

Da planta ao vaso: transferencia, estabilidade e dose de compostos bioactivos en bebidas

Comportamento fitoquímico das plantas aromáticas incorporadas en matrices líquidas de consumo habitual: solubilidade, catro barreiras biolóxicas e límites toxicolóxicos da UE.

Autor: Fundación Galicia Sustentable | Iniciativa: Grupo Operativo HOP & BOT | Licenza: CC BY-NC-SA

RESUMO EXECUTIVO / CADRO DE CONCEPTOS CLAVE

A literatura farmacolóxica sobre plantas aromáticas é inmensa pero pouco transferible ás bebidas tal e como se consumen. O desaxuste sistemático entre as condicións de ensaio de laboratorio (aceites esenciais puros, extractos concentrados, placas in vitro, doses suprafisiolóxicas) e as que impón unha matriz acuosa diluída esixe reformular a pregunta técnica: non que propiedades ten a planta no campo, senón que fracción real sobrevive á extracción, ao procesado térmico, ao almacenamento e á dixestión humana.

Unha única variable física —o coeficiente de reparto e polaridade (hidrofilico vs. lipofílico)— goberna simultaneamente dúas realidades simétricas: a cantidade de compostos potencialmente beneficiosos que chegan ao líquido e a concentración de compostos toxicoloxicamente limitados pola lexislación europea (tuxona, estragol).

1. Introducción: unha pregunta mal formulada na industria

O mercado contemporáneo das bebidas de base botánica experimentou un crecemento exponencial apoiándose nun corpo bibliográfico considerable. As revisións científicas actuais sobre herbas aromáticas documentan capacidade antioxidante, actividade antimicrobiana, efectos antiinflamatorios e neuroprotectores para practicamente todas as especies culinarias habituais (Grigore-Gurgu et al., 2025). Esa literatura é sólida e metodoloxicamente rigorosa no seu ámbito de orixe.

O conflito xorde no momento exacto da extrapolación comercial. Un ensaio que demostra que o carvacrol desorganiza a membrana celular de *Staphylococcus aureus* a unha concentración mínima inhibitoria determinada (García-Salinas et al., 2018) non di absolutamente nada, por si mesmo, sobre unha infusión lixeira de tomiño. Un ensaio clínico que constata a eficacia do aceite esencial de menta no tratamento da síndrome do colon irritable (Alammar et al., 2019) non valida a eficacia dun refresco que contén folla de menta na súa fórmula. A fenda non é retórica nin de matiz: abrangue varios ordes de magnitude na concentración e unha mutación radical na forma física e bioquímica de presentación.

A pregunta convencional —«que propiedades saudables teñen estas plantas?»— produce respostas abundantes pero inoperativas para o deseño agroalimentario. A interrogante rigorosa debe ser: que fracción desas propiedades fitoquímicas chega realmente ao organismo do consumidor cando o vehículo é unha bebida acuosa? Esa fracción vén condicionada por catro barreiras sucesivas (extracción, procesado/envasado, biodisponibilidade metabólica e dose eficaz).

2. Dúas familias químicas con comportamentos opostos

A avaliación técnica das plantas aromáticas e medicinais (PAM) en matrices líquidas simplifícase drasticamente ao clasificar os seus metabolitos secundarios en dous grupos segundo a súa afinidade e solubilidade en auga:

2.1 Compostos fenólicos (hidrofílicos)

Os ácidos fenólicos, os flavonoides e os diterpenos fenólicos conforman a fracción antioxidante maioritaria das lamiáceas. O ácido rosmarínico aparece como o ácido fenólico hexemónico na maioría das especies galegas e mediterráneas ensaiadas, mentres que o ácido carnósico e o carnosol son diterpenos característicos do romeu e da salvia (Grigore-Gurgu et al., 2025). Esta fracción posúe unha solubilidade en auga notable e transfírese con eficiencia a unha infusión ou maceración acuosa. Ademais, existe unha correlación liñal directa entre a cantidade fenólica total e a capacidade antioxidante medida in vitro.

2.2 Terpenos e terpenoides (lipofílicos)

A fracción volátil responsábel do perfil aromático e sensorial compórtase de xeito inverso. Dentro dela débense distinguir dúas categorías:

- Hidrocarburos terpénicos (mirceno, limoneno, α -pineno, β -cariofileno): Case absolutamente insolubles en auga. A súa transferencia a unha bebida acuosa é testemuñal ou nula, salvo mediante o emprego deliberado de emulsificación tecnolóxica.
- Terpenoides oxixenados (linalool, mentol, 1,8-cineol, timol, carvacrol, anetol): Posúen unha solubilidade lixeiramente superior grazas á presenza de grupos funcionais polares (-OH, grupos cetona ou éter), o que explica que unha infusión de menta entregue notas de mentol mentres que o mirceno do lúpulo require tratamentos mecánicos ou térmicos específicos.

A PARADOXA ESTRUCTURAL DA CATEGORÍA

A literatura biomédica e farmacolóxica máis citada sobre plantas aromáticas refírese case en exclusiva á fracción que peor se transfere a unha bebida (os aceites esenciais e terpenos lipófilos). Pola contra, a fracción que si se dissolve con facilidade en auga —os polifenóis— presenta unha evidencia clínica sistémica moito máis difusa, indirecta e dependente do consumo continuado a longo prazo ca de doses agudas.

3. As catro barreiras sucesivas: da folla ao organismo

Para que calquera molécula activa procedente dunha planta exerza un impacto real no corpo humano ao inxerirse a través dunha bebida, debe superar catro filtros consecutivos:

- **Barreira 1: A Extracción e o Límite de Solubilidade:** A temperatura e o tempo deciden a composición final máis ca a propia cantidade de herba introducida. Unha infusión en quente (70–80 °C) extrae polifenóis pero arrastra taninos adstrinxentes indeseables. Unha extracción en frío (2–4 °C) preserva volátiles delicados pero deixa no residuo vexetal a maioría dos antioxidantes fenólicos. No lúpulo, a extracción en frío evita a isomerización dos alfa-ácidos a iso-alfa-ácidos, logrando aroma sen amargor amargo cervexeiro, pero renunciando á vía tónica dixestiva (Carbone & Gervasi, 2022). O caso límite é o xantohumol: extraordinario antioxidante in vitro, pero insoluble en auga fría; queda retido nas flores e ausente da botella.
- **Barreira 2: O Procesamento Industrial e a Estabilidade en Vida Útil:** Unha vez na fase acuosa, os terpenos sofren perdas por evaporación inmediata e degradación térmica durante a pasteurización. Pola súa banda, os compostos fenólicos oxídanse velozmente se hai osíxeno disolto (>50 ppb) ou luz no envasado. As nanoemulsións e a microencapsulación (Himed et al., 2026) protexen estas moléculas cunha eficiencia do 88–96 %, pero converten a infusión natural nunha formulación complexa con aditivos.
- **Barreira 3: A Biodisponibilidade e a Degradación Microbiana no Colon:** Como demostra a revisión de referencia de Williamson (2025), a maioría dos (poli)fenóis non se absorben de forma intacta no intestino delgado. Pasan ao colon, onde a microbiota intestinal os fragmenta e metaboliza en ácidos fenólicos sinxelos. Son estes metabolitos bacterianos secundarios —e non o composto orixinal medido no vaso— os que se absorben ao sangue e exercen bioactividade. A enorme variación na flora bacteriana de cada persoa provoca que dúas persoas que beben a mesma botella obteñan perfís sanguíneos radicalmente distintos.
- **Barreira 4: A Aritmética da Dose Efectiva:** É o filtro máis evidente e o máis silenciado na publicidade comercial. Os ensaios clínicos con éxito no colon irritable empregan cápsulas entéricas con centos de miligramos de aceite esencial puro para que se liberen intactas no intestino (Alammar et al., 2019). Unha bebida acuosa fornece apenas fraccións decimais dun miligramo por ración de 250 ml e libérase na mucosa gástrica. Confundir ambos escenarios constitúe un erro científico grave.

4. Evidencia fitoquímica e transferencia real por especie

A seguinte táboa sintetiza o contraste crítico entre a literatura de laboratorio dispoñible e a presenza real estimada nunha bebida acuosa estándar:

Especie	Compostos bioactivos clave	Orixe da evidencia científica	Transferencia a matriz acuosa
Romeu (<i>Salvia rosmarinus</i>)	Ácido rosmarínico, carnosol, ác. carnósico	Extractos concentrados e ensaios in vitro de capacidade antioxidante	Alta para a fracción fenólica; case nula para volátiles terpénicos.
Tomiño (<i>Thymus vulgaris</i>)	Timol, carvacrol (García-Salinas, 2018)	Aceites esenciais puros; CMI in vitro antibacteriana	Media-baixa; terpenoides oxixenados con solubilidade limitada.
Menta (<i>Mentha × piperita</i>)	Mentol, mentona (Alammar et al., 2019)	Aceite esencial en cápsula entérica; ensaios clínicos	Baixa en dose sistémica; efecto sensorial local en mucosa excelente.
Herba boa (<i>Mentha spicata</i>)	Carvona, limoneno	Cromatografía de aceite esencial puro	Baixa; o seu achegue principal é puramente aromático/organoléptico.
Macela (<i>Matricaria chamomilla</i>)	Apixenina, α-bisabolol (Eddin, 2022; Mishra, 2026)	Compostos illados; liñas celulares e ensaios con roedores	Media para flavonas (apixenina); moi baixa para sesquiterpenos.
Fiúncho (<i>Foeniculum vulgare</i>)	Anetol, fenchona, estragol (Debnath, 2023)	Extractos hidroalcohólicos e aceite esencial	Media; condicionada por restricións toxicolóxicas da EFSA/EMA.
Salvia (<i>Salvia officinalis</i>)	Ácido rosmarínico, flavonoides, monoterpenos	Extractos estandarizados; ensaios cognitivos pequenos	Alta para fenólicos; limitada por teitos legais de tuxona.
Lúpulo (<i>Humulus lupulus</i>)	Xantohumol, 8-prenilnaringenina, alfa-ácidos	Compostos puros illados in vitro e modelos animais	Insignificante para xantohumol; moderada para aromas en frío.

5. A simetría regulatoria: o mesmo parámetro que goberna o risco

A normativa da Unión Europea adoita percibirse dende o ámbito produtor como unha barreira burocrática externa. Con todo, a súa estrutura responde de xeito exacto á mesma lóxica fisicoquímica:

- Marco xeral de alegacións: Non existe a categoría de «bebida funcional». O Regulamento (CE) 1924/2006 prohibe calquera promesa de saúde que non figure na lista positiva comunitaria. O réxime transitorio de botánicos («on hold») ratificado polo TXUE en 2025 permite certa flexibilidade descritiva baseada no uso tradicional, pero nunca atribuír propiedades médicas nin terapéuticas.
- A simetría dos límites toxicolóxicos (Regulamento CE 1334/2008): A normativa europea fixa límites estritos para substancias indesexables presentes de forma natural nas herbas aromáticas:
 - Estragol (fiúncho): Carcinóxeno xenotóxico con teito estrito de 10 mg/kg en bebidas non alcohólicas. A EMA desaconsella o consumo frecuente de infusións de sementes de fiúncho en nenos menores de catro anos e mulleres embarazadas ou lactantes.
 - Tuxona (salvia): Composto neurotóxico prohibido como aromatizante engadido e con límites máximos estritos para preparados bebibles (máximo de 6 mg diarios segundo pautas da EMA).

A GRAN CONCLUSIÓN ANALÍTICA

Tuxona, estragol e pulexona pertencen con exactitude á mesma familia lipófila dos terpenoides cuxa transferencia a auga depende do método de maceración. Calquera técnica agresiva que intente forzar a extracción de terpenos beneficiosos forzará tamén a concentración destas toxinas naturais. Polo tanto, a analítica de laboratorio que verifica a seguridade toxicolóxica e a que sustenta a autenticidade organoléptica son a mesma analítica. Integralas dende o primeiro deseño reduce á metade os custos de desenvolvemento.

6. Directrices prácticas de deseño de bebidas botánicas

- **1. Medir o produto final envasado, nunca a planta:** A cantidade de principios activos no campo non garante nada no vaso. Cómpre realizar analíticas cuantitativas directas sobre a bebida rematada ao final da súa vida útil real.
- **2. Diferenciar efectos locais de efectos sistémicos:** O frescor do mentol nas papilas (receptor TRPM8) ou a adstrinxencia dos taninos son efectos locais reais e inmediatos, comunicables con honestidade na cata sensorial. Os efectos sistémicos (antioxidante, relaxante, antiinflamatorio) esixen probar a absorción no sangue e o cumprimento da normativa da EFSA.
- **3. Deseño agronómico multicriterio:** Unha especie con abundante literatura biomédica pero cuxos principios non se disolven en auga nin sobreviven á pasteurización achega menos ca unha planta cunha literatura máis sinxela pero que transfire compostos activos estables e aroma con alta calidade organoléptica.
- **4. Honestidade comunicativa como vantaxe competitiva:** Nun mercado saturado de promesas funcionais baleiras, a estratexia máis sólida para o rural galego é posicionar a «bebida botánica»: poñer en valor o perfil aromático nobre da terra, a trazabilidade e a excelencia gastronómica sen caer en falsas afirmacións terapéuticas.

Referencias bibliográficas e lexislativas

- Alammar, N., et al. (2019). The impact of peppermint oil on irritable bowel syndrome: a meta-analysis. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 19(1), 21.
- Carbone, K., & Gervasi, F. (2022). An updated review of the genus *Humulus*: A valuable source of bioactive compounds. *Plants*, 11(24), 3434.
- Debnath, S., et al. (2023). *Foeniculum vulgare* from spice to pharma: Recent advances in its bioactivities. *Traditional and Integrative Medicine*, 8(2).
- Eddin, L. B., et al. (2022). Health benefits, pharmacological effects, and therapeutic potential of α -bisabolol. *Nutrients*, 14(7), 1370.
- García-Salinas, S., et al. (2018). Evaluation of antimicrobial activity and cytotoxicity of essential oil components. *Molecules*, 23(6), 1399.
- Grigore-Gurgu, L., Dumitraşcu, L., & Aprodu, I. (2025). Aromatic herbs as a source of bioactive compounds: Antioxidant and antimicrobial applications. *Molecules*, 30(6), 1304.
- Himed, L., et al. (2026). Encapsulation strategies for essential oils in food systems: Oxidative stability and delivery. *Foods*, 15(5), 950.
- Lopresti, A. L. (2017). *Salvia* (sage): A review of its potential cognitive-enhancing and protective effects. *Drugs in R&D*, 17, 53–64.
- Mishra, S. K., et al. (2026). Pharmacological and therapeutic insights into *Matricaria chamomilla*. *Current Pharmacogenomics and Personalized Medicine*, 23.
- Williamson, G. (2025). Bioavailability of food polyphenols: Current state of knowledge. *Annual Review of Food Science and Technology*, 16, 315–332.
- Regulamentos Comunitarios: Reg. (CE) 1924/2006 (Alegacións nutricionais e de saúde); Reg. (CE) 1334/2008 (Aromas e substancias de risco como estragol e tuxona); Reg. (UE) 2015/2283 (Novos alimentos); Sentenza TXUE C-386/23 (Abril 2025).