

3.1. Manejo poscosecha

Francesco Paolo Marra* e Ilenia Tinebra

Departamento de Ciencias Agrícolas, Alimentarias y Forestales, Universidad de Palermo, Italia

* francescopaolo.marra@unipa.it

Índice

1. Introducción.....	318
2. Cosecha	320
3. Manejo poscosecha.....	321
3.1. Pelado.....	322
3.2. Lavado.....	323
3.3. Secado	324
3.4. Blanqueo.....	327
3.5. Descascarado	328
3.6. Almacenamiento	329
4. Acondicionamiento	330
5. Presentación comercial.....	333
6. Industria alimentaria	334

Resumen

El manejo poscosecha del pistacho (*Pistacia vera* L.) constituye una fase crítica para preservar la calidad, inocuidad y valor comercial del producto. Inmediatamente después de la cosecha, la alta humedad de los frutos los hace susceptibles a deterioro enzimático, rancidez lipídica y contaminación por hongos productores de aflatoxinas, lo que exige un procesamiento rápido y eficiente. Este capítulo describe de manera integral las principales operaciones poscosecha — pelado, lavado, secado, blanqueo, descascarado, almacenamiento, acondicionamiento y presentación comercial— destacando las diferencias tecnológicas entre los principales países productores (EE. UU., Irán, Turquía, Italia y España) y la influencia de cada etapa en la calidad final. Se analizan los avances recientes en tecnologías innovadoras de secado, desinfección y envasado, orientadas a mejorar la eficiencia energética, reducir el impacto ambiental y prolongar la vida útil del producto. Asimismo, se abordan aspectos de seguridad alimentaria, sostenibilidad y valorización de subproductos en el marco de la economía circular. En conjunto, la gestión poscosecha adecuada se confirma como un factor estratégico para garantizar pistachos seguros, estables y de alta calidad, capaces de responder a las demandas del mercado global y de la industria alimentaria.

1. Introducción

El pistacho (*Pistacia vera* L.) es una de las especies de frutos secos más importantes a nivel mundial gracias a su alto valor comercial, su creciente demanda en los mercados internacionales y su notable versatilidad de uso, lo que lo convierte en un ingrediente fundamental en las industrias de la confitería, la pastelería y la gastronomía mediterránea.

En 2020, el mercado mundial de frutos secos comestibles se estimó en 88.800 millones de dólares y se espera que alcance los 103.000 millones de dólares para 2027 (Intrado Globe Newswire, 2020).

La producción mundial de pistacho superó los 1,4 millones de toneladas en 2023, con una tendencia al alza impulsada tanto por el aumento de las superficies cultivadas como por la mejora genética de los cultivares. Los principales países productores son Estados Unidos, Irán, Turquía y Siria, a los que se suman países emergentes como Grecia, Italia y España. Estados Unidos, en particular, es actualmente el principal exportador mundial de pistachos, con una producción concentrada en el Valle Central de California, donde se cultivan más de 187.000 hectáreas y se producen 676.000 toneladas (FAOSTAT, 2023).

Los cultivos californianos se basan principalmente en el cultivar 'Kerman', una variedad seleccionada para la producción intensiva, que se caracteriza por frutos de gran tamaño, buena dehiscencia de la cáscara y resistencia a las plagas. Debido al clima árido de la región, el cultivo se realiza completamente con riego y se emplean técnicas agronómicas altamente mecanizadas, incluyendo la cosecha automatizada. El modelo californiano se considera a menudo un referente por su eficiencia productiva, con rendimientos promedio que pueden superar los 3000 kg/ha y una cadena de suministro poscosecha altamente industrializada, orientada a la estandarización y la reducción de las pérdidas de calidad.

En Italia, el cultivo del pistacho se ha concentrado históricamente en Sicilia, donde las condiciones edafoclimáticas de las laderas occidentales del Etna favorecen la producción de fruta de alta calidad, especialmente en la zona de Bronte. Aquí se cultiva el reconocido cultivar autóctono "Bianca o Napoletana". Goza de denominación de origen protegida (DOP) y se distingue por su grano brillante, aroma intenso, alto contenido de pigmentos y cáscara fácil de pelar. La producción italiana, aunque limitada en cantidad, es apreciada por sus características sensoriales y el carácter artesanal de su cadena de suministro.

España también ha experimentado una importante expansión del cultivo del pistacho en las últimas décadas, especialmente en las regiones de Castilla-La Mancha, Andalucía y Extremadura, gracias a la introducción de sistemas de riego, la selección de variedades adaptadas a climas semiáridos y los incentivos públicos para la agricultura sostenible. Las variedades más extendidas en España son "Kerman", "Larnaka" y "Sirora", elegidas por su alta productividad, buena dehiscencia y adaptabilidad a condiciones de estrés hídrico. El modelo español, aún en proceso de consolidación, busca lograr un equilibrio entre productividad, calidad y sostenibilidad ambiental.

Nutricionalmente, los pistachos son un alimento altamente energético, con un contenido de grasa de alrededor del 45%, compuesto principalmente por ácidos grasos monoinsaturados (MUFA ~23,8 g/100 g) y ácidos grasos poliinsaturados (PUFA ~13,7 g/100 g), y un contenido proteico de aproximadamente el 20%, con una buena cantidad de fibra dietética (~10 g/100 g).

Además, contienen micronutrientes como potasio, magnesio, vitamina B6 y vitamina E, así como compuestos bioactivos como carotenoides (luteína y zeaxantina), tocoferoles, antocianinas, polifenoles y fitoesteroles, que les confieren una alta capacidad antioxidante.

Numerosos estudios clínicos han confirmado que el consumo regular de pistachos se asocia con beneficios para la salud cardiovascular, la regulación del azúcar en sangre y el control del peso corporal. En particular, varios investigadores han destacado una reducción significativa del colesterol LDL y los triglicéridos, mientras que otros han documentado una mejora en la respuesta antioxidante sistémica y un aumento de los niveles séricos de luteína y γ -tocoferol.

Sin embargo, la calidad del producto final puede verse gravemente comprometida por un manejo poscosecha deficiente. Inmediatamente después de la cosecha, los granos de pistacho presentan una alta humedad residual, lo que los hace vulnerables al deterioro enzimático, la rancidez lipídica y la contaminación por hongos micotoxigénicos como *Aspergillus flavus* y *A. parasiticus*. En particular, la producción de aflatoxinas representa un problema crítico en la cadena de suministro del pistacho, que requiere un manejo meticuloso de las condiciones de secado y almacenamiento.

Además, dado que los frutos secos son ricos en ácidos grasos insaturados, la calidad de su aceite es particularmente sensible a los procesos de secado térmico. Por lo tanto, las prácticas de secado de los frutos secos deben realizarse de forma adecuada y eficiente inmediatamente después de la cosecha para garantizar la calidad, la inocuidad y el valor comercial de los productos secos.

Por estas razones, la necesidad de tecnologías poscosecha más eficientes y eficaces ha aumentado en los últimos años. Esta necesidad se ha visto impulsada por el aumento de la producción, estándares de calidad más altos, regulaciones de seguridad alimentaria más estrictas, el desarrollo de nuevos métodos de cosecha y la demanda de soluciones que ahorren energía y sean neutrales en carbono.

Entre las diversas etapas, las tecnologías relacionadas con el secado, la desinfección, el control de plagas y los procesos posteriores, como el escaldado, el pelado de semillas y el tostado, desempeñan un papel fundamental, ya que influyen directamente en la calidad y la seguridad del producto final. Estas operaciones también representan la mayor parte del consumo energético y el impacto ambiental asociado con la producción de frutos secos.

Las características de calidad de las semillas varían significativamente según el cultivar, la técnica de cultivo utilizada y el grado de madurez en la cosecha. Las variedades destinadas al consumo directo deben cumplir estrictos criterios estéticos, como tamaño uniforme, color brillante, ausencia de defectos y una cáscara parcialmente abierta. Por otro lado, la industria de la confitería prioriza las frutas con alto rendimiento y aromas intensos, como el pistacho Bronte. Las estrategias modernas de mejora de la calidad, incluida la trazabilidad, la certificación de origen y la aplicación de tecnologías poscosecha innovadoras, son elementos clave para fortalecer la competitividad de las cadenas de suministro mediterráneas.

2. Cosecha

La cosecha representa uno de los momentos más críticos y decisivos en toda la cadena de suministro del pistacho. El momento y los métodos adoptados durante esta fase influyen directamente en la calidad del producto, su vida útil y la rentabilidad de toda la producción. La elección de las técnicas de cosecha, el momento y la gestión poscosecha pueden tener un impacto significativo en la calidad organoléptica y comercial del producto final. Esta fase es muy variable según las condiciones edafoclimáticas, el cultivar, la gestión agronómica y la infraestructura disponible en los distintos países productores.

El periodo de cosecha del pistacho varía a nivel mundial, pero generalmente se sitúa entre finales de agosto y principios de octubre en el hemisferio norte. El momento óptimo depende del grado de madurez de los pistachos, que puede evaluarse mediante varios indicadores: apertura natural de la cáscara (dehiscencia), color de la cáscara y facilidad de desprendimiento.

En Estados Unidos, especialmente en California, la cosecha suele tener lugar entre la segunda quincena de agosto y finales de septiembre. En estas zonas, las plantas de pistacho, principalmente del cultivar “Kerman”, tienen una maduración homogénea que permite concentrar la cosecha en una única pasada muy mecanizada (Figura 1).



Figura 1. Cosecha mecanizada de pistacho (*Pistacia vera* L.) en una planta de California; se trata de operaciones realizadas mediante sacudidores de alta eficiencia y sistemas de cosecha de captura directa

En cambio, en países mediterráneos como Irán, Turquía, Grecia e Italia, la cosecha suele realizarse en condiciones más heterogéneas, a veces manualmente, y puede extenderse a lo largo de varias semanas debido a la variabilidad de la maduración entre cultivares y zonas de cultivo. En Italia, y en particular en la zona de Bronte, los pistachos se cosechan cada dos años debido a la fuerte alternancia de la producción y a las prácticas de manejo tradicionales específicas.

Las técnicas de cosecha del pistacho se dividen principalmente en manuales y mecánicas. La cosecha manual, aún muy extendida en muchas zonas marginales y en sistemas tradicionales,

se realiza sacudiendo las ramas con palos o recogiendo los frutos a mano directamente sobre láminas extendidas en el suelo. Este método, si bien requiere mucho tiempo y recursos, es el único viable en las condiciones orográficas de la zona de Bronte.

Sin embargo, no es económicamente sostenible en entornos de cultivo extensivo, especialmente cuando los costes de mano de obra son elevados. Además, un mayor tiempo de cosecha puede aumentar el riesgo de deterioro de la fruta, especialmente con alta humedad o altas temperaturas.

La cosecha mecánica, cada vez más extendida en países con sistemas de producción modernos como Estados Unidos, consiste en el uso de sacudidores mecánicos que hacen vibrar el tronco o las ramas de la planta, provocando la caída de la fruta sobre paraguas invertidos o cintas transportadoras. Este método reduce drásticamente los tiempos de cosecha y minimiza el tiempo que la fruta permanece en la planta, evitando la sobremaduración.

En algunos contextos de producción, especialmente en Irán y Turquía, se observan soluciones híbridas, donde la cosecha se sigue realizando manualmente, pero con la ayuda de equipos ligeros como rastrillos o dispositivos vibratorios portátiles. Estos sistemas representan un equilibrio entre la eficiencia y la calidad de la fruta, especialmente en zonas montañosas o en terrenos difíciles de mecanizar.

Es importante tener en cuenta que la fruta recién cosechada tiene un contenido de humedad bastante alto (hasta un 50%) y está cubierta por una cáscara exterior perecedera. Por lo tanto, es esencial que, tras la cosecha, la fruta se someta a un rápido pelado, lavado y secado. Un retraso en estas fases puede provocar fermentaciones indeseadas, el desarrollo de microorganismos y la aparición de mohos, como los que producen aflatoxinas. Por lo tanto, una intervención rápida entre la cosecha y la poscosecha es esencial para garantizar altos estándares de calidad.

La elección del método de cosecha, además de tener implicaciones agronómicas y económicas, tiene un impacto directo en la calidad microbiológica, sensorial y nutricional de los pistachos. Por ejemplo, las frutas dañadas durante la cosecha pueden presentar mayores pérdidas de compuestos aromáticos, mayor oxidación lipídica y menor vida útil. Por consiguiente, la adopción de tecnologías apropiadas y técnicas de cosecha mejoradas representa una herramienta estratégica para aumentar la competitividad del sector y promover productos típicos.

3. Manejo poscosecha

Un manejo poscosecha adecuado es esencial para garantizar la calidad, la inocuidad y la vida útil de los pistachos, así como para maximizar la rentabilidad y la comercialización del producto. Si las operaciones poscosecha se realizan de forma incorrecta, pueden comprometer irreversiblemente las características organolépticas y nutricionales de la fruta, promover la contaminación microbiológica y reducir la vida útil del producto.

Las partes que componen el fruto del pistachero son las siguientes:

- **Pericarpio:** Es la capa exterior del fruto. En el pistacho, el pericarpio se divide en dos partes:
 - **Pellejo o cáscara blanda:** La capa exterior, de color verde a rojizo, que se quita durante el proceso de cosecha (“pelado”)
 - **Cáscara, cáscara dura o endocarpio:** La cáscara leñosa y de color marfil que conocemos y que se abre de forma natural al madurar el fruto. Esta es la parte que generalmente tenemos que romper para acceder a la semilla (“descascarado”) si el fruto no se ha abierto de forma natural
- **Semilla:** Es la parte comestible del pistacho. Dentro de la cáscara dura, encontramos:
 - **Piel o tegumento:** Una fina piel de color púrpura-marrón que envuelve la parte más interna.
 - **Pepita, semilla o kernel:** La parte de color verde intenso que es la que se come.

Los pistachos recién cosechados tienen una cubierta exterior gruesa y húmeda (“pellejo” o cáscara blanda) que envuelve la cáscara dura y la semilla. Este alto contenido de humedad y actividad acuosa hace que los pistachos frescos sean particularmente susceptibles a la degradación cualitativa y al crecimiento microbiano. Mohos, levaduras y bacterias pueden proliferar rápidamente en estas condiciones, causando alteraciones organolépticas, fermentaciones no deseadas y pérdida de valor comercial.

Para combatir estos problemas, es esencial que las operaciones poscosecha se realicen con prontitud.

El pelado y el secado son cruciales para reducir el contenido de humedad de la fruta y la actividad acuosa a niveles que impidan el crecimiento de microorganismos causantes de descomposición. Sin embargo, estas operaciones también deben realizarse con cuidado, ya que los pistachos son ricos en ácidos grasos insaturados y clorofila, dos compuestos particularmente sensibles al calor. Las temperaturas excesivamente altas o los tiempos de secado prolongados pueden comprometer la estabilidad oxidativa de los lípidos, causar rancidez y alterar el característico color verde del grano.

Investigaciones recientes han destacado la importancia de equilibrar la eficiencia y la delicadeza en los procesos de secado, adoptando soluciones tecnológicas que preserven las características nutricionales y visuales del producto.

Dado que los pistachos son un producto de temporada, pero se consumen durante todo el año, un almacenamiento adecuado a largo plazo es igualmente crucial. Tras el secado, los pistachos deben almacenarse en entornos frescos, secos y bien ventilados, con bajos niveles de oxígeno y una humedad relativa controlada para minimizar los procesos oxidativos y ralentizar el deterioro.

3.1. Pelado

El pelado es una de las etapas más delicadas y cruciales del manejo poscosecha del pistacho, ya que impacta profundamente en la calidad final del producto y en la prevención de la contaminación por mohos, en particular *Aspergillus flavus*.

La cáscara blanda, la capa exterior carnosa que envuelve la cáscara del pistacho, tiene un alto contenido de humedad, que puede superar el 50 % inmediatamente después de la cosecha. Si

no se elimina rápidamente, este ambiente húmedo y rico en nutrientes favorece la proliferación de microorganismos patógenos.

En Estados Unidos, donde el cultivo y el procesamiento del pistacho están altamente mecanizados, el pelado generalmente se realiza pocas horas después de la cosecha y directamente en el campo. Las peladoras mecánicas, como las desarrolladas por empresas especializadas en el sector agroalimentario (p. ej., Pellenc, Hawk Machinery), utilizan una combinación de corte, abrasión y soplado para separar la cáscara de forma rápida y cuidadosa, evitando daños y retrasos. La automatización también permite condiciones de higiene controladas y minimiza el contacto con el suelo, reduciendo así el riesgo de contaminación.

En Irán y Turquía, principales productores mundiales de pistacho, las técnicas de pelado varían entre sistemas semimecanizados y métodos manuales más tradicionales. En muchas zonas rurales, el pellejo se sigue eliminando mediante fregado manual o con máquinas sencillas, lo que requiere más tiempo y mano de obra. Esto conlleva un mayor riesgo de desarrollo de moho y deterioro de la calidad, especialmente si las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de microorganismos patógenos. Sin embargo, en los últimos años, en estos países se han incorporado sistemas más avanzados que permiten tiempos de procesamiento más cortos y una mejor calidad.

En Italia, y en particular en Sicilia, el pelado se realiza tradicionalmente de forma mecánica. Las empresas más consolidadas utilizan maquinaria especializada, generalmente de producción local o importada de otros países, capaz de retirar eficazmente la cáscara y minimizar los daños a las semillas. Sin embargo, muchas pequeñas empresas o productores artesanales aún emplean métodos semimanuales o maquinaria antigua, lo que aumenta el tiempo entre la cosecha y el pelado, e incrementa el riesgo de contaminación y deterioro de la calidad.

En los últimos años, la investigación y la tecnología han desarrollado sistemas de pelado de baja abrasión, diseñados para reducir los daños mecánicos tanto a la cáscara como a las semillas.

Estos métodos utilizan tecnologías como:

- Pelado neumático: utiliza chorros de aire a alta presión para separar la cáscara sin contacto físico directo con la cáscara, minimizando la rotura y la abrasión.
- Máquinas con control de presión ajustable: permite adaptar la fuerza mecánica a las características del producto, evitando dañar las semillas y las cáscaras.
- Ultrasonido y vibración: se aplican como tratamiento previo al pelado para ablandar el pellejo, facilitando su extracción sin estrés mecánico. Estos métodos innovadores no sólo ayudan a preservar la integridad física y la estética del pistacho, sino que también mantienen los compuestos bioactivos y reducen la contaminación microbiana.

3.2. Lavado

El lavado de los pistachos es una de las operaciones clave tras la cosecha, esencial para garantizar la higiene del producto y preservar su calidad microbiológica y visual. Tras retirar la cáscara blanda, la cáscara dura de los pistachos puede contaminarse con residuos orgánicos, tierra, polvo y microorganismos. Un lavado eficiente contribuye no solo a la limpieza física, sino también a reducir la carga microbiana superficial, un requisito crucial para garantizar la vida útil y la seguridad alimentaria del producto final.

En los principales países productores de pistacho, las tecnologías y los protocolos de lavado adoptados varían considerablemente, lo que refleja los distintos niveles de mecanización, las normas de higiene y la organización de la cadena de suministro.

En Estados Unidos, especialmente en California, el proceso de lavado se realiza en instalaciones altamente automatizadas. Tras separar la cáscara blanda, los pistachos se transportan rápidamente a tambores rotatorios equipados con pulverizadores de alta presión, que realizan un lavado energético para eliminar cualquier residuo. A continuación, se realiza una fase de desinfección con sustancias autorizadas, generalmente hipoclorito de sodio o ácido peracético. Estos tratamientos están calibrados para garantizar la reducción de la carga microbiana sin comprometer la integridad de la cáscara ni dejar residuos químicos nocivos.

En Irán y Turquía, el lavado generalmente se realiza con sistemas menos sofisticados. En muchas granjas o pequeñas plantas de procesamiento, la fruta se sumerge en tanques de agua corriente o se lava manualmente, con mayor variabilidad en las condiciones de higiene. Este método, si bien es eficaz para la eliminación macroscópica de impurezas, puede no garantizar una desinfección adecuada, lo que propicia la contaminación cruzada, especialmente si el agua no se cambia con frecuencia o no se trata.

En Italia, y en particular en Sicilia, el lavado de la fruta en las empresas más estructuradas se realiza mediante cintas transportadoras equipadas con pulverizadores y cepillos rotativos, integrados con sistemas de pelado. Posteriormente, la fruta se sumerge en un tanque con agua a temperatura ambiente, que cumple la doble función de completar el proceso de lavado y separar la fruta llena de la vacía, gracias a sus diferentes densidades. Sin embargo, el proceso no implica el uso de desinfectantes químicos, ya que se utiliza exclusivamente agua potable, lo que puede suponer una limitación para el control microbiológico. En las instalaciones de producción más pequeñas, sin embargo, las operaciones de lavado a veces se realizan manualmente.

En los últimos años, la investigación científica ha explorado métodos alternativos para mejorar la eficacia del lavado y reducir el uso de productos químicos. En particular, el tratamiento con agua ozonizada ha demostrado una alta capacidad para inactivar bacterias y hongos, sin impacto sensorial en la fruta y con ausencia total de residuos. Otros estudios han demostrado que el uso de ultrasonidos combinado con agua ofrece resultados prometedores en la eliminación de impurezas superficiales y la contención de la contaminación. No obstante, estas tecnologías innovadoras aún se encuentran en fase experimental o se limitan a plantas piloto.

Otro aspecto importante es controlar la humedad residual en la cáscara después del lavado: si no se gestiona adecuadamente, la humedad puede promover el crecimiento de moho durante la fase de secado posterior o durante el almacenamiento.

3.3. Secado

El secado es una de las fases más complejas y cruciales en la cadena de suministro poscosecha del pistacho, con efectos directos y duraderos en la calidad comercial, microbiológica y nutricional del producto. Los pistachos tienen una cáscara dura y, según el cultivar, son naturalmente indehiscentes o dehiscentes. Esta característica puede limitar o acelerar la tasa de transferencia de humedad; por lo tanto, en el caso de los pistachos indehiscentes, el secado natural por sí solo resulta ineficaz.

El secado debe realizarse en las primeras horas posteriores a la cosecha. En condiciones de calor y humedad, los pistachos pueden desarrollar colonias de microorganismos en cuestión de horas, lo que supone un grave riesgo para la salud del producto. En algunas regiones productoras, como California, Irán y Turquía, esta fase se realiza mediante secado mecánico o ventilado, utilizando túneles o cámaras de deshidratación de aire caliente (a 45 - 55 °C), que facilitan el desprendimiento del pericarpio y el inicio del proceso de secado. Como alternativa, en sistemas más tradicionales, como los de Sicilia, la fruta se expone directamente al sol sobre láminas o redes de yute.

En Sicilia, y en particular en Bronte, el producto se seca tradicionalmente al sol durante 4-5 días inmediatamente después de la cosecha, o en túneles de plástico durante 2-3 días, según las condiciones meteorológicas (Figura 2).



Figura 2. Métodos de secado poscosecha de pistacho (*Pistacia vera* L.) en ambientes naturales: al aire libre y bajo cubierta, utilizados para reducir la humedad residual y prevenir la contaminación microbiana

El secado comercial busca reducir el contenido de humedad de las semillas a entre un 4 y un 6 %. Este umbral es esencial para garantizar la estabilidad microbiológica del producto y evitar la rancidez lipídica durante el almacenamiento. En muchas zonas de Sicilia y Grecia, se sigue prefiriendo el secado solar, que consiste en colocar las frutas con cáscara o enteras en láminas o rejillas durante 4 a 6 días, en condiciones de buena ventilación natural. Este método, aunque difícil de estandarizar, conserva los aromas y pigmentos naturales de las semillas, pero requiere una monitorización constante y condiciones climáticas favorables para prevenir la proliferación microbiana.

En el sector industrial, especialmente en Estados Unidos, Irán y Turquía, y más recientemente también en Sicilia, se tiende al uso de secadores mecánicos, que garantizan velocidad, uniformidad de tratamiento y altos estándares de calidad. Los sistemas más comunes son de flujo continuo o por lotes, verticales u horizontales, en los que se hace circular aire caliente (a 50 - 70 °C) a través de las capas de fruta durante 10-20 horas, hasta alcanzar el umbral de humedad deseado (Figura 3).

Los secadores de lecho fluidizado son de especial interés, ya que garantizan una distribución uniforme del calor, minimizando el daño mecánico a las cáscaras y reduciendo las variaciones de color. Recientemente se han probado tecnologías innovadoras como el secado por microondas y el secado catalítico por infrarrojos: el primero permite una aceleración significativa (de 5 - 6 horas a 30 - 40 minutos), manteniendo una alta calidad sensorial y

nutricional, mientras que el segundo utiliza bajas temperaturas y rayos infrarrojos para un secado suave y uniforme, con un menor consumo de energía y menores emisiones ambientales.



Figura 3. Secado de frutos de pistacho (*Pistacia vera* L.) en un secadero mecánico, utilizado para completar la fase de secado de forma controlada y más rápida que el método solar

Las decisiones tecnológicas tomadas durante la fase de secado tienen un impacto significativo en la calidad final del producto. Un secado demasiado lento, especialmente en las etapas iniciales, puede facilitar el crecimiento de microorganismos, mientras que un secado demasiado rápido o a temperaturas excesivas puede causar daños a la cáscara (grietas, pardeamiento), alteraciones en las fracciones lipídicas y proteicas de la semilla y la desnaturalización de la clorofila. La tasa de reducción de la humedad, la temperatura del aire, la humedad relativa y la ventilación son parámetros que deben controlarse rigurosamente para garantizar la calidad. En algunos experimentos realizados en California, el secado a 60 °C durante 8 horas redujo la humedad al 6% con una pérdida mínima de color y aroma, mientras que el secado a 75 °C aceleró el proceso, pero aumentó el daño oxidativo y la formación de aromas desagradables.

Las condiciones de secado también influyen en el comportamiento del producto durante las etapas posteriores del procesamiento. Las frutas excesivamente secas tienden a romperse con mayor facilidad, lo que aumenta la proporción de producto no comercializable, mientras que una humedad excesivamente alta dificulta el almacenamiento prolongado y promueve el pardeamiento enzimático. Por lo tanto, es evidente que la elección del método y los parámetros de secado debe ajustarse según el tipo de mercado, la variedad y la organización de la cadena de suministro.

Es importante recordar que actualmente los consumidores demandan alimentos seguros y saludables, mientras que la industria alimentaria se encuentra bajo presión para reducir las emisiones de carbono relacionadas con el procesamiento. Por lo tanto, es esencial desarrollar

métodos de secado más eficientes para los frutos secos. En los últimos años, la investigación se ha centrado en dos áreas principales:

- Mejorar los procesos existentes de secado por aire caliente mediante la optimización de sus parámetros operativos, por ejemplo, mediante calentamiento gradual de la temperatura, calentamiento intermitente o el uso de bombas de calor;
- Desarrollar nuevas tecnologías de secado, tanto térmicas como no térmicas, como infrarrojos (IR), microondas (MW), radiofrecuencia (RF), secado al vacío (VD), ultrasonidos o tecnologías combinadas más eficientes.

3.4. Blanqueo

El blanqueo del pistacho, la práctica de blanquear las cáscaras para mejorar su apariencia representa un paso controvertido y crucial en la gestión poscosecha. Se utiliza a menudo para ocultar manchas o deformidades en las cáscaras que de otro modo serían poco atractivas, pero este proceso puede comprometer significativamente la composición fitoquímica del fruto seco y sus posibles beneficios para la salud.

El color blanco brillante de los frutos secos es, de hecho, estéticamente agradable para los consumidores y generalmente se desea para el consumo directo.

El tratamiento suele utilizar productos químicos como peróxido de hidrógeno (H_2O_2) o soluciones alcalinas suaves, a veces combinadas con bicarbonato de sodio, en concentraciones y durante tiempos calibrados para lograr un rápido efecto visual en la superficie. Sin embargo, estudios científicos han demostrado que incluso con niveles bajos de blanqueo (p. ej., 0,1–5 % H_2O_2), se produce una reducción drástica de los fenoles presentes en la cutícula de la cáscara, en particular de las antocianinas como la cianidina-3-galactósido y la cianidina-3-glucósido, que disminuyen de aproximadamente 900 $\mu\text{g/g}$ a unas pocas docenas al aumentar la concentración del agente activo (Tabla 1). La capacidad antioxidante también disminuye proporcionalmente, con una caída sustancial incluso a bajas concentraciones químicas. Los fenoles como la quercetina, la luteolina y la rutina se reducen significativamente, lo que resulta en una pérdida de beneficios para la salud, a menudo subestimada.

Tabla 1. Niveles de antocianinas, cianidina-3-galactósido y cianidina-3-glucósido en pieles de pistachos crudos y tostados, expuestas a diferentes niveles de agente blanqueador (peróxido de hidrógeno) (Seeram *et al.*, 2006)

Peróxido de hidrógeno (%)	Crudo			Tostado		
	Cy-3-gal ($\mu\text{g/g}$)	Cy-3-glu ($\mu\text{g/g}$)	Total ($\mu\text{g/g}$)	Cy-3-gal ($\mu\text{g/g}$)	Cy-3-glu ($\mu\text{g/g}$)	Total ($\mu\text{g/g}$)
0	696±78	209±22	905±100	462±54	87±12	
0.1	554±63	99±14	653±77	105±16	40±5.7	
0.5	457±51	74±10	531±61	87±13	33±4.9	
1.0	341±39	43±6.2	384±45	70±11	26±4.9	
3.0	179±22	12±2.3	191±24	28±5.2	8.2±1.1	
5.0	103±12	7.4±1.1	110.4±13	15±2.4	3.4±1.0	
15.0	33±4.7	3.3±0.6	36.3±5.3	9.8±1.6	1.8±0.4	
20.0	19±2.2	2.4±0.5	21.4±2.7	4.8±1.4	1.1±0.3	
25.0	6.1±1.4	0	6.1±1.4	3.2±0.7	0	
50.0	0	0	0	0	0	

En el contexto de producción mediterráneo, como en Italia y España, no se practica el blanqueo, en parte por razones regulatorias y éticas: los cosméticos de color no justifican la pérdida de integridad nutricional, especialmente cuando se trata de productos típicos o con DOP.

Los riesgos asociados al blanqueo incluyen no solo la pérdida de fitoquímicos y la reducción de la capacidad antioxidante, sino también alteraciones organolépticas: las cáscaras blanqueadas pueden tener un aroma agradable a primera vista, pero el proceso puede exponer la capa interna de la semilla y favorecer la absorción de disolventes o residuos químicos. El perfil lipídico también puede verse alterado, con un aumento del índice de peróxidos, un signo de rancidez prematura.

3.5. Descascarado

El descascarado es un proceso delicado, especialmente para las frutas destinadas a la industria de la confitería. Una gestión inadecuada de esta fase puede comprometer la integridad de la semilla, alterar su aspecto y reducir su vida útil.

En Estados Unidos, donde la cadena de suministro está altamente mecanizada y orientada a grandes volúmenes, el descascarado se realiza mediante sistemas mecánicos con control óptico. Las máquinas identifican automáticamente las frutas con la cáscara abierta desde la base (normalmente representan entre el 70 % y el 80 % de la producción) y las separan cuidadosamente, reduciendo significativamente el porcentaje de semillas rotas.

En Irán y Turquía, donde la variabilidad varietal y la extensión geográfica dificultan la automatización total, el descascarado suele combinarse con la clasificación manual o semiautomática. En estas zonas, las frutas con la cáscara parcialmente abierta requieren operaciones manuales o ciclos repetidos para garantizar la integridad de la semilla. El uso de máquinas similares a las estadounidenses está aumentando, pero la eficiencia sigue estando influenciada por la calidad de la fruta y la formación de los operarios. En Italia, especialmente en Sicilia, se observan enfoques mixtos: las empresas más estructuradas utilizan desgranadoras mecánicas equipadas con sistemas de clasificación óptica, mientras que las producciones artesanales o con DOP mantienen una práctica manual o semimecánica, lo que permite a las empresas seleccionar fruta de mayor calidad y abastecer el mercado gourmet. Este enfoque garantiza una mayor precisión, pero conlleva altos costos de mano de obra.

El desgranado mecánico, si se calibra correctamente en términos de presión, velocidad y tamaño de orificio, permite altos rendimientos, manteniendo baja la tasa de rotura de fruta y preservando la textura de la semilla (Figura 4). Sin embargo, si se realiza en exceso, puede generar microfracturas en la cáscara o dañar el tegumento de la semilla, promoviendo la oxidación lipídica durante el almacenamiento.

El desgranado manual, aunque menos eficiente en términos de cantidad, reduce la incidencia de roturas y es la opción preferida para productos destinados a segmentos de alta calidad. Al mismo tiempo, este método permite una mejor selección visual y la exclusión inmediata de la fruta defectuosa, lo que ayuda a reducir la contaminación por hongos o patógenos.

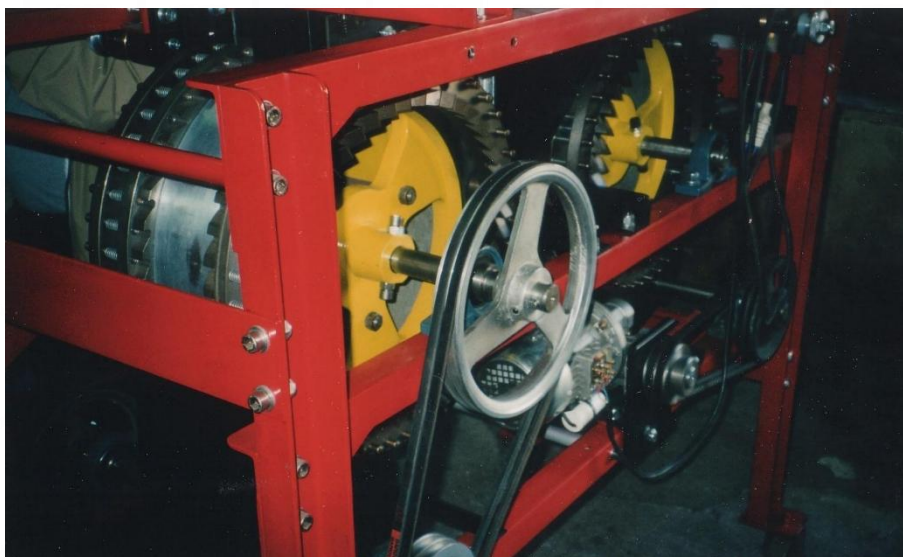


Figura 4. Detalle de una descascaradora mecánica utilizada en el procesamiento de pistachos (*Pistacia vera* L.), utilizada para separar la semilla de la cáscara de manera eficiente y a gran escala

Investigaciones recientes han desarrollado y probado tecnologías destinadas a reducir los daños del desgranado y mejorar la eficiencia:

- Desgranadoras con sensores inteligentes: máquinas capaces de ajustar automáticamente la fuerza aplicada en función del tamaño, la dureza y el grado de apertura de la cáscara, optimizando la eficiencia sin dañar el grano.
- Sistemas de impacto controlado y vibración selectiva: aplicables a fruta con cáscara cerrada, en los que la cáscara se rompe de forma selectiva pero no excesiva, limitando la rotura y la fragmentación.
- Técnicas híbridas manual-mecánicas, donde un operador interviene solo en la fruta más difícil o valiosa, mientras que el resto se manipula con sistemas automatizados.
- Separación óptica postdesgranado: Cámaras de alta resolución eliminan automáticamente las cáscaras rotas y las semillas infectadas o no conformes, mejorando aún más la pureza del producto final.

3.6. Almacenamiento

La conservación de los pistachos es crucial para mantener sus propiedades organolépticas, nutricionales y saludables a lo largo del tiempo. Su estabilidad depende principalmente de unas condiciones ambientales óptimas, un envasado adecuado, los tratamientos de gases y los sistemas de control de plagas, así como de la calidad de las instalaciones de almacenamiento.

Un almacenamiento prolongado solo es posible si los pistachos se han secado adecuadamente para reducir su contenido de humedad al 4-5 %. La actividad de agua (a_w) debe mantenerse por debajo de 0,6 para inhibir el crecimiento de hongos patógenos como *Aspergillus flavus*.

Las temperaturas ideales de almacenamiento se sitúan entre 0 °C y 10 °C, con una humedad relativa del 65 % al 70 %. Estas condiciones ralentizan la oxidación lipídica e inhiben el crecimiento de insectos y moho. Si la temperatura supera los 10 °C, la humedad relativa debe mantenerse por debajo del 32 % para evitar la degradación sensorial y microbiana. Valores constantes superiores a 20 °C aceleran la rancidez y la pérdida de calidad.

4. Acondicionamiento

El empaquetado del pistacho representa la etapa final de la cadena de suministro poscosecha, esencial para garantizar la idoneidad del producto para su uso comercial, ya sea con cáscara, con cáscara o destinado a la industria de la confitería.

El primer paso consiste en preparar el material para el empaquetado mediante la selección, clasificación y limpieza. Esta actividad es crucial para eliminar defectos visuales, cáscaras vacías o rotas, polvo residual y contaminantes superficiales mediante sistemas de inspección óptica, succión, tamices vibratorios y colectores de polvo. Para productos con cáscara, puede ser necesario un lavado superficial posterior seguido de un secado controlado. Posteriormente, se realiza la clasificación dimensional según parámetros comerciales.

Las líneas de producción bien estructuradas dividen el proceso en dos etapas principales: empaquetado inicial y almacenamiento en ambientes controlados, o preempaquetado a granel y selección/clasificación bajo demanda. La práctica actual dicta que el envasado es fundamental para prolongar la vida útil, y los tipos de envase utilizados varían según el uso previsto:

- Los pistachos con cáscara se envasan en bolsas de 10 a 50 kg (cajas de cartón, big bags, bolsas multicapa) para el mercado a granel. Las versiones para la venta al por menor incluyen bolsas de fondo plano o bolsas de 500 g, fabricadas con materiales barrera.
- Los pistachos con cáscara (para aperitivos o confitería) se envasan en bolsas, frascos o vainas selladas, fabricadas con película multicapa (PET, PA/PP) con una alta barrera contra el oxígeno y la humedad. Los envases pueden envasarse al vacío o con gas (vacío o MAP) para prolongar la vida útil, conservar el color y reducir la oxidación lipídica.
- Para la industria de la confitería, pueden envasarse en bolsas de 25 kg en atmósferas controladas, a menudo mejoradas con absorbentes de oxígeno o envases con CO₂.

Las regulaciones internacionales establecen requisitos de etiquetado, indicación de tamaño, contenido máximo de humedad (<5%) y porcentaje mínimo de cáscaras abiertas en las clases Extra, I y II. Para productos destinados a la gastronomía, se requieren estándares de color y dimensiones uniformes.

Finalmente, técnicas emergentes como las películas comestibles (quitosano, alginatos) y los envases biodegradables tratados con aceites esenciales o recubrimientos antioxidantes permiten la conservación de la calidad durante más de un mes a temperatura ambiente de 25-30 °C, preservando los compuestos bioactivos y ralentizando la actividad de las enzimas oxidativas. Esta opción resulta atractiva para envases "verdes" u orgánicos.

Los materiales de envasado desempeñan un papel crucial. Las películas laminadas de barrera multicapa (PET, PA/PP, PVC) son preferibles al LDPE, que permite la absorción de humedad y la formación de aflatoxinas (Figura 5).

El envasado en PET transparente puede prolongar la vida útil de aproximadamente 60 días a más de 150 días a temperatura ambiente. Se recomienda el envasado al vacío o con nitrógeno o CO₂ para reducir la oxidación, ralentizar la actividad microbiana y aislar el producto de olores externos. El envasado en atmósfera modificada (MAP o atmósfera controlada), con O₂ inferior al 0,5 % y CO₂ superior al 20 - 30 %, ha demostrado ser eficaz para controlar insectos, ralentizar la rancidez y prolongar la frescura sensorial, especialmente cuando se combina con

temperaturas refrigeradas (0 °C). En estas condiciones, la vida útil puede extenderse hasta 3-4 meses.



Figura 5. Ejemplo de envasado de pistachos (*Pistacia vera* L.) con cáscara para la venta al por menor, utilizando bolsas selladas que garantizan la vida útil del producto.

Los entornos de almacenamiento deben garantizar una renovación regular del aire para evitar la acumulación de CO₂ y reducir el riesgo de autocalentamiento, un fenómeno en el que el aceite de las semillas puede desencadenar reacciones exotérmicas, especialmente en ambientes húmedos. Las operaciones de desinfestación son esenciales en silos o contenedores a granel: el uso de fosfina o bromuro de metilo es tradicional, pero cada vez se prefieren más las atmósferas herméticas (CO₂ puro o mezclas con nitrógeno) para eliminar insectos y larvas sin residuos químicos.

El destino comercial de los pistachos, ya sea para consumo directo o para procesamiento industrial, determina sustancialmente los criterios de selección, los métodos de envasado y la valorización comercial del producto. En particular, se observan diferencias significativas entre los pistachos cultivados en California (*Pistacia vera* 'Kerman') y los cultivados en Sicilia, principalmente en la zona de Bronte (*Pistacia vera* 'Napoletana' o 'Bianca'), tanto en términos de calidad como en relación con los mercados finales y los usos industriales.

Los pistachos destinados al consumo directo, predominantemente con cáscara, tostados y salados, se someten a estrictos controles de calidad. Este segmento de mercado requiere:

- Cáscaras bien abiertas, sin imperfecciones ni defectos, y de tamaño uniforme.
- Color verde brillante o verde violáceo.
- Humedad residual inferior al 5 % para garantizar su textura crujiente y una larga vida útil.

- Ausencia de contaminantes (aflatoxinas, metales pesados), de conformidad con la normativa europea.

En Estados Unidos, los pistachos de California representan aproximadamente el 99% de la producción nacional y se venden casi exclusivamente como snacks enteros, tostados y salados con cáscara. Las operaciones de selección están completamente mecanizadas, con calibración a escala industrial, clasificación óptica y sistemas de envasado en atmósfera protectora.

El tamaño es un factor comercial esencial, al igual que la uniformidad en el tostado y la apertura de la cáscara.

Existe una diferencia sustancial entre esta cadena de suministro y la del pistacho Bronte DOP; este último se vende casi exclusivamente pelado o procesado. Esto se debe no solo a la limitada apertura espontánea de la cáscara, un fenómeno ligado al cultivar y al clima, sino sobre todo al valor añadido asociado al procesamiento gastronómico y a la identidad territorial del producto. Además, la cosecha manual y la producción limitada resultan en un precio mucho más alto, lo que hace que el envasado de snacks no sea rentable.

El sector de la confitería y la transformación de alimentos utiliza principalmente pistachos descascarados y sin el tegumento, procesados en pasta, granos o polvo. En este contexto, las operaciones poscosecha incluyen:

- Descascarado suave para evitar la rotura del grano.
- Pelado mediante vapor o inmersión en agua caliente, seguido de frotamiento mecánico, que elimina la testa y mejora el color visual del grano.
- Clasificación por color y tamaño mediante sistemas ópticos. El grado de verdor es un parámetro importante de calidad y precio, especialmente para aplicaciones de alta gama.
- Molienda y refinación para la producción de pasta pura de pistacho, utilizada como base para helados, cremas, productos horneados, turroneos y dulces.

Entre las delicias gastronómicas, destaca la pasta de pistacho Bronte DOP, uno de los productos de mayor valor añadido de toda la cadena de suministro, utilizado en numerosas recetas culinarias y de repostería, tanto en Italia como en el extranjero. Su composición está regulada por el pliego de condiciones de producción de la DOP y debe contener exclusivamente pistachos procedentes de la zona designada. Esta pasta es apreciada por su intenso color verde natural con reflejos morados, su aroma aromático y su estabilidad en las recetas de repostería (Figura 6).

En el caso de los pistachos californianos, aunque también se producen pasta y granos para el sector industrial, la calidad sensorial suele ser menor que la de los pistachos sicilianos debido a las diferencias varietales, climáticas y de procesamiento. Sin embargo, los altos volúmenes y la estandarización hacen que el producto estadounidense sea competitivo en sectores industriales de nivel medio. Las diferencias en los usos previstos también se reflejan en los sistemas de envasado. Los pistachos destinados a la industria de la confitería, al ser más sensibles a la oxidación y la contaminación microbiana, se envasan:

- En atmósfera modificada (MAP) con el uso de gases inertes (N_2 o CO_2) para prolongar la vida útil.

- En envases multicapa o rígidos, a menudo con absorbentes de oxígeno.
- En entornos controlados, a menudo salas blancas o cámaras refrigeradas.
- Envasado al vacío.



Figura 6. Pasta de pistacho puro DOP Bronte, obtenida moliendo finamente la semilla, sin agregado de azúcares ni aditivos, destinada a su uso en productos de confitería de alta calidad

El producto destinado al mercado de snacks se envasa en bolsas flexibles con atmósfera protectora, en formatos de venta al público (50-500 g) o a granel para la distribución a gran escala.

5. Presentación comercial

La presentación comercial de los pistachos es un paso crucial en la cadena de valor, influyendo directamente en la percepción del consumidor, la calidad del producto y el mercado al que se dirige. Los métodos de presentación varían significativamente según el mercado (fresco o industrial), las preferencias del consumidor, las tecnologías disponibles y la normativa vigente. En el mercado de consumo, los pistachos se venden comúnmente con cáscara, tostados o crudos, y en ocasiones aromatizados. Los estándares de calidad incluyen la uniformidad del tamaño, la apertura de la cáscara, la ausencia de defectos visuales y una baja incidencia de frutos cerrados o dañados. El tamaño se expresa en términos de calibre.

En Estados Unidos, la mecanización avanzada ha estandarizado todo el proceso de clasificación y envasado. Los pistachos se envasan en:

- **Bolsas Doypack** (150-500 g) para la gran distribución.
- **Bolsas de 5-25 kg** para restaurantes o procesadores.
- **Envases rígidos** para el mercado gourmet.

Por el contrario, en Italia, el Pistacho Verde Bronte DOP, conocido por sus altas cualidades organolépticas, se realiza mediante presentaciones más elaboradas, pensadas para la alta cocina.

6. Industria alimentaria

En el sector industrial, las necesidades están cambiando radicalmente. Los pistachos se procesan en numerosas formas, cada una de las cuales satisface las necesidades específicas de las industrias de la confitería, la heladería, la pastelería, la panadería e incluso la cosmética alimentaria. Las presentaciones estándar incluyen:

- **Pistacho entero sin cáscara:** para mezclas de aperitivos o guarniciones (Figura 6).
- **Pistacho escaldado:** sin piel, de color verde brillante, destinado a heladerías y pastelerías.
- **Pistacho en grano:** obtenido mediante trituración controlada en trozos de 1 a 4 mm.
- **Pasta de pistacho pura:** 100 % pistachos finamente molidos, sin azúcares ni emulsionantes, para semifríos, rellenos y helados.
- **Pistacho en polvo:** destinado a la repostería o la producción de chocolate.



Figura 7. Pistacho DOP Bronte descascarado, listo para el consumo o para su utilización en repostería y transformaciones gastronómicas

Estas presentaciones deben cumplir con estándares estrictos en términos de humedad (<5%), carga microbiana, uniformidad de color y ausencia de cuerpos extraños.

Los métodos de envasado incluyen:

- **Bolsas de 1 a 5 kg envasadas al vacío o en atmósfera controlada (N₂).**
- **Tarros de PET de grado alimenticio** para la venta al por menor.
- **Bidones y cubos de 10 a 20 kg** para uso industrial (en pasta y picado).

Una característica distintiva del sector es la flexibilidad. Las empresas, especialmente en países europeos, ofrecen presentaciones personalizadas según las necesidades del cliente: tamaño del grano, tueste, tipo de envase, posibles aromas y certificaciones (p. ej., orgánico, DOP).

Algunos ejemplos incluyen:

- Pistachos orgánicos en bolsas compostables.
- Pastas de pistacho con bajo contenido en grasa.
- Pistachos para helado, sin calentar para mantener su aroma fresco.

Las diferencias en la presentación también reflejan estrategias de marketing locales, como en el caso de la promoción de los pistachos Bronte en mercados gourmet o las exportaciones a Japón, Alemania y Francia.

En la cadena de suministro del pistacho, se considera material no apto aquellos frutos secos que, tras la cosecha, clasificación y calibración, no cumplen con los estándares de calidad exigidos para su venta o la industria alimentaria. Este grupo incluye tanto los frutos secos defectuosos como los residuos del proceso de producción. Este material representa un aspecto crucial desde una perspectiva económica y ambiental. Por lo tanto, la gestión sostenible y la valorización de residuos son esenciales para mejorar la eficiencia de la cadena de suministro y reducir el impacto ambiental.

Las frutas consideradas como rechazo pueden incluir:

- **Frutas con cáscaras cerradas:** un problema importante, especialmente para las variedades sicilianas, que reduce la comercialización de los productos con cáscara y limita su uso como fruta fresca.
- **Defectos físico-mecánicos:** Fruta dañada por la cosecha mecánica o manual, o alterada por tratamientos poscosecha inadecuados.
- **Alteraciones químico-fisiológicas:** Fenómenos como la oxidación lipídica y el deterioro enzimático que comprometen las propiedades organolépticas y nutricionales.

Los rechazos también pueden deberse a causas bióticas, en particular:

- **Infecciones fúngicas:** La presencia de *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* es especialmente preocupante, ya que está asociada a la producción de aflatoxinas, toxinas cancerígenas que provocan el rechazo del lote.
- **Enfermedades fúngicas poscosecha:** Patógenos como *Botrytis cinerea* y otros agentes de podredumbre comprometen la calidad del producto.
- **Infestaciones de insectos:** especies como *Agonoscena pistaciae* y cochinillas causan defectos estéticos y fisiológicos, reduciendo el rendimiento comercial.

La literatura científica reporta cifras variables de producción de residuos, pero generalmente, pueden representar una fracción de entre el 10% y el 25% de la producción total, con importantes repercusiones económicas. Esta variabilidad depende de las técnicas de cultivo, las condiciones climáticas, el momento y los métodos de cosecha, y la rigurosidad de los controles de calidad.

Los residuos de la cadena de suministro del pistacho se eliminan principalmente mediante compostaje o se utilizan como biomasa para la producción de energía. Sin embargo, estas

estrategias no aprovechan plenamente el valor potencial de los subproductos del pistacho. El creciente enfoque en la sostenibilidad y la economía circular ha impulsado la investigación en metodologías innovadoras, con especial atención a:

- **Extracción de compuestos bioactivos:** Las cáscaras y frutos defectuosos son ricos en polifenoles, flavonoides y otros compuestos antioxidantes. Su extracción puede proporcionar ingredientes funcionales para las industrias nutracéutica y cosmética.
- **Producción de polvos vegetales funcionales:** La transformación de residuos en polvos o aditivos alimentarios puede mejorar el perfil nutricional de productos horneados y de confitería, ayudando a reducir el uso de materias primas convencionales.
- **Aplicaciones de bioenvases:** Estudios recientes indican el uso potencial de residuos lignocelulósicos de cáscara para la producción de materiales de envasado biodegradables, lo que representa una oportunidad para reducir el uso de plásticos tradicionales y cerrar el ciclo de vida del producto.

La adopción de estas estrategias integradas de valorización puede ayudar a:

- Reducir los costes de eliminación y el impacto ambiental en la cadena de suministro.
- Generar nuevas oportunidades de mercado, tanto para productos funcionales como para materiales de origen biológico.
- Mejorar la sostenibilidad general de la producción de pistacho.

Bibliografía

ReportLinker (2020). Global Edible Nuts Industry. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/07/23/2066759/0/en/Global-Edible-Nuts-Industry.html>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s. f.). Statistics. <https://www.fao.org/statistics/en>

Seeram, N. P., Zhang, Y., Henning, S. M., Lee, R., Niu, Y., Lin, G., Heber, D. (2006). Pistachio skin phenolics are destroyed by bleaching resulting in reduced antioxidative capacities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(19), 7036-7040. <https://doi.org/10.1021/jf0614948>