prefieren un rango de pH específico para un crecimiento óptimo. Por lo tanto, es importante conocer el pH del suelo y, si es necesario, ajustarlo para proporcionar un entorno más favorable para el desarrollo de las plantas. Esto se puede hacer mediante la aplicación de enmiendas alcalinas o ácidas según sea necesario.

- c. **Salinidad:** La salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales solubles en el suelo y es un factor importante que afecta la calidad del suelo y la capacidad de las plantas para crecer de manera saludable. Cuando la concentración de sales en el suelo es alta, puede tener efectos adversos en las plantas, ya que las sales en exceso pueden afectar la disponibilidad de agua y nutrientes. Aquí hay algunos aspectos clave relacionados con la salinidad del suelo:

Causas de la Salinidad: La salinidad del suelo puede deberse a factores naturales, como la descomposición de minerales ricos en sales. También puede ser causada por prácticas humanas, como el riego excesivo o el uso de agua con alto contenido de sales.

Efectos en las Plantas: Las altas concentraciones de sales en el suelo pueden reducir la capacidad de las plantas para absorber agua, ya que el agua en el suelo con alta salinidad tiene un menor potencial hídrico. La salinidad también puede interferir con la capacidad de las plantas para tomar nutrientes esenciales, lo que puede provocar deficiencias nutricionales.

Síntomas en las Plantas: Las plantas afectadas por la salinidad del suelo pueden mostrar síntomas como marchitamiento, hojas amarillas, y en casos extremos, la muerte de la planta. La salinidad puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos y la calidad de los productos.

Medición de la Salinidad: La salinidad del suelo se mide comúnmente mediante la conductividad eléctrica del suelo, ya que las sales conducen la electricidad. La medición se expresa generalmente en términos de dS/m o en mmho/cm.

Manejo de la Salinidad: El manejo de la salinidad del suelo puede incluir prácticas como el drenaje adecuado para eliminar el exceso de agua y sales, la aplicación de enmiendas para mejorar la estructura del suelo, y el uso de agua de riego con bajos niveles de sal.

En resumen, la salinidad del suelo es un factor crítico que puede afectar la salud y el crecimiento de las plantas. Un monitoreo regular y prácticas de manejo adecuadas son fundamentales para minimizar los efectos negativos de la salinidad en los suelos agrícolas y en los entornos donde se cultivan plantas.

- d. **Fertilidad:** La fertilidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para proporcionar los nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento saludable de las plantas. Un suelo fértil es aquel que contiene una cantidad adecuada y equilibrada de nutrientes necesarios para sustentar la vida vegetal.

- e. **Materia orgánica.** La materia orgánica del suelo se compone de materiales de origen vegetal o animal en diversos estados de descomposición. Estos materiales son esenciales para la fertilidad del suelo y la salud general del ecosistema.
- f. **Capacidad de retención.** La capacidad de retención del suelo se refiere a la capacidad de un tipo de suelo para retener agua y nutrientes, haciéndolos disponibles para las plantas. Este es un factor crítico que influye en la salud de las plantas y en la productividad agrícola. La capacidad de retención del suelo está determinada por varios factores, incluyendo la textura del suelo, la estructura del mismo, el contenido de materia orgánica y otros componentes.
- g. **Infiltración.** La infiltración de agua en el suelo es el proceso por el cual el agua, generalmente en forma de lluvia o riego, penetra en la superficie del suelo y se mueve hacia las capas subsuperficiales. Este proceso es fundamental para la recarga de los acuíferos, la disponibilidad de agua para las plantas y la prevención de la escorrentía superficial.

5.3 TIPO DE NUTRIENTES

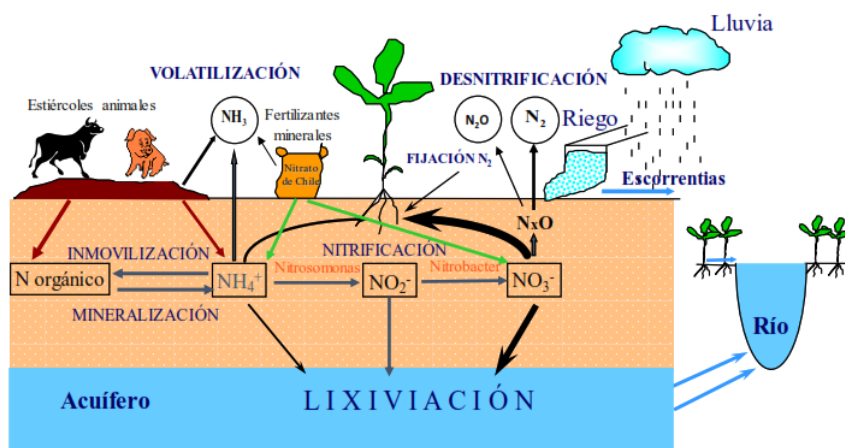
Las plantas requieren una serie de nutrientes esenciales para crecer y desarrollarse de manera adecuada. Estos nutrientes se dividen en:

- Macronutrientes, son esenciales para el desarrollo de la planta (N, P, K,)
- Microelementos, son nutrientes que, aun siendo esenciales, las plantas los utilizan en cantidades relativamente bajas (Fe, Mn, Cu, Zn).

Estos pueden resultar tóxicos, dependiendo de la susceptibilidad de la planta, y dosis.

El Nitrógeno

El nitrógeno (N) en el suelo se encuentra principalmente en forma orgánica, no asimilable por los cultivos. Los microorganismos lo transforman en formas minerales asimilables, amonio y nitrato. Esta última forma es muy soluble y móvil en el suelo y es arrastrado por percolación con las aguas de drenaje. Es importante conocer el ritmo de mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), dado que es una fuente importante de N para la planta.



El ciclo del nitrógeno consta de distintos procesos tales como mineralización (amonificación), inmovilización, nitrificación, fijación biológica o asimilación, desnitrificación, pérdidas por escorrentía, pérdidas por lavado, volatilización, y absorción por parte de los cultivos. A continuación, se describen dichos procesos y sus características más relevantes en los suelos de sistemas agrarios.

1. **Amonificación:** Es el proceso por el cual los compuestos nitrogenados encontrados en el suelo, productos de la descomposición de materiales orgánicos complejos tales como proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos, son degradados a compuestos simples por la acción de los organismos que habitan el suelo, principalmente bacterias y hongos. Estos microorganismos metabolizan estos compuestos y liberan el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco o ion amonio. Es decir, la amonificación es la conversión del N que en la materia viva aparece principalmente como grupos amino (-NH₂) o imino (-NH-) a ion amonio.
2. **Inmovilización:** Es el proceso contrario a la mineralización. El amonio o las formas nítricas se transforman en materia orgánica microbiana.
3. **Mineralización-inmovilización:** Dado que dichos procesos ocurren de forma simultánea y resulta muy difícil separarlos entre sí, se define al balance entre ambos como Mineralización neta (kg N ha⁻¹ por unidad de tiempo). Factores que la afectan:
 - % MOS: En principio a mayor contenido, mayor tasa de mineralización.
 - Temperatura, Humedad del suelo (Figura 4)
 - Relación C/N residuos aplicados
 - C/N suelos agrícolas: 10-12
4. **Nitrificación:** Proceso por el cual varias especies de bacterias comunes en los suelos son capaces de oxidar el amoníaco o el ion amonio. Es un proceso generador de energía, y la energía liberada es utilizada por estas bacterias como fuente de energía primaria. Un grupo de bacterias oxida el amoníaco o ion amonio a nitrito y, luego, otro grupo lo oxida a nitrato. No se conoce ningún quimiolitótrofo que lleve a cabo la oxidación completa de amonio a nitrato; por ello, la nitrificación en la naturaleza resulta de la acción secuencial de dos grupos separados de organismos, como se ha citado anteriormente: las bacterias oxidantes de amoníaco o nitrosificantes y las bacterias oxidantes de nitritos, las verdaderas bacterias nitrificantes.
5. **Desnitrificación:** es la conversión del ion nitrato en nitrógeno gaseoso (N₂) o en óxidos de nitrógeno, también gaseosos, que pasan a la atmósfera. Es un proceso de pérdida de N del suelo. Químicamente el proceso es el siguiente:
Se trata de un proceso microbiano (fundamentalmente realizado por bacterias) que utilizan el nitrato en lugar del oxígeno como receptor de electrones en su respiración. Por ello, es un proceso importante en suelos saturados o encharcados. En suelos bien drenados puede suceder en determinadas zonas de los agregados en las que exista un déficit de oxígeno.
6. **Volatilización:** es la pérdida de nitrógeno en forma de amoníaco gaseoso desde el suelo a la atmósfera. Esto ocurre porque el amonio del suelo se transforma en amoníaco que es un gas volátil. Condiciones que favorecen la volatilización:
 - Aplicaciones en superficie, sin incorporación mediante labor o inyección.
 - Fertilizantes con contenidos altos de urea o amonio.
 - pH del suelo alcalino, superior a 7.
 - Capacidad de intercambio catiónico del suelo baja, condiciones atmosféricas de sequía.

- Los estiércoles líquidos como el purín porcino presentan un riesgo muy alto de pérdidas por volatilización en función de su manejo.

7. Asimilación: Los organismos autótrofos requieren típicamente un suministro de N en forma de nitrato (NO_3^-), mientras que los heterótrofos lo necesitan en forma de grupos amino ($-\text{NH}_2$). Los autótrofos reducen el nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-) a grupos amino, reducidos (asimilación).
8. Fijación biológica de N: Es la incorporación del nitrógeno gaseoso de la atmósfera a las plantas gracias a la acción de algunos microorganismos del suelo (diazótrofos) que disponen de la enzima nitrogenasa, principalmente son bacterias simbióticas como las del género *Rhizobium* que forman nódulos en las raíces de las leguminosas.

La cantidad de N que pueden fijar las bacterias depende de factores tanto genéticos como medioambientales:

- Especie de cultivo y tipo de bacteria fijadora
- N disponible en el suelo (Al aumentar el N disponible, disminuye el N fijado).
- Manejo del cultivo
- Humedad del suelo / características químicas del suelo

El fósforo y resto de elementos asimilables

El fósforo (P) es un macroelemento esencial limitante. Es uno de los tres principales nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas, junto con el nitrógeno y el potasio. Se caracteriza por:

- Ser deficiente en los suelos
- Su tendencia a formar compuestos insolubles con muchos cationes

Interviene en la actividad metabólica de las plantas, la cual depende de la temperatura y, por lo tanto, su concentración puede ser muy variable.

Importante seguir las recomendaciones de aplicación en función de las **necesidades específicas de las plantas y del tipo de suelo**. El exceso puede lixiviar y contaminar masas de agua cercanas.

Los niveles óptimos de nutrientes dependen, evidentemente, del tipo de cultivo y sistema de explotación que se realice.

5.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ABSORCIÓN

En la absorción de nutrientes influyen factores relacionados con el suelo (textura, porcentaje de O_2 , pH...), de la planta (genética, estado fenológico, sanidad vegetal...), del clima (temperatura, humedad, luz) y de las interacciones iónicas de las sustancias que se encuentran en la disolución del suelo. Se distinguen dos tipos de efectos:

- Antagonismo: Cuando incrementar el contenido de un elemento provoca el déficit de otro, ejemplos: Na/Ca, K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, P/Zn, Mn/Fe, etc.
- Sinergismo: El incremento en la absorción de un elemento provoca también un incremento en la de otro, ejemplos: N/K, P/Mo.

Dos elementos pueden comportarse como sinérgicos o antagónicos en función de sus proporciones relativas.

5.5 TIPOS DE FERTILIZANTES

Un fertilizante es una sustancia o mezcla de sustancias que se aplican para garantizar que las plantas tengan acceso a los nutrientes necesarios para realizar funciones vitales, como la fotosíntesis, la formación de proteínas y el desarrollo de estructuras como raíces, tallos, hojas, flores y frutas.

Existen diferentes tipos de fertilizantes, que se clasifican según los nutrientes que contienen y su forma de presentación.

La aplicación de fertilizantes es una práctica común para aumentar la productividad de los cultivos. Sin embargo, es importante el **uso responsable**, para evitar impactos negativos en el medio ambiente.

Tipos de fertilizantes nitrogenados y maquinaria de aplicación

Se pueden clasificar en dos grandes grupos, los abonos químicos y los de origen orgánico. Los abonos químicos incluyen los abonos, generalmente de síntesis, que presentan mayoritariamente formas minerales de N. Los abonos orgánicos pueden incluir formas orgánicas o minerales, dependiendo de su origen.

- **Fertilizantes químicos convencionales**

Abonos con N exclusivamente nítrico (NO_3^-)

- Inmediatamente asimilable.
- Móvil y expuesto a lavado en presencia de excedentes hídricos.
- Momentos de mayor absorción, cobertera y en dosis fraccionadas.

Abonos con N exclusivamente amoniacal (NH_4^+)

- Son retenidos por el suelo y no son fácilmente lavables.
- Precisan transformación a nitrato para su absorción más rápida por la planta.
- Acción algo más lenta y condicionada a la actividad microbiana.
- Abonos con N nítrico y amoniacal.
- Buena combinación para los cultivos.

Abonos con N ureico ($\text{CO}(\text{NH})_2$)

- Deben transformarse en amoniacal; algo más retardados que los amoniacales, pero rápidos en condiciones con cierta humedad y temperatura.
- Son muy solubles en agua y móviles en el suelo

- **Fertilizantes con inhibidores de actividades enzimáticas**

Incluyen en su composición sustancias que inhiben procesos microbianos o enzimáticos

Inhibidores de la nitrificación:

- DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate), DMPSA (2-(3,4-dimetil pirazol) ácido succínico), DCD (diciandiamida), nitrapirina (no permitido en Europa).
- Persistencia variable en función de textura, humedad, MO, temperatura.
- Actúan inhibiendo la enzima amonio mono-oxigenasa, que controla el paso de amonio a nitrito.
- Efectos positivos para reducir las pérdidas de N por lavado, y las emisiones de óxido nitroso.
- Aumenta la nutrición amoniacal, disminuyendo el pH de la rizosfera.

Inhibidores de la ureasa:

- El más conocido y extendido, por llevar más tiempo en el mercado, es el NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide). Se han hecho numerosos estudios acerca del mismo y su efecto inhibidor está demostrado.
- Ralentizan la conversión de urea a amonio.
- Se ha demostrado (NBPT) su efecto positivo para reducir de forma significativa la volatilización de amoniaco en urea y junto a estiércoles líquidos (porcino y bovino).
- Resultados menos consistentes acerca del efecto del NBPT para reducir las emisiones de N₂O.
- Mayor persistencia del NBPT en suelos alcalinos que en suelos ácidos.

- **Fertilizantes orgánicos**

Su principal característica es la composición orgánica del N, en un alto porcentaje. Mayoritariamente proceden de deyecciones animales, pero también pueden derivar de procesos de depuración (lodos de depuradora) o reciclaje (composts).

La mineralización de los nutrientes contenidos en los mismos depende de la temperatura, humedad del suelo, propiedades del suelo, tipo de estiércol, manejo del ganado, y actividad microbiana del suelo. La disponibilidad del N es muy variable. Generalmente, la disponibilidad del fósforo es muy elevada (70%) y la del potasio es próxima al 100%. Un 40% de los micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu, B) se consideran disponibles para el cultivo de forma rápida.

Debido a su distinta composición, incluso entre los que tienen el mismo origen, resulta muy complejo predecir de forma precisa cómo y cuándo se produce la mineralización (liberación) del N. Algunas particularidades dependiendo de su origen:

- Estiércol bovino: Compuesto de lenta degradabilidad. Función estructural. Aproximadamente se libera un 30% del N el primer año.
- Estiércol ovino: Alta riqueza de N. Persistencia en el suelo de hasta 3 años.
- Gallinaza: Casi la totalidad del N está disponible el primer año. Escaso efecto residual.
- Purín porcino: Aproximadamente el 70% es amoniacal, cierto efecto residual. Elevadas pérdidas por volatilización en función del manejo.
- Compost: Producto de propiedades y comportamiento similar al estiércol bovino.
- Lodos de depuradora: Elevado contenido en materia orgánica, nitrógeno, y fósforo. Pueden ser tratados, deshidratados o compostados. Evitar excesivas aplicaciones continuadas para evitar acumulación de fósforo, cobre y zinc. Efecto residual del N hasta el tercer o cuarto año desde la aplicación.

Maquinaria

Existe numerosa literatura que describe las distintas opciones de maquinaria para la aplicación de fertilizantes. Una revisión detallada se puede encontrar en la página web del MAPA.

Los elementos básicos de una abonadora son los siguientes:

- Tolva o depósito para almacenar el fertilizante.
- Sistema de distribución: desplaza el abono desde la tolva hasta la zona de dosificación.
- Dosificador: Elemento que se ocupa de determinar la cantidad de abono que cae de la tolva para ser distribuido.
- Accionamiento: Puede ser a partir de una rueda del tractor, la toma de fuerza, o a partir de las ruedas de la misma máquina.

Básicamente, existen 3 tipos de abonadoras para abono granular sólido según el sistema de distribución: por gravedad, centrífugas, y neumáticas. Las máquinas por gravedad ya están prácticamente en desuso debido a la escasa anchura de trabajo.

- Las máquinas centrífugas constan de un disco distribuidor giratorio, acoplado a la toma de fuerza, que es el que aplica el abono en distintas anchuras.
- En las abonadoras neumáticas el abono extraído de la tolva es canalizado hacia una tubería que se desplaza por una corriente de aire generada por un ventilador. La salida termina en un difusor que proyecta el fertilizante en distintas direcciones. La distribución adopta formas trapezoidales lo que mejora la uniformidad en la distribución, con independencia del tipo de fertilizante.
- Las máquinas de distribución proporcional (distribución controlada por el avance de la rueda) al avance son sencillas y permiten buena uniformidad.

- Para estiércoles líquidos (purines) son obligatorias las máquinas con tubos colgantes o de inyección. Las máquinas de inyección presentan el inconveniente de que precisan tractores de mayor potencia y la anchura de trabajo es mucho menor que la de tubos colgantes, por lo que su uso no está extendido. Las aplicaciones mediante el sistema de abanico no están permitidas.

Hay que señalar que actualmente existen máquinas avanzadas que permiten la dosificación variable de fertilizante para realizar agricultura de precisión en función de un mapa georreferenciado de prescripciones nutricionales.

5.6 TIPOS DE APLICACIÓN. FERTIRRIEGO

Consiste en abonar con los fertilizantes disueltos en el agua de riego, distribuyéndolos uniformemente a través del sistema de riego localizado. Técnica compleja y eficiente, entendiéndose que las plantas utilizan agua y nutrientes en forma diaria, de manera continua y creciente a medida que avanza su ciclo de desarrollo, lo cual respetará su metabolismo y potenciará su productividad.

Ventajas

Las principales ventajas del fertirriego sobre el abonado tradicional son las siguientes:

- El agua y los nutrientes se aplican directamente al sistema radicular del cultivo.
- Al estar disueltos en agua, la planta absorbe los nutrientes más rápidamente.
- Los nutrientes se aportan en el momento adecuado y en su cantidad exacta.
- Se aprovecha el sistema de riego ya instalado para el reparto de abono. Por tanto, se ahorra el trabajo de repartirlo.
- En caso de existir alguna carencia nutricional del cultivo, se puede corregir de manera rápida y efectiva.
- Ahorro de agua y nutrientes y automatización de la fertilización.

Inconvenientes

La mezcla formada por el agua y los fertilizantes no debe superar los 3 dS/m de conductividad eléctrica con el fin de reducir el riesgo de salinización del suelo, aunque conviene recordar que no es lo mismo un tipo de sales, como el cloruro sódico, que otro, como el sulfato cálcico o yeso (Moya Talens, 2017).

La acumulación de sales, procedentes de los abonos y del agua, en la periferia del bulbo húmedo, en climas desérticos, sin lluvias copiosas y prolongadas, puede llegar a formar una costra imposible de atravesar por las raíces, por lo que resulta necesario solapar estos bulbos.

Otros posibles inconvenientes de esta técnica son el coste inicial de la infraestructura, la obturación de goteros y la necesidad de formación para manejar eficientemente el sistema (Hirzel, 2009).

5.6.1 Equipamiento para el fertirriego

Existe una amplia gama de elementos para fertirriego, pero la elección del sistema más adecuado a las condiciones particulares de cada instalación repercutirá en una mayor eficiencia de los fertilizantes aportados, optimizando su potencial de producción.

En cuanto a la instalación:

- En sistemas de riego presurizados, la presión de inyección de la solución fertilizante debe ser mayor que la presión interna.
- Un filtro que prevenga el taponamiento de los emisores por partículas sólidas que puedan llegar al emisor.
- Una válvula que prevenga el retroflujo.

En cuanto a los fertilizantes:

- Solubilidad de los fertilizantes en el agua de riego, que contiene constituyentes químicos que pueden interactuar con los fertilizantes disueltos, provocando efectos indeseados.
- El grado de acidez de los fertilizantes en la solución debe considerarse en relación con su corrosividad respecto a los componentes del sistema de riego.
- La elección del equipo de fertirriego debe tener en cuenta tanto los requerimientos del cultivo como la capacidad del sistema de riego (Kafkaki y Tarchitzky, 2012).

5.6.2 Calidad de agua y fertirriego

En los sistemas de riego por inundación, surcos o aspersión, normalmente se aplica el agua en grandes cantidades y con intervalos de varios días o semanas entre turnos de riego. Por el contrario, los sistemas de riego por goteo (en superficie o enterrado, microaspersión o microjet) se caracterizan por intervalos más cortos, que duran horas o pocos días, emitiendo cantidades de agua relativamente bajas por unidad de tiempo desde cada emisor. Por ello, se debe considerar lo siguiente respecto a la relación entre el sistema radicular del cultivo y el suelo en fertirriego de alta frecuencia:

- Se ocupa solo un 30%-40% del volumen total de suelo.
- El aporte de nutrientes por el suelo es mucho menor y se debe considerar el aporte a través del agua de riego.
- El sistema radicular está expuesto a un suministro continuo de sales.
- Las sales que entran en el bulbo húmedo difícilmente son desplazadas a gran distancia del sistema radicular. El lavado de sales se realiza con riegos largos sin fertilizante.

Por todo ello, es relevante conocer la calidad del agua de riego, ya que nos indica la conveniencia o limitación para el uso de esa agua para fines de riego de cultivos. Para determinar la calidad del agua de riego se analizan diversas propiedades fisicoquímicas (Tabla 38). Además de estas características, la calidad del agua depende de los problemas potenciales que puede ocasionar a los cultivos, a los suelos y a los sistemas de riego, dando lugar al uso condicionado del agua de riego, dependiendo del cultivo y del suelo específico que se trate (Hirzel, 2009).

5.6.3 Preparación de soluciones

La solución de riego debe obedecer a un rango de pH (entre 5,5 y 6,5) y conductividad eléctrica (idealmente menor a 1,5 dS/m) para asegurar la completa disponibilidad de nutrientes y una concentración de sales que no provoque daños al cultivo. Para que la solución nutritiva cumpla estas características, se debe conocer la ficha técnica de cada fertilizante a usar (solubilidad, pH y conductividad eléctrica a distintas concentraciones,

grado de pureza), o disponer de un pH-metro y un conductímetro para determinar estas propiedades (Hirzel, 2009).

Al preparar la Solución Madre se debe tener cuidado de no mezclar productos que precipiten. Una opción es utilizar productos formulados desde fábrica como mezclas N-P-K, que aseguren el buen funcionamiento del sistema.

Los pasos para preparar una solución fertilizante son los siguientes:

1. Determinar la demanda del cultivo.
2. Calcular la proporción de los diferentes fertilizantes a utilizar, de acuerdo con el requerimiento de nutrientes para el período (fenología).
3. Suministro del suelo.
4. Calidad del agua de riego.
5. Verificar la compatibilidad de los fertilizantes disponibles.
6. Verificar la solubilidad y preparación de la Solución Madre.
7. Calcular la conductividad eléctrica resultante.
8. Conocer el pH resultante.
9. En caso necesario, calcular la cantidad de ácido necesaria para neutralizar los bicarbonatos o bajar el pH.
10. Concentración agua de riego.
11. Calcular la tasa de inyección.

Una vez determinado el tipo de fertilizante y la cantidad necesaria según el cultivo (ver secciones dedicadas al cálculo de la dosis de abonado), se prepara la solución en un recipiente siguiendo estos pasos:

1. Agregue agua a un balde hasta la mitad del total de solución a preparar.
2. Añada el fertilizante.
3. Agite vigorosamente hasta que todo el producto se disuelva.
4. Añada agua hasta completar el volumen deseado y agite nuevamente.
5. Inyecte la solución al sistema de riego.

Se recomienda tener 4 tanques para preparar las disoluciones de fertilizantes, dependiendo de los elementos a inyectar:

- Tanque 1: N – P – K.
- Tanque 2: Ca – Mg
- Tanque 3: Microelementos (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo).
- Tanque 4: Ácidos (nítrico, fosfórico, sulfhídrico, clorhídrico).

5.6.4 Concentración de fertilizantes en el agua de riego

Para obtener el mayor beneficio del sistema es aconsejable aplicar fertilizantes en cada riego. Esta práctica permite trabajar con concentraciones finales muy bajas en la solución de fertirriego, con lo cual se evitan, por una parte, los riesgos de toxicidad por exceso de sales, y, por otra parte, sobrepasar el grado de solubilidad de los fertilizantes.

La solución final de fertirriego debe cumplir dos características esenciales:

- Conductividad eléctrica menor a un valor determinado (medida con un conductivímetro, u obtenida de la ficha técnica del fertilizante soluble).
- pH entre 5,5 y 6,5.

La conductividad eléctrica es una propiedad que tienen las soluciones de agua con sales disueltas, que tiene relación con la capacidad de conducir la electricidad, siendo mayor cuando aumenta la cantidad de sales disueltas. En la medida que la conductividad eléctrica aumenta, las plantas serán más susceptibles a sufrir daños por exceso de sales. Así, la conductividad eléctrica permite tener una idea de la calidad del agua de riego.

El pH de la solución da un índice de la disponibilidad de los nutrientes entregados. Así, cuando el pH es mayor a 7,0 disminuye la disponibilidad de microelementos. Por otra parte, cuando el pH es inferior a 5,0 baja la disponibilidad del fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Además de la preparación de mezclas de fertilizantes en el campo, existe la posibilidad de usar mezclas comerciales, las cuales tienen las siguientes ventajas (Hirzel, 2009):

- Pueden contener una amplia cantidad de elementos compatibles entre sí.
- Las fuentes fertilizantes usadas en la elaboración de cada mezcla cumplen con ciertas características de calidad.
- Cada producto cuenta con una ficha técnica que indica solubilidad en agua a una temperatura dada, pH y CE a cierta concentración.
- El pH logrado en solución se encuentra dentro del rango óptimo para la mayoría de los cultivos.
- El sistema de fertirriego implementado podría contar con sólo un estanque para preparar soluciones madres.
- La aplicación de fertilizantes que contengan calcio y magnesio se puede realizar en riegos separados, o durante los mismos riegos, siempre que se preparen en un segundo tanque.
- Se facilita la práctica del fertirriego, puesto que se evita la preparación de mezclas.

5.7 COMPATIBILIDAD DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes son sales y, en contacto con el agua, se disocian formando iones (aniones y cationes) que pueden interactuar en la solución y precipitar (formando compuestos insolubles), con el consiguiente riesgo de no estar disponibles para las raíces o con alto riesgo de taponar emisores, disminuyendo consecuentemente la eficiencia de aplicación de los nutrientes (Hirzel, 2009). A este respecto, cuando se mezclan fuentes de fertilizantes simples, el primer aspecto que debe considerarse es que los ingredientes de la mezcla sean químicamente compatibles.

Cuando un tipo de fertilizante o más son preparados y mezclados por el agricultor, o en la línea de riego (en menor medida), debe chequearse la compatibilidad entre ellos (Tabla 35). Normalmente deben tomarse en cuenta algunas precauciones básicas (Kafkaki y Tarchitzky, 2012):

- Asegurarse de que los fertilizantes que se van a usar sean compatibles para prevenir la precipitación. Evitar especialmente mezclar soluciones fertilizantes que contengan calcio con soluciones que contengan fosfatos o sulfatos cuando el pH en la solución no sea suficientemente ácido.

- Corroborar la solubilidad y la precipitación potencial con la composición química del agua local. Antes de usar un nuevo fertilizante, mezclar 50 mL de la solución fertilizante con 1 litro del agua de riego y observar la precipitación dentro de las 1 a 2 horas siguientes. Si se forma precipitado o la muestra se vuelve turbia, evite utilizar este fertilizante en el sistema de riego.
- Chequear la temperatura resultante de mezclar varios tipos de fertilizantes en condiciones de campo. Algunos fertilizantes solos o en combinación pueden bajar la temperatura de la solución a niveles de congelamiento (por ejemplo, KNO₃, Ca(NO₃)₂, urea, NH₄NO₃, KCl y 5Ca(NO₃)₂·NH₄NH₃·10H₂O). Sin embargo, cuando se adquieren fertilizantes líquidos listos para su uso, la reacción endotérmica no ocurre en el campo; por eso se pueden alcanzar concentraciones de nutrientes en la solución un poco más altas.
- Pueden ocurrir reacciones químicas entre los fertilizantes y las partes metálicas del sistema de riego. La corrosión puede dañar componentes metálicos del sistema, como tuberías de acero no protegidas, válvulas, filtros y unidades de inyección.

	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de magnesio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Urea	C													
Nitrato de amonio	C	C												
Sulfato de amonio	C	C	C											
Nitrato de calcio	C	C	I	C										
Nitrato de potasio	C	C	C	C	C									
Cloruro de potasio	C	C	C	C	C	C								
Sulfato de potasio	C	C	R	I	C	R	C							
Fosfato de amonio	C	C	C	I	C	C	C	C						
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	I	C	C	R	I	C					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	C	C	C	R	C	C	C	R	C	C				
Sulfato de magnesio	C	C	C	I	C	C	R	I	C	C	C			
Ácido fosfórico	C	C	C	I	C	C	C	C	C	R	C	C		
Ácido sulfúrico	C	C	C	I	C	C	R	C	C	C	C	C	C	
Ácido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C	C

C = Compatible; I = Incompatible; R = Compatibilidad reducida

Interacciones de incompatibilidad más comunes

- $\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} = \text{CaSO}_4$ (precipitado)
- $\text{Ca}^{+2} + \text{HPO}_4^{-2} = \text{CaHPO}_4$ (precipitado)
- $\text{Mg}^{+2} + \text{SO}_4^{-2} = \text{MgSO}_4$ (precipitado)

Los micronutrientes pueden reaccionar con las sales del agua de riego formando precipitados, por lo tanto, es recomendable aplicarlos en forma quelatada. Las siguientes mezclas **NO** se deben realizar:

- Fertilizantes fosforados con fertilizantes cálcicos.
- Fertilizantes fosforados con fertilizantes magnésicos.
- Fertilizantes cálcicos con algún sulfato.
- Microelementos no quelatados (hierro) con fertilizantes fosforados en medios ácidos.

5.8 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA FALTA DE EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS AGRARIOS

El primer problema derivado del exceso de fertilización es la reducción en el margen bruto recibido por el agricultor, al aplicar mayor cantidad de nutrientes que las requeridas para maximizar la producción.

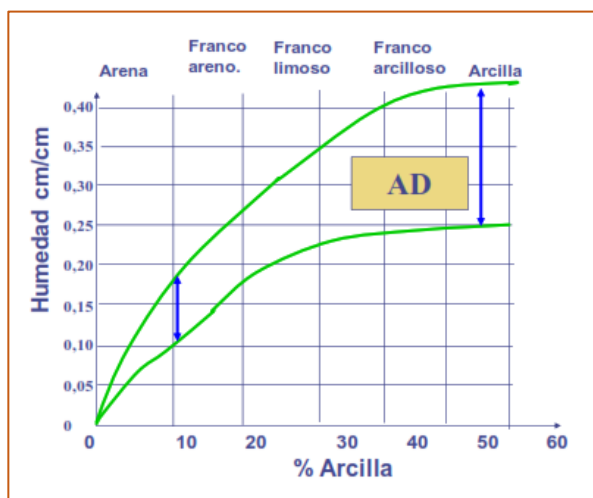
Otros problemas ambientales son:

- Lavado de nitratos y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Eutrofización y pérdida de biodiversidad y acidificación en ecosistemas.
- Pérdidas por escorrentía. En general, salvo en terrenos con mucha pendiente, las pérdidas de N por escorrentía son pequeñas, y van asociadas al N amoniacal adherido a las partículas de arcilla.
- Emisiones de amoníaco. Relevante en el caso de purín porcino y urea. Problemas de sanciones de la Unión Europea a España.
- Emisiones de gases de efecto invernadero como el N₂O. Efecto negativo sobre el cambio climático.

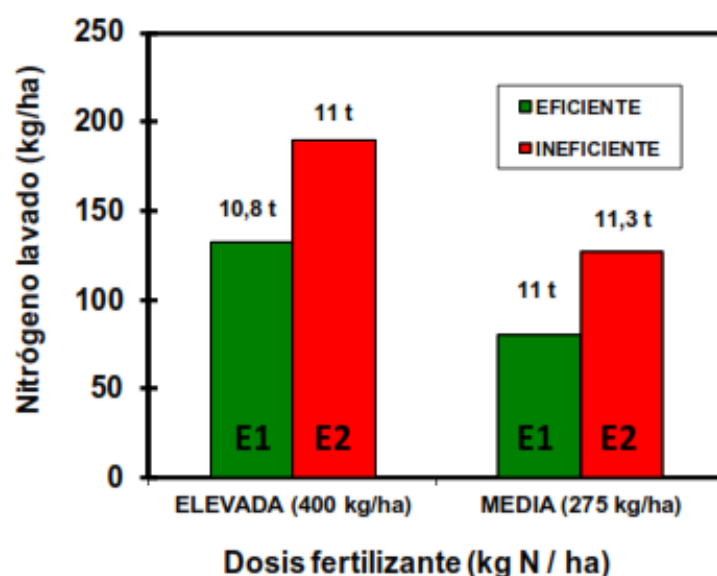
Las pérdidas por lavado pueden ser considerables en sistemas de regadío, dependiendo del manejo del riego y de las características del suelo. Las dos propiedades que definen la capacidad de retención de agua son la profundidad y el % de agua útil (o también llamada agua disponible). Para calcular el agua disponible hay que determinar varios parámetros del suelo:

- Capacidad de campo (CC): humedad del suelo 1 ó 2 días después del riego. Normalmente se obtiene a partir de muestras de suelo alteradas y mediante un sistema de placas Richard. Para estandarizar, es la humedad residual en el suelo sometido a una tensión de 0,3 bar.
- Punto de marchitez (PM): humedad del suelo a la que el cultivo se marchita y muere, debido a su incapacidad para absorber el agua residual. Normalmente se obtiene a partir de muestras de suelo alteradas y mediante un sistema de placas Richard. Para estandarizar, es la humedad residual en el suelo sometido a una tensión de 15 bar.
- Agua disponible (AD): Es la diferencia entre CC y PM. Representa el volumen de agua que las plantas pueden utilizar, pero cuando la humedad del suelo se acerca al PM la extracción del agua por las raíces es más difícil.

La textura del suelo es la principal propiedad física de los suelos que determina el % de agua disponible.



Ensayo del CITA en el que se combinaron 2 factores: 2 dosis de fertilizante nitrogenado (elevada y media) y 2 eficiencias de riego en un cultivo de maíz en un suelo con alto potencial de lavado de nitratos. La eficiencia de riego está muy relacionada con la ratio entre el agua que el cultivo evapotranspira y el agua total aplicada. A mayor porcentaje, mayor es la eficiencia de riego.



A partir de estos resultados se pone manifiesto la importancia tanto de la dosis del fertilizante como del manejo del riego para reducir las pérdidas de N por lavado. Así, en sistemas de aspersión bien manejados se pueden alcanzar elevadas eficiencias de riego y, por lo tanto, menores pérdidas de nitratos con el drenaje. Sin embargo, en sistemas de riego por inundación (baja eficiencia), las pérdidas serán considerables incluso al reducir las dosis de N aplicadas.

Respecto a las pérdidas por emisiones gaseosas de óxidos de nitrógeno, éstas consisten en las pérdidas por emisiones de óxido nitroso (N₂O) y óxido nítrico (NO). Se producen durante los procesos de nitrificación y desnitrificación en función del grado de aireación de los suelos.

Así, en un cultivo de maíz regado por aspersión en el Valle del Ebro (Álvaro-Fuentes y col., 2016), obtuvieron emisiones de N₂O que oscilaron entre 0,5 y 2 kg N/ha y año dependiendo del nivel de fertilización de la parcela (0-300 kg N/ha). Sin embargo, mediciones en cultivo de alfalfa, regada por aspersión y sin aplicación de fertilizante nitrogenado indican unas emisiones de N₂O inferiores a 1 kg N/ha y año (Isla y col., 2022). **El manejo del fertilizante y del riego es clave para reducir dichas pérdidas en sistemas de regadío.**

5.8.1 Retos para mejorar la eficiencia del uso del nitrógeno en sistemas agrarios

Uno de los grandes retos, y elemento fundamental de la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, es aprender a monitorizar adecuadamente el uso de nitrógeno en la agricultura. En un estudio reciente se ha determinado cómo se mide y gestiona el uso del N en diferentes países a largo plazo y se ha concluido que existe una falta de uniformidad en las definiciones y métodos de medida de la eficiencia del uso del N a nivel mundial, lo cual afecta negativamente a la capacidad de medir y gestionar este nutriente esencial y contaminante potente

(Zhang y col., 2021). Por tanto, el primer paso para actuar es obtener buenas estimaciones de los balances de nitrógeno en los sistemas agrícolas para gestionar mejor este nutriente, y así adoptar medidas que permitan alcanzar los objetivos de la agenda 2030.

Además, otro de los principales retos en los sistemas de agricultura, según la FAO, consiste en conseguir desligar la utilización de fertilizantes sintéticos del crecimiento demográfico: alimentar a la población sin añadir más nitrógeno. Una manera de conseguirlo es suministrar nitrógeno a las plantas convirtiendo en disponible el nitrógeno no disponible almacenado en la materia orgánica del suelo, por ejemplo, en el amonio, el nitrato o los sustratos orgánicos que las plantas tienen a su alcance. Los sistemas de agricultura.

Por último, es importante destacar que una buena gestión del N, con incrementos en la eficiencia del uso del nitrógeno y reducciones de los residuos de N, requiere de una buena gestión del agua (Rubio-Asensio y col., 2022). Es decir, pensar en la gestión del agua y el N conjuntamente. Para ello, es necesario ajustar i) la cantidad de agua que el cultivo necesita, ii) la cantidad de nutrientes y su momento de aplicación, iii) ajustar la programación del fertirriego (tiempo y frecuencia), iv) la forma de nitrógeno (nitrato, amonio, urea, etc.).

5.9 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE FERTILIZACIÓN

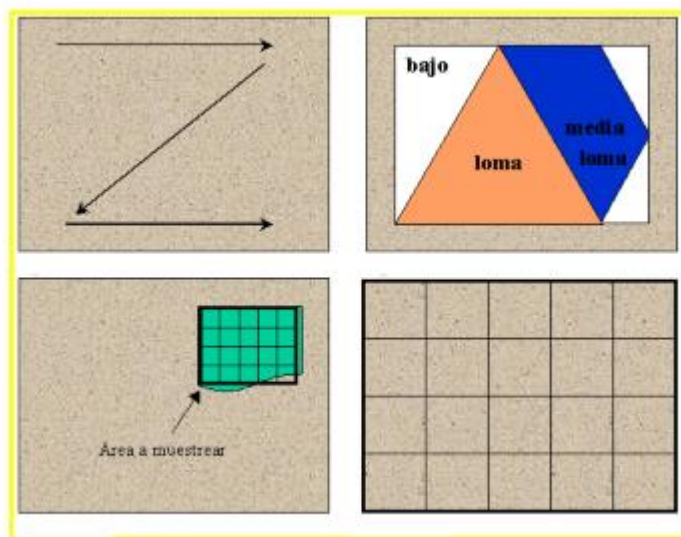
Para calcular las necesidades es necesario realizar:

Cálculo de necesidades de nitrógeno mediante balance: Es un método clásico, pero conceptualmente muy robusto. Consiste en estimar las entradas y salidas de N del suelo para el periodo de cultivo, para que las necesidades puedan ser satisfechas. Es una aproximación teórica. Se trata de aportar lo que se “exporta” para así mantener la fertilidad del suelo en niveles aceptables y cubrir las necesidades del cultivo.

Extracciones de nitrógeno: Hay que conocer la cantidad de nutrientes que extrae cada cultivo dependiendo de la productividad. Se encuentran discrepancias importantes en las cantidades extraídas para un mismo cultivo, especialmente para el caso del nitrógeno.

Entradas de N por mineralización de la materia orgánica: La materia orgánica del suelo (MOS) al mineralizarse libera N mineral que queda a disposición de los cultivos. Es difícil predecir la cantidad liberada, pues es un proceso biológico muy variable en función del suelo, manejo de residuos vegetales, laboreo, y de las condiciones ambientales. En condiciones de clima Mediterráneo continental se estima que se libera anualmente el 1-1,5% del N contenido en la MOS. Así, de acuerdo con esta norma general, para un suelo de 2% de materia orgánica, la mineralización puede suponer entre 44 y 55 kg N/ha y año. Hay que tener en cuenta que la profundidad del suelo y la pedregosidad afectan de forma directa a la cantidad de N liberado por mineralización.

Entradas debido al N mineral disponible antes de la siembra: Para la estimación del N mineral el suelo es preciso muestrear este y enviar la muestra a un laboratorio. En condiciones que predominen los suelos aireados, la proporción de N amoniacal es muy baja respecto al N nítrico. El dato de N mineral o nitratos (0-30 cm) debe ser obtenido tomando una muestra compuesta para cada parcela que tenga manejos diferentes o tipos de suelo distintos. Es importante tomar una muestra compuesta de distintas zonas de la parcela.



Una vez tomada la muestra, esta debe ser enviada a un laboratorio lo antes posible. Para realizar las analíticas en la mayor parte de los casos la muestra debe estar seca al aire y molida o al menos tamizada por una criba de 2 mm de luz.

Entradas derivadas del precedente leguminosa: Cuando el cultivo anterior ha sido una leguminosa, el residuo que deja presenta unas cantidades de N disponible significativas que deben ser tenidas en cuenta y añadidas al nitrógeno derivado por mineralización de la materia orgánica. El caso de mayor interés en muchos regadíos en España es el precedente de alfalfa, ya que, al ser un cultivo plurianual, deja en la parcela unos residuos (fundamentalmente las coronas de las plantas y raíces) con mucho nitrógeno y con una relación C/N baja, lo que hace que predominen los procesos de liberación de N mineral a corto plazo.

Entradas derivadas de aplicaciones de estiércoles y purines: La forma de considerar dichas entradas de nitrógeno depende de la naturaleza del estiércol y del momento de su aplicación en relación con el ciclo del cultivo en el que se están realizando los cálculos. Así, el purín porcino que presenta un 70% del nitrógeno en forma mineral (amoniaco, NH_4^+) debe ser considerado con un valor fertilizante como el de un fertilizante mineral aplicado y con escaso efecto residual. En el caso de los estiércoles sólidos resulta más difícil conocer su aportación a lo largo de los años.

Entradas derivadas del agua de riego: Si bien en general se asume que el agua de lluvia tiene unas cantidades despreciables de nitrógeno mineral, en el caso del agua de riego hay que tenerlas en cuenta dependiendo del origen del agua. Generalmente, si el origen del agua de riego es de aguas superficiales procedentes de cabeceras de los ríos, las concentraciones de nitrato suelen ser muy bajas (3-4 mg NO_3^-/L). Sin embargo, si se reutilizan aguas de desagües o de pozos las cantidades pueden ser significativas.

Cálculo de las necesidades de nitrógeno mediante balance:

Salidas: extracciones totales del cultivo + pérdidas de N

Entradas:

- Mineralizado de la materia orgánica del suelo (N_{min})

- Disponible en el suelo antes de la siembra (Nsuelo)
- Crédito por precedente leguminosa (Nlegum)
- Procedente de estiércoles aplicado en años anteriores (Nestierc)
- Agua de riego (Nagua)

Dado que las pérdidas (lavado, volatilización, desnitrificación) son difíciles de estimar, y además las entradas de N no tienen nunca una eficiencia del 100% se aplicará un factor de eficiencia a la diferencia del balance para calcular la cantidad de N a aplicar en cada parcela.

Dicho factor de eficiencia es complejo de estimar, y además teóricamente cada entrada de N podría tener una eficiencia diferente. En general, la eficiencia depende mucho del manejo del fertilizante, del tipo de suelo, tipo de fertilizante, y del manejo del riego. En sistemas de aspersión puede ser del 70% (Eficiencia = 0,7), pero en sistemas de riego por inundación de 50-60% (Eficiencia=0,5-0,6).

$$Necesidades\ de\ N = \frac{(Salidas - Entradas)}{Eficiencia} = \frac{(Nextraído - Nsuelo - Nmin - Nagua - Nestierc - Nlegum)}{Eficiencia}$$

Rangos deseables de propiedades físicoquímicas del agua de riego

Característica	Unidad	Rango óptimo
Conductividad eléctrica	dS/m	0,2 – 1,0
pH	-	6,5 – 7,0
Nitrato	ppm	0,0 – 5,0
Fósforo		0,005 – 5,0
Potasio		0,5 – 10,0
Calcio		40,0 – 120,0
Magnesio		6,0 – 24,0
Hierro		2,0 – 5,0
Boro		0,0 – 0,3
Cloruros	meq/L	0,2 – 1,0

Algunas paginas donde se puede consultar tablas

<https://www.agrogestor.es/plataformas/plataforma-agroasesor/>
<http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
<https://citarea.cita-aragon.es/citarea>

6. TEMA 6. EFICIENCIA EN EL USO DE LA ENERGÍA EN REDES DE RIEGO PRESURIZADAS

6.1 INTRODUCCIÓN

- El consumo y el coste de la energía de los sistemas de riego presurizados preocupan a los agricultores de las comunidades de regantes que tienen una fuerte dependencia eléctrica.
- En este módulo se analizarán los factores que pueden permitir reducir el coste de la energía en las comunidades de regantes que explotan redes colectivas presurizadas conectadas a sistemas de riego presurizados en parcela (aspersión o localizado).
- Para que el riego se desarrolle en condiciones adecuadas, la presión del agua en los emisores de riego (aspersores o goteros) tiene que estar dentro de un rango. Si bien las altas presiones pueden perjudicar al riego tanto como las bajas, es la presión mínima la más interesante desde el punto de vista de controlar el coste energético.
- La presión necesaria para que los sistemas de riego operen de forma adecuada (manteniendo la presión mínima en el aspersor o el gotero) puede tener dos orígenes:
 - De energía interna, producida por desnivel (el origen de la red se encuentra a una cota más elevada que el punto de emisión).
 - De energía externa (caso en cuestión), obtenida de la red eléctrica, de motores de combustión o de fuentes renovables locales (solar, eólica o hidráulica).
- Para aportar esta energía externa, es preciso contar con una estación de bombeo. En el momento en el que se identifica la necesidad de construir una estación de bombeo en una comunidad de regantes, esta cambia radicalmente: nuevos costes, nuevas necesidades técnicas para construcción y mantenimiento y, con frecuencia, nuevas restricciones al uso del agua por los comuneros.
- La energía y potencia necesaria en la cabecera de la instalación de riego depende de:
 - La energía del agua en el origen.
 - La topografía de la zona regable.
 - El diseño de la red colectiva y parcelaria.
 - El diseño de la estación de bombeo.
- La presentación tiene un orden de exposición, partiendo desde el punto de entrega (el emisor) hasta la estación de bombeo, pasando por el hidrante (punto frontera entre la red colectiva y parcelaria), haciéndose hincapié en las posibilidades de ahorro energético a lo largo de todo este trayecto.

6.2 NECESIDADES DE PRESIÓN DE UNA RED DE RIEGO: DESDE EL EMISOR DE RIEGO HASTA LA ESTACIÓN DE BOMBEO

Cuando se trata de conseguir adecuada uniformidad y eficiencia de riego, la presión mínima en goteros es inferior a la presión mínima en aspersores. Esto es debido a que el agua que sale de un gotero ya está allí donde la planta la necesita, mientras que el agua que sale de un aspersor debe desplazarse unos metros para

que todas las plantas de un campo reciban agua. Por lo tanto, el gotero es más eficiente energéticamente, ya que requiere de menor presión mínima.

Desde el hidrante hasta el último goteo o aspersor, el agua de riego está sujeta a pérdidas de energía por el desnivel, por el flujo en las tuberías y por los sistemas de filtrado. El filtrado consume más energía en el riego por goteo localizado, que, en el riego por aspersión, ya que en el riego por aspersión los orificios por los que el agua debe de pasar para llegar a las plantas son mucho mayores que en el caso del riego localizado. Por lo tanto, el goteo consume más energía en la etapa de filtrado, ya que el tamaño de partícula que requiere para no obstruir el emisor es menor.

Como se puede apreciar, ambos efectos son contrapuestos, según el tipo de emisor de riego.

	Riego por Aspersión	Irrigación por goteo
		
Tipos	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas instalados fijos. • Sistemas con redes fijas y laterales móviles. • Sistemas de pivote. • Rociadores de lluvia, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de sub-superficie. • Sistemas de superficie.

	Riego por Aspersión	Irrigación por goteo
Características	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema presurizado, generalmente con tuberías principales y laterales, que terminan en uno o más aspersores (emisores). • Es posible que los diámetros de entrega varíen. • La presión y las dimensiones del emisor se ajustan para evitar gotas demasiado grandes o pequeñas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de micro-irrigación en el que la irrigación se limita a la zona real de la raíz de la planta. • Funciona a baja presión y con bajos volúmenes de agua por hora.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuado para suelos ligeros. • Adecuado para terrenos en pendientes u ondulados. • Puede utilizarse para reducir la ET mediante la reducción de la temperatura foliar. • Pueden utilizarse como protección contra las heladas en la producción de fruta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy alta eficiencia de riego. • Menor inversión que para los mini aspersores. • Baja necesidad de mano de obra. • Pérdidas de agua por evaporación o percolación mínimas. • El riego puede realizarse a cualquier hora del día. • El follaje permanece seco (bajo riesgo de enfermedades fúng.).

		<ul style="list-style-type: none"> Sistemas de goteo subterráneos: mínima evaporación en la superficie del suelo y bajo crecimiento de malezas.
Desventajas	<p>Las grandes gotas pueden dañar la estructura del suelo (especialmente de los aspersores tipo cañón). Requiere bombas de alta capacidad y tuberías con paredes resistentes a la presión. La irrigación excesiva del follaje puede aumentar riesgo de desarrollo de enfermedades. Patrón de distribución irregular del agua. Pérdida de agua por deriva, evaporación y por el riego de áreas improductivas. Utilizar el agua limpia para evitar cultivo ensuciado. Elevada necesidad de energía</p>	<p>Los emisores pueden obstruirse por algas, limo bacteriano o sedimentos. La zona radicular está limitada a la zona húmeda. En suelos ligeros el patrón de humectación del riego por goteo es sub-óptimo. Necesita un sistema de filtrado eficiente. No es adecuado para la germinación de cultivos sembrados. Acumulación de sal en la zona fronteriza entre el suelo seco y el húmedo. Las líneas de goteo dificultan el deshierbe mecánico. Sistemas de goteo subterráneos: mantenimiento difícil y costoso</p>
Áreas de aplicación sugeridas	Se utiliza con frecuencia en cultivos de hileras, frutales y de campo	Especialmente adecuado para los cultivos de hortalizas
Estimación	<p>Relativamente eficiente, cuando está bien diseñado y administrado Cuando todo el campo se humedece, toda la matriz del suelo puede ser utilizada para la absorción de agua por las plantas A fin de mejorar la eficiencia del agua en los cultivos con grandes distancias entre hileras, como los árboles frutales, la superposición entre los aspersores se limita a las hileras y no entre las hileras</p>	<p>No es apto para la germinación de cultivos sembrados En suelos ligeros, el número de emisores de goteo debe ser aumentado, si las zonas húmedas se van a mezclar</p>

Indicadores de Calidad de riego: para valorar el uso del agua por los sistemas, ya que consumir agua de un modo adecuado, equivale a ahorrar energía.

- Uniformidad de riego (Coeficiente de Uniformidad) CU = 100% perfecto. Siendo CU >85% un buen valor.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \right) 100$$

- Perdidas por evaporación y arrastre

$$PEA = \frac{\text{Volumen de agua que se pierde por evaporación y arrastre}}{\text{Volumen de agua emitida}} 100$$

- Eficiencia de riego

$$E = \frac{\text{Volumen de agua a disposición de las plantas}}{\text{Volumen de agua aplicada}} 100$$

El viento tiene un efecto considerable en estos indicadores para el caso de la Aspersión

6.2.1. PRESION NECESARIA: en los Emisores de Riego por Aspersión, Maquinas de Riego y Goteo-Localizado.

1. ASPERSORES DE IMPACTO PARA COBERTURAS TOTALES:

Dentro de este grupo de aspersores podemos encontrarnos dos tipos importantes, los aspersores de impacto circulares y los sectoriales. El aspersor circular se trata de un aspersor de impacto que riega un círculo completo, mientras que el aspersor sectorial riega un sector circular que abarca un determinado ángulo. Las boquillas que presentan estos tipos de aspersores son principalmente de 4-5 mm de diámetro, y las auxiliares son opcionales con diámetros de 2,4-2,5 mm.



Morfología de la cobertura total de aspersión:

Se instalan permanentemente todos los aspersores que son necesarios para regar un campo, con tuberías de distintos diámetros a una profundidad de 0.8 m, de las que emergen las cañas porta aspersores llegando a una altura de 2.2 m sobre el suelo.

El caudal del hidrante suele ser suficiente para regar simultáneamente superficies no inferiores a 1 hectárea de terreno (sector-postura de riego). El campo-parcela se divide en sectores, hasta un número máximo que no suele pasar de 12 sectores.

Los sectores se riegan secuencialmente, para que tengamos disponibilidad de tiempo para regar durante el día (24h) las necesidades hídricas (máximas 9mm/día) del cultivo en cuestión. El control del riego se realiza a través de un programador electrónico que acciona las válvulas hidráulicas gracias a un circuito minihidráulico encargado de mandar agua a las cámaras de las diferentes válvulas, para que se abran o cierren.

El marco de aspersión (distribución) de los aspersores en una cobertura puede ser rectangular, cuadrada o triangular (tresbolillo). La rectangular y cuadrada son más sencillas, y la tresbolillo la mejor a nivel de distribución de aspersión frente a efectos del viento.

Se definen por el espaciamiento entre aspersores y entre líneas porta aspersores. Un marco T18x15 es triangular y tiene los aspersores a 18 metros y las líneas a 15, siendo la distribución más óptima la que en planta dibuja un triángulo equilátero. Sin embargo, se hacen más pasadas con la maquinaria en el laboreo, empleando este marco.

Los agricultores encuentran más fácil de mecanizar el marco que tiene las líneas a 18 metros (tres pasadas de 6 m en muchos aperos). Es por ello por lo que el marco T18x18 es ampliamente utilizado en la práctica, aunque el triángulo no es equilátero.

Los aspersores de borde-sectoriales. Se diseñan para que cubriendo medio círculo tengan la misma pluviometría que los aspersores circulares

Pluviometría de la cobertura:

Depende en gran medida de la presión de los aspersores, encontrándonos valores normalizados de 1kg/cm^2 , lo que equivale a 10 mca o 1 atm. También influye en este factor el diámetro de las boquillas (mm) y el espaciamiento de los aspersores (m).

Teniendo en cuenta estas variables podemos calcular el Caudal del Aspersor en litros por segundo (con datos de presión y diámetro de boquilla tenemos el caudal Q). También podemos obtener como resultado la pluviometría de la cobertura de estos aspersores (milímetros por hora).

Por ejemplo, una pluviometría de 5 mm/h permite aplicar 10 mm (10 litros por metro cuadrado) en dos horas. Cálculo del tiempo de aspersión \leftrightarrow pluviometría.

Boquilla auxiliar (mm)	Boquilla principal (mm)	Presión (kg/cm ²)	Caudal del aspersor (l/s)	Pluviometría (mm/h)
2.5	4.5	3.0	0.49	5.44
2.5	4.5	2.0	0.40	4.44
2.5	5.0	3.0	0.58	6.42
2.5	5.0	2.0	0.47	5.24

Este cálculo de pluviometría depende de la combinación de los tamaños de boquilla, la presión de trabajo y el marco de aspersión.

Boquilla auxiliar de 2,4 mm	Presión (kg/cm ²)	Boquilla principal (mm)			
		4,0	4,4	4,8	5,2
Marco 15x15 m	2,0	5,3	6,1	7,0	8,0
	2,5	6,0	6,9	7,9	9,0
	3,0	6,5	7,5	8,6	9,8
	3,5	7,0	8,1	9,3	10,6
	4,0	7,5	8,7	10,0	11,3
Marco 18x15 m	2,0	4,4	5,1	5,9	6,7
	2,5	5,0	5,7	6,6	7,5
	3,0	5,4	6,3	7,2	8,2
	3,5	5,9	6,8	7,8	8,8
	4,0	6,3	7,2	8,3	9,4
Marco 18x 18 m	2,0	3,7	4,3	4,9	5,6
	2,5	4,1	4,8	5,5	6,2
	3,0	4,5	5,2	6,0	6,8
	3,5	4,9	5,6	6,5	7,4
	4,0	5,2	6,0	6,9	7,9
Marco 21x18 m	2,0	3,2	3,7	4,2	4,8
	2,5	3,5	4,1	4,7	5,3
	3,0	3,9	4,5	5,1	5,8
	3,5	4,2	4,8	5,5	6,3
	4,0	4,5	5,2	5,9	6,7

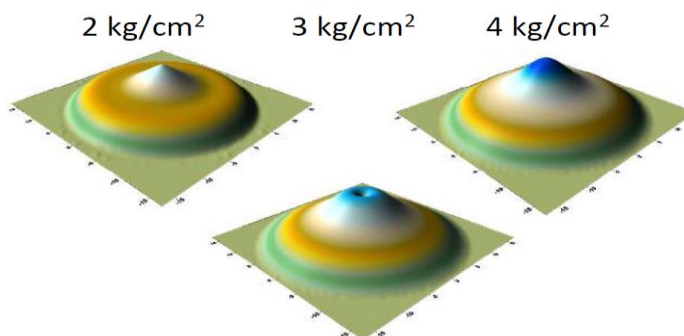
Para el cálculo de la pluviometría, resulta interesante hacerse una Excel, con todas las variables de funcionamiento como input para analizar las configuraciones posibles.

Diametro Principal		4.5 mm
Diámetro Axiliar		2.5 mm
Coefficiente pérdida de carga		0.97 -
Presión de trabajo		2.5 kg/cm ²
Presión de trabajo		25 mca
Sección		0.0000208 m ²
Velocidad:		21 m/s
Caudal		0.447 L/s
Marco		18 m
		18 m
Pluviometría		4.97 mm/h

Uniformidad de riego:

Nos referimos a la distribución del agua en el marco de aspersión, la cual depende en gran medida de las características técnicas del sistema de riego, la presencia de viento durante el riego, y de la distribución de presiones de agua que presenten los conforman este marco.

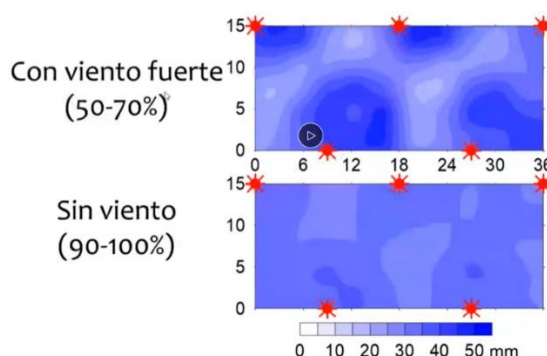
Esta diferencia de presiones entre aspersores se puede deber a diferencias en la elevación del terreno, así como por las pérdidas de carga en las tuberías dentro de la finca.



Por lo tanto, es importante el correcto diseño, funcionamiento de la instalación parcelaria, lo que revertirá en altos niveles de calidad de riego, y en consecuencia el resultante ahorro energético que buscamos.

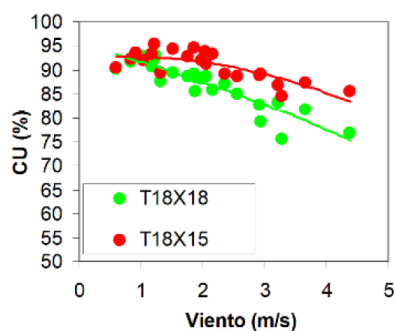
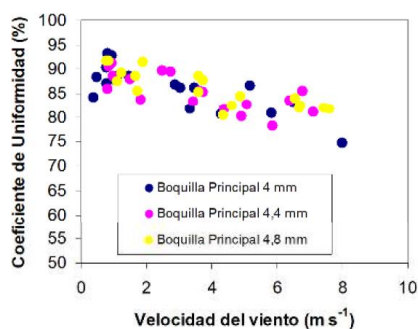
Cuando se solapan los patrones de aplicación de agua de aspersores aislados a un determinado marco de aspersión se obtiene la distribución de agua en el marco. Generalmente se coloca una malla de 25 pluviómetros entre 4 aspersores, o entre 3 si es a tresbolillo, para medir la pluviometría en un marco.

Para un marco Triangular 18x15 m obtenemos con viento fuerte un CU superior al 70 % mientras que para el mismo marco sin presencia de viento se obtiene un CU superior al 90 %. Esto se puede apreciar mejor en la siguiente imagen.

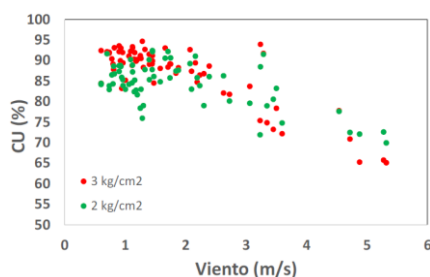


Conclusiones:

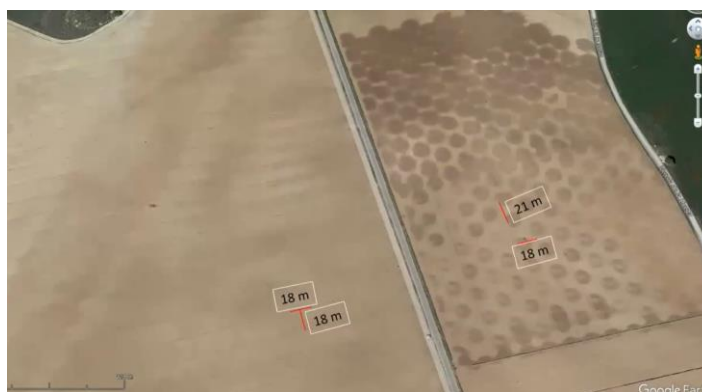
1. El tamaño de la boquilla no tiene un efecto en la CU.
2. El marco de Aspersión sí tiene un efecto significativo. La configuración triangular tiene mejor respuesta al viento. No así para los trabajos de laboreo.



3. La presión de trabajo no tiene un efecto significativo: Esto implica que podemos reducir la presión de 3 a 2 kg/cm², lo que conlleva una reducción de consumo Energético. Ahora bien, esta presión no puede estar por debajo de 2kg/cm², pues en ese caso sí que tendríamos un efecto negativo en el funcionamiento.



Efecto visual en el CU del marco Cuadrado VS marco Tresbolillo

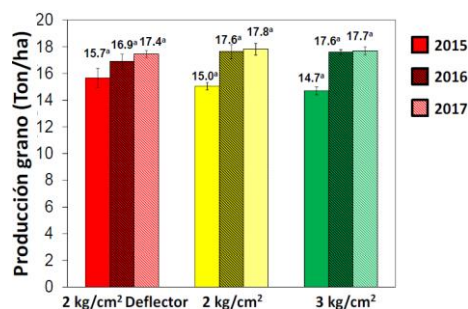


Uniformidad de riego: Variabilidad entre aspersores

Independientemente que se elija una presión de trabajo de 3 o 2 kg/cm², se tienen que cumplir los requisitos de diseño. Es decir, que la diferencia de presión entre aspersores de un mismo sector (que riegan a la vez), no supere el 20% de la presión objetivo dentro de un sector (la zona de la parcela que se riega simultáneamente). Para el caso de 3 kg/cm², un 20% equivale a 0.6 kg/cm², y si trabajase con 2 kg/cm², un 20% equivale a 0.4 kg/cm² (horquilla 1.8-2.2 kg/cm²). Diferencias de presión mayores darían lugar a una baja uniformidad dentro del sector.

Un ejemplo de esto se puede ver a continuación:

- Una finca tiene dos sectores con presiones medias de 3,0 y 2,5 kg/cm². La pluviometría sería 5,44 y 4.97 mm/h.
- Para aplicar la misma lámina de riego de 10 mm en los 2 sectores, los tiempos de riego serán de 1 h 51' y 2 h 1'.
- Introducir estos tiempos en el programador de riegos hará que las diferencias en presión media entre los sectores no afecten a la uniformidad del riego en la parcela.



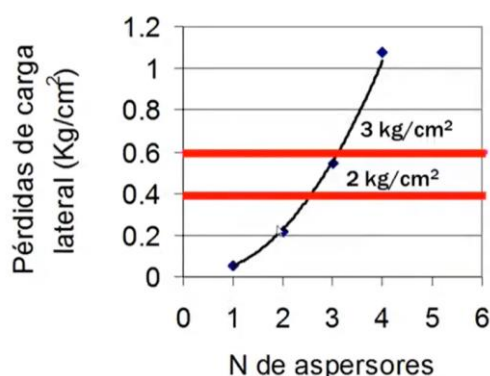
Conclusiones:

- Se establece un valor mínimo de 2 kg/cm² para el aspersor más desfavorable.
- Esta presión se puede recomendar de forma segura para todos los aspersores de la finca que lo requieran. Aunque no se producirá por ello un efecto en la producción del cultivo.
- Sin embargo, no se recomienda diseñar para presiones inferiores a 2 kg/cm².

Notar que elegir un punto presión de trabajo 2 kg/cm² puede hacer que evitemos la construcción de una estación de bombeo.

Cuidado con las adaptaciones de las coberturas diseñadas para presiones diferentes:

- En redes parcelarias, los laterales de riego o ramales porta-aspersores suelen diseñarse con PE32mm. Este diámetro provoca pérdidas de carga importantes a medida que se incrementa el número de aspersores que se acoplan a él (a medida que el caudal que circula por la tubería se incrementa)
- El límite máximo aceptable depende de la presión en la boquilla. Ya que un criterio de diseño que asegura la uniformidad es que la diferencia de presión entre aspersores del mismo bloque no supere el 20%.



2. ASPERSORES DE MAQUINAS DE RIEGO:

Otro tipo de aspersores los podemos encontrar en las máquinas de riego, unas estructuras que conforman dos tipologías de riego: Los aspersores con pivote (giran circularmente), y las de avance frontal (Rangers).

Máquinas de Riego: Pivots

Los aspersores de pivotes tienen típicamente menos alcance que los aspersores de impacto. Esto no es en general un problema porque los aspersores se sitúan a una distancia de entre 3 y 6 m a lo largo del pivote. Hay una amplia gama de boquillas para estos aspersores que varían según muchos diámetros (2 a 10 mm)



**Radio pluviométrico
para medir la
uniformidad de la
cobertura**



**Distancia entre
aspersores-difusores
de 3m y equipo de
tracción.**



**Regulador de
presión con
manómetro**

Pronto se vio que se podía reducir mucho la presión a la entrada del pivote y alcanzar una alta eficiencia si se instalaban aspersores más próximos entre sí y más cercanos a la superficie del suelo. Siempre se instala un regulador de presión inmediatamente aguas arriba de cada aspersor. A veces se instala también, un aspersor de gran tamaño al final del pivote. Cuanto más grande sea el pivote, mayor será la pluviometría al final de la máquina. Esta pluviometría puede llegar a ser tan alta que genere problemas de escorrentía y erosión.

Con un pivote se pueden regar hasta más de doscientas hectáreas, aunque se ha podido observar que los Pivotes de entre 20 y 40 hectáreas tienen una adecuada combinación de pluviometría y coste. La presión necesaria en el punto de pivote está relacionada con la presión en boquilla y la longitud del pivote. Este es otro de los aspectos por lo que en general no se instalan pivotes de gran longitud. Un pivote típico puede tener las boquillas operando a entre 0,7 y 2,0 kg/cm².

Ejemplos de distintas tipologías de aspersores que pueden ser colocados en los pivotes:

SPRAY.
Plato fijo
Presión:
1,03-1,38 kg/cm²



ROTATOR.
Plato giratorio
en plano horizontal
Presión:
1,38-1,72 kg/cm²



I-Wob.
Plato giratorio
en dos planos
Presión:
0,69-1,03 kg/cm²



NUTATOR
Plato giratorio en
dos planos
Presión:
0,69-1,03 kg/cm²

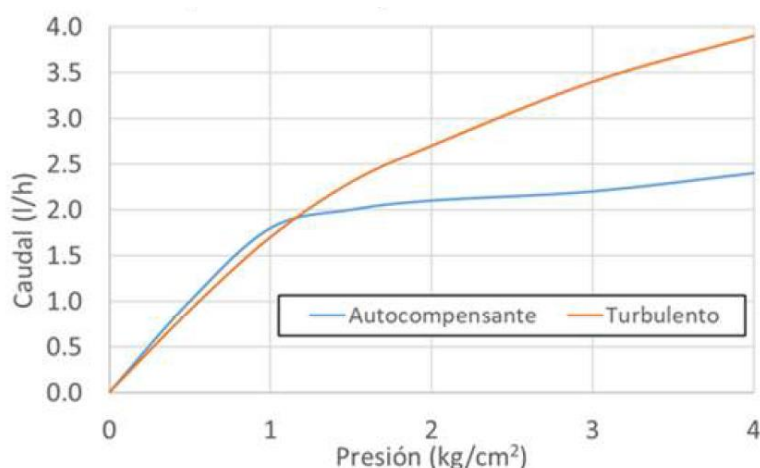


3. EMISORES DE RIEGO LOCALIZADO (RIEGO POR GOTEO):

Emisores para riego localizado:

Los emisores para riego localizado (generalmente goteros) también han tenido una fuerte evolución tecnológica en las últimas décadas. Tenemos 2 tipologías de Emisores de riego localizado:

- Se partió de goteros turbulentos, con orificios y caminos tortuosos que convertían la presión en la tubería porta goteros en velocidad y/o rozamiento. Estos goteros tienen una respuesta presión – caudal de tipo potencial, lo que hace que ante diferencias de presión en la tubería tengan diferencias relevantes de caudal.
- Posteriormente se desarrollaron los goteros auto compensantes, una mejora con respecto a los turbulentos puesto que la relación presión-caudal no es tan relevante para este tipo, ya que mantienen el caudal sensiblemente constante dentro de un rango de presiones que suele estar entre 1 y 4 kg/cm².



Puede notarse al observar la gráfica anterior que en los auto compensantes no varía tan drásticamente el caudal, sino que permanece prácticamente constante, cuando se varía la presión de trabajo. Por el contrario, los turbulentos sí se da una variación relevante, lo que implica menor uniformidad. Los goteros auto compensantes son muy adecuados para lograr una elevada uniformidad en parcela.

La uniformidad puede verse afectada por otros aspectos como el sifonamiento, el envejecimiento o las obstrucciones de los goteros, pero en cambio su uniformidad y su eficiencia no depende casi de la meteorología durante el riego no encontrándose tampoco pérdidas de agua por evaporación y arrastre.

6.2.2. PRESIÓN NECESARIA: en Hidrante

El hidrante: Elementos más habituales.

El hidrante es el punto de conexión entre la red colectiva presurizada y la red parcelaria presurizada de uno o varios agricultores. Si hay más de un agricultor, el hidrante es compartido. En el punto hidrante se pueden encontrar distintos elementos de la red colectiva y de la red privada.

Elementos de la red colectiva en el hidrante:

- Válvula seccionadora.
- Filtro cazapiedras, que elimina partículas milimétricas, y que generalmente es suficiente para las instalaciones de riego por aspersión.
- Válvula hidrante (válvula hidráulica, contador volumétrico, regulador de presión y limitador de caudal). Puede estar conectada a un telecontrol.



Elementos de la red privada:

- Válvula seccionadora.
- Válvula hidráulica, generalmente conectada a un programador de riego.
- Equipo de filtrado, particularmente importante en riego localizado

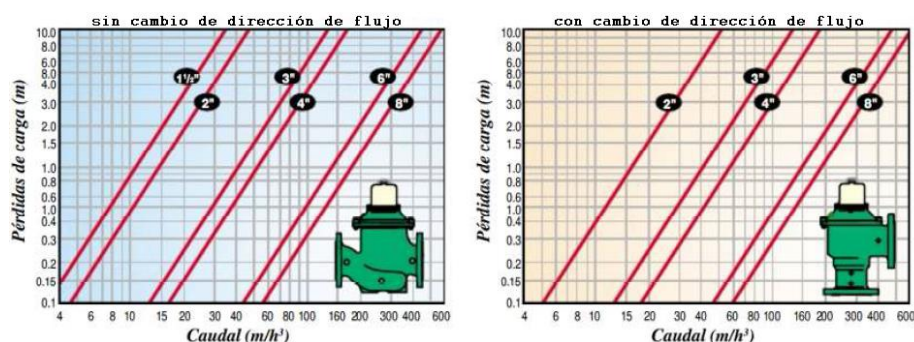


Elementos de la red colectiva en el hidrante – Válvula hidrante

La válvula hidrante de la red colectiva puede dar lugar a pérdidas de carga importantes si no está bien elegida y ajustada. El tamaño de estas válvulas se expresa en pulgadas y tiene que estar en sintonía con el caudal de servicio.

Los fabricantes proporcionan gráficos de trabajo que relacionan el caudal de funcionamiento de los elementos con las pérdidas de carga. Mas abajo se presentan dos figuras donde se puede observar las relaciones caudal-pérdida de carga para distintos tamaños de válvula hidrante y para dos diseños diferentes (tipo globo, izquierda, y tipo angular, derecha) proporcionados por el fabricante.

Tamaño Hidrante (pulgadas)	Caudal Nominal (l/s)
1 ½"	7
2"	11
3"	28
4"	44
6"	69

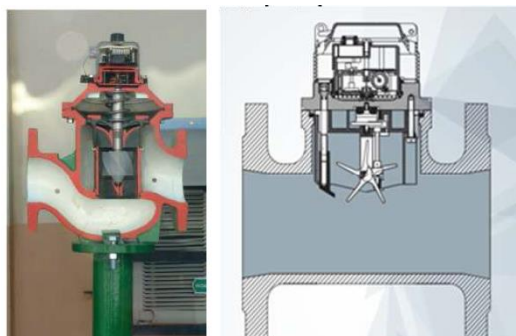


También nos proporcionan los fabricantes todas las características de la válvula hidrante para que podamos elegir de acuerdo con nuestras necesidades.

ASPECTOS A CONSIDERAR								
CUERPO	TIPO GLOBO	TIPO GLOBO	TIPO GLOBO	TIPO GLOBO	CUERPO EN "Y"	TIPO GLOBO	CUERPO EN "Y"	TIPO GLOBO
ESTRUCTURA	CÁMARA SIMPLE	CÁMARA SIMPLE	CÁMARA SIMPLE	CÁMARA SIMPLE	CÁMARA SIMPLE	CÁMARA DOBLE	CÁMARA DOBLE	CÁMARA SIMPLE
TIPO DE CIERRE	DIRECTO	DIRECTO	INDIRECTO	INDIRECTO	INDIRECTO	INDIRECTO	INDIRECTO	INDIRECTO
ACTUADOR	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR DIAFRAGMA	POR PISTON
OSTURADOR	FLEXIBLE	RIGIDO	PISTON	PISTON	PISTON	PISTON	PISTON	PISTON
LIMITADOR	NO REQUIERE	PLANO	PLANO	U-PORT LTP	PLANO / U-PORT	U-PORT LTP	PLANO / U-PORT	PLANO
PRECISIÓN EN LA REGULACIÓN	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
PRESIÓN MÍNIMA (mca)	7	7	9	5	5	2	2	7
REGULACIÓN A BAJO CAUDAL	ACEPTABLE	MALA	MALA	BUENA	MEDIA	BUENA	BUENA	MALA
RESISTENCIA A LA CAVITACIÓN	ACEPTABLE	ACEPTABLE	ACEPTABLE	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
PÉRDIDA DE CARGA	MAÑDA	MEDIA	MEDIA	BUENA	BUENA	MEDIA	MEDIA	MEDIA
MANTENIMIENTO	SENCILLO	SENCILLO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	DIFÍCIL
COSTE	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO

Formando parte de las válvulas hidrantes también podemos encontrar otra serie de componentes como son : elementos de regulación del caudal como los contadores, elementos como el regulador de presión o elementos como el limitador de caudal.

El contador y los elementos de regulación de caudal y presión que se suelen encontrar en esta válvula incrementan las pérdidas de carga. Hay válvulas hidrantes que incluyen un contador volumétrico totalizador, de forma que la turbina que gira con el paso del agua atraviesa toda la sección del flujo (imagen izq.). También hay contadores proporcionales en los que la turbina está colocada tangencialmente a la sección del flujo y no atraviesa toda la sección (imagen der.). Los contadores totalizadores tienen pérdidas de carga algo mayores que los proporcionales, para las mismas condiciones de funcionamiento.



El regulador de presión que suele formar parte de la válvula hidrante tiene la misión de establecer una presión máxima aguas abajo de la válvula en condiciones dinámicas. Esto quiere decir que la presión estará regulada únicamente cuando hay flujo. En los casos en los que la presión en hidrante es baja, no se debe desinstalar el regulador de presión, puesto que solo empeorará la situación.

El limitador de caudal tiene la misión de proteger a la red colectiva, permitiendo a la válvula hidrante que sirva como máximo el caudal de consigna. Evitando caudales elevados, (Ej: por la rotura de una tubería o cuando se abren más sectores de riego simultáneos de los previstos). El modelo más habitual de limitador está basado en un orificio. Por ello, el limitador tiene una pérdida de carga relevante, que puede resultar excesiva cuando la presión disponible en el hidrante es baja. Para estas presiones se puede instalar un modelo alternativo de limitador de caudal, de tipo “paletas”, que tiene una pérdida de carga mucho menor. Si un hidrante tiene una presión baja para el servicio al que está destinado es conveniente:

- Evitar el regulador de presión
- Instalar un limitador de caudal de paletas o bien no instalar un limitador de caudal. Aunque en muchos casos, el riesgo derivado de no instalar un limitador de caudal es menor que los problemas derivados de una presión de servicio insuficiente.

Elementos de la red privada en el hidrante – Válvulas

La red privada determina las necesidades de la red colectiva. Sin embargo, nunca se empieza diseñando desde una red privada, puesto que siempre se parte de una red existente, con lo cual el modo en que se hace es a partir de lo que está disponible en el hidrante se elabora el proyecto de la red privada.

Válvulas hidráulicas

- Más simples que las válvulas hidrantes, pueden dar lugar a pérdidas de carga relevantes, por lo que se han de tener en cuenta las para que no afecte aguas abajo.
- Tipos:
 - Válvula maestra (que corta todo el flujo a la finca)
 - Válvulas de sector, que cortan el flujo a los sectores (zonas de riego secuencial dentro de la finca).
- Dos posiciones (abierta y cerrada), sin situaciones intermedias
- En general tienen una tercera posición (automática), que se abrirá o cerrará en función de una señal hidráulica externa.

Válvulas manuales

- De compuerta, de mariposa... generalmente usadas como válvulas seccionadoras
- Pueden estar parcialmente cerradas.
- Las válvulas parcialmente cerradas generan importantes pérdidas que dependen del tipo de válvula y de su grado de apertura.
- Válvula de compuerta:
 - No ocasiona pérdidas de carga importantes cuando está abierta.
 - A medida que la válvula se cierra las pérdidas de carga aumentan de forma importante.
 - La sensibilidad al paso del flujo para diferentes posiciones no es muy buena.
 - No suelen utilizarse como válvula de regulación, sino de todo-nada (abierta-cerrada).

- Válvulas de mariposa:
 - Mayor sensibilidad para la regulación
 - Mayores pérdidas de carga en posición abierta.
 - Existen válvulas más adecuadas para las tareas de regulación que las de mariposa, pero estas son baratas

Válvulas en la Red Privada:



Válvula seccionadora y válvula hidráulica



Válvula hidráulica enterrada



Grupo Almagro



MT Spain

válvulas seccionadoras de compuerta y mariposa

Elementos de la red privada en el hidrante – Filtros

Los filtros son elementos importantes en los sistemas de riego presurizado, que se hacen imprescindibles en los sistemas de riego localizado. Las necesidades de filtrado dependen de la calidad del agua en origen y del sistema de riego en parcela, concretamente del tamaño del orificio del emisor más pequeño. Debido a esto último, las necesidades de filtrado son superiores en riego localizado que en riego por aspersión. Los filtros se clasifican por el material filtrante que utilizan. Los materiales más comunes son de malla, de anillas o de arena.



Filtros de arena:

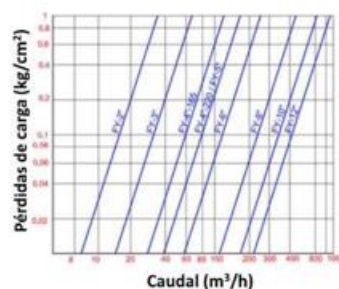
Estos filtros presentan diseños muy variables según el fabricante, pero la base y el funcionamiento son los mismos en todos los casos. Una cama de arena filtrante (normalmente de sílice, entre otros componentes) permite que el agua recorra el lecho lentamente, dejando a su paso multitud de partículas. Estos filtros son adecuados cuando el contenido en materia orgánica en el agua de riego es elevado o cuando se quiere una filtración fina. La superficie de contacto con las partículas de arena es muy elevada, consiguiendo una filtración muy efectiva, pero con pérdidas de carga a menudo superiores a otros tipos de filtro (hasta 3 m de pérdida de carga). Estos filtros son comparativamente caros y requieren un mantenimiento importante.



Filtros de malla:

Estos filtros son los mas comunes y económicos, en las instalaciones de riego por aspersión son los mas utilizados. La malla, con un paso de entre 1 y 2 mm, proporciona el nivel de filtrado requerido en aspersión (por debajo del diámetro menor de las boquillas del aspersor, que suele ser de 2,4 mm). Los filtros para riego por aspersión están preparados para soportar presiones elevadas, mayores o iguales a 6 kg/cm². La Figura 12 presenta la relación entre caudal de circulación y pérdidas de carga de filtros de malla en “Y” de diferentes diámetros (de 2 a 12 pulgadas).

Puesto que las necesidades de filtrado en riego localizado son superiores a las de riego por aspersión, la malla o las anillas filtrantes tendrán un paso menor. La curva que relaciona el caudal con las pérdidas de carga del filtro depende del tamaño del filtro y del paso de la superficie filtrante (número de “mesh”, en el caso de filtros de malla).

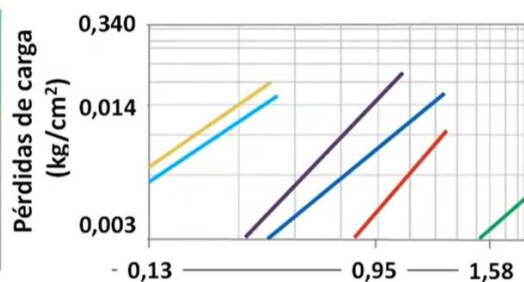


Filtros de anillas:

Estos filtros representan una mezcla entre un filtro de malla y un filtro de arena, con muchas de las ventajas de ambos. Son adecuados para eliminar tanto partículas como arena y materia orgánica.

Están formados por una pila de anillas redondas superpuestas. La superficie de cada anillo está cubierta con pequeñas protuberancias de varios tamaños que es donde se retienen las partículas del agua. El tamaño de los filtros de anillas sigue una codificación por colores como puede observarse en las siguientes figuras

Modelo	Entrada	Area de Filtrado (cm ²)	Flujo Máx (m ³ /h) (gpm)		Peso (kg)
YD75	3/4"	180	5	22	0.3
YD100	1"	180	6	26	0.39
YD150	1 1/2"	300	14	62	0.96
YD200	2"	525	25	110	1.36
YD300	3"	600	35	154	2.7



Limpieza de filtros:

Para saber cuándo es necesario limpiar los filtros se instala un manómetro antes y otro después de la unidad de filtrado. La diferencia de presión indicará el momento adecuado para la limpieza. Cuando la diferencia de presión se mide con un sensor de presión diferencial es posible conectar este a un programador de riego para que la limpieza se ponga en marcha cuando sea necesaria. De esta manera se asegura un funcionamiento ininterrumpido del sistema de riego, aunque la calidad de agua no sea la ideal.

Este sistema de limpieza automática se usa también en redes infestadas con mejillón cebra, para deshacerse de las cáscaras.



6.2.3. Red Parcelaria y Pérdidas de Carga.

Para realizar un correcto diseño de la red parcelaria hay que considerar el caudal del hidrante, la presión disponible y la topografía de la parcela.

Si en hidrante disponemos de una **presión ajustada** y/o tenemos que salvar un desnivel negativo en la parcela, el diseño debe de reducir al máximo las pérdidas de carga en la red parcelaria. Esto se puede conseguir a través de:

- a) Aumentar el diámetro de las tuberías
- b) Seleccionar los elementos secundarios (válvulas, contadores, codos...) más adecuados

Haciendo esto se encarecerá la red, pero también conseguiremos aumentar la eficiencia y la uniformidad potencial del sistema de riego en parcela.

Si el hidrante dispone de una **presión holgada** y/o hay desnivel positivo en la parcela, se puede hacer un diseño más económico. Esto se puede conseguir a través de:

- a) Reducir el diámetro de las tuberías
- b) Usar elementos secundarios con más pérdidas de carga

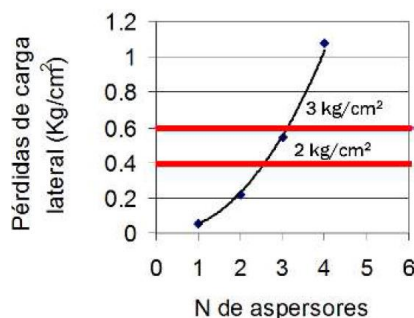
Con estas medidas no se comprometerá la calidad del riego de la instalación al tiempo que reducir la presión necesaria por parte del hidrante nos permitirá evitar el bombeo o bien disminuir la energía necesaria para bombear el agua... ambos aspectos son muy importantes para proteger la rentabilidad de la explotación.

EJEMPLO DE DISEÑO PARCELARIO

Supongamos un diseño parcelario donde los ramales porta-aspersores utilizados son los que más comúnmente se usan para coberturas totales de aspersión, los de polietileno (PE) de 32 mm (diámetro interior de 28 mm):

Este diámetro provoca pérdidas de carga importantes a medida que se incrementa el caudal circulante, es decir, a medida que aumenta el número de aspersores que se acoplan al ramal.

El límite máximo aceptable de pérdidas de carga depende de la presión necesaria en boquilla. Un criterio de diseño que asegura la uniformidad de riego es que la diferencia de presión entre aspersores del mismo bloque no supere el 20 %.



En esta figura se presentan dos situaciones de presión en boquilla (3 y 2 kg/cm²) con su respectiva máxima variación aceptable de presión (0,6 y 0,4 kg/cm², respectivamente).

- La línea negra representa las pérdidas de carga a medida que se incrementa el número de aspersores que se acoplan a él
- A una presión de 2 kg/cm² en la tubería PE 32 no es recomendable acoplar más de 2 aspersores. En el caso de 3 kg/cm² se pueden acoplar 3 aspersores, asegurando una variación de presión inferior al 20 % en el ramal.

6.2.4. PRESION NECESARIA: en Estación de Bombeo

Es necesario analizar todas las alternativas que permitan reducir la superficie de riego a conectar a la estación de bombeo, así como moderar la presión de funcionamiento de la estación. Es decir, si se puede a través de un buen diseño, se ha de evitar la construcción de estaciones de bombeo. En caso de necesitar una estación de bombeo, el dimensionado de la Estación de bombeo ha de ser óptimo para satisfacer las necesidades de servicio de la red (caudal y presión en los nodos hidrantes) asegurando su correcto funcionamiento.

Para llevar a cabo este dimensionado se aplican los Principios hidráulicos:

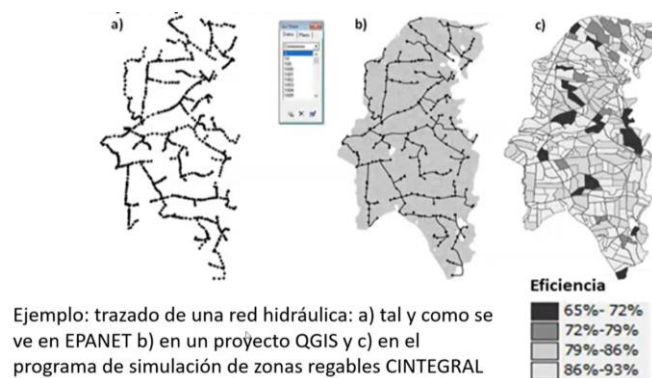
- Ecuaciones de continuidad de la masa y de la cantidad de movimiento
- Ecuaciones de pérdidas de carga
- Las ecuaciones se cumplen en cada uno de los nodos de la red colectiva

Hoy en día el proceso de dimensionado se ha simplificado con la existencia de software para diseño de redes presurizadas colectivas que facilita la optimización de la instalación de bombeo. Destacamos:

- **EPANET:** Software libre, que ha dado lugar a muchos desarrollos que utilizan su motor de simulación hidráulica incluyendo las particularidades de las redes de riego agrícolas. Desarrollado por la Agencia Americana del Medio Ambiente (US EPA), para simular y analizar el movimiento del

agua potable dentro de una red de distribución, considerando los tratamientos de cloración y otros aspectos fisicoquímicos.

- Módulos de diseño hidráulico y dimensionado de tuberías.
- Módulos de optimización, análisis hidráulico y energético



- **GESTAR:** Desarrollado por la Universidad de Zaragoza (Departamento de Mecánica de Fluidos de la Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Huesca). Usado para diseñar la mayoría de las redes de riego de los planes de Modernización de regadíos del siglo XXI en España.

Otro de los factores importantes a tener en cuenta para determinar el sistema de bombeo que será necesario utilizar es el origen o la procedencia del agua de riego, la cual determinara la energía que necesita el agua para aplicarla correctamente al sistema de riego.

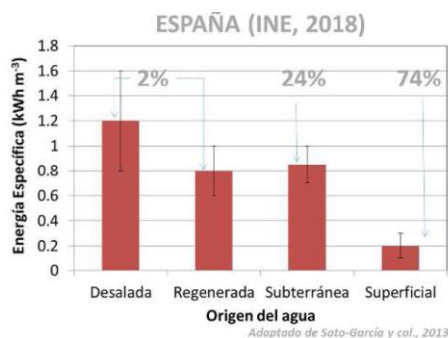
Este origen del agua puede ser en algunos casos de distintos tipos, los cuales supondrán unas consideraciones distintas:

- **Agua de pozos profundos (agua subterránea):** necesita mucha más energía que el agua en superficie.
- **Agua de fuentes alternativas (depuradora o desalación):** requieren importantes cantidades de energía para su acondicionamiento, antes de poder aplicarse como agua de riego.

En España el 74% del agua de riego procede de fuentes de agua superficial. Este tipo de agua es, en general, la que menores necesidades de energía requiere, tanto para las pérdidas de carga en las conducciones como para la presión necesaria en los emisores, ya que sólo tiene que salvar el desnivel topográfico de la zona regada.

El 24% del agua de riego proviene de aguas subterráneas. En este caso, a las necesidades energéticas propias del desnivel topográfico del terreno hay que sumar también la profundidad de la capa freática de la que se extrae el agua.

A escala Nacional las fuentes de agua alternativas representan sólo el 2% del agua de riego. En Murcia, la Comunidad Valenciana y Baleares representa entre el 15 y el 20% del recurso para riego, siendo para estas comunidades autónomas un origen de aguas indispensables pese al elevado coste energético necesario para su obtención y utilización.



6.3 ESTACIONES DE BOMBEO COLECTIVAS: CARACTERÍSTICAS Y FUENTE DE ENERGÍA

6.3.1 Características de la estación de bombeo

Una estación de bombeo para riego agrícola está compuesta por equipos mecánicos y eléctricos complejos cuyo manejo y mantenimiento excede el objetivo de este curso, necesitan conocimientos técnicos muy específicos para ser capaz de controlar y regular la instalación.

Esta complejidad se puede ver reflejada también por la cantidad de elementos diferentes que componen la instalación (bombas, variadores de frecuencia, paneles de control eléctrico, transductores de presión o manómetros, contadores, etc.). Será conveniente realizar sobre todos estos elementos un control periódico del funcionamiento y sobre todo del consumo eléctrico de la instalación.

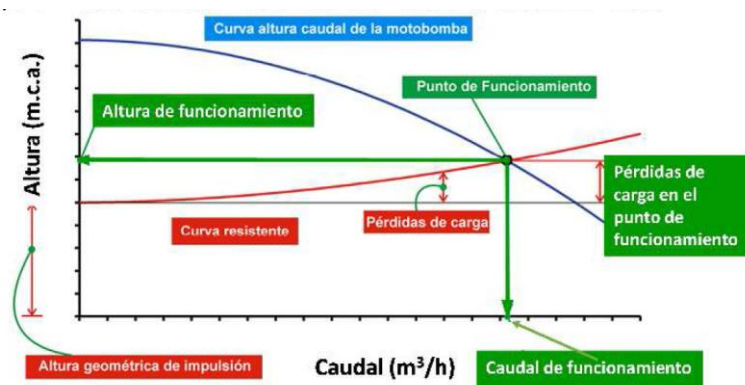
Las bombas son los elementos principales del bombeo, y los que más consumo suponen. Un sistema de bombeo que requiere una gestión continua de las bombas (muchos arranques, paradas), resulta conveniente la instalación de variadores de frecuencia.



Cuando se instalan estos elementos en una red colectiva de riego, la demanda de caudal y la presión necesaria en la red será lo que determine las características y el número de bombas que integrarán la estación de bombeo. Para elegir el tipo de bombas a utilizar los fabricantes suelen facilitar unas graficas con **las curvas características** de sus bombas. En estas graficas se muestra la relación entre el caudal y la altura hidráulica (Q-H) para una velocidad determinada de rotación de su impulsor. Esta curva nos permitirá saber la presión que proporciona la bomba a diferentes caudales de funcionamiento.

Por otro lado, la **curva de funcionamiento** o curva resistente de la instalación representa gráficamente la energía que requiere el sistema para diferentes caudales. Esta energía es la suma de la altura de presión estática, diferencia de cota entre la aspiración y la descarga, más la altura de presión dinámica, pérdidas de carga por fricción del flujo a través del sistema de tuberías.

Las dos curvas coinciden en un punto de intersección: punto de funcionamiento del sistema.



Los caudales que se demandan en las comunidades de regantes generalmente requieren el acople de varias bombas. Este acople suele realizarse en paralelo, lo que permite mantener la presión en cabecera y aumentar el caudal.

En el caso de sistemas en paralelo, los variadores de frecuencia (VF) van cosidos a través de un bus de control, siendo el variador de frecuencia maestro ("jefe") el que da las directrices de funcionamiento al resto de variadores (recordamos que para un VF una bomba). De modo que el autómata de control del bombeo, que controla la planta, se comunica vía bus únicamente con el VF maestro, abstrayéndose del resto de VF esclavos. Con ello, la optimización del punto global del sistema de bombeo se delega en un bloque-programa de control del propio fabricante de los variadores, simplificando la programación del autómata de control de la planta (establecimiento del calendario-horario de funcionamiento), y sobre todo (y lo que tiene importancia para nuestro caso), maximizando la eficiencia energética del sistema de bombeo.

El variador de frecuencia se ajusta a los requerimientos del sistema, haciendo trabajar a la bomba o conjunto de bombas próximas a su punto de máxima eficiencia global.

6.3.2 Control de consumos

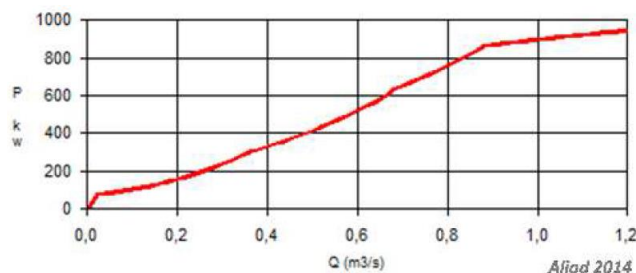
El seguimiento del consumo energético permite detectar anomalías, evitando que los equipos trabajen con bajas eficiencias energéticas durante largos periodos. Para ello se utilizan una serie de indicadores energéticos que permitirán realizar este control de forma precisa.

El indicador energético mas representativo es la **Energía Específica (EE)** que muestra la relación entre el consumo de energía y el volumen de agua. Otro indicador que podemos usar es el **Coste energético por unidad de volumen agua (CEV)** el cual debemos reducir al máximo.

Para disponer de los consumos energéticos es conveniente utilizar un **Equipo analizador de redes**, el cual se encarga de analizar en detalle los consumos energéticos, e Informa de manera continua de cómo están funcionando los equipos, del consumo energético al autómata de control de la planta, para verificar que se está realizando y si se están cumpliendo los parámetros y objetivos de contratación con la empresa eléctrica comercializadora.

Los datos de consumo energético y de caudal bombeado registrados en el log-histórico del SCADA de planta permite analizar la evolución temporal de la EE y de la CEV consiguiendo hacer un diagnóstico práctico del funcionamiento de los sistemas de bombeo.

Relación entre caudal bombeado y potencia demandada:



La pendiente de la curva en los diferentes tramos se corresponde con la potencia específica de la instalación. Cuando los caudales son muy pequeños la pendiente de la curva es muy pronunciada, indicando que la potencia por unidad de volumen de agua bombeado es muy elevada. La pendiente es aproximadamente constante entre 0,01 y 0,9 m³/s, caudales típicos de operación del sistema. Por encima de 0,9 m³/s y hasta 1,2 la potencia específica disminuye.

Para revisar el buen funcionamiento de la estación de bombeo hay que hacer un seguimiento de la potencia demandada a la red por unidad de volumen de agua bombeada.

6.3.3 Fuentes de energía y opciones de ahorro energético

Energía de la red eléctrica: periodos tarifarios.

Las tarifas eléctricas en vigor se aplican desde el primero de junio de 2021. Las tarifas incluyen cinco conceptos (CNMC):

- Coste de la energía
- Costes regulados (coste de las redes de transporte y distribución, fomento de las energías renovables, mayor coste de producción en los sistemas no peninsulares, recuperación del déficit de tarifas). Estos costes se incorporan en lo que actualmente se denomina tarifa de acceso.
- Margen para la comercializadora por los servicios prestados
- Alquiler del equipo de medida
- Impuestos

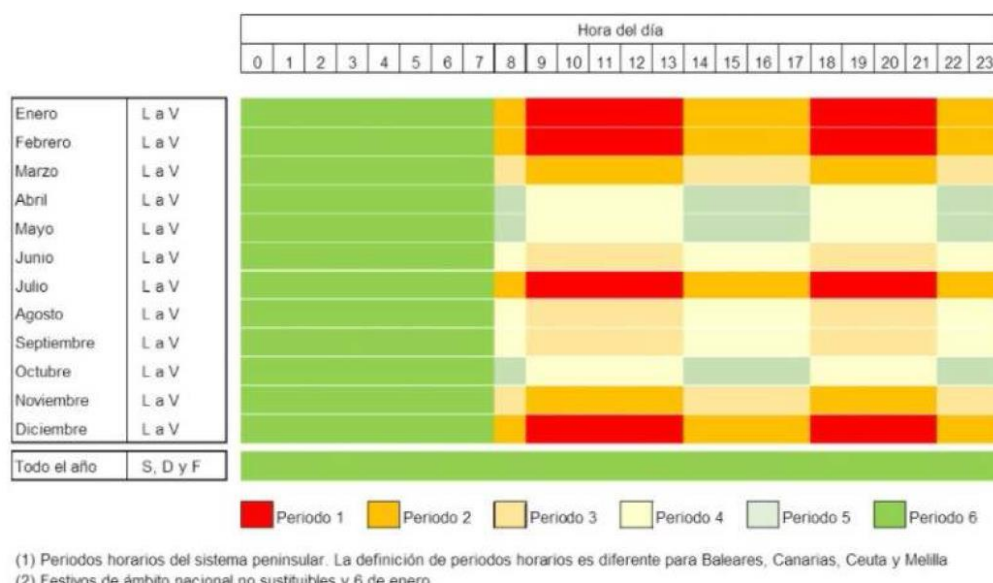
Todos ellos se suman para dar lugar al importe de la factura. Las comunidades de regantes generalmente usan tarifas industriales (de tipo 6), en los que hay seis términos de potencia y otros seis de energía.

Alternativas al contrato de la energía

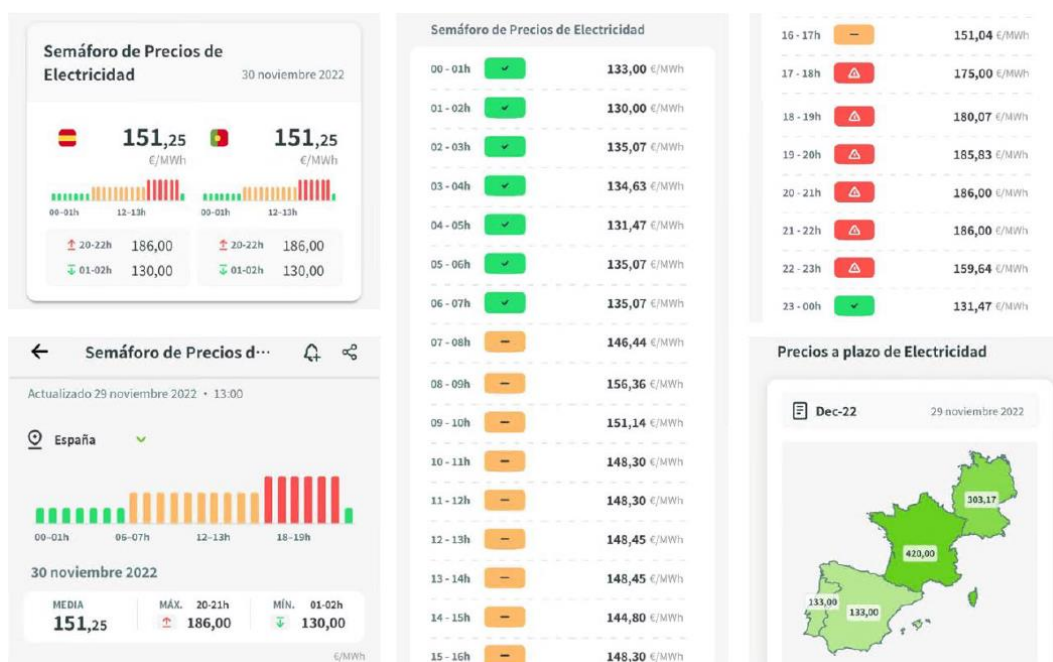
Las comunidades de regantes han adoptado en general estas estrategias para controlar los costes energéticos eléctricos:

- Contratar según periodos tarifarios
 - Precio preestablecido.

- Tarifa 6.1: seis periodos, con duración y coste conocidos.



- Mercado libre o indexado: Cada hora de cada día tiene un precio que se establece el día anterior.



Energía de la red eléctrica: Energía Fotovoltaica.

La generación fotovoltaica está aportando soluciones a las comunidades de regantes en estos años de altos costes energéticos. Estas soluciones se han generalizado, ya que resultan económicamente viables y además tienen un encaje directo en las líneas de financiación de las obras de modernización de regadíos financiadas por el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.



El objetivo de estos proyectos es aportar energía para el bombeo del agua de riego, aunque también es posible que en la configuración actual o en modificaciones posteriores se pudiera vender electricidad a la red, pero este no es el objetivo de estas instalaciones. Tampoco es en general el objetivo de estas instalaciones el independizarse de la red eléctrica. Con todo, este tipo de instalaciones complementarias tienen unos objetivos y características claros:

- Obtener energía para evitar los periodos más caros de la tarifa eléctrica.
- Se diseñan para que la comunidad de regantes únicamente use la tarifa P6.
- Fuera de este periodo se usará agua bombeada con energía solar.
- La combinación de las dos fuentes de energía hace que la superficie dedicada a las placas fotovoltaicas sea muy pequeña en relación con la superficie regable.
- Con un 0,2 % de la superficie regable se puede suministrar energía para bombear el agua de riego fuera del periodo P6. Aunque en ocasiones también se abordan bombeos solares más ambiciosos

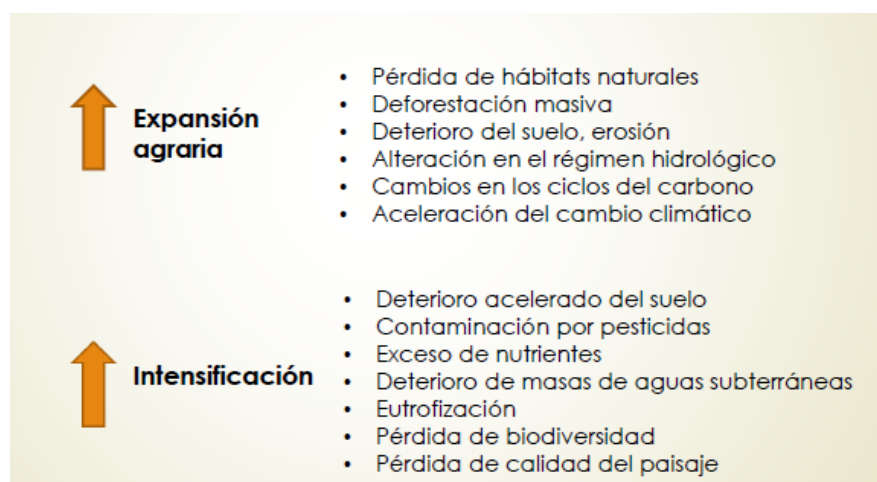
Desde el punto de vista de política energética, este criterio de complementar la tarifa P6 resulta muy adecuado, puesto que la tarifa P6 se aplica a momentos en los que no está garantizado que se pueda usar la capacidad de generación eléctrica del “mix” nacional. Elementos de este mix como la energía eólica o la nuclear no se detienen ni durante la noche ni los fines de semana o días festivos. Es por ello por lo que el uso de esta tarifa es una prioridad, y el precio debería resultar competitivo frente a alternativas como la generación fotovoltaica

7. TEMA 7. PRINCIPIOS BASICOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DE LOS AGROECOSISTEMAS

7.1 INTRODUCCIÓN

Se entiende por Ecosistema al sistema formado por un conjunto de seres vivos que se relacionan entre sí y que habitan en un medio físico característico. Particularmente, los sistemas agrarios pueden verse como un ecosistema con unas características peculiares en cuanto a su funcionamiento que no por ello no permite un análisis estrictamente en los términos científicos propios de la ecología. Para especificar que el sistema del que estamos hablando es un paisaje agrario solemos utilizar el término *agroecosistema*.

En los últimos años, el incremento de la producción de alimentos ha llevado aparejado un deterioro ambiental en estos agroecosistemas. Aunque el incremento de la población mundial hace necesario a su vez el mantenimiento de esta producción alimentaria elevada.



La **aproximación ecológica** al estudio y gestión de los agroecosistemas permite resolver problemas agronómicos con un menor impacto ambiental, y, en muchos casos, con una buena relación coste beneficio, tanto si la calculamos a nivel de explotación como, aún más, si la calculamos a nivel global teniendo en cuenta los potenciales impactos de la actividad agraria.

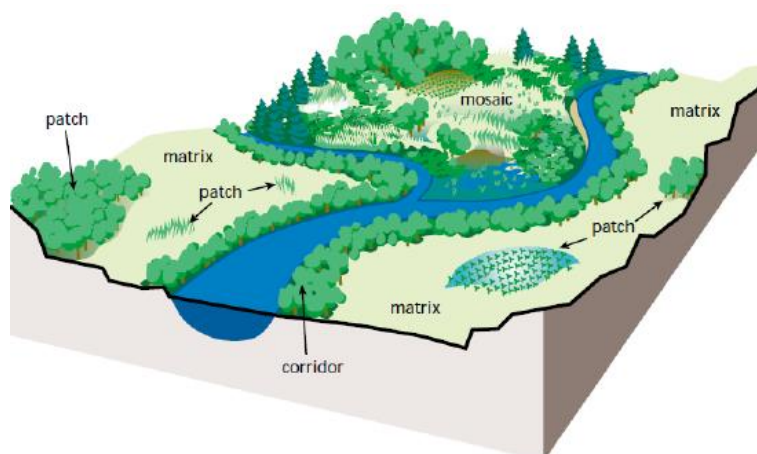
La aproximación ecológica no pretende sustituir esta experiencia sino aportar nuevos conocimientos y promover la innovación.

7.2 AGROSISTEMA Y PAISAJE

El término **paisaje** es de uso común en el lenguaje no científico, y se define laxamente como la parte de un territorio con unas características físicas y de hábitats comunes y, probablemente, repetido dentro de una región. Está implícito en el término que cuando observamos esa porción del territorio reconocemos los elementos que lo conforman y las relaciones que hay entre ellos. La **ecología del paisaje** ofrece una visión espacial de estas relaciones e interacciones ecológicas.

Los elementos que más comúnmente aparecen en la ecología del paisaje son:

- Mancha: extensión de un hábitat específico rodeado por otro tipo de hábitats
- Matriz: Hábitat dominante entre las manchas (ej: olivar rodeado de manchas de encinar)
- Corredor: barreras (ej: río, setos...). Tienen carácter lineal
- Mosaico: cuando no hay un hábitat dominante que forme manchas, sino una distribución equilibrada de manchas



Agroecosistemas, una descripción ecológica

Un agroecosistema es el conjunto de plantas y animales que interactúan entre ellos y con su entorno en un ambiente física y químicamente modificado por el ser humano y cuyo objeto es producir alimentos u otros recursos. Las interacciones entre los seres vivos que conforman un agroecosistema (comunidad), se dan a través de distintos procesos: predación, competencia, parasitismo, etc. Todos estos procesos se dan en los agroecosistemas y son de gran relevancia agronómica: plagas, malas hierbas, etc.

La agronomía clásica no es ajena a la ecología. Por ejemplo, si tratamos con una plaga no es sólo cuestión de suprimirla con un pesticida, sino de entender cómo influye la variabilidad temporal y espacial de los factores ambientales en la aparición y dinámica poblacional de la plaga, así como el manejo de la propia cosecha, la estructura espacial del cultivo, etc.

Predación

Las relaciones existentes en la red trófica se presentan de igual modo en un agroecosistema. Las plagas de insectos predan sobre las cosechas y, a su vez, son predados por enemigos naturales. La comprensión de la red trófica dentro del agroecosistema nos puede permitir mejorar la gestión de las plagas mediante la manipulación de los elementos del agroecosistema en vez de recurrir únicamente al uso de pesticidas.

Competencia

La competencia se da cuando dos especies, o incluso individuos de la misma especie, compiten por los mismos recursos. Las “malas hierbas”, por ejemplo, compiten con nuestras cosechas, al igual que puede ocurrir entre animales salvajes y domésticos en zonas de pastoreo extensivo.

Mutualismo y comensalismo

En el mutualismo, las dos especies que interactúan son beneficiadas. En cambio, en el comensalismo solo una de las especies es beneficiada. El ejemplo más repetido de este tipo de interacción es la polinización, que resulta especialmente importante en la agricultura.

Otro ejemplo, son las micorrizas, unión entre una planta y un hongo, en la que la planta proporciona al hongo compuestos orgánicos sintetizados por la fotosíntesis y recibe nutrientes y agua captados por el micelio.

Biodiversidad

El conjunto de especies que conviven en un hábitat característico y que mantienen las interacciones anteriormente comentadas, se denomina comunidad. La comunidad característica de un ecosistema constituye la biodiversidad, es decir, la diversidad de especies

La biodiversidad es fundamental en los agroecosistemas, fomentando plagas, polinizadores, enemigos naturales, etc. En los paisajes agrarios más modernos asistimos a una caída importante de la biodiversidad, debido al incremento del tamaño de las parcelas, eliminación de setos, intensificación de la fertilización, uso de pesticidas, etc.

7.3 SERVICIOS ECOSISTEMICOS

Los servicios que los ecosistemas aportan a la sociedad se llaman servicios ecosistémicos la regulación del ciclo del agua por la vegetación es otro servicio ecosistémico. Los servicios ecosistémicos no tienen necesariamente un coste, no se paga por ellos como se puede pagar, por ejemplo, por la fertilización de un campo, pero tienen un valor para la sociedad y para la actividad económica e, incluso, se les puede asignar un valor monetario. Por ello, la preservación de los servicios ecosistémicos es de la máxima importancia.

Se distinguen cuatro tipos de servicios ecosistémicos:

- De aprovisionamiento: madera, agua, alimentos, etc.
- De regulación: regulación del clima, regulación del ciclo del agua, control de la erosión, polinización, etc.
- Culturales: relacionados con el ocio
- De soporte: biodiversidad, procesos naturales del ecosistema, etc.

De la agricultura obtenemos, sobre todo, servicios de aprovisionamiento, pero para poder mantener este aprovisionamiento es imprescindible mantener los servicios de regulación y de soporte a un nivel adecuado. La intensificación de la agricultura, en general, ha tendido a sustituir estos servicios de regulación y soporte por inputs artificiales.



Los servicios ecosistémicos están muy influidos por la configuración espacial del territorio, es decir, por la estructura del paisaje.

Podemos diseñar paisajes agrarios que maximicen los servicios que nos proporcionan, mediante la creación y recuperación de estructuras vegetales.

7.4 INSTENSIFICACION ECOLOGICA

Unión de la ecología y agronomía

La intensificación de la agricultura genera **externalidades negativas** en forma de contaminación, erosión, riesgo de avenidas, etc. Estas externalidades plantean dudas sobre la sostenibilidad (ambiental y económica) de la agricultura intensiva.

La **intensificación ecológica** propone la utilización de procesos ecológicos para mantener o aumentar la producción agraria, minimizando los efectos ambientales negativos. Por ejemplo: utilizar energía solar para bombear agua de riego.

Prácticas:

- Laboreo de conservación
- Mantenimiento de la cobertura
- Rotación de cultivos
- Uso de los espacios no productivos de las explotaciones agrarias

7.5 MARCO NORMATIVO

Política Agraria Común (PAC)

En 2023 comienza la aplicación de la nueva Política Agraria Común (PAC), vigente hasta 2027. En la nueva versión se aumenta la ambición ambiental de esta política fundamental para la UE.

Se establece que la PAC debe contribuir al Pacto Verde, que pretende que la UE alcance la neutralidad climática en 2050. De este modo:

- Los pagos a los beneficiarios están vinculados a requisitos más estrictos: al menos un 3% de las tierras cultivadas se dedicarán a la biodiversidad y a elementos no productivos
- Al menos el 25% del presupuesto para pagos directos se asignará a regímenes ecológicos
- En el sector de las frutas y hortalizas, los programas operativos asignarán al menos el 15% de sus gastos al medio ambiente
- El 40% del presupuesto de la PAC tendrá que ser relevante para el clima

En esta nueva vigencia de la PAC se da mucha importancia a la recuperación de la biodiversidad en los sistemas agrarios, más allá de por su valor, por los servicios ecosistémicos que puede proveer. La importancia del suelo y de las acciones para combatir el cambio climático reduciendo emisiones e incrementando la captura de carbono se apoya en las técnicas de intensificación ecológica.

Se presentan también esquemas voluntarios (eco regímenes) que bonifican las buenas prácticas agrarias. Las solicitudes de estos eco-regímenes se pueden hacer para toda la explotación o para algunas parcelas. Además, se puede adoptar más de un eco régimen.

Dentro del plan estratégico de la PAC de España se han aprobado nueve eco regímenes (Tabla 1). Se puede observar que los eco regímenes se aplican a distintas tipologías de sistemas agrarios: pastos húmedos, pastos mediterráneos, herbáceo de secano, herbáceo de secano húmedo, herbáceo de regadío, cultivos leñosos en pendiente media, cultivos leñosos en pendiente elevada y, finalmente, como elemento singular asociado a cualquier tipo de sistema agrario encontramos los espacios de biodiversidad en tierras de cultivo y cultivos permanentes. Las opciones o prácticas en los eco regímenes son: pastoreo extensivo, isla de biodiversidad, siega sostenible, rotación con cultivos de especies mejorantes, siembra directa, cubierta vegetal espontánea o sembrada, cubierta inerte, opciones generales (para espacios de biodiversidad) y opciones específicas para cultivos bajo agua. Cada tipo de sistema agrario puede optar sólo por dos o tres eco regímenes.

Código Intervención	Nombre del Eco régimen	Opciones de prácticas posibles para su cumplimiento	Importe unitario planificado en 2023 (€/ha)
1PD31001801V1	Agricultura de Carbono y Agroecología: Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad en las superficies de Pastos Húmedos	Pastoreo Extensivo (P1); Establecimiento de islas de biodiversidad (P2A); Siega sostenible (P2B)	62,16
1PD31001802V1	Agricultura de Carbono y Agroecología: Pastoreo extensivo, siega y biodiversidad en las superficies de Pastos Mediterráneos	Pastoreo Extensivo (P1); Establecimiento de islas de biodiversidad (P2A); Siega sostenible (P2B)	40,96
1PD31001803V1	Agricultura de Carbono y Agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano	Rotación de cultivos con especies mejorantes (P3); Siembra Directa (P4)	47,67
1PD31001804V1	Agricultura de Carbono y Agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de secano húmedo	Rotación de cultivos con especies mejorantes (P3); Siembra Directa (P4)	85,72
1PD31001805V1	Agricultura de Carbono y Agroecología: rotaciones y siembra directa en tierras de cultivo de regadío	Rotación de cultivos con especies mejorantes (P3); Siembra Directa (P4)	151,99
1PD31001806V1	Agricultura de Carbono: cubiertas vegetales y cubiertas inertes en cultivos leñosos en terrenos llanos	Cubierta vegetal espontánea o sembrada (P6); Cubierta Inerte (P7)	61,07
1PD31001807V1	Agricultura de Carbono: cubiertas vegetales y cubiertas inertes en cultivos leñosos en terrenos de pendiente media	Cubierta vegetal espontánea o sembrada (P6); Cubierta Inerte (P7)	113,95
1PD31001808V1	Agricultura de Carbono: cubiertas vegetales y cubiertas inertes en cultivos leñosos en terrenos de elevada pendiente	Cubierta vegetal espontánea o sembrada (P6); Cubierta Inerte (P7)	165,17
1PD31001809V1	Agroecología: Espacios de biodiversidad en tierras de cultivo y cultivos permanentes	Opciones Generales (P5); Opciones específicas para cultivos bajo agua	56,05 (156,78 para cultivos bajo agua)

Para una parte de la explotación se puede solicitar más de un eco régimen, pero se recibirá ayuda por una de ellas. El eco régimen y la cuantía de la ayuda se asignan teniendo en cuenta el tipo de sistema agrario y no sólo a la práctica en sí.

La práctica P5 (opciones generales) asociada al eco régimen ‘espacios de biodiversidad en tierras de cultivo y cultivos permanentes’ requiere que se destine a superficies o elementos no productivos un porcentaje determinado de la superficie de las parcelas en tierras de cultivo.

Los ‘**espacios de biodiversidad**’ abarcan un amplio número de categorías: tierras en barbecho, márgenes de biodiversidad, terrazas de retención, setos/franjas arboladas, árboles aislados, árboles en hilera, lindes de campo, charcas, lagunas, estanques, islas y enclaves de vegetación natural o roca, majanos, muretes, elementos de arquitectura tradicional, etc.

El Mecanismo de Recuperación y Resiliencia constituye el núcleo del Fondo de Recuperación que la UE ha establecido para hacer frente a las consecuencias económicas y sociales de la pandemia de COVID-19.

Se establece que ninguna medida incluida en los planes nacionales de recuperación y resiliencia puede producir un daño significativo al medio ambiente, específicamente: mitigación del cambio climático, adaptación al cambio climático, protección y uso sostenible del agua y los recursos marinos, economía circular, prevención y control de la contaminación, protección y restauración de la biodiversidad y los ecosistemas.

7.6 ELEMENTOS NO PRODUCTIVOS DEL PAISAJE

La renaturalización de los paisajes agrarios puede incrementarse mediante la implementación de estructuras vegetales que proporcionan hábitat y recursos alimenticios a los distintos grupos animales. Además, estos elementos ofrecen otra serie de funciones y servicios ecosistémicos beneficiosos:

- Control de la erosión y la escorrentía: reducción de la conectividad hidrológica. Pequeñas barreras vegetales adecuadamente implementadas son capaces de dispersar la escorrentía evitando los flujos concentrados que inician regueros y forman cárcavas.
- Mejora de la calidad de los suelos: La estructura vegetal contribuye al secuestro de carbono en forma de biomasa y en el suelo. La adición del carbono al suelo mejora su estructura y esto, a su vez, facilita la infiltración del agua de escorrentía
- Secuestro de carbono en forma de biomasa
- Incremento de la diversidad de polinizadores mediante la plantación de especies con flores. A mayor diversidad de especies, mayor diversidad de polinizadores
- Refugio para enemigos naturales de las plagas: los linderos presentan un mayor número de enemigos naturales que los cultivos es

Las estructuras vegetales son, en esencia, multifuncionales, es decir, una misma estructura puede servir a distintos propósitos. Sin embargo, la mayoría de las estructuras vegetales se diseñarán e implantarán para tener una función principal. Este diseño se basa en dos capas:

- La primera, se trata de las estructuras básicas: árboles y arbustos aislados, estructuras vegetales en alineación, estructuras vegetales areales (sobre polígonos) e hidrosiembra.

- La segunda, se trata de las estructuras más complejas fruto de la combinación modular de las estructuras básicas, y conforma las medidas funcionales.

7.6.1 Estructuras Vegetales de Conservación: Tipologías

Barreras vegetales para **controlar la erosión y escorrentía**: limitan la exportación de escorrentía y sedimentos desde una parcela a la siguiente o a otros elementos del paisaje, o bien contribuyen a limitar la erosión en terrenos afectados por una infraestructura, por ejemplo, los taludes de una balsa:

- Estructuras básicas más habituales: barreras vegetales en alineación. También hidrosiembra

Barreras vegetales para **controlar puntos calientes de conectividad hidrológica**: muy similares a las anteriores en cuanto a funcionalidad, pero diferentes en cuanto a localización. Se sitúan en ‘puntos calientes de conectividad’, es decir, puntos donde convergen flujos de escorrentía en momentos de lluvia (regueros, regatos, pequeñas cárcavas y cabeceras de barrancos).

Barreras vegetales para **fomentar polinizadores y enemigos naturales**: contienen abundantes recursos florales para polinizadores y otras plantas que pueden ser beneficiosas para albergar poblaciones de enemigos naturales.

Barreras vegetales para **mitigar la contaminación por nutrientes**: se establecen en zonas de contacto con cauces, especialmente si tienen caudales permanentes y zonas sin contacto con cauces pero que puedan ser lugares preferentes de percolación al acuífero o donde se produzcan surgencias de agua por retornos de riego.

Estructuras vegetales **para recuperar terrenos degradados**: las estructuras vegetales a implantar pueden ser de distinta tipología, pero la función principal de la medida es la mejora del paisaje y la renaturalización. Pueden incrementar los recursos tróficos disponibles para polinizadores y enemigos naturales y/o reducir las escorrentías y sedimentos.

Estructuras vegetales para **mitigar el efecto de infraestructuras** existentes que conforman espacios degradados.

Estructuras para el **incremento de la conectividad ecológica**: se diseñan para unir espacios naturales o seminaturales separados por espacios agrícolas.

- Pueden ser estructuras lineales a lo largo de trazas de infraestructuras, o pequeñas islas aisladas pero que sirven como estación de paso entre zonas bastante distantes
- Facilitan que las poblaciones de polinizadores y enemigos naturales colonicen distintos puntos dentro de la matriz agraria, al igual que otras especies, incrementando la biodiversidad
- No sólo es necesario la implantación de estructuras vegetales que generan hábitats favorables, sino que es necesario considerar la disposición espacial de las distintas estructuras y su relación con espacios naturales o seminaturales dentro y fuera de la matriz agraria.
- Una mejor conectividad se asegura mediante estructuras lineales, pero también considerando la disposición espacial de las estructuras vegetales de tal manera que se minimice la distancia entre ellas

- Conectividad ecológica no implica únicamente estructuras continuas, sino que puede tratarse de estructuras que están dispuestas unas cerca de otras sin llegar a estar físicamente conectadas

7.6.2 Mejora de la habitabilidad para la fauna

No todos los recursos que requieren los seres vivos son estrictamente tróficos (alimenticios). Hay otra serie de recursos que contribuyen a la renaturalización y facilitan la intensificación ecológica ya que son necesarios para que los animales ocupen determinadas, áreas, se reproduzcan y sobrevivan:

- Incremento de los lugares de nidificación o refugio para los distintos grupos animales que resultan beneficiosos por sus servicios ecosistémicos en el control de plagas de invertebrados o roedores y para polinizadores
- Charcas y bebederos, que pueden ser temporales o permanentes, y permiten el establecimiento de pequeñas comunidades acuáticas, lugares de cría para anfibios y suministro de agua para vertebrados terrestres.
- La instalación de plataformas flotantes en las balsas de riego es un recurso no trófico que, facilita la nidificación de forma segura, contribuyendo a incrementar el valor de las balsas para la biodiversidad.