
Relació entre la salut del sòl i la salut humana
a través de la nutrició: de l'agricultura
regenerativa al possible rol de l'ergotioneïna.

REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA

Treball Final de Màster
Màster Universitari de Nutrició i Salut

Autora: Anna Fàbrega Riera
Tutora del TFM: Paula Sol Ventura Wichner

Octubre 2023 – Febrer 2024



Aquesta obra està subjecta a una llicència de Reconeixement-NoComercial-
SenseObraDerivada (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>)

©opyright Reservats tots els drets. Està prohibit la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol mitjà o procediment, compresos la impressió, la reprografia, el microfilm, el tractament informàtic o qualsevol altre sistema, així com la distribució d'exemplars mitjançant lloguer i préstec, sense l'autorització escrita de l'autor o dels límits que autoritzi la Llei de Propietat Intel·lectual.

Índex

Resum	4
Abstract	5
1 - Introducció	6
1.a. Producció alimentària i impacte mediambiental	6
1.b. Agricultura regenerativa: característiques	7
1.c. Salut del sòl, salut humana i ergotioneïna	8
2 - Objectius	10
2.a. Objectiu general	10
2.b. Objectius específics	10
2.c. Preguntes investigables	11
3 -Metodologia	11
4 – Resultats	14
4.a. Característiques nutricionals dels productes alimentaris obtinguts a partir d'agricultura regenerativa.	14
4.b. Ergotioneïna i relació amb la salut humana.	19
5 - Discussió	26
6 - Aplicabilitat i noves línies de recerca	32
7 - Conclusions	35
8 - Bibliografia	36

Resum

Antecedents: L'agricultura regenerativa concilia la protecció mediambiental amb el manteniment de la seguretat alimentària a partir de pràctiques dirigides a la gestió sostenible del sòl. Es disposa d'evidència referent al seu impacte positiu en la salut del sòl, però es desconeix fins a quin punt pot influir en la composició nutricional dels aliments, o si pot relacionar-se amb beneficis sobre la salut a nivell nutricional.

Objectius: Analitzar l'evidència disponible sobre un possible vincle nutricional entre la salut del sòl i la salut humana a partir de les característiques dels aliments obtinguts mitjançant agricultura regenerativa, i estudiar específicament la possible relació entre l'ergotioneïna i la salut humana.

Metodologia: Revisió bibliogràfica basada en la guia PRISMA d'articles científics sobre composició nutricional d'aliments obtinguts amb agricultura regenerativa i sobre la relació entre ergotioneïna i salut humana.

Resultats: S'han inclòs 11 articles (6 en relació a agricultura regenerativa i composició nutricional d'aliments, 5 en relació a ergotioneïna i salut humana). Els resultats han demostrat efectes positius de l'agricultura regenerativa sobre les concentracions de determinats micronutrients i fitoquímics dels aliments, entre ells l'ergotioneïna, però sense evidència sobre una relació entre la salut del sòl i la densitat nutricional dels cultius amb la salut humana. La ingesta d'aliments rics en ergotioneïna s'ha relacionat amb resultats favorables en salut.

Conclusions: L'evidència sobre els vincles entre la salut del sòl i la salut humana a través de la nutrició és encara insuficient. El possible nexa a partir de l'ergotioneïna i el ús potencial en salut obren nous camps de recerca.

Paraules clau

Revisió, agricultura regenerativa, salut del sòl, densitat de nutrients, ergotioneïna, salut humana.

Abstract

Background: Regenerative agriculture reconciles environmental protection with the maintenance of food security based on practices aimed at sustainable soil management. Evidence is available regarding its positive impact on soil health, but little is known about its extent of influence on the nutritional composition of food, or whether it can be related to health nutritional benefits.

Aims: To analyze the available evidence on a possible nutritional link between soil health and human health based on the characteristics of food obtained through regenerative agriculture, and to study specifically the possible link between ergothioneine and human health.

Methods: Review based on the PRISMA guide of scientific articles on the nutritional composition of foods obtained with regenerative agriculture and on the link between ergothioneine and human health.

Results: Eleven articles have been included (6 linked to regenerative agriculture and nutritional composition of foods, 5 linked to ergothioneine and human health). The results have shown positive effects of regenerative agriculture on the amount of certain micronutrients and phytochemicals in food, including ergothioneine, but without evidence of a relationship between soil health and the nutrient density of crops with human health. The intake of foods rich in ergothioneine has been linked to benefits in health outcomes.

Conclusions: There is still a lack of evidence on the links between soil health and human health through nutrition. The possible link from ergothioneine and its potential use in health open up new fields of research.

Key words

Review, regenerative agriculture, soil health, nutrient density, ergothioneine, human health.

1 - Introducció

1.a. Producció alimentària i impacte mediambiental

El sistema alimentari global actual ha de garantir el subministre d'una alimentació suficient, però també segura i nutricionalment adequada, per a una població de vuit mil milions de persones. Per assolir aquesta fita és necessària una explotació intensiva de determinats recursos naturals, i aquest fet genera com a dany colateral una important degradació del medi ambient. Els sistemes alimentaris mundials estan implicats en la contaminació de nutrients terrestres i aquàtics a través de l'ús excessiu de fertilitzants i contribueixen a la pèrdua de biodiversitat; alhora, s'estima que emeten al voltant d'un 30% dels gasos d'efecte hivernacle (GEH) generats per l'activitat humana¹. El darrer informe de la Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)² sosté que les emissions de GEH estan directament vinculades amb l'escalfament global del planeta Terra, i que el canvi climàtic resultant ja ha afectat negativament la producció d'aliments a tot el món, contribuint a la malnutrició global de la població. Així doncs, el manteniment de la seguretat alimentària de la població juntament amb la protecció mediambiental del planeta plantegen a la humanitat un doble repte que, per la seva transcendència, forma part dels Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) de l'agenda 2030: acabar amb la fam arreu del món (objectiu 2), adoptar mesures urgents per combatre el canvi climàtic i els seus efectes (objectiu 13) i garantir la protecció duradora del planeta, dels seus recursos naturals i de la biodiversitat (objectiu 15)³.

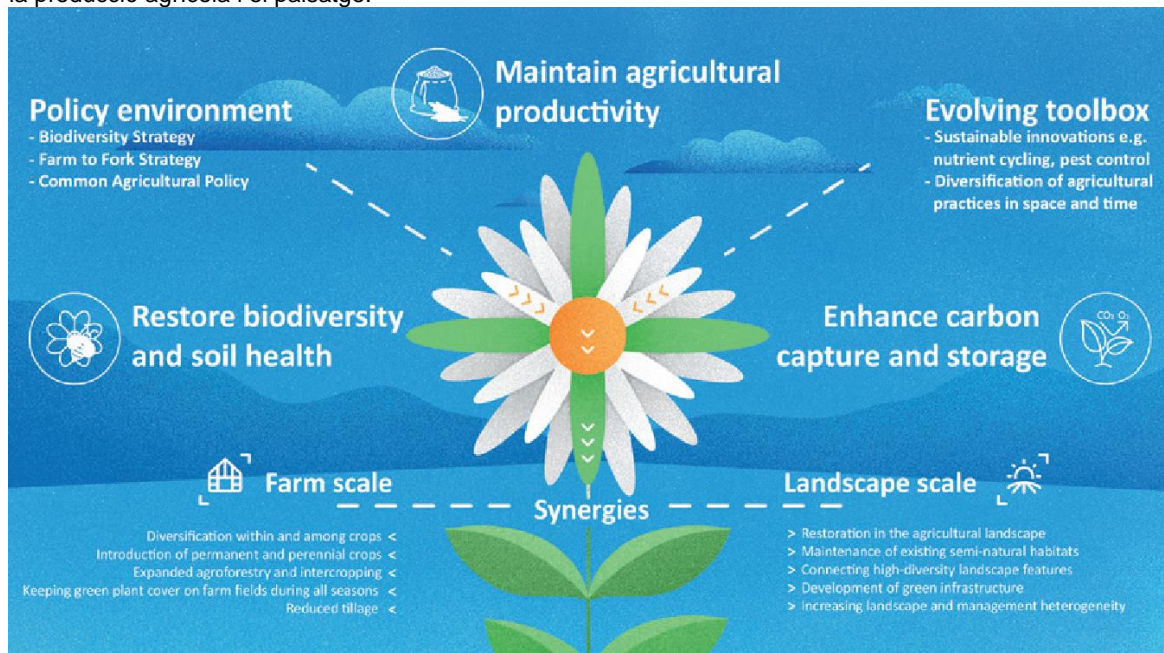
Per tant, es fan necessàries accions de transformació dels sistemes alimentaris a nivell global, implementant mesures tant de mitigació del canvi climàtic dirigides a reduir l'emissió de GEH, com també d'adaptació d'aquests sistemes alimentaris, i sempre tenint en compte les seves possibles implicacions en la seguretat alimentària. Zurek i alt.⁴ proposen quatre àrees d'actuació en el sistema alimentari en les quals dur a terme estratègies de mitigació: una millor gestió dels cultius, una millor gestió de la ramaderia, millores en la cadena de subministrament i finalment canvis dietètics cap a un consum sostenible i dietes més saludables. Les estratègies proposades en la gestió dels cultius impliquen, entre altres, una reducció de l'ús de fertilitzants sintètics o millorar la gestió de l'ús del sòl per al segrest de carboni, però amb un potencial conflicte amb la creixent demanda d'aliments. Així doncs, es necessiten sistemes agrícoles amb la capacitat per produir una quantitat suficient d'aliments nutritius per a una població mundial cada vegada major, i que alhora redueixin o compensin les emissions antropogèniques de GEH, per tal d'avançar cap a la consecució dels ODS. L'agricultura

regenerativa concilia la necessitat de producció adequada d'aliments nutritius amb la necessitat de restaurar el medi ambient, fent de l'agricultura una solució i no un problema⁵.

1.b. Agricultura regenerativa: característiques

L'agricultura regenerativa comprèn un conjunt de pràctiques agrícoles i de pasturatge dirigides a la restauració de la biodiversitat i a la gestió sostenible de la salut del sòl mitjançant la captura i emmagatzematge de carboni orgànic. Comparteix els principis de l'agricultura i la ramaderia ecològiques, però pretén anar més enllà de la simple reducció dels efectes ambientals negatius de l'agricultura, aportant efectes mediambientals positius, i sense excloure però fent un ús limitat o més dirigit de, per exemple, tecnologia moderna de cria d'animals, el llaurat o l'ús de fertilitzants i pesticides inorgànics. Algunes de les pràctiques agrícoles característiques de l'agricultura regenerativa són la conversió de terres cultivables en pastures, la rotació de cultius i la diversitat de cultius, la minimització del llaurat, l'ús de cultius de cobertura i la retenció de residus de cultiu o deixar residus de cultiu a la superfície del sòl, així com l'evicció d'insecticides i pesticides sintètics. A nivell de la Unió Europea, com a part del Pacte Verd Europeu, l'estratègia "From Farm to Fork" estableix que les accions dirigides a mitigar el canvi climàtic fan necessàries intervencions sobre el sòl que promoguin la capacitat per capturar i emmagatzemar carboni, així com reduir les emissions de metà i de GEH que contenen nitrogen. En aquest sentit, el concepte de l'agricultura regenerativa representa una estratègia prometedora per assolir la transició de l'agricultura cap a una reducció neta del 55% de les emissions de GEH per a l'any 2030 i cap a una producció d'aliments més sostenible (**Figura 1**)⁶.

Figura 1: Principis de l'agricultura regenerativa, context polític i tecnològic/pràctic i les sinèrgies entre la producció agrícola i el paisatge.



Font: EASAC. Regenerative agriculture in Europe. A critical analysis of contributions to European Union Farm to Fork and Biodiversity strategies

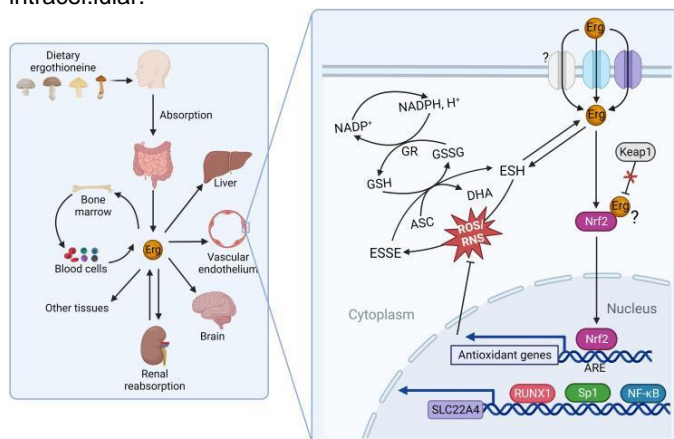
1.c. Salut del sòl, salut humana i ergotioneïna

La industrialització i l'agricultura intensives han permès augmentar la capacitat per produir més aliments a un cost menor, però amb una disminució tant en la qualitat dels aliments com en la densitat dels nutrients. Els possibles beneficis per a la salut humana associats al consum d'aliments ecològics s'ha estudiat àmpliament, amb possibles efectes en la reducció de malalties no transmissibles, però l'evidència no és conclouent. Per altra banda s'ha demostrat també l'existència de diferències en la composició entre aliments procedents de cultius orgànics i convencionals o intensius, malgrat que se'ls ha atribuït una importància nutricional marginal⁷. En l'actualitat es coneix que el microbioma i la composició del sòl influeixen en l'absorció de nutrients i salut de les plantes, establint-se així un possible nexa entre agricultura regenerativa i salut humana⁸. Però què ens diu l'evidència sobre la connexió entre les pràctiques agrícoles i salut humana? La realitat és que el vincle entre aquests dos factors és complex i dinàmic. Es poden demostrar possibles beneficis concrets per a la salut humana tenint només en compte l'absència de pesticides o una possible millor densitat nutricional dels aliments obtinguts? O bé cal valorar més enllà de la tradicional dicotomia orgànic/convencional i prendre també en consideració que la salut del sòl en què s'han cultivat pot influir en una millor composició nutricional o en l'aport de nutrients essencials?⁹ Tot i que els mètodes emprats en agricultura regenerativa han demostrat ser útils per reduir l'erosió del sòl i augmentar-ne les poblacions microbianes, els enllaços directes amb els

beneficis nutricionals en els aliments i, en última instància, en la salut humana han estat més difícils de demostrar. Dins de la comunitat de l'agricultura regenerativa hi ha la creença que les pràctiques que milloren la salut del sòl milloren alhora la densitat de nutrients dels cultius cultivats en aquest sòl; tanmateix, atès el nombre de factors que influeixen en la densitat de nutrients (clima, tipus de sòl, varietats de cultiu, etc.), és difícil provar aquesta hipòtesi. Cal contemplar aquesta relació entre agricultura regenerativa i salut des d'una perspectiva no lineal, establint diferents possibles nivells d'interacció que poden anar des de la composició de la dieta, la ingesta d'aliments amb una major densitat o millor composició nutricional, i fins a una millora de la microbiota intestinal; tot plegat amb un possible impacte final positiu en la prevenció de malalties vinculades a la dieta¹⁰.

Una possible connexió entre la salut del sòl i la salut humana a través de nutrients concrets es podria establir a partir de l'ergotioneïna, un aminoàcid derivat de la histidina, produït per fongs i micobacteris al sòl que només s'adquireix a través la dieta, principalment a través de la ingesta de bolets comestibles, i que també es troba en productes vegetals com el grans de cereals, possiblement perquè els fongs del sòl transmeten l'ergotioneïna a les plantes a través de les seves arrels.¹¹ En un treball publicat per Carrara et al.¹² es demostra que les pràctiques agrícoles que reforcen la població de certes espècies de micro fongs productors d'ergotioneïna en el sòl, entre les quals s'hi troben les pràctiques d'agricultura regenerativa, augmenten el contingut d'aquest component en determinats cultius, i per contra, el llaurat intensiu del sòl en disminueix la quantitat. En els darrers anys aquest nutrient ha despertat interès per la seva activitat antioxidant i citoprotectora, amb un possible rol en la prevenció de malalties inflamatòries en humans (**Figura 2**)¹³.

Figura 2: Ergotioneïna, teixits on es distribueix i possible mecanisme d'acció antioxidant a nivell intracel·lular.



Font: Tian X, Thorne JL, Moore JB. Ergothioneine: an underrecognised dietary micronutrient required for healthy ageing? *Br J Nutr.* 2023 Jan 14;129(1):104-114.

Aquest grup de patologies, entre les quals s'hi inclouen les malalties cardiovasculars, el càncer o la diabetis, s'engloben dins de les anomenades malalties no transmissibles (MNT), i juntament amb les malalties neurodegeneratives, representen actualment un dels majors reptes de salut global, fins al punt que la disminució de la mortalitat que es deriva de les MNT constitueix una de les metes dels ODS (objectiu 3.4)¹⁴. La seva correlació amb factors de risc modificables, principalment la dieta, en fa essencial un abordatge tan terapèutic com sobretot preventiu.

El possible impacte beneficiós en salut humana de les pràctiques agrícoles sostenibles i respectuoses amb el medi ambient des de l'àmbit de la nutrició constitueix un camp de recerca amb moltes possibilitats, i és per aquest motiu que s'ha decidit dur a terme una revisió de l'evidència científica actual disponible sobre la possible superioritat nutricional dels aliments obtinguts amb pràctiques regeneratives del sòl i sobre l'ergotioneina, un nutrient vinculat amb la salut del sòl i possiblement també amb la salut humana.

2 - Objectius

2.a. Objectiu general

Estudiar l'evidència científica actual sobre possibles efectes beneficiosos per a la salut humana derivats del consum d'aliments obtinguts a partir de pràctiques agrícoles amb impacte positiu en la salut del sòl.

2.b. Objectius específics

1. Conèixer les diferències en la composició nutricional entre aliments conreats a partir d'agricultura regenerativa respecte els obtinguts a partir d'agricultura convencional.
2. Estudiar un possible vincle nutricional entre la salut del sòl i la salut humana a partir de les característiques dels aliments obtinguts mitjançant agricultura regenerativa.
3. Estudiar la possible relació entre l'ergotioneina i la salut humana.
4. Generar noves hipòtesis de coneixement per a futures recerques.

2.c. Preguntes investigables

Per al disseny de les preguntes investigables s'ha seguit la metodologia PICO (Figura 3) definint problema, intervenció, comparació i resultats o “outcomes”:

Pregunta 1: Els productes alimentaris obtinguts a partir d'agricultura regenerativa, presenten una millor composició nutricional respecte a aquells obtinguts a partir de l'agricultura convencional?

Pregunta 2: En la població adulta, una dieta rica en ergotioneïna podria relacionar-se amb un efecte beneficiós sobre la salut?

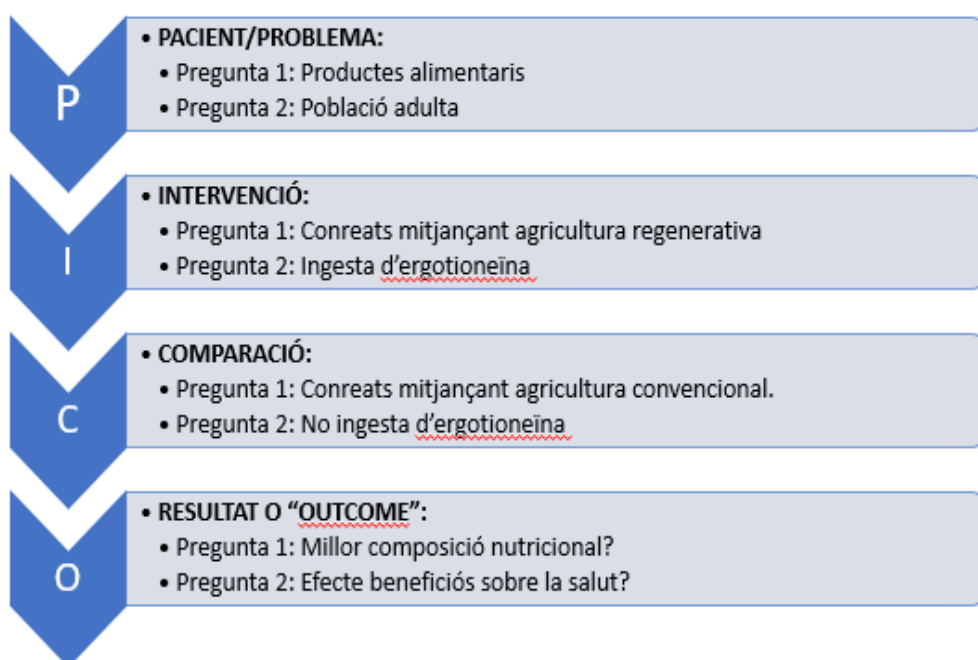


Figura 3: Estratègia PICO. Font: elaboració pròpia

3 -Metodologia

En aquest treball s'ha realitzat una revisió de la bibliografia existent relacionada amb els àmbits d'estudi plantejats. Amb la finalitat de garantir una revisió completa, amb la major transparència i precisió possible en els resultats, s'han seguit les recomanacions recollides en la guia PRISMA 2020 per a la publicació de revisions sistemàtiques¹⁵.

En la recerca dels articles s'ha definit una estratègia de “descobriment—accés”¹⁶, que ha permès obtenir un nombre inicial de referències representatiu de diferents àmbits

de recerca científica, per posteriorment poder accedir als que més s'han ajustat als objectius. Per aquest motiu s'ha realitzat la recerca en bases de dades tan específiques per matèries (Pubmed) com multidisciplinars (Scopus i Web of Science).

S'han realitzat recerques independents per a cadascuna de les preguntes investigables plantejades, aplicant els operadors booleans "AND" i "OR" i l'ús de paraules clau per tal d'acotar millor la cerca:

- Estratègia de cerca per la pregunta investigable 1: ("nutrient density" OR "food") AND "regenerative agriculture". La recerca es realitza a les bases de dades Scopus i Web of Science.
- Estratègia de cerca per la pregunta investigable 2: "ergothioneine" AND "health" AND "diet". La recerca es realitza a les bases de dades Pubmed i Scopus.

Criteris d'inclusió:

- ✓ Articles publicats en els darrers 10 anys, entre el 2014 i el 2023.
- ✓ Articles escrits en llengua anglesa o espanyola.
- ✓ Articles primaris, estudis comparatius, assajos clínics.

Criteris d'exclusió:

- Articles sense accés complet disponible.
- Articles de tipus revisió o meta-anàlisis.
- Articles publicats abans del 2014.

El procés de selecció dels estudis inclosos en la revisió s'ha realitzat per una única revisora. S'ha seguit un sistema de lectura crítica ajustat a les recomanacions de la guia PRISMA¹⁵, segons els diagrames de les **Figures 4 i 5**:

Figura 4. Procediment de selecció d'articles per a la pregunta investigable 1:

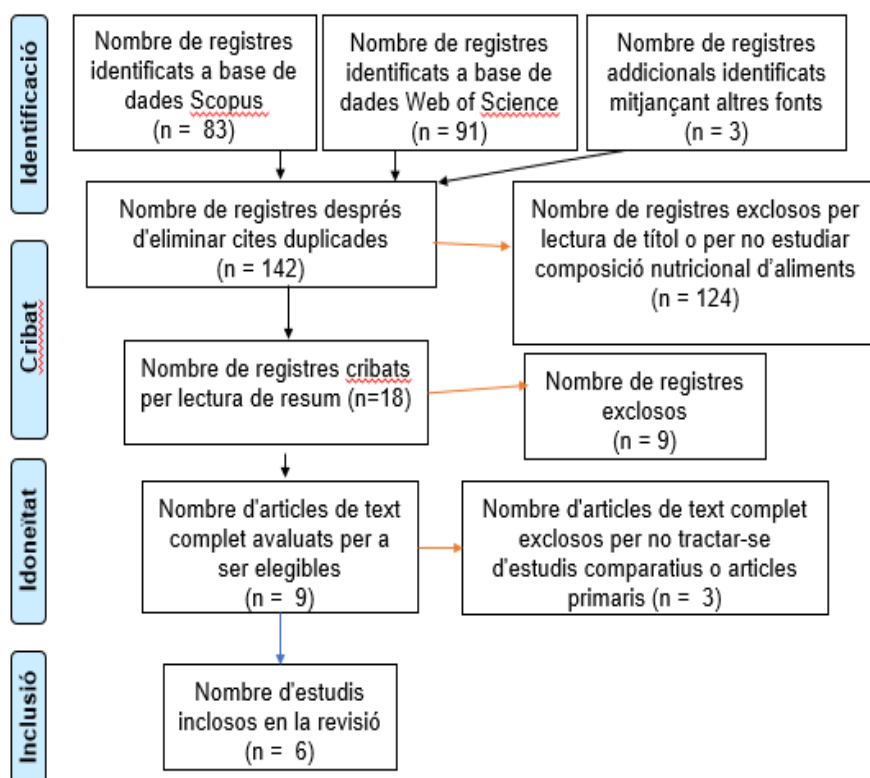
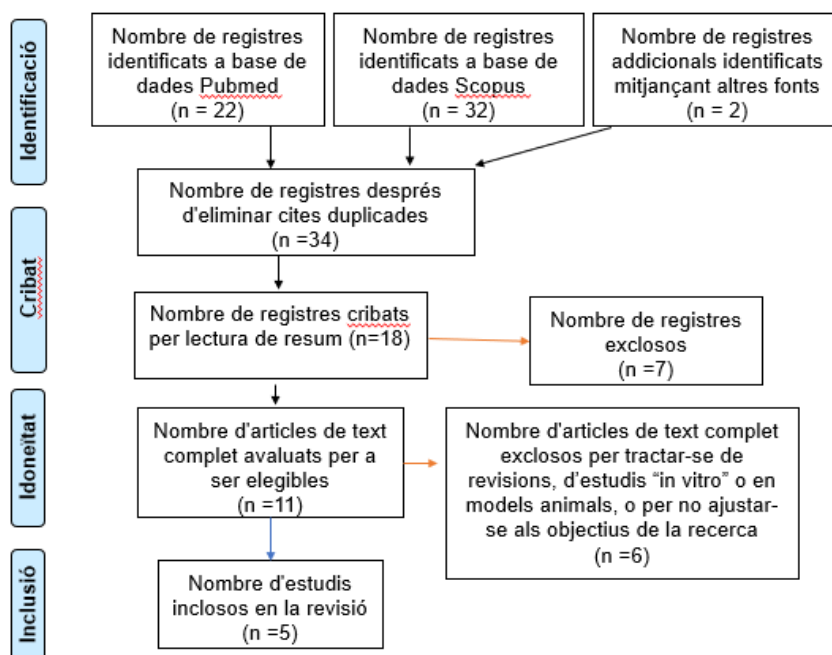


Figura 5. Procediment de selecció d'articles per a la pregunta investigable 2:



Font: Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. 2021. *Rev. Esp. Cardiol.* 74(9); 790-799

4 – Resultats

4.a. Característiques nutricionals dels productes alimentaris obtinguts a partir d'agricultura regenerativa.

S'han identificat un total de 177 referències per l'estratègia de recerca per respondre a la primera pregunta investigable. Dels 142 articles obtinguts després de realitzar un primer cribatge descartant els duplicats, s'han descartat el 96% dels articles en el segon cribat perquè no complien algun criteri d'inclusió en el títol, atès que la major part de la bibliografia existent feia referència sobretot a anàlisis sobre impacte mediambiental, o bé a estudis de l'àmbit de l'agroenginyeria, centrats en la composició o afectació del sòl o en els rendiments dels cultius. Finalment, s'han obtingut només 6 articles que complien amb tots els criteris d'inclusió i s'ajustaven a l'objectiu de recerca plantejat. S'ha realitzat una lectura detallada de tots els articles, que es presenten sintetitzats a la **Taula 1**, i que s'amplien seguidament en format narratiu.

Taula 1: Resum dels estudis d'anàlisi de composició nutricional en aliments conreats a partir de maneig regeneratiu del sòl:

Autor, any	Objectiu	Tipus estudi	Subjecte d'estudi	Resultats	Limitacions
Montgomery et al. 2022 ¹⁷	Comparar l'efecte de l'agricultura regenerativa en la salut del sòl i la densitat nutricional dels productes de conreu respecte a l'agricultura convencional.	Estudi comparatiu amb dades aparellades, entre 8 granges regeneratives i 8 granges convencionals.	Collites de col, pèsol, soja, blat de moro, sorgo i blat, en granges ubicades a diferents estats dels USA.	Major densitat nutricional en certs micronutrients i major contingut de fitoquímics en els cultius regeneratius.	Tamany reduït de mostra.
Pearsons et al. 2022. ¹⁸	Estudiar com la reducció del llaurat afecta la qualitat nutricional dels cultius en sistemes d'agricultura convencional i orgànica.	Estudi comparatiu entre 6 modalitats de conreu, combinant agricultura orgànica/convencional amb tipus de llaurat.	Collites de blat, blat de moro, civada i soja en conreus del Rodale Institute, a l'estat de Pennsylvania (USA)	La reducció en el llaurat no va afectar la qualitat nutricional dels cereals però sí va afectar la quantitat de la collita.	Ubicació geogràfica única podria dificultar extrapolar resultats
Zinati et al. 2019. ¹⁹	Estudiar l'impacte del maneig del sòl sobre la concentració de determinats nutrients en la carbassa d'hivern.	Estudi comparatiu entre 3 modalitats de maneig del sòl.	Carbasses d'hivern cultivades en una plantació de Pennsylvania (USA).	La gestió del sòl amb llaurat reduït millora la concentració de nutrients (α -carotè, luteïna, calci i fòsfor) a la carbassa d'hivern després de 60 dies d'emmagatzematge.	Tamany reduït de mostra. Ubicació geogràfica única. Tipus de publicació.
Cárceles Rodríguez et al. 2023. ²⁰	Estudiar l'impacte de les pràctiques de maneig del sòl en un camp d'ametllers, i les seves implicacions en el rendiment i qualitat nutricional d'ametlla.	Estudi comparatiu entre 5 modalitats de maneig del sòl (amb o sense llaurat, amb ús de cobertes vegetals)	Ametlles col·lectades en camps d'ametllers orgànics de Lanjarón (Granada, Espanya).	El maneig del sòl amb cobertura de llegums va augmentar el contingut en polifenols de les ametlles.	L'anàlisi de qualitat nutricional de les ametlles es va realitzar només en 1 dels 5 anys d'estudi.
Fenster et al. 2021. ²¹	Estudiar la salut del sòl, biodiversitat, rendiment i benefici dels sistemes regeneratius i convencionals de producció d'ametlla.	Estudi comparatiu entre 8 camps d'ametllers regeneratius i 8 amb maneig convencional.	Ametlles col·lectades en camps d'ametllers de Califòrnia (USA)	La composició nutricional d'ametlla equivalent en els dos sistemes, excepte major contingut en magnesi en el maneig regeneratiu.	Ubicació geogràfica única podria dificultar extrapolar resultats.
Beelman et al. 2021. ²²	Determinar l'impacte del llaurat sobre el contingut d'ergotioneïna (ERGO) en cultius de cereals.	Estudi comparatiu entre 3 modalitats de maneig del sòl.	Collites de blat de moro, soja i civada a Rock Springs (USA)	El conreu agressiu de sòl redueix significativament ERGO en els tres cultius en comparació amb maneig regeneratiu.	Ubicació geogràfica única podria dificultar extrapolar resultats.

Dels sis treballs inclosos en la revisió, l'estudi de Montgomery et al.¹⁷, centrat en la relació entre els diferents mètodes de maneig agrícola utilitzats en agricultura regenerativa i industrial, la salut del sòl i els índexs de valor nutricional dels cultius, és el que més s'ajusta a l'objectiu de la recerca i el que aporta un major nombre de dades relatives a productes alimentaris concrets. En aquest estudi es van comparar els índexs nutricionals de diversos cultius (col, pèsols, soja, blat de moro, sorgo i blat) en vuit parells de granges convencionals i regeneratives geogràficament properes entre elles i ubicades en diferents zones dels Estats Units. Tot i el tamany reduït de la mostra, les comparacions entre cultius van mostrar diferències en les concentracions de micronutrients (vitamines i minerals) i de fitoquímics, particularment en la presència de carotenoides, fenols i fitoesterols. Els cultius agrícoles regeneratius tenien a nivell global un 34% més de vitamina K, un 15% més vitamina E, 14% més vitamina B1 i un 17% més de vitamina B2; a més, tenien 11% més de calci, 16% més de fòsfor, i un 27% més de coure. Pel que fa al contingut en esterols vegetals, els productes dels cultius regeneratius contenien a nivell global un 15% més de carotenoides totals, un 20% més de compostos fenòlics totals i un 22% més de fitoesterols totals; el tipus de conreu que va mostrar major increment de contingut total de fitosterols va ser la col, amb valors dues vegades superiors respecte al conreu convencional (**Taula 2**).

L'efecte del tipus de llaurat sobre la composició del sòl, el rendiment dels conreus i la densitat nutricional dels grans de cereal s'ha estudiat en el treball de Pearsons et al.¹⁸, del Rodale Institute (USA), en el qual es van comparar conreus de blat, blat de moro, civada i soja combinant diferents tipus de llaurat amb pràctiques d'agricultura tan convencional com orgànica. Els resultats en les anàlisis de composició nutricional van mostrar que la reducció en el llaurat no va afectar de forma significativa la qualitat nutricional dels cereals pel que fa al contingut en proteïnes, greix, midons i micronutrients (calci, potassi, magnesi, fòsfor i sofre), però en canvi sí va reduir en aproximadament un 10% el rendiment de les collites. L'estudi de Zinati et al.¹⁹ publicat també pel Rodale Institute va analitzar l'impacte de la reducció del llaurat del sòl en la qualitat dels nutrients de carbassa d'hivern emmagatzemada després de la collita comparant dos mètodes regeneratius de reducció de llaurat amb el llaurat convencional; es van avaluar els polifenols totals, la luteïna, l' α -carotè i diversos nutrients minerals, i els resultats van mostrar que les concentracions d' α -carotè i luteïna van augmentar significativament en les carbasses obtingudes de sòl amb llaurat reduït després de 60 dies d'emmagatzematge, i per contra, aquests valors van disminuir en les carbasses conreades en sòl amb tractament estàndard.

Nutrient	All crops	Cabbage	Peas	Soy	Corn	Sorghum
Vitamin K	1.34	1.41	1.57	1.10	-	1.38
Vitamin E	1.15	1.70	1.20	1.14	0.89	1.19
Vitamin C	1.03	1.20	1.81	0.53	-	-
Vitamin B1	1.14	2.00	1.05	0.83	0.93	1.45
Vitamin B2	1.17	1.00	1.00	0.83	0.93	3.00
Vitamin B3	1.08	0.80	0.91	0.89	1.14	1.20
Vitamin B5	1.04	0.67	0.88	0.97	1.19	1.13
Vitamin B6	0.83	-	1.33	0.50	1.00	infinite
Total Phenolics	1.20	2.23	1.26	0.99	0.86	1.58
Total Phytosterols	1.22	2.13	1.00	1.06	1.15	0.75
Total Carotenoids	1.15	1.48	1.94	-	1.08	1.24
Al	1.04	0.88	0.97	0.98	0.98	1.47
Ca	1.11	1.03	0.99	1.13	1.01	1.43
Cu	1.27	-	0.84	1.33	-	2.00
Fe	0.90	0.07	0.87	1.07	1.11	1.01
K	1.06	1.17	0.97	1.08	0.97	1.22
Mg	1.00	1.06	0.82	1.06	1.02	1.10
Mn	0.76	-	0.80	0.61	-	0.96
Na	1.15	0.48	1.30	1.47	1.73	1.25
P	1.16	2.03	1.19	1.07	0.90	1.29
Zn	0.99	0.79	0.74	1.22	1.17	1.23

Note: Average ratio of concentrations of individual nutrients for paired regenerative and conventional farms. Values with more than 10% difference shown in bold (increase) or italics (decrease).

Taula 2. Diferències en densitat nutricional dels conreus convencional VS regeneratiu. Font: Montgomery et al.¹⁷

S'han identificat dos articles que han estudiat l'impacte de les pràctiques de maneig regeneratiu del sòl en camps d'ametllers sobre la qualitat nutricional d'ametlla. En el treball publicat per Cárceles Rodríguez et al.²⁰ es va dur a terme un estudi comparatiu al llarg de cinc anys entre cinc modalitats de maneig del sòl (amb o sense llaurat, amb o sense ús de cobertes vegetals) en camps d'ametllers de la província de Granada (Espanya), analitzant principalment les conseqüències sobre les característiques del sòl i els rendiments de la collita; en una de les anyades es va dur a terme una anàlisi de la composició nutricional de les ametlles col·lectades, i els resultats van relacionar l'ús de cobertes vegetals de llegums amb un augment en el contingut en polifenols de les ametlles. En l'estudi de Fenster et al.²¹ es van comparar característiques del sòl, rendiments de cultius i composició nutricional de les ametlles entre 8 camps d'ametllers regeneratius i 8 amb maneig convencional de Califòrnia (USA) en dues collites consecutives; les anàlisis de composició de les ametlles van mostrar un perfil global de micronutrients equivalent en els dos sistemes de maneig del sòl, i únicament es van trobar diferències significatives en el contingut en magnesi, que va presentar major concentració en els ametllers regeneratius respecte als convencionals, amb valors mitjans de 3.12mg/g i 2.86mg/g respectivament. (Taula 3); en aquest estudi no es va analitzar el contingut en fitoquímics.

Almond nutrient	Conventional orchards	Regenerative orchards	P-value	χ^2_1
Total carbon	594.40 ± 3.11	604.55 ± 1.64	0.24	1.40
Total nitrogen	37.63 ± 0.75	37.44 ± 0.69	0.97	0.002
Phosphorus	4.64 ± 0.07	4.95 ± 0.06	0.06	3.46
Potassium	7.39 ± 0.13	7.78 ± 0.09	0.25	1.34
Calcium	2.94 ± 0.12	2.81 ± 0.08	0.35	0.87
Magnesium	2.86 ± 0.02	3.12 ± 0.04	<0.001	12.59
Sulfur	1.34 ± 0.02	1.44 ± 0.02	0.052	3.78
Zinc	0.032 ± 0.001	0.031 ± 0.001	0.42	0.66
Iron	0.048 ± 0.001	0.049 ± 0.001	0.89	0.02
Manganese	0.023 ± 0.001	0.022 ± 0.001	0.93	0.007
Copper	0.012 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.17	1.89
Boron	0.024 ± 0.001	0.020 ± 0.001	0.09	2.91
Sodium	<0.001	<0.001	0.56	0.35
Molybdenum	<0.001	<0.001	0.97	0.002
Aluminum	0.010 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.45	0.005
Shannon H'	1.15 ± 0.01	1.17 ± 0.01	0.65	0.20
Simpson DS	0.53 ± 0.01	0.53 ± 0.01	0.59	0.29
Pielou's Evenness J	0.44 ± 0.004	0.45 ± 0.004	0.62	0.24

Units for values presented are mean ± SEM mg/g, unless otherwise noted. Statistical significance was determined via General Linear Mixed Models where treatment was a fixed factor, while farm was the random factor (N = 40 observations across 16 farms, $\alpha = 0.05$). Significant treatment differences are denoted using bold text.

Taula 3. Valors nutricionals d'ametlles de camps convencionals i regeneratius. Font: Fenster et al.²¹

Finalment, el treball de Beelman et al.²² ofereix un nou punt de vista en la possible connexió nutricional entre el sòl i la salut humana a través de l'estudi del contingut en ergotioneïna (ERGO) en els grans de cultiu i la seva relació amb el maneig del sòl agrícola. Es van comparar els continguts d'ERGO en blat de moro, soja i civada cultivades en sòls gestionats amb maneig regeneratiu (rotació dels tres cultius i amb un cultiu de cobertura de lleguminoses) amb tres intensitats diferents de llaurada en el sòl, observant que les concentracions d'ERGO van disminuir en els tres cultius a mesura que va augmentar la intensitat del conreu, amb reduccions entre el no llaurar i el mètode de llaurat més agressiu de fins aproximadament un 30%, i amb descensos estadísticament significatius en els grans de soja i de civada (**Figura 6**).

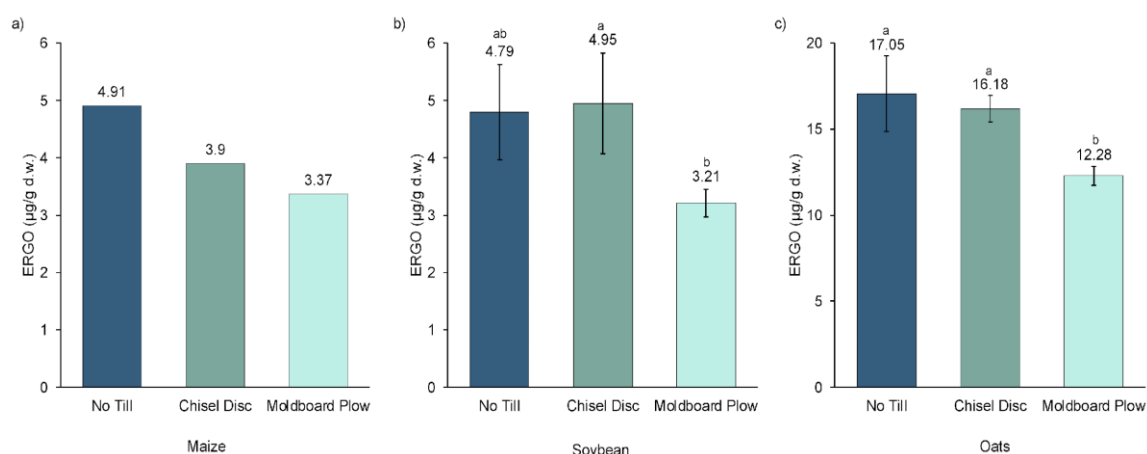


Figura 6: Contingut en ergotienina (ERGO) de diferents cultius. Blat de moro, soja i civada cultivats amb diferents mètodes de conreu (No Till=sense llaurat amb una pertorbació mínima del sòl VS Chisel Disc: corró VS Moldboard Plow=arada amb verter). Font: Beelman et al. (2021)²².

La rellevància de l'ergotioneïna com a nutrient amb potencials beneficis per a la salut humana s'exposa en el següent apartat de la revisió.

4.b. Ergotioneïna i relació amb la salut humana.

S'han identificat un total de 56 referències per l'estratègia de recerca per respondre a la segona pregunta investigable. Dels 34 articles obtinguts després de realitzar un primer cribatge descartant els duplicats, s'han descartat el 53% dels articles en el segon cribat per la lectura del títol, i finalment s'han seleccionat 5 articles que complien amb tots els criteris d'inclusió i d'ideïtat ajustats a l'objectiu de recerca. La **Taula 4** resumeix els articles de recerca més rellevants publicats els darrers anys que estudien la relació entre l'ergotioneïna i la salut humana. En les **Taules 5A a 5E** s'expliquen de forma més detallada les característiques més rellevants de cada article de la revisió.

Taula 4: Resum dels estudis d'anàlisi de relació entre ergotioneïna i resultats en salut humana.

Autor, any	Objectiu	Tipus estudi	Població	Resultats	Limitacions
Cheah et al. 2017. ²³	Estudiar l'absorció i farmacocinètica de l'ergotioneïna, després de l'administració oral en humans, i el seu efecte sobre els biomarcadors de dany oxidatiu i inflamació.	Assaig clínic controlat, a doble cec, amb placebo.	45 voluntaris masculins sans de Singapur, assignació aleatòriament en 3 grups als quals s'administra placebo, 5 mg. o 25 mg ERGO	Es va observar descens NO significatiu en els biomarcadors de dany oxidatiu i inflamació després de l'administració d'ERGO via oral.	Tamany de la mostra.
Sotgia et al. 2014. ²⁴	Estudiar les concentracions sèriques d'ergotioneïna en una cohort del Hunter Community Study (HCS), i intentar identificar les correlacions clíniques i bioquímiques.	Estudi observacional, transversal	439 individus (227 homes i 212 dones), d'entre 55 i 85 anys de Newcastle, de la cohort del HCS.	L'edat i la glutamilmisteïna es van associar negativament de manera independent amb la concentració sèrica de L-ergotioneïna.	-Anamnesi de patologies mitjançant qüestionari autoadministrat. -Tipologia de l'estudi.
Ba et al. 2021. ²⁵	Investigar de manera prospectiva l'associació entre el consum de bolets (font d'ergotioneïna) i el risc de mortalitat per totes les causes i per causes específiques	Estudi observacional, de cohorts prospectiu.	Persones majors de 18 anys d'una mostra representativa de l'estudi NHANES III (USA) amb dades sobre l'estat de mortalitat (n =15.546).	-Consum de bolets associat amb menor risc de mortalitat per totes les causes després d'ajustar-se per factors demogràfics, d'estil de vida i dietètics. -NO associació amb mortalitat per causes específiques.	Possibles biaixos per: - Valoració de consum de bolets amb un únic registre de 24h. - Manca de dades de mesures repetides per examinar l'associació entre patró de consum a llarg termini amb risc de mortalitat. - Factors confusors
Smith et al. 2020. ²⁶	Identificar metabòlits plasmàtics associats a patró alimentari saludable i provar si són predictors de malaltia cardiometabòlica i mortalitat.	Estudi observacional, de cohorts prospectiu.	3236 participants sense malaltia cardiovascular ni diabetis, d'una mostra de l'estudi poblacional "Malmö Diet and Cancer study" (Suècia).	L'ergotioneïna va ser el metabòlit més vinculat amb patró alimentari saludable i es va associar amb un menor risc de malaltia coronària, mortalitat cardiovascular i mortalitat total.	Les dades d'ingesta dietètica, els factors de risc cardiometabòlic i les dades de metabolòmica només es van recollir a l'inici de l'estudi.
Wu et al. 2022. ²⁷	Estudiar associació transversal entre ergotioneïna (ET) plasmàtica i el rendiment cognitiu, així com amb canvis cognitius i funcionals longitudinals.	Estudi observacional, de cohorts prospectiu.	Cohort de 470 individus ancians (edat mitja 73 anys), amb i sense demència, que assistien a clíniques de memòria a Singapur.	Nivells menors d'ergotioneïna en plasma es van associar amb un rendiment cognitiu basal més baix i taxes més ràpides de deteriorament cognitiu.	Biaixos per manca d'informació completa sobre altres factors que poden afectar concentracions d'ET, com ara possibles variacions genètiques o comportaments dietètics.

Taula 5. Aspectes més rellevants de cada article.

Taula 5A		Ergothioneine to Healthy Human Subjects: Uptake, Metabolism, and Effects on Biomarkers of Oxidative Damage and Inflammation
Autor principal	Cheah IK. et al. (2017) (23)	
Tipus d'estudi	Assaig clínic aleatoritzat	
Objectiu	Estudiar l'absorció i farmacocinètica de l'ergotioneïna, després de l'administració oral en humans, i el seu efecte sobre els biomarcadors de dany oxidatiu i inflamació.	
Població d'estudi	45 voluntaris adults sans, homes entre 21 i 35 anys. <u>Localització:</u> Singapur.	
Metodologia	<u>Disseny estudi</u>	Assignació aleatòria en 3 grups (n=15), als quals s'administrava placebo, 5 mg ERT o ERT 25 mg, durant 7 dies, se'ls van recollir mostres de sang i orina els dies 1, 3, 5, 8, 14, 21, 28 i 35
	<u>Variables</u>	Determinació en plasma i orina d'ERT i dels seus metabòlits (hercinina, S-metil-ERT) Determinació en plasma i orina de biomarcadors de dany oxidatiu (alantoïna, 8OhdG, proteïna carbonil i F2-isoprostans) Determinació en plasma de biomarcadors d'inflamació (PCR)
Resultats	<ul style="list-style-type: none"> ● ↑ dels nivells plasmàtics i excreció urinària d'ERT dosi-dependents. ● No diferències significatives en hercinina en plasma i orina després de l'administració d'ERT entre els grups. ● Correlació entre nivells plasmàtics d'hercinina i S-metil ERT amb nivells plasmàtics d'ERT ● ↓ NO SIGNIFICATIU dels nivells plasmàtics dels biomarcadors inflamatoris i el dany oxidatiu ● No efectes adversos derivats de l'administració d'ERT. 	
Limitacions	<ul style="list-style-type: none"> ○ Tamany de la mostra molt petit. 	
Conclusions	L'absorció i retenció d'ergotioneïna a l'organisme suggereix una funció fisiològica important. La tendència decreixent dels biomarcadors de dany oxidatiu suggereixen que podria tenir una funció antioxidant important.	

Llegenda de la taula. ↑: augment. ↓: descens. ERT: ergotioneïna. 8OHDG: 8-hidroxi-2'-desoxiguanosina. PCR: Proteïna C reactiva.

Taula 5B		Clinical and Biochemical Correlates of Serum L-Ergothioneine Concentrations in Community-Dwelling Middle-aged and Older Adults.
Autor principal	Sotgia S. et al. (2014) (24)	
Tipus d'estudi	Estudi transversal	
Objectiu	Estudiar les concentracions sèriques d'ergotioneïna en una cohort epidemiològica d'envelliment humà del Hunter Community Study (HCS), i intentar identificar les correlacions clíniques i bioquímiques.	
Població d'estudi	Cohort representativa del HCS (individus entre 55 i 85 anys). Mostra de 439 persones (227 homes, 212 dones). <u>Localització:</u> Newcastle (UK)	
Metodologia	<u>Disseny estudi</u>	Es va recollir informació sobre patologies cròniques existents (MCV, DM2, artritis, depressió), es va dividir la mostra en 2 grups: població sana (n=80) i població no sana (n=359). Es van obtenir mostres de sang
	<u>Variables</u>	Determinació sèrica de ERT, homocisteïna, cisteïna, glutatió, cisteinilglicina, glutamilcisteïna i taurina. Determinació de paràmetres clínics: FGe i IMC.
Resultats	<ul style="list-style-type: none"> ● La concentració sèrica mitjana d'ERT va ser d'1,01 IC 0,78–1,33 µmol/L. ● La presència de malaltia crònica NO es va associar amb una diferència significativa en les concentracions sèriques d'ERT. ● Associació negativa √ de la concentració sèrica d'ERT amb l'edat i amb la concentració de glutamilcisteïna. 	
Limitacions	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anamnesi de patologies mitjançant qüestionari autoadministrat, que podia conduir a biaixos. ○ Tipologia de l'estudi 	
Conclusions	L'edat i la glutamilcisteïna es van associar negativament de manera independent amb la concentració sèrica de L-ergotioneïna.	

Llegenda de la taula. √: estadísticament significativa. ERT: ergotioneïna. MCV: malaltia cardiovascular. DM2: diabetis tipus 2. FGe: filtrat glomerular estimat. IMC: índex de massa corporal. IC: interval de confiança.

Taula 5C		Association of mushroom consumption with all-cause and cause-specific mortality among American adults: prospective cohort study findings from NHANES III.
Autor principal	Ba DM. et al. (2021) (25)	
Tipus d'estudi	Estudi de cohorts prospectiu.	
Objectiu	Investigar de manera prospectiva l'associació entre el consum de bolets (considerats font d'ergotoneïna) i el risc de mortalitat per totes les causes i per causes específiques.	
Població d'estudi	Persones majors de 18 anys (n=15546) que formaven part de l'estudi NHANES III, i de les que es disposava de dades de mortalitat. <i>Durada del seguiment (M+/-SD):</i> 19.5 +/- 7.4 anys. Finalitzat el 31.12.2015. <i>Localització:</i> USA.	
Metodologia	<u>Disseny estudi</u>	Es va estimar de la ingesta de bolets dels participants a partir d'un registre alimentari de 24 hores. Es va avaluar la mortalitat per totes les causes i causa-específica a partir de les dades de mortalitat del NDI (1988-2015) (n= 5826)
	<u>Variables</u>	-Dades sociodemogràfiques (edat, sexe, ètnia, lloc de residència, nivell estudis, estat civil, tabaquisme, activitat física) -Dades antropomètriques (IMC) -Covariables calculades a partir de les dades d'ingesta dietètica: Ingesta energia total (kcal/d), alcohol (g/d), greixos (g)/1000 kcal/d), hidrats de carboni (g)/1000 kcal/d), fibra (g)/1000 kcal/d), índex d'alimentació saludable (HEI-2000). -Causes de mortalitat específiques: MCV, neoplàsies, malalties respiratòries, accidents, Alzheimer, DM, grip o pneumònia, nefropaties.
Resultats	<ul style="list-style-type: none"> • Els individus amb consum de bolets tenien un risc més baix de mortalitat per totes les causes en comparació amb els que no en consumien, amb el càlcul de HR ajustat per edat, sexe i factors confusors [(HR) = 0,84; IC del 95%: 0,73–0,98]. • NO associació significativa entre el consum de bolets i causes de mortalitat específiques. • En model de substitució nutricional, la substitució de la carn vermella o processada per bolets es va associar amb un menor risc de mortalitat 	
Limitacions	<ul style="list-style-type: none"> ○ Valoració de consum de bolets amb un únic registre de 24h a l'inici. ○ Manca de dades de mesures repetides per examinar l'associació entre patró de consum a llarg termini amb risc de mortalitat. ○ Possible quantificació inexacta de la ingesta de bolets pel mètode de recollida d'informació emprat. ○ Base de dades de nutrients de l'estudi NAHNES III no contenia dades d'ingesta ERT, i no s'ha pogut analitzar com a variable. ○ Tipologia d'estudi implica risc de factors confusors no controlats i no permet inferir causalitat. 	
Conclusions	El consum de bolets es va associar amb un menor risc de mortalitat	

Legenda de la taula. M+/-SD: mitjana +/- desviació estàndar. NDI: National Death Index. IMC: Índex de massa corporal. MCV: malalties cardiovasculars. DM: diabetis mellitus. HR: "Hazard Ratio" o relació de risc. IC: interval de confiança. ERT: ergotoneïna.

Taula 5D		Ergothioneine is associated with reduced mortality and decreased risk of cardiovascular disease.
Autor principal	Smith E. et al. (2020) (26)	
Tipus d'estudi	Estudi de cohorts prospectiu.	
Objectiu	Identificar metabòlits plasmàtics associats a un patró alimentari saludable i provar si són predictors de malaltia cardiometabòlica i mortalitat.	
Població d'estudi	Mostra de 3236 adults sense MCV ni DM i diabetis mellitus, procedents de l'estudi poblacional "Malmö Diet and Cancer" <i>Durada del seguiment (M):</i> 21.4 anys. <i>Localització:</i> Suècia.	
Metodologia	<u>Disseny estudi</u>	-Es van mesurar els nivells plasmàtics de 112 metabòlits a tots els individus de la mostra. -En 2513 participants dels quals es disposava de dades nutricionals es va avaluar l'associació d'aquests metabòlits amb un patró d'alimentació saludable identificat prèviament, i que estava associat amb la protecció contra les MCV i la DM tipus 2 -Després, els metabòlits associats al patró d'alimentació saludable es van relacionar amb la incidència de DM tipus 2, MCV, events cardiovasculars o AVC i mortalitat global durant un temps mitjà de seguiment de 21 anys.
	<u>Variables</u>	-Dades clíniques: edat, sexe, IMC, TA, tractament antihipertensiu, tabaquisme, consum alcohol, activitat física. -Lípids plasmàtics i glucèmia plasmàtica en dejú. -Perfil de metabòlits plasmàtics.
Resultats	<ul style="list-style-type: none"> • 5 dels metabòlits van mostrar associacions positives ✓ amb el patró alimentari saludable: ERT, betaïna, prolina, acetilornitina i pantotemat. • ERT va ser el metabòlit que va presentar associació més ✓ amb un patró dietètic saludable. • ERT es va associar ✓ amb un menor risc de malaltia coronària (HR per 1 ΔSD ERT plasmàtica, HR = 0,85), mortalitat cardiovascular (HR=0,79) i mortalitat global) (HR=0,86). 	
Limitacions	<ul style="list-style-type: none"> ○ La ingesta dietètica, els factors de risc cardiometabòlic i les dades de metabòlica només es van recollir a l'inici de l'estudi. ○ La tipologia de l'estudi no permet inferir causalitat. 	
Conclusions	L'ergotioneïna plasmàtica és un marcador independent de menor risc de malaltia cardiometabòlica i mortalitat, que potencialment es pot induir per una ingesta dietètica saludable específica.	

Legenda de la taula. MCV: malaltia cardiovascular. DM: diabetis mellitus. M: mitjana. AVC: accident vascular cerebral. IMC: índex massa corporal. TA: tensió arterial. HR: Hazard ratio o relació de risc. ✓: estadísticament significativa. ERT: ergotioneïna. HR: "Hazard ratio" o relació de risc. ΔSD: increment de desviació estàndar.

Taula 5E		Low Plasma Ergothioneine Predicts Cognitive and Functional Decline in an Elderly Cohort Attending Memory Clinics.
Autor principal	Wu LY. et alt. (2022) (27)	
Tipus d'estudi	Estudi de cohorts prospectiu.	
Objectiu	Estudiar associació transversal entre ergotioneïna plasmàtica i el rendiment cognitiu, així com amb canvis cognitius i funcionals longitudinals.	
Població d'estudi	<p>Mostra de 470 individus ancians (M edat = 73 anys), que assistien a clíniques de memòria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 59.8% sense demència (sense deteriorament cognitiu, o deteriorament cognitiu lleu sense malaltia) • 40.2% amb demència <p><i>Durada del seguiment (M+/-SD): 3.7 +/- 1.5 anys.</i> <i>Localització:</i> Singapur.</p>	
Metodologia	<u>Disseny estudi</u>	Es van realitzar proves neuropsicològiques, estudis de neuroimatge i avaluacions clíniques per classificació inicial d'estat cognitiu. Les proves neuropsicològiques i de funció cognitiva es van reavaluar amb periodicitat anual i durant un màxim de cinc anys. Mesura de l'ERGO plasmàtica als participants. Els nvestigadors desconeixien les dades demogràfiques, clíniques i de neuroimatge.
	<u>Variables</u>	Dades sociodemogràfiques: edat, sexe, raça, nivell estudis. Dades clíniques: pes, alçada, TA. Avaluació de patologies: HTA, hiperlipèmia, DM i MCV. Ergotioneïna plasmàtica. Dades d'estudi neuropsicològic: MMSE i una bateria neuropsicològica detallada Neuroimatge: RMN cerebral
Resultats	<ul style="list-style-type: none"> • Els nivells d'ERGO plasmàtica més baixos van mostrar associació √ amb: <ul style="list-style-type: none"> ○ Pitjor rendiment cognitiu basal. ○ Disminució accelerada de la funció cognitiva global, i en múltiples dominis cognitius durant el seguiment de 5 anys, independentment de l'estat cognitiu basal. ○ Deteriorament funcional més ràpid, amb un empitjorament de les puntuacions en l'estudi neuropsicològic. • En estratificació per estat cognitiu, aquestes associacions només van ser √ en subjectes no dements. • Associació √ entre l'ERGO plasmàtica i els marcadors utilitzats per avaluar la neurodegeneració en la RMN cerebral. 	
Limitacions	<ul style="list-style-type: none"> ○ Manca d'informació completa sobre altres factors que poden afectar concentracions d'ERGO, com possibles variacions genètiques o patrons dietètics. ○ La tipologia de l'estudi no permet inferir causalitat. 	
Conclusions	Els resultats suggereixen la utilitat potencial de l'ERGO com a biomarcador predictiu del deteriorament cognitiu, així com el seu potencial ús com a suplement terapèutic, especialment per a subjectes amb deficiència d'ERGO en les fases de predemència.	

Legenda de la taula. M: mitjana. SD: desviació estàndar. ERGO: ergotioneïna. TA: tensió arterial. HTA: hipertensió arterial. DM: diabetis mellitus. MCV: malalties cardiovasculars. MMSE: Mini-Mental State Examination. RMN: ressonància magnètica nuclear. √: estadísticament significativa.

5 - Discussió

En la primera part d'aquesta revisió s'han abordat les característiques nutricionals dels productes alimentaris obtinguts de camps de conreu gestionats amb tècniques d'agricultura regenerativa en comparació amb els aliments obtinguts a partir de conreus d'agricultura convencional, així com l'existència d'un possible impacte positiu sobre la salut derivat del consum d'aquests aliments.

La relació entre les pràctiques agrícoles i la salut ha estat àmpliament estudiada en termes d'impacte sobre el canvi climàtic i dels efectes sobre la salut global. Tal com es recull en les recomanacions del darrer informe sobre salut i canvi climàtic de "The Lancet"²⁸, i coincidint amb el full de ruta proposat per la FAO²⁹ en el marc de la darrera Conferència de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (COP 28), la transició cap a sistemes de producció d'aliments que puguin contribuir a mitigar l'escalfament global constitueix un dels elements necessaris per a garantir alhora la producció d'aliments suficients i la salut global de la població. Però en termes de salut humana, els impactes reals de factors de risc ambiental com el canvi climàtic encara es quantifiquen de manera imprecisa; el treball de Dhimat et al.³⁰ atribueix un nexa significatiu entre factors de risc ambientals, inclòs el canvi climàtic, i les malalties no transmissibles (MNT), però admetent també que la naturalesa i concreció d'aquesta relació és complexa.

L'adopció de pràctiques d'agricultura regenerativa es presenta com una estratègia factible i prometedora cap a la producció d'aliments amb impacte mediambiental positiu a escala global³¹⁻³³. Es disposa d'evidència científica sòlida referent a agricultura regenerativa i el seu impacte positiu en la composició i la salut del sòl (La Canne et al³⁴, Khangura et al³⁵, Singh et al³⁶). Per altra banda, White³⁷ defensa també beneficis en relació a la producció d'aliments més saludables i densos en nutrients; tanmateix, es desconeix fins a quin punt l'agricultura regenerativa pot influir directament en la composició nutricional dels conreus o aliments que se n'obtenen, i és per aquest motiu que es va abordar aquesta qüestió en la revisió presentada.

Al fixar-nos en els articles revisats en què es van comparar concentracions de micronutrients i/o fitoquímics dels aliments conreats aplicant tècniques d'agricultura regenerativa versus agricultura convencional, els resultats globals han demostrat efectes positius de l'agricultura regenerativa, tot i que de forma no homogènia. El treball de Montgomery et al.¹⁷, amb una metodologia d'anàlisi ben dissenyada i acurada, sí evidencia una major densitat nutricional global en els diferents cereals i vegetals

analitzats obtinguts de cultius agrícoles regeneratius, amb valors més elevats d'algunes vitamines i minerals, i sobretot un major contingut en fitoesterols. En aquesta línia concorda el treball de Zinatti et al.¹⁹, que descriu majors concentracions de calci, fòsfor i carotenoides en carbasses d'hivern conreades amb tècniques d'agricultura regenerativa. Els treballs de Cárceles et al.²⁰ i Fenster et al.²¹ amb l'anàlisi nutricional d'ametlles també descriuen efectes positius en la composició nutricional associats al maneig regeneratiu del sòl, en el primer cas evidenciant un major contingut en polifenols, i en el segon tan sols un augment significatiu del contingut en magnesi de les ametlles. En sentit contrari als anteriors resultats, únicament Pearsons et al.¹⁸ no van observar diferències en la qualitat nutricional dels cereals analitzats en relació amb el tipus de maneig del sòl, i sí van objectivar un descens en el rendiment quantitatiu de les collites.

Aquests resultats van en la mateixa línia que els obtinguts per Manzeke-Kangara et al.³⁸ en un treball de revisió que analitzava la influència de pràctiques concretes d'agricultura regenerativa sobre les concentracions de micronutrients en diferents tipus de conreus, i que va reportar evidència d'un augment de la concentració de determinats micronutrients en cultius amb maneig regeneratiu, destacant un augment significatiu de la concentració de vitamina C en els tomàquets o un augment dels nivells de zinc en l'arròs. Bourne et al.³⁹ van dur a terme una revisió extensa abordant la relació entre la salut del sòl i la qualitat nutricional de diversos tipus d'aliments, principalment amb el blat: en destaca l'associació positiva entre l'augment del carboni orgànic del sòl, el contingut en nitrogen del sòl i l'absorció de zinc dels cultius trobada en diversos estudis, i l'associació de l'augment de les concentracions de zinc del gra de blat amb les rotacions de cultius que van augmentar la colonització de les arrels del blat per "Arbuscular mycorrhizal fungi" i altres fongs; en general, però, pocs estudis van proporcionar evidència suficient d'un vincle entre les mesures de la salut del sòl i la qualitat nutricional dels cultius que fos rellevant per a la salut humana. Tots els autors coincideixen en les dificultats a l'hora d'avaluar i sintetitzar les dades obtingudes a causa de la diversitat de les condicions geogràfiques i dels diferents enfocaments d'agricultura regenerativa existents. I és que, malgrat tenir definits uns estàndards de pràctiques agrícoles com poden ser l'ús de cobertes vegetals, la reducció del llaurat o la rotació de cultius, no existeix una definició científica que descriu l'agricultura regenerativa de forma concisa⁴⁰. Schreefel et al.⁴¹ van dur a terme una revisió sistemàtica per trobar definicions d'agricultura regenerativa en la literatura científica, i proposaven definir-la com "un enfocament de l'agricultura que utilitza la conservació del sòl com a punt de partida per regenerar-se i contribuir no només a la millora del medi ambient, sinó també les dimensions social i econòmica de la producció sostenible d'aliments", mantenint així

aquest enfocament obert i ambigu. L'heterogeneïtat tan geogràfica com sobretot de pràctiques agrícoles queda també palesa en els articles de la present revisió (Pearsons et al.¹⁸ o Beelman et al.²² analitzen específicament el llaurat, Cárceles et al.²⁰ analitzen l'ús de cobertes vegetals, i Montgomery et al.¹⁷ i Zinati et al.¹⁹ estudien la combinació de diferents tècniques), i aquest factor pot ser limitant a l'hora d'interpretar els resultats.

Els resultats del treball de Beelman et al.²² mostren els beneficis de la reducció del llaurat del sòl sobre el contingut dels cereals en ergotioneïna (ERGO), partint de la hipòtesi que aquest tipus de maneig permet un major creixement de "Arbuscular mycorrhizal fungi", que juntament amb altres fongs i bacteris sapròfits, sintetitzarien l'ERGO i la transferirien a les plantes de conreu. D'aquesta manera, i tal com defensa juntament amb altres autors (Beelman et al.⁴²), s'establiria un vincle nutricional entre la salut del sòl i la salut humana a través de l'ERGO (**Figura 7**), a partir de les propietats antioxidants d'aquest aminoàcid i del seu potencial per prevenir o mitigar malalties cròniques relacionades amb l'envelliment, obrint així noves possibilitats de recerca en aquesta línia. La relació específica entre ERGO i salut s'abordarà en la darrera part de la discussió.

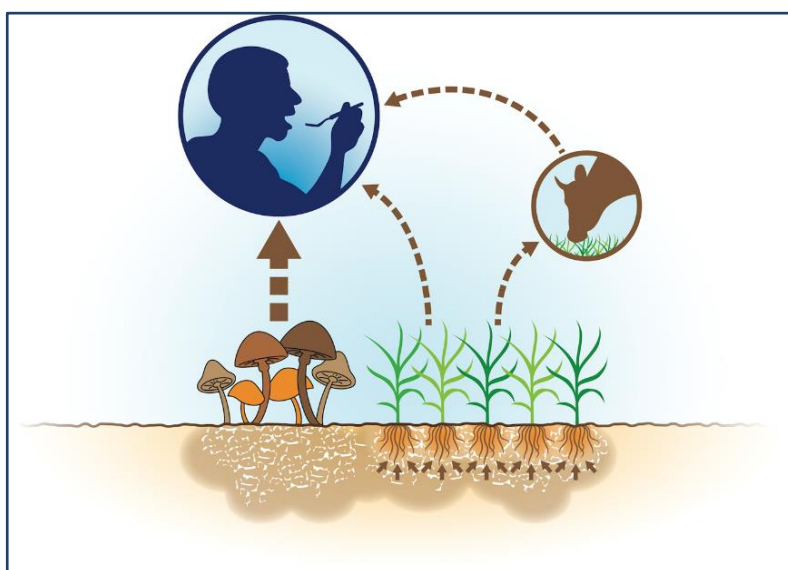


Figura 7. Fonts d'ERGO en la dieta humana a partir dels fongs del sòl. Font: Beelman et al.⁴²

Una major densitat o millor composició nutricional dels aliments obtinguts mitjançant el maneig regeneratiu del sòl podria relacionar-se amb un impacte positiu sobre la salut humana a través de la prevenció de malalties no transmissibles (MNT). Troesch et al.⁴³ i Markovic et al.⁴⁴ defensen que l'adopció de dietes riques en aliments més densos en nutrients i amb menor contingut energètic pot tenir un efecte beneficiós

significatiu sobre el risc de desenvolupar MNT com l'obesitat. Nombrosos estudis han demostrat que una dieta rica en polifenols és beneficiosa per a la salut humana i estaria relacionada amb la disminució del risc de diverses malalties cròniques com l'obesitat, la diabetis, les malalties cardiovasculars i les neurodegeneratives (Zhang et al.⁴⁵, Li et al.⁴⁶, Cory et al.⁴⁷), i una de les troballes significatives de la present revisió és precisament un major contingut en polifenols en els aliments procedents d'agricultura regenerativa en tots els treballs en què se'n va analitzar el contingut (Montgomery et al.¹⁷, Zinati et al.¹⁹, Cáceres et al.²⁰). Ara bé, cal tenir en compte que l'emmagatzematge i el processament dels aliments pot influir molt en la densitat nutricional o en el contingut final en fitoquímics⁴⁶ que aquests aliments tindran quan arribin als consumidors, que la cocció/preparació també pot afectar-ne el contingut o la biodisponibilitat. La direccionalitat de l'evidència "millor salut del sòl→aliments més nutritius→salut humana"¹⁰ semblaria clara a priori, però la complexitat d'aquesta interrelació i la implicació de molts altres factors, tan a nivell humà (amb el microbioma, la salut intestinal o l'estil de vida com a elements rellevants) com ambientals, fan molt difícil d'establir o generalitzar aquest nexa, i evidencien la necessitat de continuar investigant en aquest sentit.

En la segona part d'aquesta revisió s'ha abordat la relació entre la ingesta d'ERGO i els possibles efectes beneficiosos sobre la salut, a partir de les propietats antioxidants i citoprotectors d'aquest aminoàcid. L'existència d'un transportador específic per a ERGO (OCNT1) a l'intestí i a altres òrgans del cos, la capacitat de ser emmagatzemat i la seva metabolització lenta implicarien que pot tenir un rol important en la protecció dels teixits de l'organisme enfront el dany oxidatiu⁴⁸; aquesta tesi és recolzada pels resultats de l'assaig clínic realitzat per Cheah et al.²³ (**Taula 5A**). Apparoo et al.⁴⁹ van reportar un efecte de l'ERGO sobre la longevitat mitjançant la seva activitat antioxidant, destacant la seva capacitat per modular tant les cascades de transducció de senyals com l'expressió de gens relacionats amb l'envelliment. En aquest sentit, els nivells d'ERGO en sang semblen créixer en relació amb l'envelliment, tal com demostren les troballes de Sotgia et al.²⁴ (**Taula 5B**) referint que la concentració sèrica d'ERGO mostra una correlació inversa amb l'edat; Cheah et al.⁵⁰ van dur a terme un estudi de cohorts en el qual també van evidenciar que els nivells d'ERGO de sang disminueixen significativament més enllà dels 60 anys, i que a més, la deficiència en ERGO podria ser un factor de risc, predisposant al desenvolupament de malalties neurodegeneratives. Aquest mateix autor apareix com a investigador en nombrosos

articles publicats que estudien una possible relació entre l'ergotioneïna i el deteriorament cognitiu, entre els quals hi trobem el treball de Wu et al.²⁷ analitzat en aquesta revisió (**Taula 5E**), que defensa la utilitat de l'ERGO com a biomarcador predictiu del deteriorament cognitiu i el seu ús potencial com a suplement terapèutic en individus en fase de predemència amb dèficit d'ERGO. Liuzzi et al.⁵¹ també defensen que la suplementació o la ingesta dietètica d'aliments rics en antioxidants podria representar una intervenció preventiva i terapèutica eficaç per abordar les patologies neurodegeneratives associades a l'envelliment, centrant el seu treball en els components dels bolets comestibles amb propietats antioxidants, entre ells l'ERGO. El consum de bolets com a font d'ERGO i la seva associació amb el risc de mortalitat s'abora en l'extens estudi de cohorts de Ba et al.²⁵ analitzat en la revisió (**Taula 5C**), en el qual, malgrat no trobar cap associació amb causes de mortalitat específiques, el consum de bolets sí es va associar amb un menor risc de mortalitat global. En una revisió sistemàtica per avaluar la relació entre el consum de bolets i factors de risc i morbimortalitat relacionats amb malalties cardiometabòliques, i mencionant l'ERGO com a potencial agent protector, Uffelmann et al.⁵² reporten que un major consum de bolets redueix els triglicèrids en sang i la proteïna C reactiva ultrasensible, ambdós marcadors de salut cardiometabòlica, però no es va trobar evidència suficient per a altres resultats de salut cardiometabòlica. En canvi, en l'estudi de Smith et al.²⁶ (**Taula 5D**) en el qual es va investigar específicament la relació entre ERGO i la salut cardiovascular, els resultats demostrarien que l'ERGO plasmàtica és un marcador independent de menor risc de malaltia cardiometabòlica i mortalitat. En la línia dels estudis analitzats en la revisió, Paul et al.⁵³ revisen el potencial rol protector de l'ERGO a nivell cognitiu i cardiometabòlic, i defensen que consumir una dieta rica en ERGO pot resultar beneficiós. En canvi, Lam-Sidun et al.⁵⁴ analitzen el possible ús medicinal dels bolets pel potencial ús preventiu i terapèutic de l'ERGO en les malalties cardiometabòliques, i adverteixen que els efectes in vivo de l'ERGO no són clars, i que fins al moment no es disposa d'evidència directa i prospectiva que vinculi el consum de bolets o la ingesta d'ERGO i els beneficis cardiometabòlics en humans.

Fortaleses i limitacions.

Aquesta revisió presenta diverses limitacions, tant a nivell dels resultats de la recerca bibliogràfica com en la metodologia d'alguns dels articles.

En la primera part de la revisió es van haver de descartar la majoria d'articles pel fet de tractar-se de revisions i no d'estudis primaris. Per altra banda, el fet de plantejar la recerca bibliogràfica amb el terme ampli "agricultura regenerativa" i de no incloure en l'estratègia de cerca termes referents a pràctiques agrícoles concretes va limitar molt el nombre de referències obtingudes que s'ajustessin als objectius inicials de la recerca. És per aquest motiu que, a partir l'article de Beelman et al.²², es va completar la revisió incorporant un segon àmbit investigable a partir de l'ergotioneïna com a nutrient nexe entre el sòl i els aliments. La influència de la geografia, la climatologia i les varietats agrícoles conreades en els resultats de densitat nutricional dels aliments és innegable, i malgrat tractar-se d'estudis metodològicament ben dissenyats, caldrà més recerca per corroborar que els resultats obtinguts amb agricultura regenerativa poden ser reproduïbles en condicions ambientals diverses.

En la segona part de la revisió el nombre d'articles inclosos també ha estat escàs, sobretot pel fet que existeixen pocs estudis primaris publicats sobre ergotioneïna en humans, i la majoria són en models "in vitro" o animals. El fet d'utilitzar el terme ampli "salut" en l'estratègia de cerca no ha permès obtenir suficients resultats per a relacionar l'ergotioneïna amb patologies concretes. Pel que fa a la metodologia dels estudis revisats, les limitacions en el disseny (estudis de cohorts i transversal, i l'únic assaig clínic aleatoritzat tenia una mostra molt petita) i en la forma de valorar la ingesta o els patrons dietètics dels participants (mitjançant qüestionaris administrats únicament a l'inici dels estudis) fan que els treballs analitzats tinguin un risc alt de biaixos.

Malgrat les limitacions exposades, i malgrat que no ha estat possible aportar evidència suficient sobre una relació directa entre salut del sòl i salut humana, aquesta revisió té com a principal fortaleza el fet d'estudiar aquest vincle a partir de la nutrició, més enllà de la sostenibilitat mediambiental. Aquest enfocament nutricional ha permès explorar un component nutricional beneficiós procedent de sòls saludables, l'ergotioneïna, i constitueix un punt de partida per a noves vies de recerca en el camp de les ciències de la salut per a la seva potencial utilitat en l'abordatge de les MNT i les malalties relacionades amb l'envelliment.

6 - Aplicabilitat i noves línies de recerca

La recerca en nutrició en el vessant de la sostenibilitat alimentària ha d'implicar també un coneixement de la dimensió agrícola, que permeti comprendre les característiques dels aliments i el seu impacte sobre la salut a partir del seu origen i de com han estat produïts. Amb l'estudi de l'agricultura regenerativa, examinant específicament la interacció entre l'equilibri del sòl i la densitat de nutrients dels conreus, s'obren múltiples línies de recerca en el camp de l'agroenginyeria, potser allunyades de les ciències de la salut, però que és important que els agents implicats en la salut i la nutrició de la població també coneguin, per tal de promoure estudis en aquest àmbit o d'implicar-s'hi directament. Ebbott et al.⁵⁵ defensen que la incorporació d'una experiència immersiva en agricultura regenerativa en la formació dels estudiants de ciències de la salut pot proporcionar-los una comprensió tan des de la vessant clínica com de salut pública dels aliments com a medicina, ajudar-los a entendre a les MNT a nivell epidèmic des del sòl fins a l'intestí a través dels aliments, i capacitar-los per assessorar millor els pacients, la comunitat i els agents implicats en recerca.

La incorporació d'informació nutricional sobre aliments procedents d'agricultura regenerativa, amb un distintiu a l'etiquetat com ja es fa amb els aliments procedents d'agricultura ecològica, pot obrir una nova via per difondre les pràctiques agrícoles respectuoses amb el sòl en l'àmbit poblacional. Als Estats Units ja existeix un "certificat orgànic regeneratiu" (ROC®) des del 2017 per a aliments, tèxtils i productes d'higiene personal⁵⁶. En territori espanyol, recentment s'ha implantat una certificació en agricultura regenerativa per a productors⁵⁷, i grans empreses de la indústria alimentària també estan fent passes per fomentar aquestes pràctiques agrícoles⁵⁸, però aquesta informació passa desapercebuda al gran gruix de consumidors. Segons Martini et al.⁵⁹, només un 20% de les guies alimentàries recents incorporaven el concepte de sostenibilitat en les seves recomanacions. Bach-Faig et al.⁶⁰, a partir d'un estudi qualitatiu emmarcat dins el projecte de la OMS "Dietary Patterns for Health and Sustainability", defineixen possibles accions basades en consells d'experts per millorar el patró de sostenibilitat alimentària de la població, recomanant precisament que les guies alimentàries facin més per garantir que els patrons dietètics reflecteixin els objectius de sostenibilitat, i mencionant la necessitat d'educació i d'informació com a eines necessàries per aconseguir-ho.

A partir d'aquestes reflexions, es planteja una proposta d'intervenció per formar als futurs dietistes/nutricionistes en continguts de sostenibilitat alimentària relacionats amb l'agricultura regenerativa.

Títol:

“Proposta d’intervenció educativa per adquirir coneixements sobre sostenibilitat alimentària a partir de l’agricultura regenerativa”.

Objectiu principal:

- Capacitar els futurs dietistes/nutricionistes per identificar pràctiques d’agricultura en clau de sostenibilitat ambiental i alimentària.

Objectius específics:

- Oferir coneixements teòrics i pràctics sobre agricultura regenerativa.
- Millorar els coneixements sobre la relació entre el maneig del sòl agrícola i les repercussions en els aliments obtinguts.
- Generar interès per a possibles futures recerques en aquest camp.

Metodologia:

- Població diana: estudiants de l’últim curs del grau en Nutrició humana i Dietètica de la Universitat Oberta de Catalunya.
- Continguts:
 - Mòdul teòric (4 hores): curs d’iniciació a l’agricultura regenerativa en format “online”, amb contingut audiovisual (videoclasses) i contingut escrit (dossier teòric i propostes de lectures complementàries), elaborat per professionals amb experiència en formació en aquest camp⁶¹.
 - Mòdul pràctic (4 hores): visita guiada a la finca regenerativa Can Font, de Pedret i Marzà (Alt Empordà).

Pla d’avaluació:

- Qüestionari d’autoavaluació previ.
- Qüestionari final d’assoliment de continguts teòrics.
- Enquesta final de satisfacció.

Tant la revisió presentada com la proposta d'intervenció poden contribuir de forma directa a la consecució de l'**Objectiu de Desenvolupament Sostenible 13 "Acció pel clima"**, concretament a la meta 13.3: "*Millorar l'educació, la sensibilització i la capacitat humana i institucional respecte de la mitigació del canvi climàtic, l'adaptació a ell, la reducció dels efectes i l'alerta primerenca*". A llarg termini, poden generar un impacte positiu en la meta 3.4 de l'**Objectiu de Desenvolupament Sostenible 3 "Salut i Benestar"**, que per al 2030 pretén "*reduir en un terç la mortalitat prematura per malalties no transmissibles mitjançant la prevenció i el tractament, i promoure la salut mental i el benestar*"³ (Figura 8).



Figura 8. Objectius de Desenvolupament Sostenible. Font: <https://es.unesco.org/sdgs>

7 - Conclusions

El manteniment de la seguretat alimentària de la població mundial, juntament amb la necessitat de protecció mediambiental del planeta, fan necessàries accions de transformació dels sistemes alimentaris a nivell global a través de mesures tant de mitigació del canvi climàtic com també d'adaptació d'aquests sistemes alimentaris. L'agricultura regenerativa concilia aquesta doble necessitat a partir de pràctiques dirigides a la restauració de la biodiversitat i a la gestió sostenible de la salut del sòl.

El microbioma i la composició del sòl influeixen en l'absorció de nutrients i salut de les plantes, establint-se així un possible nexa entre agricultura regenerativa i salut humana, tant a partir de la densitat nutricional dels aliments com a través de nutrients concrets com l'ergotioneïna, un aminoàcid amb propietats antioxidants produït per fongs i micobacteris al sòl que només s'adquireix a través la dieta, i que podria tenir un rol beneficiós en la prevenció de MNT i de patologies relacionades amb l'envelliment.

En conjunt, l'evidència sobre els vincles entre les pràctiques de l'agricultura regenerativa i la qualitat nutricional dels cultius és actualment limitada. Els resultats globals han demostrat efectes positius de l'agricultura regenerativa sobre les concentracions de determinats micronutrients i fitoquímics dels aliments, però tant la diversitat geogràfica com els diferents enfocaments d'agricultura regenerativa existents dificulten la possible extrapolació dels resultats obtinguts en altres contextos. No ha estat possible aportar evidència suficient sobre una relació directa entre la salut del sòl i la densitat nutricional dels cultius amb la salut humana, i s'ha plantejat la hipòtesi d'un possible vincle nutricional entre la salut del sòl i la salut humana a través de l'ergotioneïna.

Les propietats antioxidants demostrades de l'ergotioneïna, el decreixement dels seus nivells amb l'envelliment i el seu possible rol neuroprotector i citoprotector portarien a concloure que consumir una dieta rica en ergotioneïna podria resultar beneficiós per a la salut, però en el moment actual no es disposa d'evidència robusta i directa que vinculi la ingesta d'ergotioneïna amb beneficis sobre MNT o malalties relacionades amb l'envelliment en humans, i es requereix major recerca amb assajos clínics ben definits de prevenció i intervenció en aquestes patologies.

La recerca en nutrició en el vessant de la sostenibilitat alimentària obre noves línies de treball, i l'adquisició de competències en aquest àmbit per part dels professionals de la salut i la nutrició esdevé necessària per tal d'implicar-los tant en la generació de nova evidència científica com en la difusió adequada a la població.

8 - Bibliografia

1. FAO and WHO. Sustainable healthy diets-Guiding principles. Rome. 2019. [Internet] [consultat 29 octubre 2023]. Disponible a: <https://doi.org/10.4060/CA6640EN>
2. IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. Disponible a: doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
3. United Nations. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. [Internet] [consultat 29 octubre 2023]. Disponible a: <https://sdgs.un.org/2030agenda>
4. Zurek M, Hebnick A, Selomane O. Climate change and the urgency to transform food systems. *Science* [Internet]. 2022 [consultat 29 octubre 2023]; **376**, 1416-1421. Disponible a: DOI:[10.1126/science.abo2364](https://doi.org/10.1126/science.abo2364)
5. Lal R. Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation* [Internet] 2020 [consultat 1 novembre 2023], 75(5): 123A-124A. Disponible a: doi:10.2489/jswc.2020.0620A
6. EASAC. Regenerative agriculture in Europe. A critical analysis of contributions to European Union Farm to Fork and Biodiversity strategies. Halle: EASAC, 2022. 70p. Disponible a: www.easac.eu
7. Mie A. et al. Human health implications of organic food and organic agriculture: a comprehensive review. *Environmental Health* [Internet]. 2017 [consultat 3 novembre 2023], 16:11. Disponible a: DOI 10.1186/s12940-017-0315-4
8. Mercola J. 6 razones principales para apoyar la agricultura regenerativa. Data publicació: 10 agost 2019 [consultat 29 octubre 2023]. A: Regeneration International [Internet]. Disponible:<https://regenerationinternational.org/2019/10/08/6-razones-principales-para-apoyar-la-agricultura-regenerativa/>

9. Montgomery DR and Biklé A. Soil Health and Nutrient Density: Beyond Organic vs. Conventional Farming. *Front. Sustain. Food Syst.* [Internet]. 2021 [consultat 2 desembre 2023], 5:699147. Disponible: doi: 10.3389/fsufs.2021.699147
10. LeZaks D, Ellerton M. The Regenerative Agriculture and Human Health Nexus: Insights from Field to Body. Durham: The Croatan Institute, 2021. 35p. Disponible a: https://croataninstitute.org/wp-content/uploads/2021/09/RegenAg_HumanHealth_2021.pdf
11. Beelman, R.B., Phillips, A.T., Richie, J.P., Jr, Ba, D.M., Duiker, S.W. and Kalaras, M.D. Health consequences of improving the content of ergothioneine in the food supply. *FEBS Lett.* [Internet] 2022 [consultat 10 desembre 2023]; 596:1231-1240. Disponible a: <https://doi.org/10.1002/1873-3468.14268>
12. Carrara JE, Lehotay SJ, Lightfiel AR, Sun D, Richie JP. Jr, Smith AH, Heller, WP. Linking soil health to human health: Arbuscular mycorrhizae play a key role in plant uptake of the antioxidant ergothioneine from soils. *Plants, People, Planet* [Internet]. 2023 [consultat 2 desembre 2023]; 5(3), 449–458. Disponible a: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10365>
13. Tian X, Thorne JL, Moore JB. Ergothioneine: an underrecognised dietary micronutrient required for healthy ageing? *Br J Nutr.* [Internet] 2023 Jan [consultat 3 desembre 2023]; 14;129(1):104-114. Disponible a: doi: 10.1017/S0007114522003592.
14. WHO. Noncommunicable diseases. [Internet] [consultat 4 novembre 2023]. Disponible a: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
15. Page M, et alt. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev. Esp. Cardiol.* [Internet] 2021 [consultat 30 novembre 2023]; 74(9); 790-799 Disponible a: <http://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
16. Hollier C. La mejor práctica para la búsqueda bibliográfica. IFIS [Internet] [consultat 30 novembre 2023]. Disponible a: https://ifis.libguides.com/spanish_best_practice

- 17.** Montgomery DR, Bickle A, Archuleta R, Brown P, Jordan J. Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. *PeerJ* [Internet]. 2022, 10:e12848. Disponible a: DOI 10.7717/peerj12848
- 18.** Pearsons KA, Omondi EC, Heins BJ, Zinati G, Smith A, Rui Y. Reducing tillage affects long-term yields but not grain quality of maize, soybeans, oats and wheat produced in three contrasting farming systems. *Sustainability* [Internet]. 2022, 14, 631. Disponible a: <http://doi.org/103390/su14020631>
- 19.** Zinati G, Lavanya R, Kemper D. Reduced-Tillage Increases Nutrient Concentrations in Stored Winter Squash: Carotene, Lutein, Phosphorus and Calcium. *Rodale Inst.* [Internet] 2019. Disponible a: <https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Rodale-Institute-Reduced-Tillage-Nutrient-Winter-Squash-Article.pdf>
- 20.** Cárceles Rodríguez B; Durán Zuazo VH; Herencia Galán JF; Lipan L; Soriano M; Hernández F; et al. Soil Management Strategies in Organic Almond Orchards: Implications for Soil Rehabilitation and Nut Quality. *Agronomy* [Internet] 2023, 13, 749. Disponible a: <https://doi.org/10.3390/agronomy13030749>
- 21.** Fenster TLD, Oikawa PY, Lundgren JG. Regenerative almond production systems improve soil health, biodiversity, and profit. *Front. Sustain. Food Syst.* [Internet]. 2021, 5:664359. Disponible a: doi: 10.3389/fsufs.2021.664359
- 22.** Beelman RB, Richie JP, Jr, Phillips AT, Kalaras MD, Sun D, Duiker SW. Soil disturbance impact on crop ergothioneine content connects soil and human health. *Agronomy* [Internet]. 2021, 11, 2278. Disponible a: <https://doi.org/10.3390/agronomy11112278>
- 23.** Cheah IK, Tang RM, Yew T, Lim K, and Halliwell B. Administration of Pure Ergothioneine to Healthy Human Subjects: Uptake, Metabolism, and Effects on Biomarkers of Oxidative Damage and Inflammation. *Antioxidants & Redox Signaling* [Internet] 2017 26:5, 193-206. Disponible a: doi: 10.1089/ars.2016.6778
- 24.** Sotgia S, Zinellu A, Mangoni AA, Pintus G, Attia J, et al. Clinical and Biochemical Correlates of Serum L-Ergothioneine Concentrations in Community-Dwelling Middle-Aged and Older Adults. *PLoS ONE* [Internet] 2014, 9(1): e84918. Disponible a: doi:10.1371/journal.pone.0084918

- 25.** Ba DM, Gao X, Muscat J, Chinchilli V, Zhang, X et al. Association of mushroom consumption with all-cause and cause-specific mortality among American adults: prospective cohort study findings from NHANES III. *Nutrition Journal* [Internet] 2021, 20:38. Disponible a: <https://doi.org/10.1186/s12937-021-00691-8>.
- 26.** Smith E, Ottosson F, Hellstrand S, et al. Ergothioneine is associated with reduced mortality and decreased risk of cardiovascular disease. *Heart* [Internet] 2020;106:691–697. Disponible: doi: 10.1136/heartjnl-2019-315485
- 27.** Wu LY, Kan CN, Cheah IK, Chong JR, Xu X, Vrooman H, Hilal S, et al. Low Plasma Ergothioneine Predicts Cognitive and Functional Decline in an Elderly Cohort Attending Memory Clinics. *Antioxidants* [Internet] 2022, Aug 30;11(9):1717. Disponible: doi: 10.3390/antiox11091717.
- 28.** Romanello M, di Napoli C, Green C, Kennard H, Lampard P, Scamman D et al. The 2023 Report of the Lancet Countdown on health and climate-change: the imperative of a health-centred response in a world facing irreversible harms. *The Lancet* [Internet]. 2023 [consultat 7 gener 2024], vol 402, issue 10419, p 2346-2394. Disponible a: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)01859-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)01859-7).
- 29.** FAO. La COP28 inicia el proceso de una hoja de ruta mundial para erradicar el hambre dentro del límite de 1,5 °C. [Internet] Data publicació: 10 desembre 2023. [consultat 7 gener 2024]. Disponible: <https://www.fao.org/newsroom/detail/cop28-fao-launches-global-roadmap-process-to-eradicate-hunger/es>
- 30.** Dhimal M, Neupane T, Lamichhane Dhimal M. Understanding linkages between environmental risk factors and noncommunicable diseases-A review. *FASEB Bioadv.* [Internet] 2021 Mar [consultat 4 gener 2024]; 4;3(5):287-294. Disponible a: doi: 10.1096/fba.2020-00119.
- 31.** Schattman RE, Rowland DL, Kelemen SC. Sustainable and regenerative agriculture: Tools to address food insecurity and climate change. *Journal of Soil and Water Conservation.* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 78(3), 33A-38A. Disponible a: doi:10.2489/jswc.2023.1202A
- 32.** Ntawuhiganayo EB, Nijman-Ross E, Geme T, Negesa D, Nahimana S. Assessing the adoption of regenerative agricultural practices in Eastern Africa. *Front. Sustain.* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 4:1105846. Disponible a: doi: 10.3389/frsus.2023.1105846

- 33.** Heider K, Rodriguez Lopez JM, Bischof A, Balbo AL, Schefran J. Toward climate-resilient and biodiverse agriculture in the Mediterranean region: experiences and perceptions of farmers engaged in sustainable food production *Org. Agr.* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 13:513–529. Disponible a: <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00444-3>
- 34.** LaCanne CE., Lundgren JG. Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably. *Peer J.* [Internet] 2018 [consultat 3 gener 2024]; 6, 1-12. Disponible a: <https://doi.org/10.7717/peerj.4428>
- 35.** Khangura R., Ferris D., Wagg C., Bowyer J. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 15 (3), art. no. 2338. Disponible a: DOI: 10.3390/su15032338
- 36.** Singh I, Hussain M, Manjunath G, Chandra N and Ravikanth G. Regenerative agriculture augments bacterial community structure for a healthier soil and agriculture. *Front. Agron.* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 5:1134514. Disponible a: doi: 10.3389/fagro.2023.1134514
- 37.** White C. Why Regenerative Agriculture? *American Journal of Economics and Sociology.* [Internet] 2020 [consultat 7 gener 2024], Vol. 79, No. 3. Disponible a: DOI: 10.1111/ajes.12334
- 38.** Manzeke-Kangara MG, Joy EJM, Lark RM, Redfern S, Eilander A, Broadley MR. Do agronomic approaches aligned to regenerative agriculture improve the micronutrient concentrations of edible portions of crops? A scoping review of evidence. *Frontiers in Nutrition.* [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], 10:1078667. Disponible a: doi: 10.3389/fnut.2023.1078667
- 39.** Bourne D, Griffin TS, Honeycutt CW. Exploring the relationship between soil health and food nutritional quality: a summary of research literature. 2022. [consultat 8 gener 2024]. Disponible: <https://soilhealthinstitute.org/app/uploads/2022/02/SHI-Food-Nutritional-Study-2022.pdf>
- 40.** Elevitch CR, Mazaroli DN, Ragone D. Agroforestry standards for regenerative agriculture. *Sustain* [Internet] 2018 [consultat 3 gener 2024]; 10, 1–21. Disponible a: <https://doi.org/10.3390/su10093337>.

41. Schreefel L, Schulte RPO, de Boer IJM et al. Regenerative agriculture-the soil is the base. *Global Food Security*. [Internet] 2020 [consultat 3 gener 2024]; 26, 100404. Disponible: DOI: 10.1016/j.gfs.2020.100404
42. Beelman RB, Kalaras MD, Phillips AT, Richie JP. Is ergothioneine a “longevity vitamin” limited in the American diet? *Journal of Nutritional Science*. [Internet] 2020 [consultat 9 gener 2024]; 9:e52. Disponible a: doi:10.1017/jns.2020.44
43. Troesch B, Biesalski HK, Bos R, Buskens E, Calder PC, Saris WH, Spieldenner J, Verkade HJ, Weber P, Eggersdorfer M. Increased Intake of Foods with High Nutrient Density Can Help to Break the Intergenerational Cycle of Malnutrition and Obesity. *Nutrients*. [Internet] 2015 Jul [consultat 5 gener 2024]; 21;7(7):6016-37. Disponible a: doi: 10.3390/nu7075266
44. Markovic TP, Natoli SJ. Paradoxical nutritional deficiency in overweight and obesity: the importance of nutrient density. *Medical Journal of Australia*. [Internet] 2009 [consultat 5 gener 2024]; 190: 149-151. Disponible a: <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2009.tb02319.x>
45. Zhang Y, Balasooriya H, Sirisena S, Ken Ng. The effectiveness of dietary polyphenols in obesity management: A systematic review and meta-analysis of human clinical trials. *Food Chemistry*. [Internet] 2023 [consultat 5 gener 2024], Volume 404, Part B,134668. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134668>.
46. Li W, Chen H, Xu B, Wang Y, Zhang C, Cao Y, Xing X. Research progress on classification, sources and functions of dietary polyphenols for prevention and treatment of chronic diseases. *Journal of Future Foods*. [Internet] 2023 [consultat 7 gener 2024], Vol 3, Issue 4, Pag 289-305. Disponible a: <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2023.03.001>.
47. Cory H, Passarelli S, Szeto J, Tamez M and Mattei J. The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review. *Front. Nutr*. [Internet] 2018 [consultat 7 gener 2024], 5:87. Disponible a: doi: 10.3389/fnut.2018.00087
48. Halliwell B, Tang RMY, Cheah IK. Diet-Derived Antioxidants: The Special Case of Ergothioneine. *Annu Rev Food Sci Technol*. [Internet] 2023 Mar [consultat 12 gener 2024]; 27;14:323-345]. Disponible: doi: 10.1146/annurev-food-060822-122236
49. Apparoo Y, Phan CW, Kuppusamy UR, Sabaratnam V. Ergothioneine and its prospects as an anti-ageing compound. *Exp. Gerontol*. [Internet] 2022 [consultat 12 gener 2024], 170, 111982. Disponible a: doi: 10.1016/j.exger.2022.111982

- 50.** Cheah IK, Feng L, Tang RMY, Lim KHC, and Halliwell B. Ergothioneine levels in an elderly population decrease with age and incidence of cognitive decline; a risk factor for neurodegeneration? *Biochem Biophys Res Commun*. [Internet] 2016 [consultat 12 gener 2024], 478: 162–167. Disponible a: DOI: 10.1016/j.bbrc.2016.07.074.
- 51.** Liuzzi GM, Petraglia T, Latronico T, Crescenzi A, Rossano R. Antioxidant Compounds from Edible Mushrooms as Potential Candidates for Treating Age-Related Neurodegenerative Diseases. *Nutrients*. [Internet] 2023 Apr [consultat 12 gener 2024]; 15;15(8):1913. Disponible: doi: 10.3390/nu15081913
- 52.** Uffelmann CN, Chan NI, Davis, EM, Wang Y, McGowan BS, Campbell WW. An Assessment of Mushroom Consumption on Cardiometabolic Disease Risk Factors and Morbidities in Humans: A Systematic Review. *Nutrients* [Internet] 2023 [consultat 12 gener 2024], 15, 1079. Disponible a: <https://doi.org/10.3390/nu15051079>
- 53.** Paul BD. Ergothioneine: A Stress Vitamin with Antiaging, Vascular, and Neuroprotective Roles? *Antioxid Redox Signal*. [Internet] 2022 Jun [consultat 12 gener 2024]; 36(16-18):1306-1317. Disponible a: doi: 10.1089/ars.2021.0043
- 54.** Lam-Sidun D, Peters KM, Borradaile NM. Mushroom-Derived Medicine? Preclinical Studies Suggest Potential Benefits of Ergothioneine for Cardiometabolic Health. *Int J Mol Sci*. [Internet] 2021 Mar [consultat 12 gener 2024]; 23;22(6):3246. Disponible a: doi: 10.3390/ijms22063246
- 55.** Ebbott D, Papanagnou D. What regenerative agriculture can teach medical students about human health. *International Journal of Medical Education*. [Internet]. 2023 [consultat 4 gener 2024];14:63-64. Disponible a: DOI: 10.5116/ijme.6463.4962.
- 56.** Rodale Institute. Regenerative Organic Certified. [Internet] [consultat 4 gener 2024]. Disponible a: <https://rodaleinstitute.org/regenerative-organic-certification/>
- 57.** Martín Olmos L. AENOR certifica la Agricultura Regenerativa del Campo Español. Tecnología Hortícola [Internet] Publicat 22.11.2023 [consultat 4 gener 2024]. Disponible: <https://www.tecnologiahorticola.com/aenor-certifica-agricultura-regenerativa-campo-espanol/>
- 58.** Nestlé. Agricultura regenerativa. [Internet] [consultat 4 gener 2024]. Disponible: <https://empresa.nestle.es/ca/cvc/iniciatives-globals/generation-regeneration/agricultura-regenerativa>

- 59.** Martini D, Tucci M, Bradfield J, Di Giorgio A, Marino M, Bo' CD, Porrini M, Riso P. Principles of sustainable healthy diets in worldwide dietary guidelines: efforts so far and future perspectives. *Nutrients*. [Internet] 2021 [consultat 4 gener 2024]; 13(6):1827. Disponible a: <https://doi.org/10.3390/nu13061827>
- 60.** Bach-Faig A, Wickramasinghe K, Panadero N. *et al.* Consensus-building around the conceptualisation and implementation of sustainable healthy diets: a foundation for policymakers. *BMC Public Health* [Internet]. 2022 [consultat 4 gener 2024], 22, 1480. Disponible a: <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13756-y>
- 61.** The Regen Academy. Iniciación a la agricultura regenerativa. [Internet] [consultat 14 gener 2024]. Disponible a: <https://theregenacademy.com/the-regen-360/iniciacion-a-la-agricultura-regenerativa/>