

La misma almendra, distinta sed: huella hídrica volumétrica frente a huella de agua de escasez

Evaluación de huella de agua conforme a ISO 14046 de 1 kg de almendra grano en tres orígenes (California regadío, España secano y España regadío), cuna a puerta de explotación, contrastando el inventario volumétrico (Water Footprint Network) con la evaluación de impacto por escasez (AWARE).

Juan Fran Paredes — Scala Vita

Versión 1.0 · septiembre de 2026

Evaluación comparativa del agua del mismo kilo de almendra según su origen y sistema de cultivo, medida con dos enfoques que no dan el mismo veredicto: el volumétrico (litros de agua verde, azul y gris) y el de escasez (huella de agua conforme a ISO 14046, método AWARE). El caso ilustra por qué, en agua, la elección de la métrica determina la conclusión.

ALCANCE

Cuna a puerta de explotación agrícola

UNIDAD FUNCIONAL

1 kg de almendra grano

MARCO NORMATIVO

ISO 14046:2014 · ISO 14040/44:2006

MÉTRICAS

Huella hídrica volumétrica (WFN) · Huella de agua de escasez (AWARE)

SOFTWARE · DATOS

OpenLCA · Agribalyse 3.2 · AWARE 1.2 · EF 3.1

DATOS

Secundarios, públicos

NATURALEZA DEL ESTUDIO

Proyecto demostrativo autoiniciado, sin cliente asociado. Estudio **orientativo** con datos secundarios de bases públicas y proxies declarados. Sigue la estructura y los principios de ISO 14046:2014 (huella de agua) e ISO 14040/44:2006 (ACV), pero **no constituye una huella de agua verificada por tercera parte** ni una declaración comparativa divulgada al público en el sentido de ISO 14044 §4.4. Comparativa genérica por origen; no se atribuyen resultados a ninguna marca, cooperativa ni finca concreta.

Resumen ejecutivo

Este estudio mide el agua de 1 kg de almendra grano en tres orígenes reales de mercado —California en regadío, España en secano y España en regadío— con las dos escuelas que conviven en la evaluación del agua y que se llaman casi igual: la **huella hídrica volumétrica** (Water Footprint Network: litros de agua verde, azul y gris) y la **huella de agua de escasez** conforme a ISO 14046 (método AWARE, que pondera el consumo de agua azul por la escasez de la cuenca). La conclusión central es de método: **las dos varas dan rankings opuestos, y la que importa para la sostenibilidad —la escasez— dice lo contrario que el titular volumétrico**.

En litros, el secano español es el que más "gasta" (14.708 L/kg, casi el triple que California); en escasez, ese mismo secano cae a ≈ 0 y el regadío español se dispara a 558 m³-eq/kg, más de cuatro veces la sed de la almendra importada de California (131). Tres conclusiones estructuran el informe:

- **Contar litros premia lo intensivo y castiga lo extensivo.** El secano no "bebe" más: reparte la lluvia entre pocos kilos (rinde 250 kg/ha frente a 2.400 en California). El indicador volumétrico penaliza al sistema más benigno para el acuífero.
- **La escasez invierte el orden y desmonta el "local = menos agua".** El agua que compite con ríos y ciudades es la azul (riego); la lluvia (verde) no. El regadío del sureste español causa más sed que California pese a los kilómetros cero, porque consume más agua azul por kilo y en una cuenca más escasa (factor AWARE España 79,4 vs EE. UU. 33,1).
- **Ninguna métrica sola es honesta.** AWARE es ciega al agua verde y al uso del suelo: el secano, casi sin sed, ocupa ~ 10 veces más tierra por kilo. Una huella de agua rigurosa reporta las dos lecturas, separa verde/azul/gris, regionaliza el agua azul y declara el método.

USO PREVISTO DE LOS RESULTADOS

Ilustrar cómo se realiza y se comunica una evaluación de huella de agua conforme a ISO 14046, distinguiendo inventario (uso de agua) de impacto (escasez), y evidenciar el riesgo de greenwashing al comunicar una sola métrica. Por su carácter orientativo y el uso de datos secundarios, no debe emplearse para afirmaciones comparativas públicas ni como sustituto de una huella de agua verificada con datos primarios de una explotación concreta.

Índice

1 Objetivo del estudio

2 Alcance del estudio

2.1 Función, unidad funcional y flujo de referencia · 2.2 Límites del sistema · 2.3 Tipos de agua y criterios de corte · 2.4 Métricas y métodos de evaluación · 2.5 Requisitos de calidad de los datos y supuestos

3 Inventario de la huella de agua (LCI)

3.1 El balance hídrico · 3.2 Agua azul, verde y gris por origen

4 Evaluación de impacto de la huella de agua (LCIA)

4.1 Huella hídrica volumétrica · 4.2 Huella de agua de escasez (AWARE) · 4.3 El doble giro · 4.4 Indicadores de apoyo

5 Interpretación

5.1 Hallazgos principales · 5.2 Análisis de sensibilidad · 5.3 Integridad y coherencia · 5.4 Conclusiones

6 Limitaciones

7 Referencias

A–B Anexos: balance hídrico y factores de caracterización

1 · Objetivo del estudio

CONFORME A ISO 14046:2014 §5.2 E ISO 14044:2006 §4.2

El objetivo es **cuantificar y comparar la huella de agua** de producir 1 kg de almendra grano según el origen y el sistema de cultivo, bajo una misma regla metodológica, contrastando dos enfoques —el volumétrico y el de escasez— para **demostrar que la métrica elegida determina la conclusión** y que una evaluación honesta debe reportar ambas lecturas.

Las **razones del estudio** son dos: (i) enseñar la diferencia, poco comprendida, entre "huella hídrica" (litros) y "huella de agua" (escasez, ISO 14046), que es la que reconoce el marco europeo; y (ii) ilustrar la metodología de Scala Vita en evaluación de agua. El **público destinatario** son responsables de sostenibilidad, compras y comunicación del sector agroalimentario, y perfiles técnicos que evalúen la calidad del análisis. El estudio **no está destinado a afirmaciones comparativas divulgadas al público** (ISO 14044 §4.4), dado su carácter orientativo y el uso de datos secundarios.

2 · Alcance del estudio

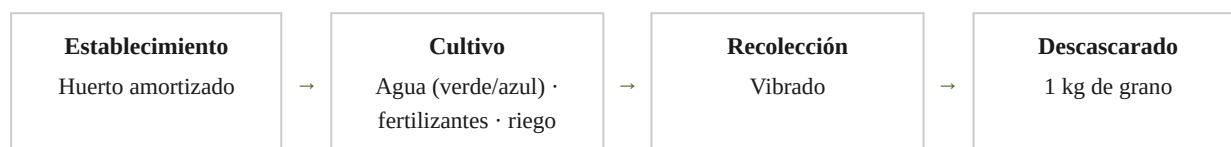
2.1 Función, unidad funcional y flujo de referencia

La **función** es producir almendra grano lista para su primera transformación. La **unidad funcional (UF)** es **1 kg de almendra grano (kernel) descascarada**, a puerta de explotación. El **flujo de referencia** es la producción agrícola necesaria para obtener ese kilo, que depende críticamente del **rendimiento por hectárea** —la bisagra oculta del caso—: 2.400 kg/ha en California, 1.200 en el regadío español y 250 en el secano español.

2.2 Límites del sistema

El sistema es **cuna a puerta de explotación agrícola**: establecimiento del cultivo (amortizado), cultivo (agua, fertilizantes, fitosanitarios, energía de riego), recolección y descascarado ligero. El transporte, el tostado, el envasado, la distribución y el fin de vida quedan fuera del alcance base, porque más del 90 % del agua se juega en el campo.

FRONTERA DEL SISTEMA · CUNA A PUERTA AGRÍCOLA



Fuera del alcance base: transporte, tostado, envasado, distribución y fin de vida. El transporte transoceánico se trata solo como sensibilidad de clima (§5.2), no de agua.

2.3 Tipos de agua y criterios de corte

Conforme a ISO 14046, se distingue el **consumo** de agua (agua que no retorna a la misma cuenca) de su **degradación**, y se separan las tres componentes de la Water Footprint Network: **agua verde** (lluvia evapotranspirada por el cultivo), **agua azul** (riego procedente de río o acuífero) y **agua gris** (volumen teórico para diluir la contaminación por nitratos). Solo el **agua azul consumida** es objeto de caracterización de escasez (AWARE); el agua verde y la gris se reportan en el inventario volumétrico. Criterio de corte por relevancia: se excluyen flujos auxiliares por debajo del 1 % que no estén disponibles en la base; se declaran (§6).

2.4 Métricas y métodos de evaluación

Se reportan **dos métricas del agua**, una al lado de la otra:

- **Huella hídrica volumétrica (Water Footprint Network, Hoekstra et al. 2011):** litros por kg desglosados en verde + azul + gris. Es un **inventario** volumétrico; no pondera la escasez.
- **Huella de agua de escasez (ISO 14046, método AWARE — Boulay et al. 2018):** el agua azul consumida multiplicada por el factor de caracterización AWARE de la cuenca/país, en m³ world-equivalentes por kg. Es la **evaluación de impacto**, y la que integra el PEF europeo.

Como **indicadores de apoyo** se reportan el **uso del suelo** (ocupación, m²·año/kg) y el **cambio climático** (EF 3.1), para no idealizar el secano ni confundir agua con carbono.

2.5 Requisitos de calidad de los datos y supuestos

Se prioriza cobertura tecnológica y geográfica adecuada, temporalidad reciente y coherencia (mismo método y base para los tres orígenes). Los datos son **secundarios y públicos**: modelado en OpenLCA sobre Agribalyse 3.2, con AWARE 1.2 y EF 3.1. El **agua azul y la huella de agua (AWARE) salen del modelo**; el **agua verde y la gris se calculan por balance** de la Water Footprint Network, por no ser flujos elementales de la base (se declara). Rendimientos y láminas de riego son valores de referencia (MAPA para España; USDA/Almond Board para California).

3 · Inventario de la huella de agua (LCI)

3.1 El balance hídrico

El "inventario de agua" no lo da hecho la base: se construye a partir de la evapotranspiración del cultivo, la lluvia efectiva y las láminas de riego. La fórmula maestra por kg es: $\text{agua (L/kg)} = \text{lámina (mm)} \times 10.000 \text{ (L/ha}\cdot\text{mm)} \div \text{rendimiento (kg/ha)}$. El agua azul es $\text{máx}(0, ET_c - \text{lluvia efectiva})$; el agua gris, el volumen para diluir el nitrógeno lixiviado al límite legal de nitrato.

3.2 Agua azul, verde y gris por origen

Tabla 1. Balance hídrico por 1 kg de grano (componentes de la huella hídrica volumétrica).

Componente	California regadío	España secano	España regadío
Rendimiento (kg/ha)	2.400	250	1.200
Agua verde — lluvia (L/kg)	625	14.000	1.670
Agua azul — riego (L/kg)	3.960	0	7.080
Agua gris — dilución N (L/kg)	740	710	1.106
Volumétrico total (L/kg)	5.321	14.708	9.856

El agua azul es la única que caracteriza AWARE. El secano no toca el acuífero (azul = 0); su volumen es casi todo agua verde de lluvia. Control del mito viral: el agua azul de California, $3,96 \text{ m}^3/\text{kg} \div \sim 800 \text{ granos} \approx 5 \text{ L}$ de riego por almendra, coincide con el orden del dato "un galón por almendra".

4 · Evaluación de impacto de la huella de agua (LCIA)

4.1 Huella hídrica volumétrica

En litros totales (Tabla 1), el ranking es **secano (14.708) > regadío español (9.856) > California (5.321)**. El secano "gana" en volumen no por beber más, sino por su bajo rendimiento: reparte la lluvia entre diez veces menos kilos. Contar litros castiga al cultivo más extensivo, justo el más benigno para el acuífero.

4.2 Huella de agua de escasez (AWARE)

La huella de agua de escasez multiplica el agua azul consumida por el factor AWARE de la cuenca. Con el factor país del modelo —**España 79,4 vs EE. UU. 33,1 m³-eq/m³**— el mismo litro azul pesa más del doble en el Segura que en el Central Valley. El resultado (Tabla 2) invierte el orden: **regadío español (558) > California (131) > secano (≈0,2)**.

Tabla 2. Las dos métricas del agua por 1 kg de grano. Los rankings se cruzan.

Métrica	California regadío	España secano	España regadío
Huella hídrica volumétrica (L/kg)	5.321	14.708	9.856
Huella de agua · escasez (m ³ -eq/kg)	131	0,2	558
Ocupación de suelo (m ² ·año/kg)	4,2	40	8,3

4.3 El doble giro

La Figura 1 enfrenta las dos métricas. La barra más alta a la izquierda (secano, en litros) es la más baja a la derecha (secano, en escasez): el cruce **es** el caso.

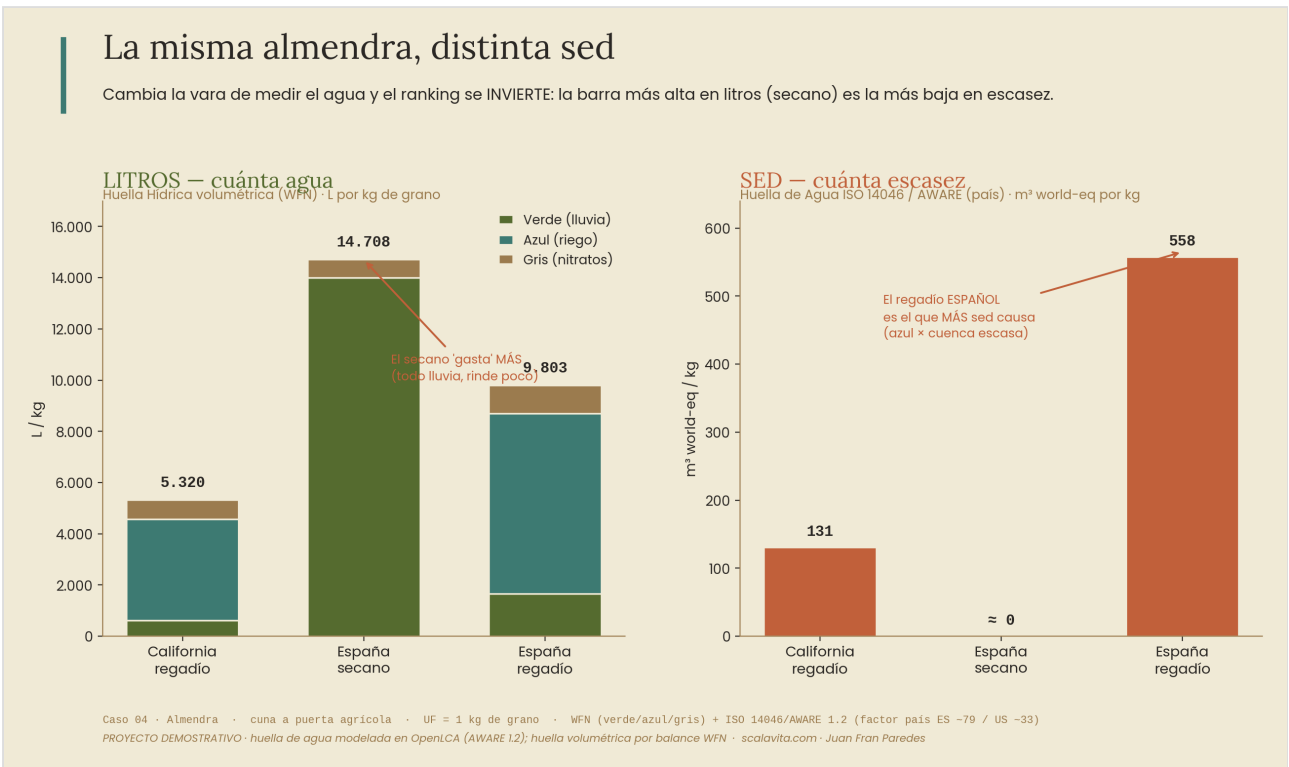


Figura 1. Litros (huella hídrica volumétrica, verde/azul/gris) frente a sed (huella de agua de escasez, AWARE) por origen. Dos varas, veredictos opuestos.

4.4 Indicadores de apoyo

El **uso del suelo** impide idealizar el secano: ocupa $\sim 40 \text{ m}^2 \cdot \text{año/kg}$, unas diez veces más que California (4,2), por su bajo rendimiento. El **cambio climático** (no mostrado como protagonista) separa "agua" de "carbono": el transporte California → Europa pesa en carbono pero no en la huella de agua de cultivo (§5.2).

5 · Interpretación

5.1 Hallazgos principales

El agua asociada a la misma almendra cambia de veredicto según la métrica. Contar litros corona al secano como "el peor del agua"; contar escasez lo absuelve y señala al regadío español, que causa **~4,3 veces más sed que la almendra importada de California**, con kilómetros cero. La intuición "local = menos agua" es falsa: lo que importa no es la distancia, sino de qué agua se trata (verde o azul) y de qué cuenca sale.

5.2 Análisis de sensibilidad

Cuenca vs país. El factor AWARE de país (ES 79,4 / US 33,1) es el del modelo; a resolución de cuenca y mes (Segura, San Joaquín en verano) ambos suben hacia el tope 100 y la brecha puede estrecharse. La regionalización es parte del mensaje: no basta el país, importan la cuenca y el mes. **Importado vs local, en clima.** Añadir el transporte transoceánico solo mueve el indicador de carbono, no la huella de agua: la almendra local gana en kilómetros de CO₂ y aun así puede perder en sed. **Secano en año seco.** Un riego de apoyo dejaría su huella de agua de ser ≈0, escenario realista en sequía.

5.3 Integridad y coherencia

Los tres orígenes se evalúan con la misma UF, el mismo método y la misma base, garantizando consistencia. La coherencia interna se confirma con el cuadro del mito viral (§3.2). El resultado es robusto frente a la bisagra del rendimiento, que se declara y se somete a sensibilidad.

5.4 Conclusiones

En agua, la métrica es el mensaje. Una huella de agua conforme a ISO 14046 debe reportar el inventario volumétrico (separando verde/azul/gris), la evaluación de impacto por escasez (AWARE, regionalizando el agua azul) y, como contexto, el uso del suelo. Comunicar una sola de estas cifras —la que favorece— es la primera forma de greenwashing, aunque cada número, por separado, sea correcto.

6 · Limitaciones

- **Dos métricas, dos fuentes.** El agua azul y la huella de agua (AWARE) salen del modelo OpenLCA; el agua verde y la gris se calculan por balance de la Water Footprint Network (no son flujos de la base). Se declara.
- **Rendimientos y láminas de riego** son valores de referencia (MAPA, USDA/Almond Board), no de una finca concreta. Son la bisagra del primer giro y se someten a sensibilidad.
- **AWARE por cuenca** se estima como sensibilidad; la regionalización nativa por polígono (geoJSON) no se aplica. El factor de país es el del modelo.
- **Electricidad de bombeo** se contabiliza aparte (la base no traía un mix enlazado): afecta al clima de los regadíos, no a la huella de agua.
- **Uso del suelo** se reporta como ocupación (10.000/rendimiento), no el indicador "Land use" de EF 3.1, que aquí solo capta el suelo de fondo del abono y el diésel.
- **Datos secundarios, no verificado.** Estudio orientativo con base pública; no equivale a una huella de agua ISO 14046 verificada por tercera parte ni a una afirmación comparativa pública.

7 · Referencias

- ISO 14046:2014. *Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*.
- ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006. *Environmental management — Life cycle assessment*.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Water Footprint Network.
- Boulay, A.-M. et al. (2018). *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: AWARE*. Int. J. Life Cycle Assess. 23, 368–378.
- ADEME (2023). *Agribalyse 3.2*. · European Commission (2022). *Environmental Footprint (EF) 3.1*.
- Comisión Europea. *Product Environmental Footprint (PEF)* · Propuesta de Directiva sobre alegaciones ecológicas (*Green Claims*).
- MAPA — Encuesta sobre superficies y rendimientos (España); USDA / Almond Board of California (rendimientos y riego).

Anexo A · Parámetros del balance hídrico

Tabla A1. Láminas de agua, rendimiento y nitrógeno por origen (valores de referencia).

Parámetro	California regadío	España secano	España regadío
Evapotranspiración cultivo ETc (mm/año)	1.100	350	1.050
Lluvia efectiva · agua verde (mm)	150	350	200
Riego · agua azul (mm)	950	0	850
Nitrógeno aplicado (kg N/ha)	200	20	150
Rendimiento grano (kg/ha)	2.400	250	1.200

Conversión: 1 mm sobre 1 ha = 10 m³ = 10.000 L. Agua azul = $\max(0, ETc - \text{lluvia efectiva})$. Agua gris por dilución de nitrato al límite legal (11,3 mg N/L).

Anexo B · Factores de caracterización y resultados

Tabla B1. Factores AWARE de país y huella de agua resultante.

Concepto	California regadío	España secano	España regadío
Agua azul consumida (m³/kg)	3,96	0	7,08
Factor AWARE país (m³-eq/m³)	33,1	79,4	79,4
Huella de agua · escasez (m³-eq/kg)	131	0,2	558

El secano registra 0,2 m³-eq/kg por el agua de fondo del abono, no por riego. El detalle reproducible está en el archivo de datos Caso04_Datos_y_Resultados.xlsx.