



The Waterfall (1910). *Henri_Rousseau.*

Producir alimentos en un contexto agroecológico conlleva la doble tarea de alcanzar los frutos del trabajo sin perturbar el natural equilibrio del medioambiente. El agua es el recurso transversal sobre el que pende tal equilibrio, su ausencia limita los procesos vitales de la agroecología y determina la magnitud de los rendimientos. Por su parte, el estado de su pureza anticipa la sostenibilidad del ineludible vínculo entre el hombre y su entorno, representados por la grandiosa diversidad de colores, formas y texturas del paisaje natural.



Capítulo 9

Manejo del recurso hídrico en sistemas con base agroecológica

Gabriel González M.¹

El agua en un contexto de producción agroecológica

Al hablar de agroecología y su vinculación con el uso del agua es importante definir el término sustentabilidad, que en este ámbito se entiende como la necesidad que tiene un método de riego de generar de una forma continua un nivel de producción adecuado, a costos razonables, mejorando el uso del agua, manteniendo la calidad del agua, del suelo y otros recursos que contribuyen a la producción agrícola y calidad del medioambiente (Oster y Wichelns, 2003).

Para comprender entonces las dimensiones que tiene el agua en la sociedad actual, la economía y la inseparable vinculación de esta con la conservación del medioambiente, es importante analizar la declaración expuesta en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medioambiente realizada en Dublín en el año 1992 (CIAMA, 1992):

- El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sustentar la vida, el desarrollo y el medioambiente.
- El desarrollo y manejo del agua deberían ser participativos, involucrando a planificadores y a formuladores de políticas en todos los niveles.
- La mujer desempeña un papel fundamental en la provisión, manejo y protección del agua.
- El agua tiene un valor económico en todos los usos de esta que compiten entre sí y debería reconocerse como un bien económico.

Ya en esos años se reconocía como prioritaria la necesidad de la conservación del recurso hídrico, tanto por su valor intrínseco, como por su valor en la conservación de los ecosistemas y la necesidad de hacer participativa su gestión, introduciendo el concepto de su gobernanza, mediante la representatividad social de las políticas públicas. Por otra parte, se destaca la importancia de la perspectiva de género como un concepto que, hasta el día de hoy, agrega valor a cualquier iniciativa, estrategia o medida dirigida al manejo y protección del agua y se le reconoce también un valor económico, al formar parte estratégica en el desarrollo de

¹ Consultor privado en recursos hídricos, teledetección y agroclimatología. Consultor. cgabrielg67@gmail.com

las sociedades y de procesos productivos de diversa naturaleza, que prestan un servicio o generan riqueza.

Con este enfoque, el agua se concibe como aquella herramienta que permite un desarrollo equilibrado entre la actividad agrícola y la conservación del medioambiente (ecología).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil (CNUMAD, 1992), la formulación de la Agenda 21 abarcó 40 capítulos y en ella se reconocieron y reforzaron los vínculos entre el medioambiente y el desarrollo, señalando: *“La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y el carácter perenne del recurso con miras a satisfacer y conciliar las necesidades de agua en las actividades humanas. En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos ha de darse prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas y a la protección de los ecosistemas. Sin embargo, una vez satisfechas esas necesidades, los usuarios del agua tienen que pagar unas tarifas adecuadas”* (Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales [ONU], 1977: 18.8).

De esta forma, la importancia que tiene el riego en sí y el manejo del agua en la producción agrícola queda en evidencia al profundizar en la relación que existe entre el rendimiento alcanzado en virtud de las características propias del cultivo, por ejemplo, entre plantas C3 y C4, la demanda atmosférica dada las condiciones del clima expresado como déficit de presión de vapor y la transpiración directa desde las hojas de acuerdo con lo propuesto por Tanner y Sinclair (1983). Los rendimientos agronómicos, financieros y la optimización de costos de producción, obtenidos por el cultivo, estarán determinados en parte por la relación entre la lámina de agua aplicada y los requerimientos hídricos propios de cada cultivo.

A diferencia de lo que se puede observar en diversas prácticas de manejo agronómico, la gestión eficiente del recurso hídrico en la agricultura convencional pareciera no distar mucho de lo que sería en un contexto agroecológico. Esto es aún más apreciable cuando se trata de riego en condiciones de escasez hídrica o incluso en períodos de sequía prolongada. En estos casos se concibe el agua como un factor limitante y determinante para los rendimientos potenciales de la mayoría de los cultivos, primando aquellas prácticas de manejo dirigidas a incrementar la eficiencia de su utilización.

Desde el punto de vista de la conservación y eficiencia de la utilización del agua, el criterio que prevalece es el mismo en ambos modelos de producción: convencional y agroecológico. En el caso del segundo, el agua se concibe como parte de un sistema dinámico social-productivo y a la vez del ecosistema natural.

Esta sutil diferencia de perspectiva lleva a comprender el rol del agua como parte de un sistema más amplio al estrictamente productivo: un rol en un frágil equilibrio y transversal a todos los procesos naturales de los que la agroecología se hace cargo. El uso del agua en el riego es asimilado como un eslabón del sistema, con el mismo valor de aquellos roles que desempeña en el resto del ciclo hidrológico. Una manera de comprender la extensión y alcances del sistema en el que se inserta el riego como una actividad antropogénica es analizando el ciclo natural del agua.

Existen múltiples representaciones con variados niveles de detalles del recorrido que sigue una partícula de agua en sus estados físicos por los distintos niveles de la geografía. Del conocimiento de estos procesos dinámicos y transformativos, que dan origen a un ciclo de escala global, se desprenden las prácticas cotidianas del uso del agua en un contexto agroecológico, permitiendo aplicar criterios agronómicos inocuos con la ecología del agua, entendiéndose por este concepto sus propiedades, sus ciclos, su vínculo con los seres vivos y los ecosistemas y su uso en las diversas actividades de los seres humanos, así como comprender de mejor forma las estrechas vinculaciones que existen entre las interacciones dinámicas de suelo-agua-planta-atmósfera.



Figura 9.1. Ciclo natural del agua. Fuente: Perlman, 2019.

En la Figura 9.1. se muestra una representación detallada del ciclo natural del agua, sobre la cual se observan los tres estados que la componen. La perspectiva agroecológica del uso del agua considera que el riego es un elemento que se inserta por acción humana a este ciclo, generando necesariamente un efecto en su equilibrio natural. Lo propio realizan otras actividades de la sociedad, tanto consuntivas y no consuntivas, como la industria, la minería, la generación de electricidad. Sin embargo, hay que tener en cuenta que entre un 70% y un 75% del agua global utilizada por el hombre es destinada a la producción agrícola y que esta proporción llega casi a un 95% en algunos países en desarrollo. Estas cifras se explican mejor sabiendo que se necesitan alrededor de 3 mil litros de agua para producir el alimento diario que requiere una persona, o que para producir 1 kg de cereal se requieren 1.500 litros. También se estima que la producción de alimentos de regadío aumentará un 8% en el año 2050, pero la cantidad de agua utilizada por la agricultura se incrementará solamente un 10%, gracias a las mejoras en las prácticas de riego (IBID). El agua sustenta todas las formas de vida y su escasez da lugar a grandes desequilibrios agroecológicos que provocan una pérdida de servicios ecosistémicos (Barron, 2009).

El análisis de estos procesos muestra que cualquier cambio o intervención que se ejerza en ellos producirá un efecto en algún punto del ciclo. Esto debe ser considerado como una premisa esencial en el uso del agua bajo un contexto agroecológico. Por ejemplo, al extraer agua desde un lugar para regar en otro, se producirá un desequilibrio en el primero, cuya envergadura dependerá de la fragilidad de su balance hídrico. Este fenómeno se ha observado a gran escala en algunas localidades y valles de la zona centro norte de Chile, generando conflictos que han afectado gravemente la exportación de un cultivo emblemático como es el palto en Petorca, donde los requerimientos hídricos no se condicen con la disponibilidad de agua (Heselaars, 2018). Este desequilibrio en el uso del agua se observa a escala predial en muchos lugares de las zonas de riego en Chile, provocando disminución de la disponibilidad de agua en los sistemas productivos, además de los ecosistemas naturales cuyo abastecimiento es deficitario debido a la sobreexplotación de estas fuentes.

Balance hídrico y evapotranspiración: fundamentos de la ecología del agua

Hay ciertos procesos del ciclo del agua que tienen mucha relevancia a escala predial. Es el caso de aquellos que se señalan en la Figura 9.2, y que conforman un balance hídrico superficial en torno a la zona radicular. Del mismo modo que la agroecología debe dar cuenta de los componentes del ciclo natural del agua (Figura 9.1.), se debe hacer lo propio con aquellos que conforman el balance hídrico en torno a un cultivo agrícola, teniendo en cuenta que el riego ejercido por la acción humana es un agente de equilibrio.

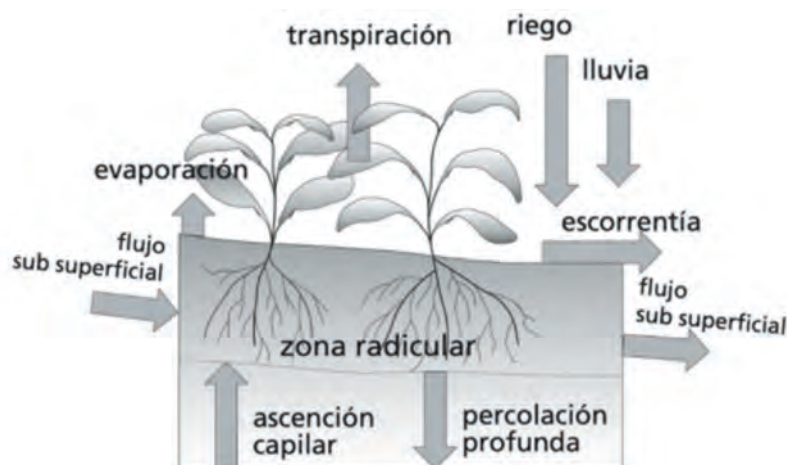


Figura 9.2. Balance hídrico superficial en torno a la zona radicular de las plantas. Fuente: Allen, et al., 1998.

Al establecer un cultivo en el predio, se está incorporando un conjunto de individuos vegetales que inciden en este balance, aumentando la cantidad de agua extraída desde el suelo. En la agricultura con criterios agroecológicos se promueve tener el suelo siempre cubierto, debido a que el cultivo protege el suelo de la erosión (bajo una condición de pendiente) y algunas raíces tienen un efecto muy positivo sobre la estructura del suelo (igual que las aplicaciones de materia orgánica), liberando exudados que sirven de cementantes, incrementando la porosidad, la infiltración, la retención de humedad y la agregación estable al agua. Además, en muchos casos, suelos cubiertos con vegetación tienen menos evaporación, porque las temperaturas son más bajas y mejoran la competencia con las malezas, toda vez que no se usan herbicidas ni otros compuestos químicos de síntesis. Sin embargo, desde la perspectiva en la conservación de humedad en el perfil, un suelo descubierto entre hileras o con la presencia de una canopia con poca vegetación reducirá la conservación de humedad y, por lo tanto, el cultivo aumentará la extracción de humedad del suelo.

En la medida que una eventual y única fuente de agua, como por ejemplo la lluvia o precipitaciones, no sea suficiente para el desarrollo de un cultivo, se debe considerar el aporte de agua de manera artificial a través del riego. Por otra parte, el cambio desde un hábitat natural a prácticas de agricultura convencional intensiva significa un incremento en escurrimiento superficial (bajo condiciones de desnivel de suelo), en periodos que el suelo está descubierto, lixiviación y riesgos de contaminación. Esta contaminación, generalmente difusa, por aplicación de fertilizantes y pesticidas, es también una fuente potencial de contaminación de los recursos hídricos (Troiano *et al.*, 1993).

Un enfoque agroecológico para este proceso consiste en mantener el contenido de humedad del suelo no solamente en las áreas del predio destinadas a la producción, sino también en aquellas en las que predomina la vegetación nativa o habitual del lugar, ver zonas de

amortiguación agroforestales (ZAA). En términos sencillos, la lámina de agua a aplicar diariamente mediante un método de riego de alta frecuencia (goteo, cinta, exudación y microaspersión) se calcula en base a la evapotranspiración del cultivo en el día anterior, corregida por un coeficiente de cultivo y la eficiencia del sistema. La evapotranspiración es una variable clave, que engloba la pérdida de agua de los cultivos por transpiración y evaporación desde el suelo y, que, en la práctica, se utiliza en la elaboración de programaciones de riego para optimizar el recurso hídrico durante el período fenológico de un cultivo y obtener los rendimientos deseados (Santiago-Rodríguez *et al.*, 2012).

La evapotranspiración de referencia, por su parte, es un concepto mundialmente utilizado para estandarizar la demanda hídrica por parte de la atmósfera y considera la evapotranspiración de un cultivo (pasto) que crece en un ambiente ideal o referencial en el cual las ecuaciones de evapotranspiración se han calibrado y representan las pérdidas de agua en condiciones no limitantes de humedad del suelo (Hatfield, 1990).

De esta manera el cálculo de esta lámina de agua a reponer en un cultivo se expresa como se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1.

$$L_r = K_c \frac{ET_o}{E_f_s}$$

Donde:

L_r es la lámina de riego a aplicar expresada en mm/día

K_c es el coeficiente cultivo función de la especie y estado fenológico

ET_o es la evapotranspiración de referencia expresada en mm/día

E_f_s es la eficiencia del sistema

A modo de referencia, en el Cuadro 9.1. se presenta una tabla con rangos de valores de K_c para alguno de los cultivos de la región según su estado fenológico y en el Cuadro 9.2., la eficiencia asociada a cada método de riego, según lo propuesto por la Comisión Nacional de Riego (CNR).

Cuadro 9.1. Valores de K_c referenciales para algunos cultivos de la Región de Los Ríos según estado fenológico.

Tipo de cultivo	Valor mínimo	Valor máximo
Hortalizas	0,50	1,15
Papa	0,75	1,15
Remolacha azucarera	0,35	1,20
Frejoles, lentejas, habas	0,50	1,15
Maíz (grano y dulce)	0,35	1,20
Empastadas	0,40	1,20

Fuente: Modificado de Allen et al., 2006.

Cuadro 9.2. Eficiencia de aplicación de referencia de diferentes métodos de riego según la CNR (2020).

Tipo de cultivo	Valor máximo
Tendido	30
Surcos	45
Surcos (en contorno)	50
Bordes (en contorno)	50
Bordes rectos	60
Pretiles	60
Tazas	65
Aspersión	75
Microjet	85
Microaspersión	85
Goteo	90

Fuente: CNR, 2020.

Dependiendo del caso, para algunos frutales mayores es conveniente ajustar esta expresión a una fracción del marco de plantación, que por lo general no supera el 70% a 75% dependiendo del estado de crecimiento, desarrollo y manejos agronómicos, recubrimiento de la canopia o índice de área foliar (IAF). Para que los métodos de riego y el uso del agua alcancen niveles de máxima optimización y eficiencia, los valores de K_c han sido tabulados en diversas publicaciones científicas y técnicas, o se pueden consultar directamente en las tablas de la publicación número 56 titulada: Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos de la FAO (Allen *et al.*, 1998).

Los centros de investigación de diversas universidades del país desarrollan trabajos dirigidos a establecer estos valores para nuevas variedades y escenarios en condiciones determinadas por los efectos del cambio climático. Aunque este es un tema que no se aborda directamente y en detalle en esta publicación, se recomienda profundizar conocimientos dada la gran

importancia que tiene para el desarrollo de la agricultura sustentable del país y muy especialmente si el enfoque productivo es en un contexto agroecológico.

Basado en el precepto que la agroecología en ningún caso se contradice con la tecnología, muy por el contrario, se apoya en ella, se recomienda el uso de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) como la que se puede observar en la foto 9.1. que, en los últimos tiempos, son muy accesibles para la escala de muchos sistemas productivos agropecuarios.

Los parámetros medioambientales que se registren en las EMA son esenciales para comprender diversos procesos bióticos que se desarrollan en el entorno, además permiten tener una adecuada aproximación de la evapotranspiración de referencia (ET₀). Para ello, la estación requiere medir y registrar a lo menos la humedad relativa, disponer de un piranómetro, un anemómetro en lo posible instalado a 2 metros de la superficie y un termómetro que registre temperaturas máximas y mínimas. Su instalación por lo general es rápida y sencilla y en algunos casos su funcionamiento depende simplemente de una batería de 9 Volt del tipo larga duración o un pequeño panel fotovoltaico que le proporcione la energía suficiente para operar con bastante autonomía. La mayoría de estos equipos permite almacenar los datos, lo que facilita mucho el proceso de análisis y procesamiento de la información, y en algunos casos son capaces de transmitirlos a una estación desde la que se descargan vía puerto USB directamente a un computador. Finalmente se sugiere que la instalación sea en un lugar representativo del sistema productivo, en lo posible protegido por un cerco perimetral y con un protocolo de mantención y limpieza periódico. La ventaja de contar con esta información las hace muy interesantes para grupos de agricultores/as que, teniendo dificultades para disponer de una estación agrometeorológica a nivel predial, podrían adquirirlas e instalarlas en zonas donde sus datos les puedan ser de utilidad a varios/as de ellos/ellas. La operación de la estación podría estar a cargo del equipo técnico asesor, quienes además difundirían la información vía redes sociales o canales de comunicación *online*.



Foto 9.1. Estación meteorológica automática (DARRERA, 2021).

Para el cálculo de valores de evapotranspiración de referencia, según la expresión de Penman y Monteith (Allen *et al.*, 1998), se deben utilizar datos de velocidad del viento (m/s), humedad relativa (%), radiación solar (MJ/m² día) y temperatura máxima y mínima (°C).

Sin embargo, el Ministerio de Agricultura de Chile, en su sitio Agromet (www.agromet.cl), que posee gracias a colaboraciones entre INIA y diversas instituciones con las que mantiene convenio, publica en línea muchos parámetros medioambientales provenientes de la red de estaciones agro-meteorológicas distribuidas en una extensa área del país y desde la cual es posible obtener los valores de ET₀ diarios para cada uno de esos puntos.

En la Figura 9.3. se pueden observar los valores diarios de evapotranspiración de referencia (ET₀, mm/día), su media móvil que corresponde a los promedios consecutivos de 15 días y la precipitación acumulada (mm/día), obtenidos desde la estación Lago Verde de la comuna de Paillaco, en el período del 1 de julio de 2019 al 31 de agosto de 2020. En esta figura se observa que a partir del mes de septiembre de 2019 y hasta finales de marzo, la precipitación diaria no permitió satisfacer los requerimientos hídricos demandados por la atmósfera y fue necesario suministrar riego.

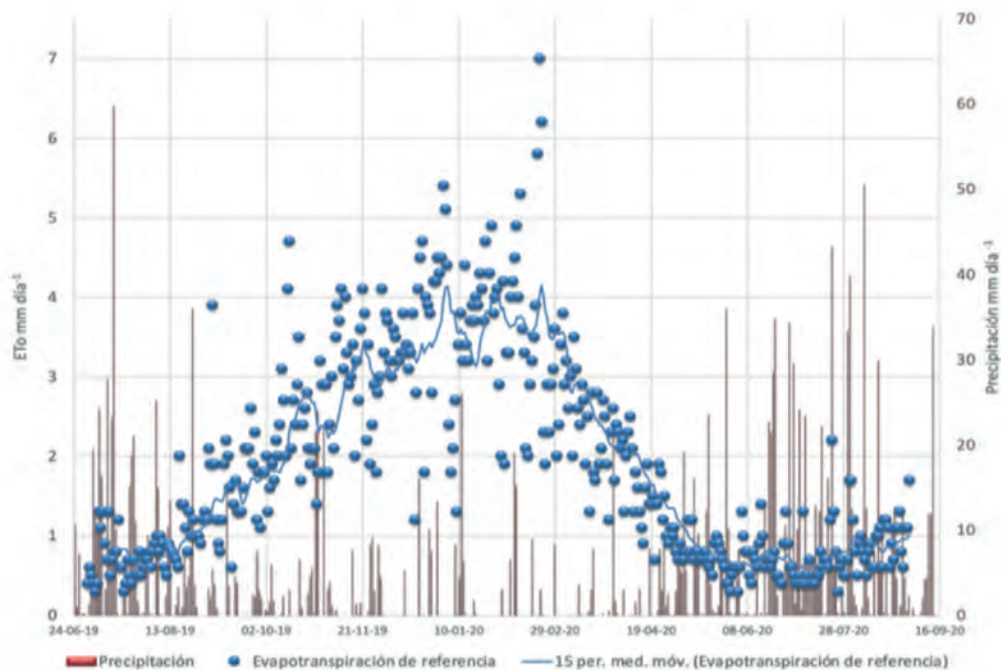


Figura 9.3. Evapotranspiración de referencia y precipitación (mm/día) en la estación Lago Verde de la comuna de Paillaco para el período del 1 de julio de 2019 al 31 de agosto de 2020. Fuente: Elaboración propia.

La tasa de riego diaria a aplicar será la L_r la lámina de riego a aplicar (mm/día) considerando el aporte de las precipitaciones y del contenido de humedad que tiene el suelo.

Manejo agronómico con criterios agroecológicos y consideraciones del suelo para el aprovechamiento del agua

Quizás una de las medidas más consecuentes de la producción con criterios agroecológicos y el uso del agua es utilizar la oferta hídrica natural del lugar para la producción de cultivos, cuando esto es posible. Para ello, el uso de especies mejor adaptadas al régimen pluviométrico es una buena medida e incluso en algunos casos esto se puede lograr simplemente reconsiderando la precocidad de nuevas variedades, las fechas de siembra, trasplante o plantación.

Muchas variedades de cultivos producidos en sistemas de secano se adaptan para aprovechar al máximo la humedad almacenada en la zona de las raíces. Los sistemas en condiciones de secano o aquellos que no disponen del recurso hídrico en abundancia, pueden ser objeto de mejora mediante el empleo de cultivos de enraizamiento profundo en rotación, la adaptación de los cultivos para fomentar este enraizamiento profundo, el incremento de la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la mejora de la infiltración de agua y la reducción al mínimo de la evaporación mediante cultivos de cobertura del suelo (Collette, 2011). La mejora de la productividad en la agricultura en el nuevo escenario de cambio climático, donde el déficit del recurso hídrico se ha hecho crítico, depende en gran medida de la mejora de la gestión en todos los aspectos del cultivo (French y Schultz, 1984; Sadras y Angus, 2006).

La presencia de suelos profundos como los existentes en gran parte del valle central y precordillera de la Región de Los Ríos y de Los Lagos, facilitan la retención de humedad y muchas veces favorecen el aporte de acuíferos subterráneos en momentos de máximo requerimiento. Esta condición es propicia para el establecimiento de especies con enraizamiento profundo, y en algunas oportunidades, con un subsolado se eliminan estratas compactadas (pie de arado) causadas frecuentemente por sobre laboreo. Al romper estas estratas se facilita la infiltración, se eliminan problemas de drenaje, se disminuye la escorrentía superficial y se incrementa la capacidad de retención de humedad del suelo al aumentar la profundidad efectiva. Cultivos con una mayor exploración radicular podrán adaptarse mejor a estas condiciones y requerirían un menor suministro de agua a la forma de riego.

Las zonas de vega, distribuidas en una vasta zona agrícola del país, corresponden a áreas que se insertan dentro de los cauces de quebradas, con escurrimiento intermitente, y en el fondo de ellas se ha depositado relleno sedimentario poco consolidado y saturado en el cual se desarrolla un acuífero que alimenta directamente la vegetación (Alegría y Lillo, 2015). Estas áreas, muy frecuentes de encontrar en las zonas centro sur y sur del país, son una buena opción para la producción de cultivos con un consumo de agua algo mayor. La topografía y su proximidad a cauces con variaciones de caudal en la época de lluvias,

mantienen estas áreas en saturación, dificultando su manejo durante los meses de invierno (Foto 9.2.). Una vez que esta condición cambia, el descenso del nivel freático se combina con un aumento en la producción natural de forraje y un eventual uso con cultivos escardados establecidos en asociaciones de cereales, hortalizas y leguminosas. Se trata de áreas con una elevada fertilidad natural producto de la sedimentación de limos depositados por el cauce en épocas de crecidas. Poseen normalmente un mayor contenido de materia orgánica, la que en presencia de oxígeno es mineralizada por parte del complejo de microorganismos mineralizadores del suelo, quedando disponible sus nutrientes para los cultivos en desarrollo.



Foto 9.2. Vegas saturadas durante parte del año, que se utilizan de primavera a principios de otoño.

El manejo agronómico de estos suelos con base agroecológica, dependiendo de la naturaleza del proceso de recarga asociado, permite la producción intensiva de una variedad importante de cultivos de la zona. Para ello, y en casos muy particulares, se hace necesario drenarlos subsuperficialmente en la medida que la topografía cuente con una cota de descarga aguas abajo que mantenga la profundidad efectiva de los cultivos bajo el umbral de contenido de humedad de saturación o capacidad de campo. En el caso del drenaje subsuperficial, el problema se produce por un exceso de agua en el interior del suelo, debido a la presencia de una napa freática (permanente o fluctuante) a una profundidad tal que restringe el desarrollo de las raíces. Generalmente, dicha napa se ubica sobre una estrata impermeable, la cual impide el movimiento vertical del agua, produciendo la condición de suelo saturado (Salgado y Ortega, 2001).

En este tipo de potreros y con manejo agroecológico se suelen construir camellones y mesas altas a las cuales se les incorporan importantes cantidades de materia orgánica. Este manejo ayuda a una adecuada aireación en la zona de desarrollo de raíces evitando anoxias y sus efectos negativos. Además, la materia orgánica permite mejorar la estructura del suelo, con esto se incrementa la retención de humedad.

Un estudio topográfico, un análisis de las propiedades físicas del suelo y de su conductividad hidráulica, la inspección visual del perfil en una red de calicatas para determinar la profundidad de elementos como concreciones, nódulos de hierro-manganeso y estratas impermeables que den una idea de la permanencia del nivel freático, son algunas de las informaciones necesarias para desarrollar obras de drenaje. Estas obras permiten, además, el laboreo del terreno en superficie, al mismo tiempo que hace descender rápidamente el nivel freático, disminuyendo así las pérdidas por asfixia radicular (Foto 9.3.).



Foto 9.3. Dren subsuperficial en operación, en zona de vega.

Dada las características climáticas reinantes en algunas zonas del sur del país, es posible aprovechar con fines de riego algunos eventos pluviométricos que ocurren en la temporada de crecimiento de los cultivos. Este concepto, que puede parecer muy obvio, se sustenta en las siguientes ideas:

- Conservar la estructura del suelo en beneficio de la capacidad de estanque del suelo.
- Esto se logra en la medida que exista una fracción porosa importante cuyo diámetro de canalículos e intersticios naturales que se forman faciliten la retención de humedad y para ello es vital mejorar la estructura del suelo, con aplicaciones de materia orgánica estabilizada, abonos verdes y mantener suelo cubierto.
- Facilitar la infiltración superficial de las precipitaciones en el perfil del suelo.
- Contar con obras hidráulicas sencillas que permitan manejar y aprovechar la escorrentía superficial.
- Cosechar aguas lluvias y almacenar en el suelo o en estanques.

La conservación de la estructura del suelo se produce en la medida que su preparación sea bien dimensionada y oportuna, y esté dirigida a minimizar el laboreo del suelo, para evitar romper su estructura, y en lo posible usar implementos de labranza vertical, mínima labranza o cero labranza. Esto hay que evitar realizarlo con un excesivo contenido de humedad. Para mejorar la infiltración en el suelo se sugiere mantener la superficie con un acabado obtenido por un rastraje vertical liviano que rompa cualquier eventual sellamiento que evite este proceso. Sin embargo, esto debilita la presencia vegetal que es importante para evitar la evaporación directa, proteger al suelo de la erosión y obtener los efectos positivos en el suelo que aporta la presencia de raíces.

Las obras asociadas a la conservación y control de la erosión del suelo con pendientes mayores al 2%, permiten el manejo de la escorrentía superficial con fines de riego. Los métodos existentes crean las condiciones apropiadas para regular o interceptar el flujo superficial, proveniente de laderas o incluso la propia infraestructura vial, que se puede acumular en las depresiones del terreno y/o alcanzar velocidades excesivas, causando la erosión del suelo. Las técnicas de conservación de suelos que a menudo se emplean para drenaje, el control de la erosión y conservación del agua, son las que se mencionan a continuación (Salgado, 2000):

- Curvas de nivel y curvas de escurrimiento.
- Sistemas de drenaje perpendicular a la pendiente o terrazas Nichols.
- Terrazas de control de erosión o del tipo Magnum.
- Drenaje interceptor.

Cosecha de aguas lluvia y ampliación de la disponibilidad de agua en períodos secos

En la temporada de precipitaciones el agua escurre superficialmente, debido a que las precipitaciones superan la capacidad de infiltración del suelo en algunas zonas. Sin embargo, este exceso de agua es susceptible de ser conducida a un área especialmente destinada para que se almacene o embalse mediante una de las estrategias de conservación de suelos antes mencionadas o el conjunto de ellas.

Los acumuladores de agua pueden ser de diferente naturaleza como el de tipo australiano que son construidos en hormigón y acero corrugado. Estos materiales permiten que la unidad de volumen acumulado se asocie a menores costos si se comparan con otras soluciones como fibra de vidrio. También, pozos zanjas o microcuencas (la topografía se aprovecha pudiendo construir un muro y posteriormente impermeabilizar estas estructuras con geomembrana HDPE de alta resistencia). Si bien este tipo de materiales es bastante inocuo con el medioambiente mientras está en uso, es recomendable adoptar medidas para reciclarlo una vez que cumpla su vida útil. Esta clase de estructuras, dependiendo del volumen que permitan almacenar, pueden ser utilizadas como acumuladores de temporada al reservar cantidades importantes de agua durante los períodos de lluvia para ser usada en períodos secos.

La escorrentía superficial aporta agua suplementaria a la lluvia directa que precipita y se almacena en el suelo. También suministra agua para el uso doméstico y el consumo de animales, si no hay otras fuentes de agua de mejor calidad. Por lo tanto, es uno de los factores cuya magnitud es muy importante en el diseño del sistema de captación de aguas lluvia para diferentes finalidades en el predio (FAO, 2000).

La gestión de la escorrentía en la explotación agrícola, incluido el empleo de lomos de retención de agua en zonas cultivadas, se ha aplicado con éxito en otras partes del mundo, específicamente, en climas de transición como el Mediterráneo y zonas del Sahel (zona ecolimática de transición entre el desierto del Sáhara al norte y la sabana sudanesa al sur), para ampliar la disponibilidad de humedad en el terreno tras cada episodio de precipitaciones. La gestión de la escorrentía fuera de la explotación agrícola, incluida la concentración del flujo superficial en aguas subterráneas poco profundas o el almacenamiento gestionado por el/la agricultor/a, puede complementar el riego limitado. No obstante, al trasladarlas a zonas extensas, estas intervenciones perjudican a los/as usuarios/as río abajo y, en líneas generales, a los presupuestos hídricos de toda la cuenca fluvial.

En lo concerniente a las tecnologías, la ampliación de los beneficios ambientales y de conservación de la humedad del suelo de los enfoques ecosistémicos a menudo dependerá del grado de mecanización de la explotación agrícola, necesaria para aprovechar los episodios de precipitaciones. Las tecnologías más simples, como la agricultura dependiente

de la escorrentía, seguirán siendo inherentemente arriesgadas, especialmente en regímenes de precipitaciones más erráticos y en este nuevo escenario de cambio climático. Además, seguirán requiriendo una gran mano de obra (Collette, 2011).

La cuenca como unidad territorial agroecológica

La perspectiva o enfoque de cuenca hidrográfica para la gestión del recurso hídrico en un contexto agroecológico es, sin lugar a dudas, un apoyo a la toma de decisiones y se basa en gestionar el recurso considerando su dimensión social, productiva y medioambiental, que en muchos casos se oponen.

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente las aguas provenientes de precipitaciones, deshielos, acuíferos, entre otros, discurren por cursos superficiales hacia un único lugar o punto de descarga, que usualmente es un cuerpo de agua importante, como un río, un lago o un océano. La cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político administrativas internas de un país o de fronteras internacionales (Aguirre, 2011).

De la misma forma, como en la cuenca converge el agua a la red de drenaje natural, lo hacen también los intereses de naturaleza diversa como el consumo humano, el productivo o económico (minería, agricultura, generación eléctrica, etc.) y medioambiental. Estos legítimos intereses suelen generar conflictos en esta convivencia territorial, que se resuelve en la medida que la gobernanza del agua, coordinada por la autoridad correspondiente, sea representativa y participativa a la vez.

Un buen ejemplo son las zonas de amortiguación agroforestales (ZAA), que son una práctica colectiva de conservación y mitigación de los efectos de contaminación del recurso hídrico, correspondiente al ordenamiento territorial a nivel de paisaje, al interior de una cuenca, con el propósito de conservar este recurso. Son zonas que se encuentran anexas a la red de drenaje de estas unidades geográficas, son cuidadosamente diseñadas para que, junto con considerar el manejo predial, se acoplen a los cuerpos de agua para filtrar y disminuir los aportes de sedimentos, materia orgánica y nutrientes, provenientes de actividades agropecuarias, manteniendo y mejorando así la salud y calidad de las cuencas hidrográficas.

Desde una perspectiva territorial, agroecológica y política de gestión del territorio, es posible considerar que las áreas limítrofes a cuerpos de agua, con un ancho de 10 hasta 20 metros, pueden cumplir con estas funciones y deberían considerarse íntegramente como zonas de amortiguación. De esta manera, las zonas de amortiguación serán aquellas encargadas de resguardar y recuperar las funciones y salud de los sistemas hidrológicos (Bizzozero *et al.*, 2018).

En Figura 9.4 se puede ver el diseño general de una zona de amortiguación agroforestal, adaptado de Bongard *et al.* (2010), la cual funciona como una zona *buffer* entre el área de producción agropecuaria y los cauces naturales de la cuenca.



Figura 9.4. Diseño general de una zona de amortiguación agroforestal. Fuente: Adaptación propia.

La escorrentía superficial proveniente de las zonas de producción, que contiene los potenciales elementos contaminantes utilizados en la agricultura, es interceptada por vegetación densa y baja evitando su movimiento hacia el cauce. El área a continuación contempla vegetación arbustiva con sistemas radiculares profundos que favorecen la percolación hacia los acuíferos subterráneos desde la zona de recarga y finalmente son las especies forestales de gran tamaño que ejercen una función de estabilización del área directa de influencia del cauce evitando procesos erosivos. Estas zonas de amortiguación pueden ser perfectamente productivas en la medida que las especies utilizadas en su diseño proporcionen productos comercializables o igualmente productivas, por ejemplo, de materias primas para otros procesos, elaboración de biofertilizantes o biopesticidas, alimentación de ganado, etc.

Finalmente, algunas consideraciones que se deben tener presentes en el manejo del agua de riego incorporando criterios agroecológicos (Núñez, 2000):

- No regar con poca agua y con demasiada frecuencia. El riego, cada cierto tiempo, debe ser profundo evitando el exceso de humedad para que no se desarrollen enfermedades, anaerobiosis y lavado de nutrientes.
- Se sugiere no regar en horas de calor, para evitar que se produzcan pérdidas excesivas por evaporación. Lo óptimo es aplicar el agua temprano en la mañana como límite hasta media mañana.

- Conocer en detalle los tipos de cultivos, requerimientos hídricos y el proceso de manejo agroecológico del suelo.
- Un suelo rico en humus no solo es un suelo rico en nutrientes sino que desde el punto de vista físico-hídrico 1 kg de humus puede llegar a retener 2 kg de agua.

Comentarios finales

El agua, como elemento vinculante para la vida, en cualquiera de sus formas, juega un rol preponderante en la agroecología y en el ambiente social; en gran medida sus resultados dependerán de la gestión que se haga de este recurso.

La dimensión holística de la optimización y uso eficiente del agua para riego queda de manifiesto al entender los factores medioambientales que inciden en la evapotranspiración vegetal.

Los rendimientos alcanzados por los cultivos están determinados, entre otros factores, por la interrelación que existe entre suelo-agua-planta-atmósfera.

El rol del agua en un modelo agroecológico se entiende mejor al conocer su ciclo natural, su balance hídrico en torno al cultivo y la cuenca como unidad de decisión en su gestión.

La gestión eficiente del recurso hídrico dirigido al riego, en un contexto de manejo agroecológico, se basa en aplicaciones precisas de acuerdo con la evapotranspiración, la frecuencia apropiada y la oferta hídrica natural, de forma inocuas para el entorno y el medioambiente.

Referencias

Agromet. (2012). Red agroclimática nacional. Recuperado el 19 de mayo 2021 en <https://www.agromet.cl>

Aguirre, M. (2011). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. *Revista Virtual REDESMA*, 5(1):10-20.

Alegría, M. A., and Lillo, A. (2015). Protección legal de los humedales altoandinos (vegas y bofedales) en Chile en *Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible*. Depto. de Estudios y Planificación Dirección General de Aguas. MOP. Santiago, Chile. <http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/6519/Otros-HUMED09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998).** *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56.* https://www.scsccourt.org/complexcivil/105CV049053/volume3/172618e_5xAGWAX8.pdf
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (2006).** *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos- Estudio FAO riego y drenaje 56.* <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- Barron, J. (2009).** Background: The water component of ecosystem services and in human well-being development targets en United Nations Enviroment Program (ed.) *Rainwater harvesting: a lifeline for human well-being.* (Chapter 2, pp. 4-13. Published by UNEP and Stockholm Environment Institute. http://www.stipulae.org/wp-content/uploads/2017/03/Rainwater_Harvesting_UNEP.pdf#page=14
- Bizzozero F. Carro G. y Guazzelli M. J. (2018).** *Sistemas Agroforestales Agroecológicos Familiares Bioma Pampa.* 68p.
- Bongard, P., and Wyatt, G., Nerbonne, B., Becker, B. (2010).** Riparian Forest Buffers for Trout Habitat Improvement. Extension University of Minessota. Minessota. <https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/113583/riparianforestbuffers-maroon.pdf?sequence=1>
- CIAMA. (1992).** Declaración de Dublín sobre el agua y desarrollo sostenible. *Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA): El desarrollo en la perspectiva del siglo XXI 26-31 de enero 1992 Dublín Irlanda* <https://gestion sostenibledelagua.files.wordpress.com/2014/07/1992-declaracion3b3n-de-dublin-sobre-el-agua-y-el-ds.pdf>
- CNR. (2020)** Estudio básico “Diagnóstico riego para el desarrollo agrícola canal Imperial” : informe final, resumen ejecutivo. ’ <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/32148>
- CNUMAD. (1992).** *La declaración del Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.* Río de Janeiro República Federativa del Brasil <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Collette, L. (2011).** *Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala.* <http://www.fao.org/3/a-i2215s.pdf>
- DARRERA. (2021).** Estación meteorológica automática (EMA). Recuperado el 19 de mayo 2021 en <https://www.darrera.com/wp/es/producto/3r-aws100-estacion-meteorologica-automatica-ema/>
- French, R.J. y Schultz, J.E. (1984).** Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I: The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35(6), 743–764. doi:10.1071/AR9840743
- Hatfield, J. L. (1990).** Methods of estimating evapotranspiration. *Agronomy*, (30), 435-474.

- Heselaars, T. (2018)** Crisis del agua en Petorca: “Los requerimientos hídricos no se condicen con la disponibilidad”. Emol. Recuperado el 19 de mayo, 2021 en <https://www.emol.com/noticias/Tecnologia/2018/03/29/900523/Crisis-del-agua-en-Petorca--Los-requerimientos-hidricos-no-se-condicen-con-la-disponibilidad.html>
- Núñez, M. A. (2000).** *Manual de técnicas agroecológicas*. (N°. 04; S589. 7, N8.) Serie de Manuales de Educación y Capacitación Ambiental. (Primera Ed). Mexico D.F. PNUMA, Ed.
- Oster, J.D. and Wichelns, D. (2003).** Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science*, 22(3-4), 107–120. doi:10.1007/s00271-003-0076-4
- Perlman, H. (2019).** *The natural water cycle*, USGS Science for a changing world. <https://www.usgs.gov/media/images/water-cycle-natural-water-cycle>
- Sadras, V.O. y Angus, J.F. (2006).** Benchmarking water use efficiency of rainfed wheat in dry environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(8), 847–856. doi:10.1071/ar05359
- Salgado, L. (2000).** Manual de estándares técnicos y económicos para obras de drenaje. CNR. <http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/9598>
- Salgado, L. y Ortega L. (2001).** *Drenaje en suelos agrícolas*. CNR. CORFO. INIA-Carillanca. Temuco. <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/36217>
- Santiago-Rodríguez, S., Arteaga-Ramírez, R., Sangerman-Jarquín, D. M., Cervantes-Osornio, R., and Navarro Bravo, A. (2012).** Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman--Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(8), 1535-1549. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800005&lng=es&nrm=iso
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R. (1983).** Efficient water use in crop production. Research or Re-Search? in H.M. Taylor *et al.* (Ed.). *Limitations to efficient water use in crop production*. (cap: 1. pp.1–27) ASA, CSSA, and SSSA. Books. doi:10.2134/1983.limitationstoefficientwateruse.c1
- Troiano, I., Garretson, C., Krauter, C., Brownell, I. and Huston, J. (1993).** Influence of amount and method of irrigation water application on leaching of atrazine. *Journal of Environmental Quality*. 22 (2), 290-298. doi:10.2134/jeq1993.00472425002200020009x