

1. Escasez hídrica, desperdicio de alimentos y soluciones sostenibles en el sector agrícola: hacia la seguridad alimentaria en zonas rurales

JUAN MANUEL RODRÍGUEZ GAETA*

BRENDA I. GUERRERO**

AZTRID ELENA ESTRADA BELTRÁN***

MAYRA ISABEL SALAZAR BALDERRAMA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.273.01>

Resumen

La escasez hídrica y el desperdicio de alimentos representan desafíos fundamentales para la sostenibilidad global. La agricultura consume cerca de 70% del agua dulce extraída a nivel mundial, y constituye 90% de los usos consuntivos de este recurso, exacerbando la crisis hídrica. Además, se estima que un tercio de la producción alimentaria global se pierde o desperdicia, lo que conlleva un elevado costo en términos del agua utilizada, particularmente en cultivos como frutas y verduras. En México, la situación es especialmente preocupante: el desperdicio de alimentos genera una huella hídrica de 8 817 500 hm³, mientras que el sector agrícola demanda 75.74% del agua total concesionada.

En el estado de Chihuahua, donde predominan climas áridos, se destacan iniciativas como la recolección de agua de lluvia y la agricultura familiar para mitigar los efectos de la escasez. Sistemas como camas biointensivas y

* Doctor en Ciencias con especialidad en Hidrociencias. Profesor de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3451-761X>

** Doctora en Ciencias Agrarias y del Medio Natural. Profesora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1757-5073>

*** Doctora en Ciencias Hortofrutícolas. Profesora de la Facultad de Enfermería y Nutrición de la Universidad Autónoma de Chihuahua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3880-0658>

**** Maestra en Ciencias Hortofrutícolas. Profesora de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6483-5280>

técnicas eficaces de manejo de agua como el principio de funcionalidad de lisímetros pueden optimizar la producción en pequeñas parcelas y reducir las pérdidas. Promover estas prácticas junto con la reutilización de residuos orgánicos para biofertilizantes podría aliviar la inseguridad alimentaria y mejorar la gestión hídrica en comunidades rurales. La transición hacia una agricultura sostenible requiere políticas integrales, innovación tecnológica y participación comunitaria.

Palabras clave: *escasez hídrica, desperdicio de alimentos, gestión hídrica sostenible.*

Impacto del crecimiento agrícola y el desperdicio de alimentos en los recursos hídricos globales

La creciente demanda de alimentos y cultivos comerciales ha justificado el aumento continuo de tierras de sembradío, lo que ha generado considerable tensión en los recursos hídricos y una constante preocupación en gran parte del mundo (Harrison, 2002; Jägermeyr, 2020); ya que el sector agrícola consume 70% de las extracciones mundiales de agua dulce en riego (Ingrao et al., 2023) y 90% de los usos consuntivos del agua (Kummu et al., 2012). A este problema se suma la pérdida y desperdicio de alimentos, pues representa cerca de un tercio de la producción total mundial (Food and Agriculture Organization [FAO], 2012), y con ello, un alto desperdicio indirecto de agua dulce aplicada en riegos de frutas y verduras (Kummu et al., 2012).

El tema del recurso hídrico se ha convertido en un asunto de seguridad internacional y en una cuestión esencial para la agenda de casi todos los gobiernos (Nieto, 2011; Dinar et al., 2019), del mismo modo en que el aseguramiento en el abasto de alimentos para la población se ha convertido en un problema (Sosa y Ruíz, 2017); no obstante, el tema de inseguridad alimentaria está más relacionado con los problemas en la distribución de los alimentos que con la escasez de agua dulce. A nivel mundial, el manejo postcosecha en la cadena de distribución y el consumo final representan, cada uno, alrededor de una cuarta parte del total de recursos hídricos em-

pleados en los alimentos que se pierden y desperdician en la cadena de suministro de alimentos (FSC) (Kummu et al., 2012).

Gestión sostenible del agua y agricultura familiar: retos y oportunidades en contextos de escasez hídrica en México

En México, la baja disponibilidad de agua y el desaprovechamiento de alimentos no es diferente. En su amplia expansión geográfica, los climas áridos y semiáridos en el norte del país cubren aproximadamente 50% de su superficie (Moreno y Huber-Sannwald, 2011), con zonas que presentan diferentes niveles de estrés hídrico durante el año (World Water Assessment Programme [WWAP], 2016) y cifras cercanas a los 28 000 000 tn en la pérdida y desperdicio de alimentos, que representan 249 tn per cápita (CCA, 2017), dejando una huella hídrica de 8 817 500 hm³ (13%), que corresponde al uso consuntivo agrícola agrupado. Durante el año 2020, el uso agrícola agrupado en México demandó 75.74% de 89 548 hm³ de agua (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2021), es decir, 67 826.76 hm³.

Al norte de México, el estado de Chihuahua presenta limitaciones en la disponibilidad de agua (Conagua, 2011); las condiciones climáticas predominantes son de tipo árido en aproximadamente 74% del territorio (Núñez-López et al., 2007); asimismo, en zonas rurales fuera de las zonas áridas que no presentan problemas de escasez hídrica (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]), pero sí problemas de acceso al recurso, se hace presente la inseguridad alimentaria en niveles que van de lo moderado a lo severo (Torres Torres y Rojas Martínez, 2022).

En Chihuahua, de los 5 411 100 hm³ de volumen de agua concesionados al Estado para usos agrupados consuntivos, 4 834 700 hm³ se emplean en la agricultura (Conagua, 2021). Para mejorar la distribución del recurso hídrico, o bien integrar un manejo sustentable del agua en zonas de escasez, es importante en primer término considerar la baja disposición del suministro y cuantificar las necesidades hídricas de los cultivos (Aguilar et al., 2007); en tanto que, en zonas sin acceso al recurso hídrico, es apremiante plantear métodos sostenibles, como la captación de agua de lluvia.

La transición hacia la sostenibilidad en la agricultura y los sistemas ali-

mentarios es un desafío complejo que requiere acciones en política, regulación, cultura, participación de los actores, ciencia e innovación (López et al., 2021). Estas acciones no sólo requieren la gestión sostenible de los recursos de agua dulce, sino también, la distribución adecuada de los alimentos e, incluso, de la práctica a escala doméstica de la producción de traspatio de hortalizas de uso diario. La agricultura familiar ofrece una oportunidad única para garantizar la seguridad alimentaria, mejorar los medios de vida, gestionar mejor los recursos naturales, proteger el medio ambiente y lograr un desarrollo sostenible; en especial, en las zonas rurales (FAO, 2019).

Camas biointensivas y recolección de agua de lluvia: estrategias para la sostenibilidad hídrica y alimentaria en zonas rurales

Para lograr mejoras en la sostenibilidad hídrica y la seguridad alimentaria, se busca reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos (FAO, 2019) a través del método de producción de hortalizas en camas biointensivas (Gurrero-Leal et al., 2015) y de la propuesta sobre la recolección de agua de lluvia (Hugues, 2019) para el aprovechamiento inmediato, o para el almacenamiento en reservorios que permitan hacer uso posterior en pequeños espacios de producción familiar (Moreno, 2013), sobre todo en zonas rurales con problemas en la distribución de alimentos, con baja disponibilidad, escasez, o sin acceso al agua, y que afecta la calidad de vida de la población (Gay et al., 2010).

El tema de la recolección de agua en el sector agrícola hace referencia a los sistemas o métodos que permiten la captación y aprovechamiento de los recursos hídricos provenientes de la lluvia (Dinar et al., 2019). El agua almacenada en depósitos puede ser utilizada en pequeños huertos de traspatio y fomentar la producción hortícola familiar. Si bien la cantidad de agua que se logra almacenar depende de los utensilios con los que contamos para desarrollar esta actividad, también se puede almacenar directamente en el suelo con previa preparación para su mejor aprovechamiento en la productividad de plantas y animales de granja (Karlen et al., 1997).

El almacenamiento de agua de lluvia puede hacerse en contenedores plásticos de segundo uso y libres de contaminantes tóxicos (imágenes 1.1 y

1.2), el volumen aproximado de agua que podemos captar se considera en función del área de captación y de la precipitación promedio de la zona; por lo tanto, si el tejado cuenta con 70 m^2 de área y todo está dispuesto para captar, y la precipitación de la temporada es de 300 mm , partiríamos de la relación $1 \text{ mm} \times 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ L}$ de agua; es decir, en este ejemplo resultan $300 \text{ L} \times \text{m}^2$, esto lo multiplicamos por los 70 m^2 del tejado y nos da un total de $21\,000 \text{ L}$ o 21 m^3 de agua. Es importante considerar que se pueden dar pérdidas en la recolección. Por su parte, cuando la proyección de la captación de agua de lluvia es mayor que nuestra capacidad de almacenamiento, podemos dirigirla directamente a áreas destinadas para los cultivos, con el suelo previamente preparado, para el aprovechamiento del recurso.

Imagen 1.1. *Recolección y almacenamiento agua de lluvia en la agricultura. Primera edición*



Fuente: Vera, 12 de noviembre de 2022.

Imagen 1.2. Preparación de depósitos para la captación de agua de lluvia



Fuente: Snohomish, 6 de enero de 2016.

La importancia de la captación, el almacenamiento y utilizarla para estos fines es de gran relevancia para las poblaciones que no tienen acceso al líquido vital, o se encuentra en escasez (Hugues, 2019). Para el aprovechamiento del agua en la producción de hortalizas en huertos familiares, se pueden construir camas de cultivo, cuyas prácticas son fundamentales en el crecimiento y la producción de una rica variedad de cultivos (Rodríguez-Valverde, 2013). La preparación de una cama de cultivo depende de un conjunto de actividades que tienen como objetivo crear un suelo, o sustrato suelto, poroso donde el agua pueda conservarse el mayor tiempo posible, y las raíces, crecer de manera sencilla a través de él, con nutrientes y materia orgánica enriquecida por algún tipo de composta (Escalante et al., 2005).

Las camas pueden ser altas, por encima del suelo, o de doble excavación; esto dependerá de las condiciones del suelo y de la profundidad de las raíces de los cultivos que se pretendan producir en cada ciclo. En cualquiera de los dos casos, se debe comenzar con una limpieza del terreno en cuanto a basura, malezas desde su raíz y de rocas grandes, sobre todo si la cama será a

profundidad; después de esto, se delimita la superficie para realizar la excavación a una profundidad adecuada para los cultivos que se van a seleccionar (imagen 1.3); entre 20 y 50 cm, si se trabajara con camas altas, y entre 50 y 60 cm, si se trabaja con camas de doble excavación (Jeavons y Cox, 2007).

Imagen 1.3. *Preparación de cama de cultivo*



Fuente: Fanecaes, 7 de marzo de 2012 (izquierda). El feixe, 26 de febrero de 2014 (derecha).

El área total que ocuparían las camas en su conjunto se calcula en función del agua disponible para el riego y de las condiciones del área asignada; el ancho de las camas debe rondar 1m para que se pueda alcanzar la zona central con el brazo por ambos lados, y se faciliten las labores de mantenimiento, los cuidados culturales del cultivo y la cosecha (Bartholomew, 2013). Así mismo, el largo de la cama de cultivo se deja a consideración del tamaño del lugar donde se establecerán las camas.

En estas camas se promueven prácticas que están orientadas a fomentar la biodiversidad mediante una siembra variada de cultivos y cercana, donde las mismas plantas cubran el suelo de los rayos directos del sol, manteniendo la humedad y la actividad microbiana del mismo, y ayudando, con esto, a la reducción del uso de productos agroquímicos para combatir enfermedades y plagas, además de aprovechar al máximo el espacio para la producción de alimentos (Márquez-Hernández et al., 2010).

Las camas altas para huertos de traspatio pueden ser delimitadas con madera, ramas, piedras, o lo que tengamos al alcance, como, a continuación, se muestra en las imágenes 1.4, 1.5 y 1.6.

Imagen 1.4. *Cama alta de cultivo para huerto familiar formada con madera*



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.5. *Cama alta de cultivo para huerto familiar formada con ramas entrelazadas*



Fuente: GoJardin, 24 de febrero de 2020.

Imagen 1.6. *Cama alta de cultivo para huerto familiar formada con piedras*



Fuente: GoJardin, 2020. Febrero, 24.

Las camas de doble excavación también se pueden delimitar con piedras, ramas, o madera (imágenes 1.7 y 1.8).

Imagen 1.7. *Cama de doble excavación delimitada con piedra*



Fuente: El feixe, 26 de febrero de 2014.

Imagen 1.8. Cama de cultivo a nivel de superficie del suelo



Fuente: Díaz (31 de agosto de 2015).

Optimización del uso de recursos en suelos: biofertilizantes y técnicas de manejo hídrico

En las comunidades rurales es común encontrar árboles cerca de los hogares y suelos cubiertos por las hojas que liberan. Éstas hojas pueden agruparse en pequeños montículos para su descomposición por acción de los microorganismos de montaña (imagen 1.9); para realizar esta actividad es fundamental evitar la recolección de material en cercanía de los pinos.

Los microorganismos de montaña (imagen 1.10) son microbianos inóculos con altas poblaciones, principalmente, de hongos, bacterias y actinomicetos, que se encuentran naturalmente en el suelo; estos microorganismos ayudan a la formación de biofertilizantes económicos que contribuyen a mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo (SADER, 2023). Una vez descompuestas las hojas, el sustrato se puede mezclar con el suelo, o esparcir sobre las camas e incorporarlo con ayuda de un rastrillo; esto, además de la importancia nutricional que tiene, ayuda a la filtración y retención de agua en el suelo, al interior de la cama, dejándola disponible para los cultivos.

Imagen 1.9. *Proceso de descomposición de materia orgánica mediante microorganismos como bacterias y hongos*



Fuente: https://www.microscopio.pro/que-significa-compost-organico-descubriendo-sus-beneficios-y-usos/?expand_article=1

Imagen 1.10. *Microorganismos de montaña en hojarasca (materia orgánica) de encinos. Recolección de microorganismos de montaña*



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=aH2qOJbMT4w>

Comprender la dinámica del agua en el suelo es fundamental para optimizar su aprovechamiento en los cultivos y para promover un uso eficiente.

te del recurso hídrico. Esto permite estimar la cantidad adecuada de agua que se deberá de aplicar en cada riego comenzando con el riego inicial, cuyo propósito es llevar el suelo a su *capacidad de campo* (máxima cantidad de agua que el suelo puede retener después del drenaje gravitacional) (Scherer, et al., 2022).

Posteriormente, los riegos se programan para reponer el agua perdida mediante la evaporación directa, desde la superficie del suelo, y la transpiración de las plantas. En contextos donde no se dispone de herramientas o equipos tecnificados, el principio del lisímetro puede ser utilizado como una práctica alternativa para estimar dichas pérdidas (González et al., 2020).

El procedimiento comienza con tomar una muestra del mismo suelo presente en las camas y prepararla para su secado. Si no se cuenta con equipo de laboratorio, se puede realizar el método de secado al sol (Brady et al. 2008). El objetivo es eliminar la humedad del suelo para su análisis y conservación utilizando la energía solar como fuente de calor; para depositar la muestra de suelo se recomienda usar superficies de secado como bandejas metálicas, láminas de aluminio o plástico resistente, y una espátula o un cucharón que nos permita manipular y extender la muestra.

Posteriormente, se expone la muestra al sol durante las horas de mayor radiación (generalmente, entre las 10:00 y las 16:00 h) y se mide el tiempo de exposición. Con ayuda de una báscula se monitorea el peso de la muestra para registrar el peso final una vez que la muestra llega a un peso constante. A continuación, utilizamos un recipiente impermeable con orificios en la base, previamente pesado, para verter el suelo seco y utilizarlo como volumen de control, de manera que podamos evaluar la relación agua/suelo según el método de lisímetros (González et al., 2020).

Con la muestra en el contenedor, se dan ligeros golpes para asentar el suelo y se verifica de nuevo el volumen ocupado por el suelo en función de las dimensiones del contenedor y de la altura de la muestra. Procedemos, entonces, a aplicar un riego lento y uniforme (de preferencia, a manera de goteo), mientras registramos la cantidad exacta de agua. Cuando el agua comienza a drenar por los orificios, interrumpimos el riego. Medimos la cantidad de agua drenada y la restamos de la cantidad aplicada justo antes de que comenzara el drenaje. Una vez que el drenaje cesa por completo, el

volumen de agua restante corresponderá a la cantidad necesaria para llevar el suelo a capacidad de campo en relación con el volumen.

De la relación agua/suelo, es posible obtener el porcentaje de la siguiente manera:

$$\text{Humedad en el suelo} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

El resultado indica, por ejemplo, que un suelo con 20% de humedad contiene 20 g de agua en 100 g de suelo.

Otra forma de entender la relación es mediante la relación del volumen de agua en el volumen de suelo; es decir:

$$\text{Humedad en el suelo} = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Volumen de suelo seco}} \times 100$$

El resultado nos muestra que un suelo con una humedad volumétrica de 20%, por ejemplo, contiene 0.2 cm³ de agua en 1 cm³ de suelo.

Ambos resultados se expresan y se comprenden en porcentajes (%).

El siguiente es un ejemplo práctico con datos de Escobar et al. (2016).

Una muestra de suelo en estado natural pesa 62.1 g; después de secarse al horno, pesa 49.8 g. ¿Qué porcentaje de humedad contenía la muestra de suelo?

El peso del agua se obtiene de restar a la muestra húmeda el peso de la muestra seca, como se observa a continuación:

$$62.1 - 49.8 = 12.3 \text{ g}$$

Entonces:

$$\text{Humedad en el suelo} = \frac{12.3}{49.8} \times 100 = 24.7\%$$

Siguiendo el procedimiento de humedecer la muestra de suelo después del secado al sol y de obtener el porcentaje de humedad con estas ecuaciones, podemos acceder a la capacidad de campo (CC) del suelo.

Otro parámetro importante de las condiciones de humedad en el suelo es el punto de marchitez permanente (PMP), esto es, el contenido de agua de un suelo retenida con tal firmeza que no pueda ser extraída por las plantas, generando una marchitez irreversible. Se pueden hacer determinaciones a campo para comprobar este valor, pero éstas son bastante engorrosas y, sobre todo, toma mucho tiempo hacerlas. Una manera práctica de obtener el PMP es la siguiente (García et al., 2021):

$$\%PMP = CC \times 0.74 - 5$$

Si partimos del resultado del ejemplo anterior, la operación quedaría de la siguiente manera:

$$\%PMP = 24.7 \times 0.74 - 5 = 13.27\%$$

Una vez obtenidos estos datos, se pueden usar tablas publicadas sobre las texturas de suelos en relación con la CC y el PMP, como se muestra en la tabla 1.1; donde CC es la capacidad de campo, PMP, el punto de marchitez permanente, y HA, la humedad del suelo fácilmente asimilable por las plantas.

Una vez identificado el suelo de acuerdo con estos valores, podemos aplicar la cantidad de riego a las camas, asumiendo que 1 mm de lámina de riego corresponde a 1 L/m²; es decir, si se busca aplicar una lámina de 19.0mm para una profundidad de 10 cm, se aplican 19 L/m².

En el riego, después de la siembra, la longitud, la anchura de la cama y la profundidad de la semilla determinarán el volumen de suelo a humedecer; así, calcularemos repetidamente el volumen según la profundidad que alcance la raíz durante el desarrollo del cultivo, pues ésta será la referencia para calcular el volumen del suelo a regar.

Tabla 1.1. *Capacidad de almacenamiento de agua en el suelo*

| Textura del suelo | Densidad aparente g/cm ³ | Contenido de humedad (W) | | | Lámina de riego | | |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|------|------|-----------------|------|------|
| | | CC | PMP | HA | CC | PMP | HA |
| | | % del peso del suelo seco | | | mm × 10 cm | | |
| Arena | 1.60 | 8.7 | 3.5 | 5.2 | 13.9 | 5.6 | 8.3 |
| Areno franco | 1.60 | 11.9 | 4.5 | 7.4 | 19.0 | 7.2 | 11.8 |
| Franco arenoso | 1.55 | 15.4 | 5.8 | 9.6 | 23.9 | 9.0 | 14.9 |
| Franco areno limoso | 1.50 | 19.5 | 7.5 | 12 | 29.3 | 11.3 | 18.0 |
| Franco | 1.45 | 23.6 | 9.2 | 14.4 | 34.2 | 13.3 | 20.9 |
| Franco limoso | 1.40 | 27.2 | 10.9 | 16.3 | 38.1 | 15.3 | 22.8 |
| Franco areno arcilloso | 1.40 | 27.0 | 13.5 | 13.5 | 37.8 | 18.9 | 18.9 |
| Franco arcilloso | 1.40 | 27.3 | 15.1 | 12.2 | 38.2 | 21.1 | 17.1 |
| Franco arcillo limoso | 1.35 | 28.8 | 13.0 | 15.8 | 38.9 | 17.6 | 21.3 |
| Arcillo limoso | 1.30 | 28.7 | 18.0 | 10.7 | 37.3 | 23.4 | 13.9 |
| Arcilloso | 1.25 | 29.4 | 20.1 | 9.3 | 36.8 | 25.1 | 11.6 |

Fuente: Gallardo (2018).

En cuanto al intervalo de riego para la reposición del agua consumida y transpirada por los cultivos, y del agua que se pierde por evaporación de la superficie de la cama, es importante monitorear la humedad del suelo. Esto se puede hacer a través del tacto, como se describe, de acuerdo con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2000), en la tablas 1.2 y 1.3. La descripción e imágenes corresponden al momento con necesidad de riego.

Tabla 1.2. Descripción y apariencia de suelos ligeramente húmedos.
Textura gruesa y moderadamente gruesa

| <i>Textura arena fina y arena fina francosa</i> | <i>Textura franco arenoso y franco arenoso fino</i> |
|--|---|
| Levemente húmedo. Forma una bola muy débil con las marcas de los dedos bien definidas. Una capa suave de granos de arena sueltos y agregados queda en los dedos. | Levemente húmedo. Forma una bola débil con marcas de los dedos bien definidas. El color es oscuro. No deja mancha de agua en los dedos. Los granos se esparcen. |
|  |  |

Fuente: USDA (2000).

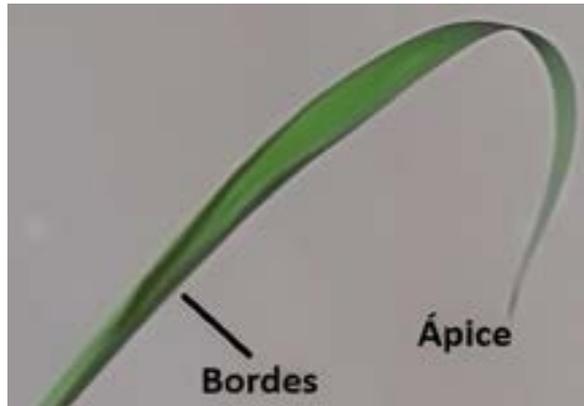
Tabla 1.3. Descripción y apariencia de suelos ligeramente húmedos.
Textura media y fina

| <i>Textura franco arenoso arcillo, franco, y franco limoso</i> | <i>Textura arcilloso, franco arcilloso y franco arcilloso limoso</i> |
|---|---|
| Ligeramente húmedo. Se forma una esfera débil con superficie áspera. La humedad no mancha los dedos. Algunos agregados de suelo se separan. | Ligeramente húmedo. Se forma una esfera débil. Muy pocos agregados de suelo se separan. La humedad no mancha. Los terrones se aplanan al aplicarse presión. |
|  |  |

Fuente: USDA (2000).

Otra manera de apreciar la falta de riego es mediante la observación de las hojas. La falta de riego genera deformaciones en las hojas, las cuales se aprecia en el ápice y en los bordes de éstas, como se muestra en la imagen 1.11. El riego se aplica en ese momento, sin afectar gravemente los cultivos.

Imagen 1.11. *Deformación en ápice y bordes de hoja vegetal por falta de riego*



Fuente: Determinar Capacidad de Campo y Punto de Marchitez. <https://www.youtube.com/watch?v=Uj-P94eO1oFw>

Referencias

- Awal, R., Habibi, H., Fares, A., y Deb, S. (2020). Estimating reference crop evapotranspiration under limited climate data in West Texas. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 28(100677). <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100677>
- Barker, R., Scott, C. A., de Fraiture, C., y Amarasinghe, U. (2000). La escasez mundial de agua y el reto que afronta México. En C. A. Scott, P. Wester y B. Maranon-Pimental (Eds.), *Asignación, productividad y manejo de recursos hídricos en cuencas: memorias del Seminario Internacional Asignación, Manejo y Productividad de los Recursos Hídricos en Cuencas*, 7 al 9 de mayo de 2000. International Water Management Institute (IWMI) (pp. 9-32). (IWMI Serie Latinoamericana 020).
- Bartholomew, M. (2013). *El huerto en un metro cuadrado*. BLUME.
- Cal, A. B. (2000). *Agua que nace y muere: sistemas normativos indígenas y disputas por el agua en Chamula y Zinacantán* (Vol. 2). UNAM.
- Comisión para la Cooperación Ambiental (2017). *Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte. Informe sintético*. CCA.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2000). *Cálculo de la Humedad del Suelo por Tacto y Apariencia*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Programa Aid 1619-SP. USDA.
- Díaz, D. S. (2015). Bancales en el huerto reciclados: Cómo delimitar los cultivos. *AgroHuerto*. <https://www.agrohuerto.com/bancales-reciclados-como-delimitar-el-huerto/amp/>
- Dinar, A., Tieu, A., y Huynh, H. (2019). Water scarcity impacts on global food production. *Global Food Security*, 23, 212-226. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.gfs.2019.07.007>

- El "feixe" (2014). El "feixe". *Granja brezo*. <https://granjabrezo.wordpress.com/co-labor-accion/alimentos-2/alimentos/el-feixe/>
- Escalante, E. L., Linzaga, C., Carreño, Y. I., y Román, E. (2005). Formas de preparar el terreno de siembra para obtener buenas cosechas. *Revista Alternativa*, 5(13).
- Escobar, G. D., Escobar, C. E., y Carlos, E. (2016). Relaciones gravimétricas y volumétricas del suelo. *Geomecánica*, 2, 29-47.
- Fanecaes (2012). El bancal profundo. *Les hortelanetes*. <https://fanecaes.wordpress.com/2012/03/07/el-bancal-profundo/>
- Gallardo, G., S. (2018). *Prácticas de Sistemas de Riego*. Centro de Desarrollo Tecnológico Villadiego. <https://tecnicocertificado.cimmyt.org/wp-content/uploads/sites/54/2018/09/SISTEMAS-DE-RIEGO.pdf>
- García, M., Puppo, L., Hayashi, R., y Morales, P. (2021). *Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo*. Facultad de Agronomía.
- Gay, L., Martínez, M., Guevara, A., y Luna, F. (2010). Captación pluvial y reutilización de aguas grises mediante humedales artificiales en la Microcuenca La Soledad, Guanajuato. *CIENCIA@UAQ*, 3(2).
- GoJardin (2020). Des Idées pour faire un potager surélevé dans le jardin. *Go Jardin*. <https://gojardin.fr/bricolages/8-idees-pour-faire-un-potager-sureleve-dans-le-jardin/>
- Harrison, P. (2002). Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. [Informe resumido]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Hugues, R. T. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139.
- Ingrao, C., Strippoli, R., Lagioia, G., y Huisingh, D. (2023). Water scarcity in agriculture: An overview of causes, impacts and approaches for reducing the risks. *Heliyon*, 9(8), e18507. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18507>
- Jägermeyr, J. (2020). Agriculture's historic twin-challenge toward sustainable water use and food supply for all. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 35. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00035>
- Jeavons, J., y Cox, C. (2007). *El huerto sustentable*. Mate.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., y Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., y Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *Science of the total environment*, 438, 477-489.
- López Sánchez, A., Luque Badillo, A. C., Orozco Nunnelly, D., Alencastro Larios, N. S., Ruiz Gómez, J. A., García Cayuela, T., y Gradilla Hernández, M. S. (2021). Food loss in the agricultural sector of a developing country: Transitioning to a more sustainable approach. The case of Jalisco, Mexico. *Environmental Challenges*, 5, 100327.
- Márquez Hernández, C., Cano Ríos, P., García Hernández, J. L., Rodríguez Dimas, N., Preciado Rangel, P., Moreno Resendez, A., Salazar-Sosa, E., Castañeda-Gaytán, G., y de la Cruz Lázaro, E. (2010). Agricultura orgánica: El caso de México. En J. L. García

- Hernández, E. Salazar Sosa, I. Orona Castillo, M. Fortis Hernández y H. I. Trejo Escareño (Eds.), *Agricultura Orgánica. Tercera Parte* (pp. 1-28). Conacyt.
- Moreno, S. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Núñez López, D., Muñoz Robles, C. A., Reyes Gómez, V. M., Velasco Velasco, I., y Gadden Esparza, H. (2007). Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en Chihuahua, México. *Agrociencia*, 41(3), 253-262.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención*. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2023). *Introducción al Decenio de las Naciones Unidas de la Agricultura Familiar*. FAO. <https://www.fao.org/family-farming-decade/home/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2024). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. FAO.
- Rodríguez Valverde, G. E. (2013). *Efecto de la altura de cama de siembra sobre el crecimiento del cultivo de la piña híbrido MD-2 (Ananas comosus var. comosus)*. Pindeco Pacífico, Buenos Aires, Puntarenas [Tesis de licenciatura en Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3325/EFFECTO%20DE%20LA%20ALTURA%20DE%20CAMA%20DE%20SIEMBRA%20SOBRE%20EL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Scherer, T. F., Franzen, D., y Cihacek, L. (2022). *Soil, water and plant characteristics important to irrigation*, [Número de archivo: AE1675]. North Dakota State University.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023). *Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. Reproducción de Microorganismos de Montaña*. SADER. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737319/13_Microorganismos_de_montan_a.pdf
- Secretaría de Desarrollo Rural (2023). Cartografía de uso de suelo y vegetación del Estado de Chihuahua. [Informe ejecutivo]. <http://file:///F:/TITULO%20DE%20LIBRO/informeFinalCartografia.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). Agua. Disponibilidad. *El medio ambiente en México*. Semarnat. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/06_agua/6_1_1.html
- Snohomish, C. D. (2016). *Capturing rainwater, curbing soil creep*. Snohomish Conservation District. <https://snohomishcd.org/blog/2016/1/6/capturing-rainwater-curbing-soil-creep>
- Sosa Baldivia, A., y Ruíz Ibarra, G. (2017). La disponibilidad de alimentos en México: un análisis de la producción agrícola de 35 años y su proyección para 2050. *Papeles de población*, 23(93), 207-230.
- Torres Torres, F., y Rojas Martínez, A. (2022). La seguridad alimentaria en la encrucijada de las desigualdades regionales de México. *Journal of Regional Research*, 53, 91-115. <https://doi.org/10.38191/iirr-jorr.22.012>
- Vera, M. (2022). *Cómo recolectar y almacenar agua de lluvia en la agricultura*. <https://www.primeraedicion.com.ar/nota/100651016/como-recolectar-y-almacenar-agua-de-lluvia-en-la-agricultura/>