

3.3. Assecatge solar

L'assecatge solar és un **procés físic** que aprofita la **radiació del sol** per evaporar aigua amb diferents propòsits. És una tecnologia que ja s'aplica a escala industrial en àmbits tan diferents com ara la deshidratació de productes alimentaris, salmorres i fangs de depuradora. Més recentment, aquest procés també s'ha començat a utilitzar per al tractament de les dejeccions ramaderes amb l'objectiu de **reduir-ne el contingut d'aigua**.

Per tal d'assolir temperatures prou elevades, el procés d'assecatge es realitza en un hivernacle amb aeració forçada per extreure'n la humitat ambiental de l'interior. En el cas de les dejeccions, és fonamental controlar les emissions d'amoníac, gasos d'efecte hivernacle i les males olors.



3.3.1. Fonament científic-tècnic

La finalitat de **concentrar els nutrients** de les dejeccions ramaderes per **facilitar-ne l'exportació** es pot assolir mitjançant l'aplicació de calor per evaporar l'aigua que contenen. Cal tenir en compte, però, que l'energia necessària per evaporar 1 m3 d'aigua és de 2.442 MJ, quantitat que equival a la crema d'uns 70 litres de gasolina o a 64 m3 de gas natural. Aquests requeriments energètics tan elevats fa que la utilització de fonts d'energia convencionals per a aquest propòsit sigui sovint inviable econòmicament i ambientalment. Per altra banda, l'energia solar és un dels recursos més abundants en l'àmbit del clima mediterrani. Per fer-nos una idea de la magnitud d'aquesta font d'energia renovable, la mitjana anual d'irradiació diària a Catalunya oscil·la entre un 12 i 17 MJ/m2 (Figura 3.3.1).

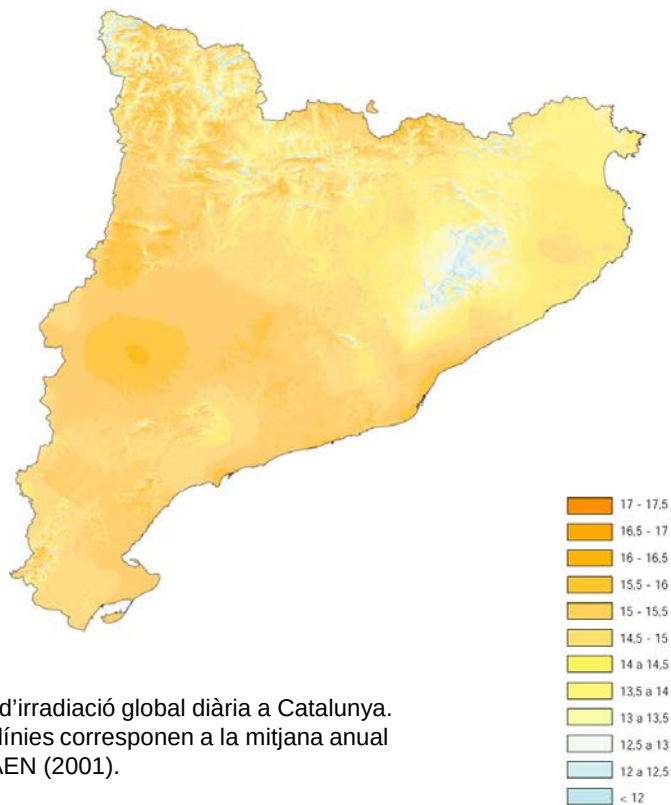


Figura 3.3.1. Mapa d'irradiació global diària a Catalunya. Els valors de les isolínies corresponen a la mitjana anual (MJ/m²/d). Font: ICAEN (2001).

Existeixen diferents dissenys d'assecadors solars industrials (Taula 3.3.1). Aquests es classifiquen en dos grans grups, en funció de si el flux d'aire s'impulsa per convecció natural (**assecador passiu**) o si ho fa per ventilació forçada (**assecador actiu**), respectivament. Independentment d'aquest fet, també hi ha l'opció d'escalfar l'aire al mateix compartiment on hi ha el material a assecar (**assecador directe**) o es pot fer en un compartiment a part específic per a aquest propòsit (**assecador indirecte**). Els primers solen consistir en hivernacles o gabinets que poden incloure col·lectors inversos, mentre que per als segons s'utilitzen diferents configuracions, generalment en forma de túnel, que poden tenir sistemes d'emmagatzematge tèrmic al mateix compartiment on s'escalfa l'aire. Cal tenir en compte que en alguns casos també hi ha sistemes híbrids d'assecatge passiu/actiu i directes/indirectes (no inclosos a la Taula 3.3.1).

Sistemes d'assecatge solar	Assecatge passiu (convecció natural)	Directes	Tipus gabinet (-)
	Assecatge actiu (ventilació forçada)	Indirectes (-)	Tipus hivernacle (+++)

Figura 3.3.2. Classificació dels principals sistemes d'assecatge solar i nivell d'implementació en el marc agrari: alt (+++), mitjà (++) , baix (+), no utilitzat (-).

3.3.2. Implementació a la granja

L'element clau d'aquesta tecnologia és l'hivernacle que, encara que tingui similituds amb els utilitzats en horticultura, ha de tenir certes particularitats en el seu disseny (Taula 3.3.1). L'assecatge solar s'aplica principalment tant als fems i purins com a les fraccions sòlides d'aquests darrers (Figura 3.3.3). Els purins, un cop acidificats a un pH inferior a 6,5 es depositen en basses de poca profunditat dins d'hivernacles (menys 40 cm) per tal de maximitzar l'àrea de contacte amb l'aire. En aquest darrer cas, sovint cal instal·lar un sistema mecànic per trencar la crosta superficial i facilitar l'evaporació. Pel que fa als fems i a la fracció sòlida dels purins, no cal acidificar-les però sí convé voltejar-les amb una certa freqüència per accelerar-ne el procés d'assecatge. És important que els equips i materials utilitzats en la construcció de l'hivernacle siguin resistent a la corrosió resultant de la utilització d'àcid, la presència d'amoníac i a la temperatura i la humitat relativament altes. Per tal d'operar el sistema de forma òptima, cal implementar un sistema de control automàtic que ajusti l'acidificació del purí i la intensitat/freqüència d'aeració en funció de la temperatura i la humitat relativa dins i fora de l'hivernacle. Les sortides d'aire de l'hivernacle han de disposar de biofiltres per tal d'eliminar les males olors i les emissions residuals d'amoníac (vegeu punt 3.3.6).

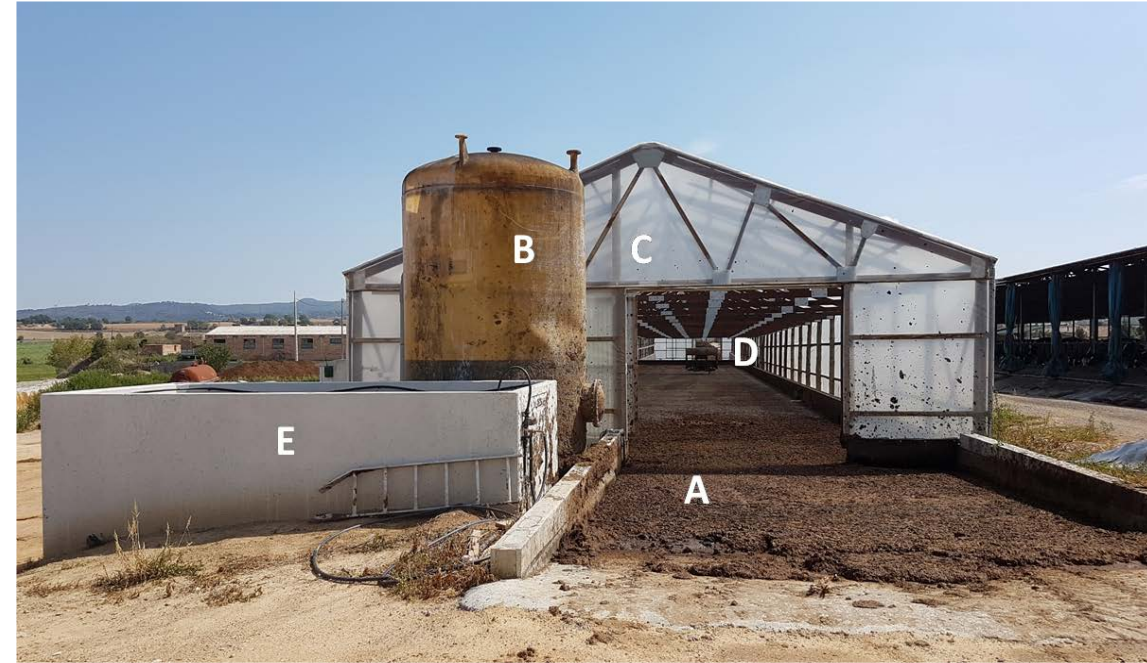


Figura 3.3.3. Imatge superior: Planta d'assecatge solar per al tractament dels purins d'una granja mixta de porcí i de vaquí, que consta d'una zona de càrrega i acidificació del purí (A), tanc d'emmagatzematge d'àcid sulfúric (B), hivernacle (C) i màquina desencrostadora (D). Imatge inferior: Planta d'assecatge solar de la fracció sòlida de purins d'una granja de porcs d'engreix.

Taula 3.3.1. Elements bàsics d'una planta d'assecatge solar de les dejeccions ramaderes.

Infraestructures

- Hivernacle: Convé que estigui construït amb materials resistents a la corrosió i que sigui visitable per a la maquinària agrícola. Ha d'estar aïllat del terra amb una plataforma impermeable, semblant al cas del compostatge, de forma que es puguin acumular les dejeccions.

Equips

- Sistema d'acidificació: Dissenyat per a poder baixar el pH del purí a mesura que es descarrega a l'interior de l'hivernacle.
- Sistema d'aeració: Ventiladors d'impulsió i/o extracció d'aire de dins de l'hivernacle.
- Biofiltre: Per al tractament de l'aire de sortida amb la finalitat d'eliminar les males olors i l'amoníac que es pugui emetre, sobretot durant les fases inicials.
- Màquina descrostadora/voltejadora: Per trencar la crosta que es forma a la superfície dels purins a mesura que s'assequen i millorar l'assecatge dels sòlids.
- Tractor amb pala i remolc: Per moure els materials d'entrada i sortida.

Elements de control

- Sondes d'humitat i temperatura ambiental: Per conèixer l'evolució de la temperatura a l'interior i l'exterior de l'hivernacle, que facin d'actuadors a l'hora d'activar el sistema de ventilació d'acord amb uns paràmetres preestablerts.
- Mesurador del pH: Per comprovar que el purí assoleix el nivell d'acidesa necessari per evitar la volatilització de l'amoníac.

Additius i altres materials

- Àcid: Normalment, àcid sulfúric (o algun altre àcid inorgànic), àcids orgànics o microorganismes acidificants (bioacidificació).



3.3.3. Eficiència del procés

El principal paràmetre de mesura de l'eficiència del procés és la quantitat d'aigua evaporada per unitat de superfície exposada de les dejeccions i dia (ES), i que normalment s'expressa en litres d'aigua per metre quadrat i dia (L/m²/d). Si les condicions de ventilació són les adequades, el valor d'ES vindrà determinat per la temperatura que s'assoleix dins l'hivernacle, valor que depèn en gran mesura de la radiació solar incident i de les característiques del propi hivernacle (transmitància de la llum, aïllament tèrmic, etc.).

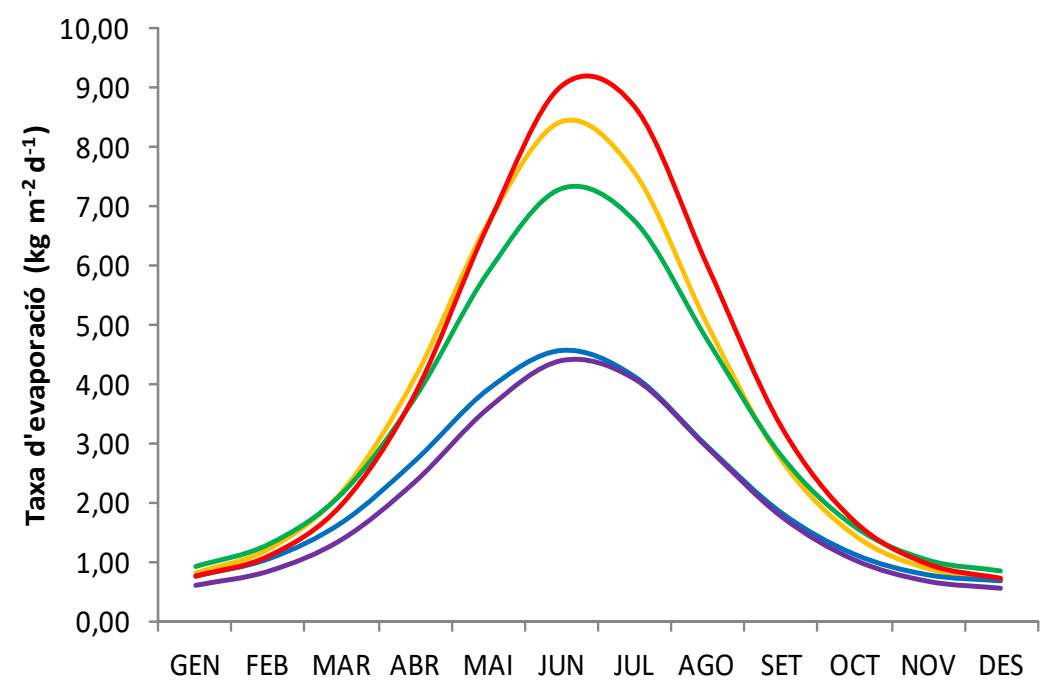


Figura 3.3.4. Estimació de l'evolució anual de la taxa diària d'evaporació de l'aigua dels purins de porc en un hivernacle pilot en túnel fet de polietilè, a partir de la mitjana diària de radiació solar incident a diferents localitzacions: Saragossa (vermell), Juneda (groc), València (verd), Caldes de Montbui (blau) i Viladrau (lila) (Font: IRTA, informació no publicada).

Els valors d'ES varien enormement pel que fa al propi cicle climàtic anual, la latitud i les especificitats microclimàtiques de la zona on està ubicada la planta, així com pel format de les dejeccions. En estudis a escala pilot a l'àmbit del Mediterrani, l'ES mesurada en purins porcins va des de pràcticament zero a l'hivern fins a valors màxims estival de prop de 10 L/m²/d, en funció de la localització (Figura 3.3.4). Per altra banda, a partir de balanços de massa del nitrogen en proves amb purins de porc, s'ha establert que la quantitat total d'aquest nutrient recuperat amb la fracció seca final és semblant al cas del compostatge, sobre un 85%.

Taula 3.3.2. Taxa d'evaporació segons els mesos de l'any i la ubicació. (Font: elaboració pròpia).

	Saragossa	Juneda	València	Caldes de M.	Viladrau
Gener	0,9	0,9	1,0	0,8	0,6
Febrer	1,1	1,1	1,2	1,0	0,8
Març	2,0	2,0	2,0	1,7	1,5
Abril	4,0	4,0	4,0	2,7	2,5
Maig	7,0	7,0	6,0	3,7	3,5
Juny	9,1	8,4	7,3	4,6	4,4
Juliol	8,6	7,6	6,5	4,2	4,0
Agost	5,5	4,5	4,5	3,0	3,0
Setembre	3,2	2,8	2,8	1,8	1,8
Octubre	3,0	2,5	2,5	1,0	1,0
Novembre	0,9	0,8	1,0	0,8	0,8
Desembre	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7
Mitjana 365 dies any	3,8	3,5	3,3	2,2	2,1
Mitjana 240 dies any	5,3	5,0	4,5	2,8	2,7

3.3.4. Ús agronòmic dels productes obtinguts

Les característiques del producte final obtingut a partir de l'assecatge solar de les dejeccions dependrà, en gran mesura, del material d'inici i del grau d'assecamament assolit. Aquest procés té una incidència mínima sobre la biodegradació de la matèria orgànica i preserva el nitrogen amoniacal contingut en les dejeccions. Així doncs, el tipus de fertilitzant obtingut dependrà de la qualificació que tinguí el material a tractar: Tipus 1 (relació C/N alta) per a l'assecatge dels fems i de la fracció sòlida dels purins; i Tipus 2 (relació C/N baixa) per a l'assecatge dels purins, gallinasses, digerit i fangs del tractament per NDN. A mode d'exemple, a la Taula 3.3.3 es presenten els resultats analítics del purí d'una granja de porcs d'engreix abans i després de ser tractats en una prova pilot d'assecatge solar. Cal tenir en compte que la utilització d'àcid sulfúric per a disminuir el pH pot comportar un increment de la salinitat a la fracció assecada, que pot tenir efectes agronòmics negatius a llarg termini.

Taula 3.3.3. Paràmetres agronòmics dels purins i la seva fracció seca obtinguda en una planta pilot d'assecatge solar. Font: IRTA (informació no publicada).

Paràmetre	Purins frescos	Fracció seca
Sòlids totals (%)	10,5	89,6
Nitrogen total (kg/m³)	7,18	43,14
Nitrogen orgànic (kg/m³)	2,12	13,80
Fòsfor (kg/m³)	1,62	10,95
Potassi (kg/m³)	5,50	31,46
Coure (g/t de pes sec)	–	152
Zenc (g/t de pes sec)	–	1,36

En alguns casos, sobretot amb purins, l'assecatge solar es pot aplicar com un pas previ al compostatge, per tal d'obtenir un material amb la humitat adequada per a aquest darrer procés (vegeu la secció 3.2). En altres situacions, principalment quan es tracta la fracció sòlida dels purins, el material s'asseca fins a continguts d'humitat menors al 10%, fet que suposa una disminució de l'activitat microbiana. Cal tenir en compte que **l'assecatge solar no comporta una estabilització del material** i, per tant, si s'incrementa la humitat del material assecat durant el seu emmagatzematge es reactivaran els processos de descomposició i d'emissions de gasos associats a aquests.



3.3.5. Control d'emissions

En el cas de l'evaporació dels purins, és fonamental implementar sistemes per al control de les emissions atmosfèriques, especialment l'amoníac i les males olors. Pel que fa a l'amoníac, això s'assoleix mitjançant l'acidificació dels purins a tractar, normalment amb l'addició d'àcid sulfúric, de forma que el seu pH dins de l'hivernacle no superi el valor de 6,5. Aquest procediment s'ha de fer amb l'equipament i els protocols adequats, que garanteixin el maneig i aplicació segura de l'àcid concentrat. Per altra banda, l'impacte de les olors emeses es pot reduir amb la biofiltració dels gasos de sortida de l'hivernacle (Figura 3.3.3). El biofiltre consisteix en un llit porós d'un material amb elevada capacitat d'adsorció activat biològicament, per exemple escorça de pi barrejada amb compost, i que es manté amb un cert grau d'humitat. El volum del biofiltre ha de garantir que l'aire a tractar hi romanguí, com a mínim, uns 5 segons per tal que els compostos orgànics olorosos tinguin temps suficient per ésser absorbits i metabolitzats pels microorganismes presents al reblliment.

Biofiltre: Dipòsit on s'instal·la el material que realitza la funció de biofiltre



Biofiltre per la neteja de les emissions d'amoníac de l'hivernacle d'assecatge solar de les dejeccions

Circuit d'aire: de sortida de l'hivernacle al biofiltre.



3.3.6. Costos d'inversió i operació

L'assecatge solar és la tecnologia consolidada més recent a Catalunya, motiu pel qual encara no hi ha moltes instal·lacions per fer una anàlisi detallada dels costos de tractament. No obstant això, la principal despesa d'aquesta tecnologia correspon a la instal·lació de l'hivernacle, infraestructura de la qual sí que es disposa de bibliografia provinent de l'àmbit hortícola pel que fa a la relació entre el tipus d'hivernacle i els costos per unitat d'àrea coberta. En hivernacles amb una estructura galvanitzada i coberts amb plàstic tricapa tèrmic de 800 galgues, el cost oscil·la entre 9 €/m² i 17 €/m². L'exemple de la Taula 3.3.3 s'ha elaborat a partir d'una explotació real de dimensions semblants a la plantejada.

Taula resum del balanç econòmic

Concepte	Costos		Ingrés (€)
	Total	CAE ^a	
Obra civil	200.000	13.443	0
Maquinària	20.000	2.345	
Funcionament	-	3.358	
Costos totals	220.000	19.146	
Venda de la fracció seca			
Balanç anual (€/any)	19.146		
Cost unitari de tractament (€/t)	6,38		
Cost de la fracció assecada (€/kg)	22,59		
Cost del nitrogen gestionat (€/kg)	1,02		
Cost del fòsfor gestionat (€/kg P)	3,65		

^a Cost anual equivalent.

Taula 3.3.3. Aplicació de l'assecatge solar a una granja de porcs d'engreix. (Exemple A de la Taula 3.1).

Dimensionament

- Aquesta explotació genera 3.000 tones de purins cada any, que contenen un 7,82% de matèria seca.
- Es planteja com a objectiu reduir la massa d'aquests purins fins que el contingut de matèria seca de la fracció assecada sigui del 25% (75% d'humitat). Llavors, fent un balanç de matèria (suposant que la matèria seca no varia), la massa total de la fracció assecada final serà d'unes 938 tones $\left[\frac{(3.000 t_{\text{purí}} \times 7,82\% MS_{\text{inicial}})}{25\% MS_{\text{final}}} \right]$ i l'aigua a evaporar 2.062 tones $[(3.000 t_{\text{purí}} - (matèria\ seca\ [3.000 t_{\text{purí}} \times 7,82\% MS_{\text{inicial}}])) - (938 t_{\text{FS final}} - (3.000 t_{\text{purí}} \times 7,82\% MS_{\text{inicial}}))]$.
- La instal·lació estarà operativa entre març a octubre (uns 240 dies l'any) i la taxa d'evaporació mitjana diària de l'hivernacle durant aquest temps a la zona on està instal·lat s'estima que és de 5 kg/m²/d (veure taula 3.3.2). Caldria llavors uns $1.718\text{ m}^2 \left(\frac{2.062\text{ t aigua evaporada}}{5\frac{\text{kg}}{\text{m}^2\text{ dia}} \times 0,001 \times 240\frac{\text{dies}}{\text{any}}} \right)$. A efectes de dimensionament s'arrodoneix a 1.800 m² d'àrea coberta per tal d'evaporar 2.062 tones d'aigua a l'any.
- Es faran quatre cicles de càrrega de l'hivernacle per any, de 600 tones de purins cada un, amb el que cada període d'assecatge durarà de mitjana 2 mesos (la durada s'haurà d'ajustar a la radiació solar real de cada període). Amb aquest plantejament, la profunditat màxima del purí dins l'hivernacle serà d'uns 43 cm.

Costos d'instal·lació

- El cost de construcció d'un hivernacle fet amb materials resistents a la corrosió, equipat amb els elements de ventilació i control de les emissions, és d'uns 200.000€. Al tractar-se d'un bé immoble, es considera una vida útil de 20 anys.
Per altra banda, cal instal·lar una màquina descrostadora que té un cost de 20.000€ a amortitzar en 10 anys.

Costos de consumibles

- Es consumeixen uns 4 L d'àcid sulfúric concentrat per cada tona de purí tractada a un cost de 0,22 €/L. La despesa anual de l'acidificació del purí és de 2.640 €/any.
- Pel que fa al cost de l'energia consumida, s'estima que de mitjana calen uns 4 kWh d'electricitat diaris per alimentar el sistema d'aeració de l'hivernacle. Per altra banda, la màquina descrostadora té un consum elèctric diari d'uns 20 kWh. Si prenem com a referència el cost mitjà del kWh (0,1246€), això representa una despesa anual de 718€.

Beneficis de la venda

- Es considera que la fracció seca final es cedida a una planta de compostatge, que a canvi la ve a recollir sense cost.

Cost unitari del tractament

- Ajustant les despeses per la taxa d'interès del capital del 3%, el cost anual equivalent de tractament serà de 5,72€ per tona de dejecció tractada i any. Considerant una eficiència de recuperació del nitrogen del 85%, el cost de tractament per unitat de nitrogen recuperat és de 0,91 € per kg.