



ESCOLA DE DOUTORAMENTO
INTERNACIONAL DA USC

Fernando
Almeida García

Tese de doutoramento

AVALIACIÓN DO TRIGO
AUTÓCTONO PANIFICABLE
DENTRO DUN SISTEMA DE
ROTACIÓN SOSTIBLE

Lugo, 2022

Programa de Doutoramento en Investigación Agraria e Forestal



TESE DE DOUTORAMENTO

**AVALIACIÓN DO TRIGO AUTÓCTONO
PANIFICABLE DENTRO DUN SISTEMA DE
ROTACIÓN SOSTIBLE**

Fernando Almeida García

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL DA UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN INVESTIGACIÓN AGRARIA E FORESTAL



SANTIAGO DE COMPOSTELA / LUGO

ANO 2022

AUTORIZACIÓN DO DIRECTOR / TITOR DA TESE

AVALIACIÓN DO TRIGO AUTÓCTONO PANIFICABLE DENTRO DUN SISTEMA DE ROTACIÓN SOSTIBLE

D. Santiago Pereira Lorenzo

D. Benigno Ruiz Nogueiras

INFORMAN:

Que a presente tese, correspóndese co traballo realizado por D. Fernando Almeida García, baixo a miña dirección/titorización, e autorizo a súa presentación, considerando que reúne os requisitos esixidos no Regulamento de Estudos de Doutoramento da USC, e que como director desta non incorre nas causas de abstención establecidas na Lei 40/2015.

De acordo co indicado no Regulamento de Estudos de Doutoramento, declara tamén que a presente tese de doutoramento é idónea para ser defendida en base á modalidade de Monográfica con reprodución de publicacións, nos que a participación do doutorando foi decisiva para a súa elaboración e as publicacións se axustan ao Plan de Investigación.

En Lugo, 27 de Junio de 2022

D./Dna. **Fernando Almeida García**

Título da tese: **AVALIACIÓN DO TRIGO AUTÓCTONO PANIFICABLE DENTRO DUN SISTEMA DE ROTACIÓN SOSTIBLE.**

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De ser o caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.
- 4) A tese é a versión definitiva presentada para a súa defensa e coincide a versión impresa coa presentada en formato electrónico

E comprométome a presentar o Compromiso Documental de Supervisión no caso de que o orixinal non estea na Escola.

En **Sarandones, Abegondo (A Coruña), 21 de Xuño de 2022.**

Sinatura electrónica

ADICATORIA

Aos meus pais, polo seu apoio incondicional. As miñas alegrías e satisfaccións sempre as fixeron súas con orgullo. Deles aprendín que a responsabilidade está nun mesmo, e que traballando alcánzanse tódolos soños.

Á miña muller Sonia María García Peteiro e a nosa filla Daniela, fontes de amor, bondade e inspiración.

Aos meus irmáns David, Roberto, Juan José, Víctor y Gonzalo, aos que sempre tiveron como exemplo.

A Jesús Cava Serradilla, o meu mellor amigo.

AGRADECIMENTOS

Á Cátedra do Pan e Do Cereal de Galicia, do Campus Terra da USC. Á súa Directora Ángeles Romero, por animarme a retomar os meus estudos en terceiro ciclo. A Santiago Pereira e Benigno Ruiz pola súa axuda, orientación e completa disposición.

A Manuel Da Cunha Pereira e ao Grupo Da Cunha, por facilitar todos os medios necesarios.

A Sara González García, Doutora e Profesora da USC no Departamento de Enxeñaría Química. Ela foi parte fundamental do proxecto, un exemplo de adicación e unha referencia no mundo da Investigación.

ÍNDICE XERAL

1. RESUMO.....	1
2. OBXECTIVOS XERAIS.....	4
3. CAPÍTULO I. Rotación de trigo autóctono con <i>Lupinus albus L.</i> doce e barbeito fronte ao monocultivo.....	5
3.1. INTRODUCCIÓN.....	5
3.2. OBXECTIVOS.....	8
3.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.4. RESULTADOS.....	14
3.5. DISCUSIÓN.....	20
3.6. CONCLUSIÓN.....	24
3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25
4. CAPÍTULO II. Estudio do Impacto Ambiental de diferentes alternativas de rotación con trigo autóctono. Estudio do perfil ambiental do pan con fariña de trigo galego.....	30
4.1. INTRODUCCIÓN XERAL.....	30
4.2. OBXECTIVO.....	31
4.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.4. SUBCAPÍTULO II.1.....	34
4.4.1. INTRODUCCIÓN.....	34
4.4.2. OBXECTIVOS.....	35
4.4.3. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
4.4.4. RESULTADOS.....	42

4.4.5.DISCUSIÓN.....	52
4.4.6.CONCLUSIÓNS.....	53
4.5. SUBCAPÍTULO II.2.....	54
4.5.1.INTRODUCCIÓN.....	54
4.5.2.OBXECTIVOS.....	56
4.5.3.MATERIAL E MÉTODOS.....	57
4.5.4.RESULTADOS.....	61
4.5.5.DISCUSIÓN.....	86
4.5.6.CONCLUSIÓNS.....	87
4.6. SUBCAPÍTULO II.3.....	88
4.6.1.INTRODUCCIÓN.....	88
4.6.2.OBXECTIVOS.....	89
4.6.3.MATERIAL E MÉTODOS.....	90
4.6.4.RESULTADOS.....	92
4.6.5.DISCUSIÓN.....	104
4.6.6.CONCLUSIÓNS.....	104
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CAP II.....	105
6. CONCLUSIÓNS XERAIS.....	109
7. ANEXO PUBLICACIÓNS.....	111

RESUMO. O trigo é a base da dieta de case tódalas sociedades actuais. Cultivado na maioría das rexións fértiles do mundo, é o segundo cereal máis producido do planeta. As variedades autóctonas de trigo brando tiveron un importante papel no sector da panadería galega. A pesar da súa escaseza, houbo empresas privadas e entidades públicas que apostaron por conservar e mellorar as calidades deste trigo, fomentando o seu cultivo e investigando o seu comportamento agronómico e a calidade panadeira. O trigo autóctono tivo un papel importante na aprobación da recente Indicación Xeográfica Protexida Pan Galego ratificada en 2020.

O obxectivo principal da investigación foi avaliar a resposta do trigo autóctono (*Triticum aestivum* L.) en rotación con *Lupinus albus* L. doce incluíndo un ano de barbeito fronte ao monocultivo. A investigación prolongouse durante 3 anos analizando 12 variables de resposta no terceiro ano, vencelladas ao rendemento e á calidade panadeira. Ademais, analizouse o balance económico global nas distintas sucesións de cultivos propostas.

As probas situáronse na localidade de Tabeaio, concello de Carral, na Provincia da Coruña. Empregouse un deseño de bloques completamente aleatorizado con catro repeticións, 3 tratamentos (tres tipos de rotacións de cultivos con trigo local) e dous tipos de trigo local, polo tanto 24 unidades experimentais.

Os resultados mostraron como a rotación influíu no rendemento de gran, nas impurezas en forma de sementes doutras especies, no peso hectolitro e no peso de mil sementes. O monocultivo afectou negativamente ás variables anteriores. Non se observaron diferenzas significativas noutros parámetros vencellados coa calidade da panadería, como proteínas, glute húmido, forza panadeira (W), elasticidade (L), tenacidade (P) e grado de inchamento (G).

Así e todo, a calidade do solo influíu na calidade do trigo independentemente da rotación: un maior contido en materia orgánica e menor de fósforo producían un maior W e P, respectivamente. Finalmente, as rotacións tiveron un efecto

positivo no rendemento, ata o 62%, cando o barbeito precedeu ao trigo, e na redución de enfermidades e malas herbas. En canto ao balance económico, observouse unha importante mellora económica na sucesión Barbeito - *Lupinus albus* - Trigo, con respecto á repetición de cereais, debido á importante baixada do rendemento do monocultivo no terceiro ano.

Por outro lado, a avaliación do ciclo de vida de diferentes rotacións con variedades locais de trigo mostrou o efecto positivo destas variedades nas rotacións e na produción de pan. A menor dependencia de fertilizantes e fitosanitarios, sumada ao beneficio da maior achega de residuos ao solo, confírenlle un mellor perfil ambiental.

Palabras chave: análise de ciclo de vida, balance económico, forza panadeira, impacto ambiental, *Lupinus albus*, monocultivo, peso hectolitro, peso de mil sementes, proteína, rendemento de gran, rotación, *Triticum aestivum*.

ABSTRACT

Wheat is the basis of the diet of almost every society today. Cultivated in most of the world's fertile regions, it is the second most widely produced cereal on the planet. The local varieties of soft wheat have played an important role in the Galician bakery sector. Despite their scarcity, there were private companies and public entities that were committed to conserving and improving the qualities of these wheat, encouraging their cultivation and investigating their agronomic behavior and baker quality. Autochthonous wheat has played an important role in the approval of the recent Protected Geographical Indication Pan Galego ratified in 2020. The main objective of the research was to evaluate the response of native wheat (*Triticum aestivum* L.) in rotation with sweet lupine (*Lupinus albus*) including a year of fallow versus monoculture. The research lasted for 3 years analyzing twelve response variables in the third year linked to baker performance and quality. In addition, the global economic balance was analyzed for the different crop successions proposed. The tests were located in the town of Tabeaio, municipality of Carral, in the Province of A Coruña. A completely randomized block design with four repetitions was used, with 3 treatments (three types of crop rotations with local wheat) with two types of local wheat, therefore 24 experimental units.

The results showed how the rotation influenced grain yield, impurities in the form of seeds of other species, the hectolitic weight, and the weight of one thousand seeds. Monoculture negatively affected the above parameters. No significant differences were observed in other parameters related to bakery quality, such as protein, wet gluten, baking strength (W), elasticity (L), tenacity (P), and swelling (G). However, the quality of the soil influenced the quality of the wheat independent of the rotation, higher organic matter and lower phosphorous produced higher W and P, respectively. Finally, rotations had a positive effect on yield, up to 62% when fallow preceded wheat, and on the reduction of diseases and weeds.

As for the economic balance, there was a significant economic improvement in the Fallow - Lupine - Wheat succession, with respect to the repetition of cereals, due to the significant drop in yield of monoculture in the third year.

On the other hand, the life cycle assessment of different rotations with local wheat varieties showed the positive effect of these varieties on rotation and bread production. The lower dependence on fertilizers and phytosanitary products, added to the benefit of the greater contribution of residues to the soil, gives it a better environmental profile.

Keywords: life cycle analysis, economic balance, baking power, environmental impact, *Lupinus albus*, monoculture, hectolitre weight, thousand seed weight, protein, grain yield, rotation, *Triticum aestivum*.

OBXECTIVOS XERAIS:

O obxectivo principal da investigación foi avaliar a resposta do trigo autóctono (*Triticum aestivum* L.) de Galicia, en rotación con *Lupinus albus* L. doce incluíndo un ano de barbeito fronte ao monocultivo. A investigación situouse na localidade de Tabeaio (Carral), prolongouse durante 3 anos analizando 13 variables de resposta no terceiro ano, vencelladas ao rendemento e á calidade panadeira.

Por outro lado, búscase avaliar a contribución do trigo autóctono na mellora do perfil ambiental de diversos sistemas de rotación de cultivo. Para este fin contribúese ó Análise de Ciclo de Vida das mesmas como ferramenta para facilitar a elección do sistema máis axeitado dende un punto de vista ambiental e económico.

CAPÍTULO I. Rotación de trigo autóctono con *Lupinus albus* L. doce e barbeito fronte ao monocultivo.

Sinalar que parte dos resultados deste capítulo foron publicados no seguinte artigo científico:

Growing *Triticum aestivum* Landraces in Rotation with *Lupinus albus* and Fallow Reduces Soil Depletion and Minimises the Use of Chemical Fertilisers.

Fernando Almeida-García, Sara Lago-Oliveira, Ricardo Rebolledo-Leiva, Sara González-García, María Teresa Moreira, Benigno Ruíz-Nogueiras and Santiago Pereira-Lorenzo. *Agriculture* 2022, 12(7), 905; <https://doi.org/10.3390/agriculture12070905>

INTRODUCCIÓN

O trigo (*Triticum aestivum* L.), xunto co millo e o arroz, foi a base da dieta humana durante milenios [1].

En Galicia, o cultivo de variedades locais caracterizouse pola súa mellor adaptación ao medio físico e a condicións de menores insumos [2]. A pesar da forte diminución da superficie cultivada de trigo, a recente Indicación Xeográfica Protexida “Pan Galego” (2020), marca de calidade, consolidou a importancia das variedades autóctonas de trigo cun mínimo do 25% para producir pan galego, sendo o cultivar ‘Caaveiro’ unha das dúas variedades rexistradas [3]. A variedade ‘Caaveiro’ é unha liña seleccionada de trigo galego coa cal se incrementaron os rendementos en gran e a resistencia fronte ao encamado. É un trigo de talla alta, con gran rusticidade, sendo moi competitivo fronte ás malas herbas. ‘Caaveiro’ posúe moi boas aptitudes para os procesos de moenda e panificación mellorando o parámetro de forza panadeira (W) respecto aos ecotipos tradicionais e conservando as calidades organolépticas demandadas no sector panadeiro para a produción do pan galego (Figura 1).



Figura 1: Trigo galego, variedade 'Caaveiro' en fase de espigado. 2019, Carral.

Entre outros ecotipos galegos de trigo, o ecotipo Carral foi cultivado durante mais de vinte anos no grupo Da Cunha, presentando como principais características un aceptable rendemento medio, boa tolerancia a oídio e correctas aptitudes panadeiras, sendo valorado polo seu efecto positivo nas cualidades organolépticas do pan. A fariña deste trigo dosificábase en cantidades próximas ao 40% sobre o total da fariña.

A práctica da rotación de cultivos remóntase ás orixes mesmas da agricultura. Porén, coa intensificación agrícola das últimas décadas, favorecida polos baixos prezos dos combustibles fósiles [4], estendeuse o sistema contrario, o monocultivo.

A alternancia temporal de cultivos de cereais con outros cultivos como a colza ou as leguminosas axuda a que o cereal medre nun ambiente con menores niveis de malas herbas e enfermidades [5]; isto último débese á interrupción dos ciclos dos patóxenos [6].

Ademais, as enfermidades fúnxicas que afectan directamente aos parámetros de calidade son tan importantes como o peso hectolitro ou o peso de 1000 grams. Polo tanto, coa rotación, estes parámetros de calidade tamén melloran en contraste co monocultivo. O monocultivo de trigo aumenta a porcentaxe de impurezas debido á presenza de sementes das plantas adventicias no produto colleitado. As rotacións de cultivos de cebada, millo e

remolacha azucreira reduciron o número total de sementes de malas herbas nun 96,4%

despois de 6 anos de xestión de adventicias (dous ciclos de rotación) [7]. As leguminosas, como o *Lupinus albus* doce, permiten a reciclaxe de nutrientes como o nitróxeno dentro do sistema agrícola. Ademais, a fixación biolóxica de nitróxeno permite que estas plantas tomen nitróxeno do aire mediante a simbiose con *Rhizobium* [8]. Malia a súa potenciliadade, o cultivo en Galicia é moi minoritario. As fabas constitúen o cultivo predominante de leguminosas para gran na rexión aínda que a súa superficie segue a ser modesta, con apenas un millar de hectáreas de cultivo. Actualmente, hai poucas variedades de *Lupinus* incluídas no Rexistro de Variedades Comerciais. Entre as variedades ensaiadas na nosa Comunidade destaca a variedade chilena de *Lupinus albus* ‘Rumbo Baer’.

Nas rotacións de cereais con leguminosas, o rendemento do cereal normalmente aumenta cando vai precedido de leguminosas, acadando incrementos da orde do 50% con respecto ao monocultivo [9]. En concreto, as rotacións de trigo con *Lupinus* sp. aumentaron os rendementos sobre o monocultivo en máis dun 40% en máis de cen estudos científicos en Australia [10].

Lupinus sp. atópase frecuentemente en Galicia formando parte da súa vexetación espontánea (Figura 2), e tamén se trata dun cultivo adaptado ás condicións agroclimáticas galegas onde predominan solos ácidos de textura lixeira.



Figura 2: *Lupinus* sp. en Xinzo de Limia (Izda.), 2020 e Chantada (Dcha.), 2021.

O barbeito é unha práctica agrícola que se orixinou na Idade Media. Un barbeito ben xestionado permite controlar malas herbas, pragas e enfermidades ademais de favorecer a mineralización da materia orgánica. Existen múltiples estudos que reforzan o papel

positivo do barbeito no rendemento de cereais con respecto ao monocultivo [11]. Por outro lado, a implantación do pago verde (greening) nas axudas da PAC implicou o cumprimento dunha serie de prácticas, entre as que se atopa a diversificación de cultivos [12]. O barbeito e as leguminosas son consideradas superficies de interese ecolóxico, sendo obrigatorio destinar alomenos un 5% a dito uso, naquelas explotacións con máis de 15 ha de superficie de cultivo.

OBXECTIVOS

O obxectivo de este estudo foi analizar os efectos da rotación de cultivos no trigo galego ‘Caaveiro’, introducindo cultivos como o *Lupinus albus* doce e o barbeito, fronte ao monocultivo de cereal dende os puntos de vista agronómico, de calidade panadeira, económico e ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS:

Empregouse un deseño de bloques completos ao chou con catro repeticións para tres tipos de rotacións de cultivos con trigo local ('Caaveiro' e un ecotipo da comarca de Carral, A Coruña), que foron os seguintes (Figura 2): A, Barbeito (Ano 1) – *Lupinus albus* (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); B, *Lupinus albus* (Ano 1) - Barbeito (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); C, Ecotipo de Carral en monocultivo; D, Barbeito (Ano1) – *Lupinus albus* (Ano 2) - Trigo 'Caaveiro' (Ano 3); E, *Lupinus albus* (Ano 1) - Barbeito(Ano 2) - Trigo 'Caaveiro' (Ano 3); e F, monocultivo de trigo 'Caaveiro'.

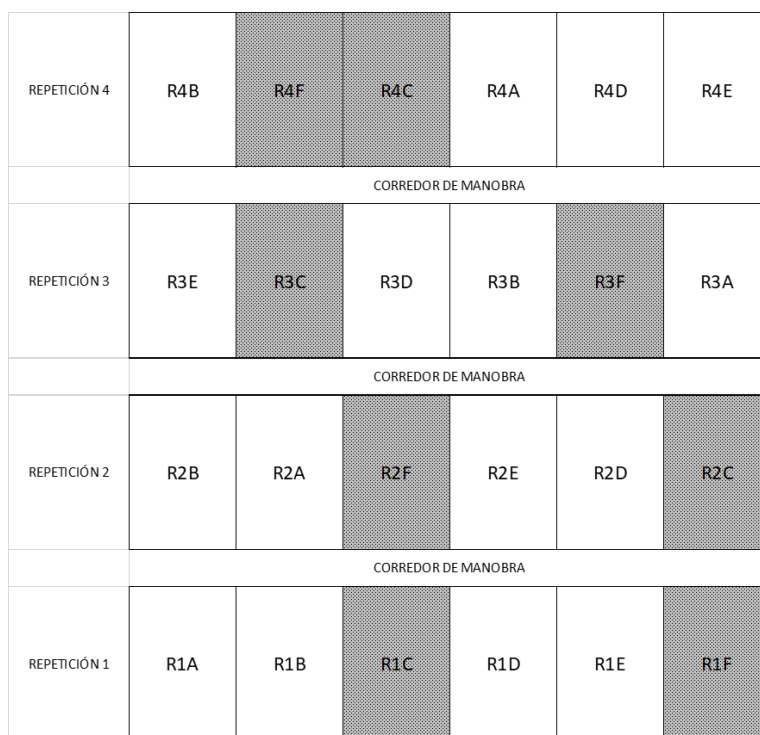


Figura 3: Deseño de ensaio en bloques ao chou da rotación de cultivos no trigo galego 'Caaveiro', introducindo cultivos como o *Lupinus albus* doce e o barbeito fronte ao monocultivo de cereal. A, Barbeito (Ano 1) – *Lupinus albus* (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); B, *Lupinus albus* L. (Ano 1) - Barbeito (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); C, Ecotipo de Carral en monocultivo; D, Barbeito (Ano 1) - *Lupinus albus* (Ano 2) - Trigo 'Caaveiro' (Ano 3); E, *Lupinus albus* (Ano 1) - Barbeito (Ano 2) - Trigo 'Caaveiro' (Ano 3); e F, monocultivo de trigo 'Caaveiro'.

A variedade de *Lupinus albus* empregada foi ‘Rumbo Baer’, (Figura 4), unha leguminosa seleccionada de alto rendimento orixinaria de Chile, con boa tolerancia a pragas e enfermidades, permitindo un cultivo totalmente mecanizable. Esta variedade presenta unha alta alternatividade adaptándose a sementeiras de outubro ata febreiro, con rápido desenvolvemento inicial e boa capacidade de nodulación. Conta cunha precocidade de floración e madurez media, e acadou niveis de proteína próximos ao 40%.



Figura 4: *Lupinus albus* doce, variedade Rumbo Baer. Ano 2018.

O ensaio foi establecido no noroeste de España (Carral, A Coruña, Galicia) e contou cun total de 24 subparcelas (6 por repetición) (Figura 5). Cada subparcela tiña unhas dimensións de 6 x 14 m con repeticións separadas por corredores para permitir as manobras.



Figura 5: Marcado e medición de subparcelas de ensaio de ensaio en Carral, A Coruña.

Durante os 3 anos realizouse a seguinte xestión:

Ano 1: Un arado de veso que incorporou $500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de complexo mineral (18-9-27) como fertilizante de fondo; realizouse a sementeira (non nas parcelas en barbeito) cunhamáquina combinada de rotocultor e sementadora (Figura 4). O tratamento herbicida de pre-emerxencia para todas as subparcelas foi diflufenican 50% (250 ml) + pendimetalina 33% (4 l ha^{-1}). Para a colleita utilizouse unha máquina de colleita autopropulsada. A data de sementeira do *Lupinus albus* e do trigo foi o 2/10/17.

Ano 2: Igual que o ano 1 pero sen fertilizante. A data de sementeira de *Lupinus albus* e a do trigo foi o 15/10/2018.

Ano 3: Todas as parcelas sementáronse con trigo. Un arado de vesco incorporou $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de complexo mineral 8-15-15 como fertilizante de fondo para a sementeira con apeiro combinado de rotocultor e sementadora (Figura 6). Ademais aplicouse un tratamento herbicida post-emerxencia (21/11/19): 0,6% iodossulfurón metil sódico + 3% metil mesosulfurón ($400 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$). Para a colleita utilizouse unha colleitadora autopropulsada. A data de sementeira foi o 24/10/19.



Figura 6: Sementeira de *Lupinus albus*, ‘Rumbo Baer’, en subparcelas de ensaio.

Na colleita do terceiro ano avaliáronse as seguintes características do trigo: rendemento de grans (GY, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), humidade das sementes (H, %), peso do hectolitro (HW, $\text{Kg}\cdot 100 \text{ l}^{-1}$) e peso de mil sementes (WTS, g), proteína (%), glute húmido (%), impurezas en formade sementes doutras especies (%), forza panadeira (W), elasticidade (L), tenacidade (P), ratio P/L, e Índice de inchamento (G). As seis últimas variables avaliáronse só para o cultivar ‘Caaveiro’ debido á semellanza do ecotipo Carral con este cultivar, pero con menor homoxeneidade xenética da semente (datos non publicados).

Ademais, recolléronse mostras de solo o primeiro ano antes da sementeira e antes do inicio da última tempada de crecemento (terceiro ano, todo trigo) e analizáronse os seguintes parámetros: pH en auga a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (potenciómetro con eléctrodo de vidro); materia orgánica (%), determinación de C orgánico (método de Walkley Black); fósforo de Olsen ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); potasio asimilable ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Ca ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); Na ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), extracción con

acetato de amonio (espectrofotómetro de absorción atómica); CEC (suma de catións extraídos con acetato de amonio) ($\text{meq}\cdot 100\text{g}^{-1}$); e as relacións Ca/Mg, K/Mg: e Ca:Mg:K.

Para as variables de estudio empregouse o Test de Shapiro-Wilk para comprobar a normalidade dos datos, e a proba de Bartlett para a homocedasticidade das varianzas; posteriormente, unha análise da varianza (ANOVA) con IBM SPSS Statistics 25 para estimar os efectos dos trazos agronómicos e a proba de rango múltiple S-N-K para avaliar diferenzas significativas entre as medias dos tratamentos. As correlacións de Pearson (r) estimáronse con IBM SPSS Statistics 25 entre os datos agronómicos, e as características do solo para cada subparcela avaliáronse o terceiro ano anterior á sementeira. As correlacións estimadas consideráronse significativas ($P < 0,05$). Finalmente, realizouse unha análise de compoñentes principais (PCA) con IBM SPSS Statistics 25 sobre os datos agronómicos estandarizados para detectar as principais orixes da variabilidade en relación ás rotacións e á calidade do solo.

Balance económica

Ó finalizar o ciclo rotacional proposto, de tres anos, elaborouse un balance económico, para o cal se computou o valor de mercado do trigo autóctono (que mantivo un prezo estable de $400 \text{ €}\cdot\text{t}^{-1}$ nas últimas 5 campañas), e o prezo da proteaxinosa *L. albus* L. doce nos anos de colleita do estudo ($450 \text{ €}\cdot\text{t}^{-1}$), descontando os prezos dos fertilizantes e fitosanitarios e os custes medios dos labores. Unha vez comprobados os supostos de normalidade e homocedasticidade das varianzas, empregouse o programa RComander para realizar a análise da varianza (ANOVA) para deseños en bloques completamente aleatorizados.

RESULTADOS

As datas de recollida dos tres anos foron: 21/08/18, 16/08/19 e 12/08/20, respectivamente. Houbo un axeitado control das malas herbas grazas ao tratamento químico, aínda que foi máis completo nas parcelas de rotación. Nas parcelas de monocultivo, con menor crecemento xeral, foron identificados os fungos fitopatóxenos *Gaeumannomyces graminis* (pe negro) (Figura 5) e *Fusarium roseum*; e os insectos *Mayetiola* sp., *Frankliniella fusca* e *Chlorops* sp.

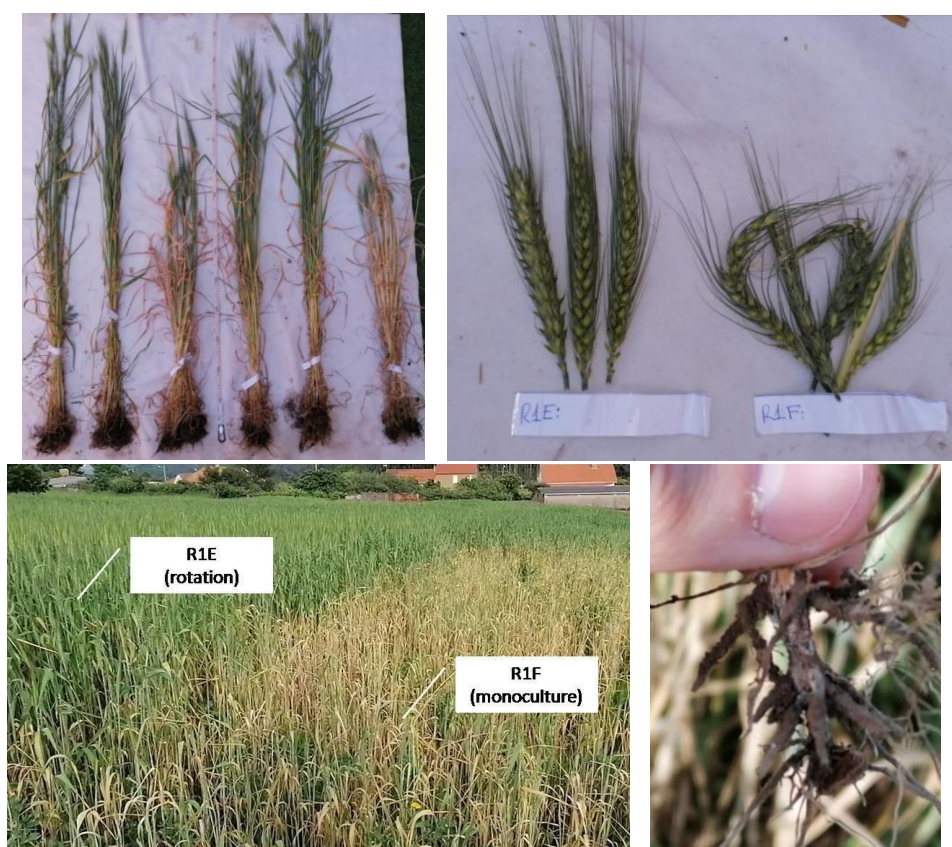


Figura 7. Imaxe superior esquerda: diferenzas no desenvolvemento vexetativo rotación fronte ao monocultivo. Na imaxe inferior dereita apréciase síntomas de pe negro (*Gaeumannomyces graminis*) na parcela de monocultivo.

O Test de Shapiro-Wilk para as variables de estudo resultou nun valor de p superior a 0,05, polo que se aceptou en tódolos casos a hipótese nula sobre a normalidade dos datos cun nivel de significancia do 95%.

A proba de Bartlett para testar a homocedasticidade das varianzas mostrou un nivel de p para cada unha das variables por riba do nivel de significancia de 0,05, aceptándose a hipótese nula sobre a homoxeneidade das varianzas dos datos.

As rotacións mostraron diferenzas significativas ($P < 0,05$) (Táboa 1) para o rendemento de gran, o peso do hectolitro, o peso de mil sementes e as impurezas en forma de sementes doutras especies.

Táboa 1: Análise da varianza (ANOVA) e proba de rango múltiple S-N-K. Letras diferentes na mesma columna indican diferenzas significativas. ns, no significativo; *, $p < 0,05$; **, $p < 0,01$; ***, $p < 0,001$. A, Barbeito (Ano 1) - *Lupinus albus* (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); B, *Lupinus albus* (Ano 1) - Barbeito (Ano 2) - Ecotipo de trigo de Carral (Ano 3); C, Ecotipo de Carral en monocultivo; D, Barbeito (Ano 1) - *Lupinus albus* (Ano 2) - Trigo ‘Caaveiro’ (Ano 3); E, *Lupinus albus*(Ano 1) - Barbeito (Ano 2) - Trigo ‘Caaveiro’ (Ano 3); e F, monocultivo de trigo ‘Caaveiro’; Rto, rendemento en gran; Hde, humidade do gran na colleita; pH, Peso Hectolitro; PMS, peso de mil sementes; GH, Glute húmido, IOS, Impurezas doutras sementes; W, Forza Panadeira; L, Extensibilidade; P, Tenacidade; G, Grado de inchamento.

Rotación		Rto. (kg·ha ⁻¹) **	Hde.(%) ns	pH (kg 100l ⁻¹) **	PMS (g) ***	Prot (%) ns	GH (%) ns	IOS (%) *	W ns	L ns	P ns	G ns
A	F - L - W _{Ecot}	1833.3ab ^a	13.3	74.5b	49.2b	14.3	28	-	-	-	-	-
B	L - F - W _{Ecot}	1996.8c	12.8	75.6b	48.8b	14.6	28.3	-	-	-	-	-
C	$\frac{W_{Ecot}}{W_{Ecot} - W_{Ecot}}$	863.3a	13.5	70.4a	42.5a	14.9	29.5	-	-	-	-	-
D	F - L - W _{Caav}	1601ab	13.3	75b	48.9b	14.8	28.8	0.22a	170.8	142.5	57	26.4
E	L - F - W _{Caav}	2356.8c	13.4	76.7b	50.8b	13.9	26.6	0.18a	173.5	132.8	59.8	25.3
F	$\frac{W_{Caav}}{W_{Caav} - W_{Caav}}$	887a	13.5	69.6a	43.1a	14.4	29	0.49b	179.3	125.3	62	24.8

Rendimento de gran:

O ANOVA mostrou diferenzas significativas ($p < 0,01$) no rendimento de gran. As rotacións (Táboa 1) B (*Lupinus albus* - Barbeito - Ecotipo de trigo de Carral) e E (Trigo *Lupinus albus* - Barbeito - 'Caaveiro') presentaron maiores diferenzas significativas ($1996,75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $2356,75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente) con respecto a C (ecotipo de monocultivo de trigo de Carral) e F (monocultivo de trigo de 'Caaveiro') ($863,25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $887 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente). Cando o *Lupinus albus* precedeu tanto ao ecotipo de Carral como ao trigo 'Caaveiro', o rendimento en gran ($1833,3$ e $1601 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente) foi superior ao monocultivo e inferior ao das rotacións con barbeito antes do trigo.

Peso hectolitro ($\text{kg}\cdot 100 \text{ l}^{-1}$)

O ANOVA mostrou diferenzas significativas ($p < 0,01$) para o peso do hectolitro. As rotacións que comezaban con *Lupinus albus* e barbeito, A (F - L - WEcot), B (L - F - WEcot), D (F - L - WCaav) e E (L - F - WCaav), tiveron valores significativamente máis altos ($74,5$, $75,6$, 75 e $76,7 \text{ kg}\cdot 100 \text{ l}^{-1}$, respectivamente) co monocultivo C (WEcot - WEcot - WEcot) e F (WCaav - WCaav - WCaav) ($70,4$ e $69,6 \text{ kg}\cdot 100 \text{ l}^{-1}$, respectivamente).

Peso de mil sementes

O ANOVA mostrou diferenzas significativas ($p < 0,001$) para o peso de mil sementes, (Figura 8). As rotacións que comezaban con *Lupinus albus* e barbeito, A (F - L - WEcot), B (L - F - WEcot), D (F - L - WCaav) e E (L - F - WCaav), tiveron valores significativamente máis altos ($49,2$, $48,8$, $48,9$ e $50,8 \text{ g}$, respectivamente) co monocultivo, C (WEcot - WEcot - WEcot) e F (WCaav - WCaav - WCaav) ($42,5$ e $43,1 \text{ g}$, respectivamente).



Figura 8: Gran de trigo 'Caaveiro' procedente de rotación (esquerda) e monocultivo (dereita).

Impurezas doutras sementes.

O monocultivo F (WCaav - WCaav -WCaav) tivo significativamente ($p < 0,05$) máis impurezas (0,49%) que as rotacións D (0,22%) (F - L -WCaav) e E (0,18%) (L - F - WCaav) cando se aplicou o mesmo tratamento herbicida ao ensaio. No gran recollido observouse unha menor presenza de sementes doutras especies, a maioría procedentes de gramíneas (*Lolium* sp. e *Avena* sp.).

Humidade (%), proteína (%) e glute húmido do gran.

Para estes parámetros (Táboa 1), o factor de rotación non causou diferenzas significativas. Os valores de humidade do gran (H) variaron dende o 12,8% para B (L - F -WEcot) ata o 13,5% para os monocultivos C (WEcot - WEcot -WEcot) e F (WCaav - WCaav -WCaav). En canto ao glute húmido os resultados variaron do 28% para A (F - L -WEcot) ao 29% para C (WEcot - WEcot-WEcot).

Parámetros alveográficos.

Os parámetros W (forza panadeira), P (tenacidade), L (extensibilidade), P/L (proporción entre tenacidade e extensibilidade) e G (inchamento) non mostraron diferenzas significativas para a rotación (Táboa 1). Os valores variaron para a forza panadeira (W) de 170,8 para D (F - L -WCaav) ata 179,3 para F (WCaav - WCaav -WCaav); elasticidade (L) de 125,3 para F (WCaav - WCaav -WCaav) ata 142,5 para D (F - L -WCaav); tenacidade (P) de 57 para D (F - L -WCaav) ata 62 para F (WCaav - WCaav -WCaav); finalmente, a relación P/L e o índice inchamento (G) de 24,8 para F (WCaav - WCaav - WCaav) ata 26,4 para D (F - L -WCaav).

Rendemento do *Lupinus albus* L.

O rendemento de *Lupinus albus* (Figura 9) variou de 2130,8 kg·ha⁻¹ para R1B (L - F - WEcot) ata 3350,8 kg·ha⁻¹ para R3E (L - F - WCaav) no primeiro ano e de 1944,3 kg·ha⁻¹ para R1A (F - L - WEcot) ata 4027,8 kg·ha⁻¹ para R3D (F - L - WCaav) no segundo ano. O rendemento non foi significativamente diferente entre os dous anos, cunha media de 2663,3 kg·ha⁻¹ e 2664,93 kg·ha⁻¹ para o primeiro e segundo ano, respectivamente.



Figura 9: *Lupinus albus* ‘Rumbo Baer’. Detalle subparcela de ensaio 2º ano

Correlacións coa calidade do solo

Observáronse correlacións significativas entre os parámetros de fertilidade do solo previos á sementeira no terceiro ano cos parámetros alveográficos da calidade da fariña. O pH en auga a 25 °C tivo unha correlación positiva con elasticidade (L) e inchamento (G); con valores de 0,619 e 0,622, respectivamente; e negativa con tenacidade (P) e relación P/L, -0,666 e -0,657, respectivamente. A materia orgánica (%) presentou unha correlación positiva con P (tenacidade) e W (forza panadeira), 0,738 e 0,743, respectivamente; e o contrario co fósforo Olsen (mg·kg⁻¹), -0,730 e -0,777, respectivamente. A relación potasio asimilable, CEC e Ca/Mg, K/Mg e Ca:Mg:K mostraron correlación negativa coa W (forza panadeira), -0,588, -0,683 e -0,811, respectivamente. Finalmente, o Ca tivo unha correlación negativa coa tenacidade (P), a relación P/L e a forza panadeira (W), con valores de -0,788, -0,586 e -0,684, respectivamente.

Táboa 2. Correlacións de Pearson entre as características de calidade do trigo e as análises do solo.
* P < 0.05; ** P < 0.01.

Parámetros alveográficos de calidade	pH en auga a 25°C	Materia orgánica (%)	Fósforo Olsen (mg·kg ⁻¹)	Potasio asimilable (mg·kg ⁻¹)	Ca (mg·kg ⁻¹)	Mg (mg·kg ⁻¹)	CEC (meq/100g)	Ca/Mg, K/Mg and Ca:Mg:K ratio
Elasticidade (L)	.619*	-0.280	0.228	0.093	0.383	0.500	0.331	0.156
P valor	0.032	0.378	0.476	0.773	0.218	0.097	0.293	0.629
Tenacidade (P)	-.666*	.738**	-.730**	-0.465	-.788**	-0.416	-.758**	-.714**
P valor	0.018	0.006	0.007	0.128	0.002	0.179	0.004	0.009
Grado inchamento(G)	.622*	-0.283	0.235	0.074	0.399	0.519	0.351	0.170
P valor	0.031	0.373	0.461	0.819	0.199	0.084	0.263	0.598
Relación P/L	-.657*	0.476	-0.449	-0.169	-.586*	-0.540	-0.563	-0.406
P valor	0.020	0.118	0.143	0.600	0.045	0.070	0.057	0.190
Forza panadeira (W)	-0.288	.743**	-.777**	-.588*	-.684*	-0.024	-.683*	-.811**
P valor	0.364	0.006	0.003	0.044	0.014	0.941	0.014	0.001

Balance económico

Elaborouse un balance económico ao finalizar o ciclo de tres anos (Figura 8) cuxa análise estatística mostrou diferenzas significativas entre o monocultivo C (WEcot - WEcot - WEcot), cun balance de 218,4 €, e a rotación A (Barbeito – *Lupinus albus* – Trigo), con 842,35 €. O monocultivo F acadou tamén cifras notablemente baixas 303,7 €.

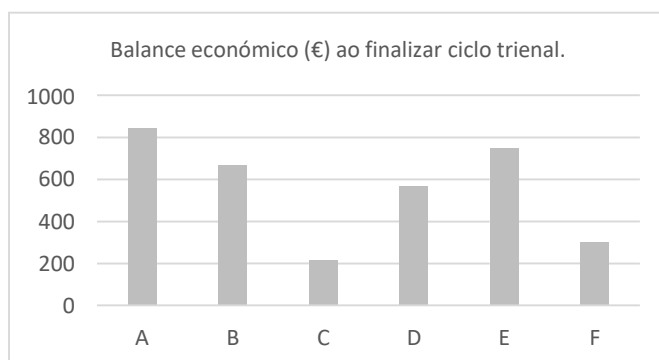


Figura 10: Resultados do balance económico global segundo a rotación.

Discusión

As rotacións B (L - F -WEcot) e E (L - F -WCaav) mostraron un 56% e un 62% máis de rendemento que o monocultivo C (WEcot - WEcot -WEcot) e F (WCaav - WCaav - WCaav), respectivamente, que foron valores superiores aos mostrados noutros estudos anteriores sobre rotacións [13]. O noso estudo presentou incrementos superiores ao 60% nas secuencias de cultivos con barbeito entre leguminosas e cereais. Os incrementos de rendemento foron menores co trigo inmediatamente despois do *Lupinus albus* na secuencia, cun 44,6% para o trigo 'Caaveiro' e un 52,9% para o ecotipo de Carral, e inferiores ao 62% obtido por Rowland et al. [13] en rotacións de *Lupinus albus*- trigo. A rotación tamén contribuíu a un mellor control das plantas adventicias, reflectido nunha menor presenza de sementes doutras especies no gran colleitado, a maioría procedentes de gramíneas (*Lolium* sp. e *Avena* sp.). O monocultivo de cereal aumenta a presión das plantas adventicias de similar ciclo vexetativo [14].

As rotacións B (L - F -WEcot) e E (L - F -WCaav) presentaron incrementos de peso en hectolitros (PC) próximos ao 7% e 9%, en comparación co monocultivo C (WEcot - WEcot -WEcot) e F (WCaav - WCaav -WCaav), respectivamente. Finalmente, as rotacións A (F - L -WEcot) e B (L - F -WEcot) presentaron incrementos en torno ao 13% con respecto ao monocultivo. Pola súa banda, as rotacións D (F - L -WCaav) e E (L - F - WCaav) incrementaron o peso de mil sementes un 12% e un 15%, respectivamente. Incrementos similares (10%) foron obtidos nun estudo de 29 anos de rotación de trigo de inverno fronte a monocultivo [15] e superiores aos observados por outros autores en ensaios similares (2,43%) [16].

Como aconteceu co rendemento, estes resultados non só poderían estar vencellados cun maior nivel de nitróxeno do solo, senón tamén cos beneficios dunha ruptura de ciclos dos patóxenos e un mellor control de malas herbas [13]. O cultivo intercalado dunha leguminosa na rotación co trigo de inverno reduciu o inóculo de *Gaeumannomyces graminis* (unha incidencia de enfermidade do pé de entre un 20 e un 60% no terceiro ano deste estudo) a limiares seguros para o cereal segundo os ensaios realizados nos EUA [17]. A maior incidencia de enfermidades do pé e da raíz puido ser un factor clave no descenso observado das subparcelas de monocultivo, como tamén sinalaron outros autores [18]. O monocultivo de trigo afecta negativamente ao rendemento e á calidade dos grans [19,20], o que concorda co presente traballo indicando un efecto claramente negativo do monocultivo de cereal sobre os parámetros de rendemento, impurezas, peso hectolitro e peso de mil sementes. A rotación con *Lupinus albus* inflúe positivamente nestes parámetros no cereal (Figura 11). Estes efectos fixéronse moito máis visibles no segundo ano despois de intercalar un ano de barbeito. En liña con outros ensaios, observouse un efecto positivo da rotación sobre o peso hectolitro e o peso de mil sementes, nos que o monocultivo afectou negativamente a estes parámetros [16].



Figura 11: Vista xeral dos cultivos de rotación na parcela de ensaio do 3º ano.

Parámetros alveográficos

A pesar da existencia de numerosos estudos que destacan o efecto positivo do cultivo de leguminosas precedendo ao do trigo sobre a porcentaxe de proteína do cereal [21], neste estudo non se observaron diferenzas significativas. Estudos previos observaron efectos positivos da rotación con leguminosas sobre os parámetros alveográficos [22]. Así e todo, outros traballos indicaron que este efecto require un aporte extra de nitróxeno para facer evidente esta mellora [23]. No presente ensaio a baixa achega xeral de fertilizante puido ter influencia neste senso.

A materia orgánica foi tradicionalmente considerada un dos factores fundamentais da fertilidade do solo. É o reservorio de arredor do 95% do nitróxeno do solo. No noso caso, observouse unha correlación positiva significativa entre a materia orgánica e o W (forza panadeira). As subparcelas con resultados W máis elevados teñen contidos de materia orgánica moito máis altos. Dita correlación positiva entre W e materia orgánica tamén se observou noutros traballos, que apuntan á incidencia do C do solo e das súas fraccións sobre a forza panadeira [24].

Rotación incluíndo barbeito

A inclusión do barbeito rompe o ciclo de enfermidades e permite o control mecánico das malas herbas. A devandita labranza tamén favorece a mineralización de materia orgánica achegada no cultivo anterior, poñéndoa a disposición do seguinte cultivo. Hai moitos estudos que reforzan o efecto positivo sobre o rendemento do trigo en rotación, en comparación co monocultivo [15]. A incorporación de barbeito aumentou os rendementos e a rendibilidade nas explotacións do sueste de Australia, mantendo os beneficios ao reducir o custo dos insumos. [25]. Outros estudos citan o efecto positivo do barbeito en relación ao almacenamento de auga no perfil do solo, rexistrando notables incrementos no rendemento do trigo [26].

Rotación con *Lupinus albus* L. ‘Rumbo Baer’

A produtividade do *Lupinus albus* foi similar en ámbalas dúas rotacións, con resultados medios similares a outros estudos para a mesma variedade no seu país de orixe [27].

O cultivo intercalado dunha leguminosa na rotación co trigo de inverno reduce o inóculo de *Gaeumannomyces graminis* (mal de pé) a uns limiares seguros para o cereal segundo os ensaios realizados nos EUA [17]. A maior incidencia destas enfermidades puido ser un factor clave no descenso do rendemento das parcelas de monocultivo, como ocorreu noutros estudos [28].

Os residuos de *Lupinus albus* poden ser superiores a 4,5 t ha⁻¹ de materia seca, cunha riqueza en nutrientes de N (1,81%), P₂O₅ (0,4%) e K₂O (0,72%) para unha dose de sementeira de 100 plantas/m² [29]. Estes residuos tiveron un maior efecto co barbeito antes do trigo, cun aumento do rendemento de aproximadamente un 10% con respecto ao *Lupinus albus* antes do trigo, o que podería estar vencellado ao maior aporte de nutrientes que tivo o cultivo de *Lupinus albus*. no primeiro ano respecto ao segundo.

Análise económica

En canto ao balance económico, obsérvase unha apreciable mellora económica na sucesión Barbeito - *Lupinus albus* - Trigo, con respecto ao monocultivo de cereal, malia ainclusión dun ano de barbeito. Nesa mesma liña existen traballos que analizaron o impacto económico das rotacións de cereais e leguminosas, no que se comprobou as vantaxes das rotacións en termos de rendibilidade en comparación co monocultivo, proporcionando maiores rendementos e meirandes marxes brutas [30].

Conclusións

O monocultivo con trigo autóctono incidiu negativamente no rendemento, e noutros parámetros de calidade da moenda, reducindo o peso do hectolitro, o peso de mil sementes, e incrementando a porcentaxe de impurezas con outras sementes. Ademais, observouse un prexuízo no balance económico derivado da notable redución do rendemento do cereal en monocultivo, especialmente no terceiro ano, que apenas acadou un 26% da marxe económica da rotación mais rendible.

As rotacións con leguminosa e barbeito tiveron un efecto positivo, incrementando o rendemento dende un 57-62%, cando o barbeito precedeu ao trigo, e ata un 52% na sucesión Barbeito – *Lupinus albus* – Trigo.

A calidade do solo influíu na calidade do trigo, independentemente da rotación. Maiores contidos de materia orgánica e menores de fósforo elevaron os parámetros de W (forza panadeira) e P (tenacidade). Polo tanto, unha correcta selección da calidade do solo e a fertilización son recomendables para producir trigo autóctono de calidade.

Os efectos negativos do monocultivo fixéronse notar tamén nos resultados económicos que melloraron no caso da rotación, especialmente na sucesión Barbeito – *Lupinus albus* – Trigo, malia incluír un ano de barbeito.

Finalmente, como se demostrou noutros estudos de rotación, tamén chegamos á conclusión de que as rotacións teñen un efecto positivo na redución de enfermidades e malas herbas.

Bibliografía.

- [1] Campo de Tejada, 2020.
<https://www.campodetejada.es/en/products/cereals/common>.
- [2] Gómez-Ibarlucea, C. Los cereales de invierno en Galicia: 1. Situación actual y perspectivas. *Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera* **1989**, 685, 720-723 ISSN 0002-1334.
- [3] Orden AAA/678/2015, de 14 de abril, por la que se dispone la inclusión de variedades de distintas especies en el Registro de Variedades Comerciales. *Boletín Oficial del Estado*, 18 de abril de 2015,301.
- [4] Karlen D.L.; Varvel G.E.; Bullock D.G.; Cruse R.M. (1994) Crop rotations for the 21st century. *Adv Agron.* **1994**, 53, 1-45.
- [5] Brennan, R.F.; Bolland, M.D.A. Comparing the nitrogen and phosphorus requirements of canola and wheat for grain yield and quality. *Crop Pasture Sci.* **2009**, 60, 566 – 577.
- [6] Krupinsky, J.M.; Tanaka, D.L.; Lares, M.T.; Merrill, S.D. Leaf spot diseases of barley and spring wheat as influenced by preceding crops. *Agron J.* **2004**, 96, 259.
- [7] Schweizer, E.E; Zimdahl, R.L. (1984). Weed Seed Decline in Irrigated Soil after Six Years of Continuous Corn (*Zea mays*) and Herbicides. *Weed Sci.* **1984**, 32, 76-83.
- [8] Mera, M; Rouanet, J.L. (2003) Contribución de las leguminosas de gran en rotación con cereales: Una revisión. In: Acevedo, E (Ed) *Sustentabilidad de cultivos anuales: Cero labranza y manejo de rastrojos*, **2003**, 8, 135-156.
- [9] Kirkegaard J.A.; Christen, O.; Krupinsky, J.; Layzell D.B. Break crop benefits in temperate wheat production. *Advances in Agronomy. Field Crops Res.* **2008**, 107, 185-195.
- [10] Rowland, I.C.; Mason, M.G.; Hamblin, J. Effects of lupins on soil fertility. *Proceedings, 4th International Lupin Conference, Geraldton, August* **1986**, 96-111.

- [11] Angus, J.F.; Kirkegaard, J.A.; Hunt, J.R.; Ryan, M.H.; Ohlander, L.; Peoples, M.B. (2015). Break crops and rotations for wheat. *Crop Pasture Sci.* **2015**, *66*, 523-552.
- [12] Reglamento (UE) N° 1307/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de diciembre de 2013, Capítulo 3 del Título III. Base normativa de los pagos directos de la PAC a partir de la campaña 2015.
- [13] Rowland, I C.; Mason, M.; Hamblin, J. The nitrogen response of wheat crops following lupins," *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia* **1989**, *30*, 22-25.
- [14] Woźniak, A.; Soroka, M. Structure of weed communities occurring in crop rotation and monoculture of cereals. *Int J Plant Prod.* **2015**, *9*, 487-506.
- [15] Woźniak, A. Effect of Crop Rotation and Cereal Monoculture on the Yield and Quality of Winter Wheat Grain and on Crop Infestation with Weeds and Soil Properties. *Int J Plant Prod.* **2019**, *13*, 177-182.
- [16] Guarienti, E.M.; Dos Santos, H.P.; Lhamby, J.C.B. Influence of soil management and crop rotation on characteristics that define the industrial quality of wheat. *Pesqui Agropecu Bras.* **2000**, *35*, 2375-2382.
- [17] Cook, R.J.; Weller, D.M. Management of take-all in consecutive crops of wheat or barley. In *ICHet (Ed) Innovative Approaches to Plant Disease Control.* **1987**, 41–76, John Wiley and Sons, New York.
- [18] Peña, R.J. Wheat for bread and other foods. In: bread wheat improvement and production. Curtis, B. C.; Rajaram, S. S. and Gómez, M. H (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. **2002**, 483-542.
- [19] Lopez-Bellido, L.; Lopez-Bellido, R.J.; Castillo, J.E.; Lopez-Bellido, F.J. Effects of long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crop Res.* **2001**, *72*, 197 -210.
- [20] B. Borghi, G. Giordani, M. Corbellini, P. Vaccino, M. Guermandi, G. Toderi

Influence of crop rotation, manure and fertilizers on bread making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *European Journal of Agronomy*. 1995.

[21] Woźniak, A.; Makarski, B. Content of minerals, total protein and wet gluten in grain of spring wheat depending on cropping systems. *J Elementol*. 2013, 18, 297–305.

[22] Rachoń, L.; Szumiło, G.; Brodowska, M.; Woźniak A. Nutritional value and mineral composition of grain of selected wheat species depending on the intensity of a production technology. *J. Elementol*. 2015, 20, 705–715.

[23] Fuertes-Mendizábal, T.; Aizpurua, A.; González-Moro, M.B.; Estavillo J.M. Improving wheat bread making quality by splitting the N fertilizer rate. *Europ J Agron*. **2010**, 33, 52- 61.

[24] Ana Clara Sokolowski, Ileana Ruth Paladino, Mónica Beatriz Barrios, José Enrique Wolski, María Cristina Gage, Javier De Grazia, Hernán Rodríguez, Silvina Debelis. ¿El carbono y el nitrógeno del suelo afectan la calidad del trigo (*Triticum aestivum* L.)?. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental*. Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ. Vol. 5 (4) 2018: 42-49.

[25] Cann, D.J.; Hunt, J.R.; Malcolm, B. Long fallows can maintain whole-farm profit and reduce risk in semi-arid south-eastern Australia. *Agr Syst*. **2020**, 178.

[26] Austin, R.B.; Cantero-Martínez, C.; Arrue, J.L.; Playan, E.; Cano-Marcellan, P. (1998). Yield-rainfall relationships in cereal cropping systems in the Ebro river valley of Spain. *Eur J Agron*. **1998**, 8, 239-248.

[27] Mera, M.; Alcalde, J.M. (2019). *Lupinus albus* performs as the species that allows greatest grain and protein yields in Chile International Lupin Conference, Cochabamba. **2019**.

[28] Cook, R.J. The influence of rotation crops on take-all decline phenomenon *Phytopathology* **1981**, 71, 189–192.

[29] Mayor, A.G.; Markievich, K.V. Acumulación de residuos de raíces y rastrojos de cultivos en suelos podzoles arenosos. En: agricultura y fitotecnia en Bielorrusia. Urozhay, Moscú, Rusia, **1989**, 33, 35-39.

[30] Yigezu A. Yigezu; Tamer El-Shater; Mohamed Boughlala; Zewdie Bishaw; Abdul Aziz Niane; Fouad Maalouf; Wuletaw Tadesse Degu; Jacques Wery; Mohamed Bouffiras; Aden Aw-Hassan. Legume-based rotations have clear economic advantages over cereal monocropping in dry areas. *Agronomy for Sustainable Development*. 2019, 39: 58

CAPÍTULO II. ESTUDO DO IMPACTO AMBIENTAL DE DIVERSAS ALTERNATIVAS DE ROTACIÓN CO TRIGO AUTÓCTONO BAIXO DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.

INTRODUCCIÓN XERAL:

A agricultura é o sector máis afectado polos impactos adversos do cambio climático, o que representa un desafío para a seguridade alimentaria [31,32].

O trigo é a planta máis cultivada no mundo, con máis de 200 Mha [33,34] e considérase un cultivo clave no contexto de seguridade alimentaria [35].

A intensificación provocou moitos problemas ambientais, como o alto consumo de recursos, perda de biodiversidade e a contaminación. Os fertilizantes minerais e orgánicos son a principal fonte de nutrientes para os cultivos. Máis do 50% do nitróxeno aplicado ao solo non é empregado pola polo cultivo [36].

A perda de nitróxeno nas súas diferentes formas pode ter un impacto prexudicial sobre os organismos vivos [37] e ten un efecto negativo sobre o medio ambiente, tanto na eutrofización como no quecemento global [38, 39].

O deseño dunha rotación de cultivos axeitada pode influír de maneira determinante no impacto ambiental das actividades agrícolas,[40]. Para medir o impacto das diferentes alternativas de rotación emprégase maioritariamente a metodoloxía da Avaliación do Ciclo de Vida (ACV) [38, 41, 42, 43, 44, 45].

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é un proceso obxectivo que permite avaliar as cargas ambientais asociadas a un produto, proceso ou actividade, identificando e cuantificando tanto o uso de material e enerxía, como as emisións ao medio ambiente, para determinar o impacto da ese aproveitamento dos recursos e as emisións xeradas, coa finalidade de avaliar e poñer en práctica estratexias de mellora ambiental [46].

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) permite coñecer onde se atopan as fases ou elementos máis críticos do proceso e así centrarse neles para buscar solucións alternativas.

OBXECTIVO XERAL:

Os **obxectivos básicos** dos traballos recollidos neste capítulo foron a cuantificación dos impactos ambientais e económicos de diferentes sistemas de rotación con variedades de trigo galego para identificar o mellor sistema de xestión do territorio, así como a avaliación do perfil ambiental do pan elaborado con fariña de trigo galego.

O **obxectivo específico**, e aporte fundamental nestes traballos, foi a recollida dos datos de inventario correspondentes aos diferentes cultivos que forman parte dos sistemas de rotación con trigo autóctono en Galicia. Tamén se proporcionaron os datos vencellados aos procesos de moenda do cereal autóctono e panificación do Pan Galego.

Esta información foi a base das estimacións dos impactos ambientais e económicos dos sistemas de produción formulados.

MATERIAL E MÉTODOS XERAIS:

Recollida de datos de inventario:

Empregouse un proceso metódico de recollida de información específica sobre xestión agronómica, maquinaria, labores, rendementos, fertilizantes, fitosanitarios..., para avaliar o perfil ambiental das rotacións do trigo galego mediante o método ACV.

A recollida de datos centrouse basicamente na recollida de datos primarios (información bruta recollida na fonte orixinal: o agricultor).

Os instrumentos empregados para recollelos foron entrevistas persoais co produtor, empregando un cuestionario en papel cunha serie de preguntas pechadas e claramente definidas, ofrecendo unha variedade de respostas con opcións de elección e valoracións. Sendo información persoal, os datos son confidenciais e só se empregan para fins de investigación.

Para a información sobre os inputs (doses de semente, fertilizantes, fitosanitarios...) e outputs agrícolas (rendementos de gran, tubérculos, palla, forraxe...) consideráronse valores medios nos derradeiros 5 anos.

Os datos de inventario referidos anteriormente, e outros datos secundarios procedentes de fontes publicadas con anterioridade, permitiron analizar o perfil ambiental das diversas alternativas de rotación de cereal prantexadas, ademais do ACV do pan dunha das panaderías máis representativas do sector en Galicia.

Nos estudos recollidos no presente capítulo analízanse ata 9 categorías de impacto diferentes:

GW– Quecemento Global

SOD - Esgotamento do ozono estratosférico

TA - Acidificación terrestre

FE - Eutrofización de auga doce

ME - Eutrofización mariña

TET - Ecotoxicidade terrestre

FET - Ecotoxicidade na auga doce

MET - Ecotoxicidade mariña

FRS - Escaseza de recursos fósiles

Destacar a importancia dos datos de inventario para o cálculo da emisións de campo, aquelas causadas pola aplicación de fertilizantes e agroquímicos.

Como consecuencia da aplicación de fertilizantes libérase amoníaco (NH_3), óxidos de nitróxeno (NO_x), óxido nítrico (N_2O), nitratos (NO_3) e fosfatos. O mesmo sucede coa aplicación de pesticidas xerando emisións ao aire, auga e solo. Constatar ademais que antes da aplicación dos propios agroquímicos, durante o proceso de fabricación e transporte de fertilizantes e fitosanitarios químicos, consúmense recursos e se producen emisións.

De seguido as seccións recollidas neste Capítulo.

SECCIÓN II.1:

Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain. (*Avaliación do ciclo de vida de variedades autóctonas de trigo e produción de pan artesano en Galicia, España*). **Science of the Total Environment**. 14 January 2020. Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García, Sara González-García, Angeles Romero-Rodríguez, Benigno Ruíz-Nogueiras, Santiago Pereira-Lorenzo, Gumersindo Feijoo, Maria Teresa Moreira.

SECCIÓN II.2:

Evaluating the environmental profiles of winter wheat rotation systems under different management strategies. (*Avaliación dos perfís ambientais dos sistemas de rotación do trigo de inverno baixo diferentes estratexias de manexo*). **Science of the Total Environment**. 14 January 2021. Sara González-García, Fernando Almeida-García, Maria Teresa Moreira, Miguel Brandão.

SECCIÓN II.3:

Environmental consequences of wheat-based crop rotation in potato farming systems in Galicia, Spain. (*Consecuencias ambientais da rotación de cultivos baseada no trigo nos sistemas de cultivo de pataca en Galicia, España*). **Journal of Environmental Management**, 5 March 2021. Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García, Gumersindo Feijoo, Maria Teresa Moreira, Sara González-García.

SECCIÓN II.1 ESTUDO DO PERFIL AMBIENTAL DA PRODUCCIÓN DE TRIGO GALEGO E PAN ARTESÁN EN GALICIA, ESPAÑA.

INTRODUCCIÓN:

O home non só vive de pan, pero moitos científicos argumentan que sen el non estaríamos aquí (ou estaríamos, pero en número considerablemente menor). Co trigo evolucionamos de cazadores e recolectores a ter unha agricultura consolidada como parte da Revolución Neolítica. Iso supuxo contar con reserva de alimento ao longo do ano permitindo sobrevivir a períodos de frío e cacerías infrutuosas.

A orixe remóntase 11.000 anos, no “berce da civilización”, en Mesopotamia, cando o ser humano comezou a cultivar trigo escanda e farro, dous antepasados do trigo actual.

Nunha agricultura cada vez máis industrializada, a procura de variedades tradicionais que potencien as propiedades organolépticas do pan é unha demanda crecente. Neste senso, ao consumidor non só lle interesa preservar o patrimonio alimentario asociado aos ingredientes e ás técnicas de produción artesanal [47], senón que prefire mercar un produto de calidade diferenciada ou producido segundo patróns de produción sostible [48]. Máis aló da excelencia do produto, a valoración do perfil ambiental asociado ás actividades agrícolas pode proporcionar información sobre a estratexia de comercialización de produtos alimentarios máis saudables e sostibles.

OBXECTIVOS:

O obxectivo específico deste traballo foi a recollida de datos de inventario para a análise do ciclo de vida (ACV), de variedades locais de trigo, así como da produción de fariña e pan artesán en Galicia.

1. Por un lado, para avaliar os impactos ambientais do cultivo do trigo galego en rotación e monocultivo fronte o cultivo de trigo convencional.
2. Por outro lado, para posibilitar o estudio do perfil ambiental de procesos de fabricación de fariña e pan representativos en Galicia.

MATERIAL E MÉTODOS

As **unidades funcionais** elixidas para o estudo de cada un dos obxectivos foron 1 kg de gran de trigo transportado ata a moenda e 1 kg de pan galego, respectivamente.

Obxectivo 1:

A **área de estudo** concéntrase fundamentalmente en tres bisbarras de Galicia: As Mariñas, Bergantiños e A Limia. As tres rexións representan unha poboación de aproximadamente 27.00 habitantes e 300 km² de superficie.

Os **datos de inventario para a avaliación ambiental** vencellada á produción agrícola corresponden a 51 agricultores pertencentes á Asociación de Produtores de Trigo autóctono de Galicia (TRIAGA), que subministran gran de trigo galego a unha única panadería. A **superficie total** abrangue 320 ha, producindo o trigo tradicional de Galicia, denominado “trigo do país”, cunha produción media anual de 1500 t ·ano⁻¹.

A referida panadería atópase emprazada na localidade de Carral (A Coruña, Galicia). Conta cunha capacidade de transformación próxima ás $300 \text{ t} \cdot \text{mes}^{-1}$ de fariña panificable. Dende fai corenta anos emprega na súa formulación un 40% de fariña de trigo autóctono para conseguir cualidades organolépticas diferenciadoras no seu produto. Destacar que a meirande parte dos panadeiros tradicionais da rexión defenden o emprego de fariñas de variedades locais de trigo como ingrediente fundamental do afamado Pan Galego. Este Grupo Empresarial (Panadería Da Cunha) conta cun sistema de moenda baseado en muíños de pedra. Este proceso de fabricación de fariña confírelle ao pan un maior contido de fibra e nutrientes a través da fariña, incorporando a parte máis fina da cuberta do gran e o xerme do trigo.

Os datos de inventario vinculados aos procesos de elaboración de fariña e pan tradicional foron proporcionados polo persoal técnico de produción e responsables do Departamento de Calidade da propia empresa panadeira.

➤ **Datos de xestión agronómica (S1):**

No estudio vencellado a produción agrícola diferéncianse os seguintes escenarios:

1. Produción de trigo galego en rotación ou en monocultivo: S1a-CR e S1a-M.
2. Produción de trigo de variedades comerciais: S1b.
3. Produción de trigo galego para semente: S1c.

Recolléronse os datos dun total de 51 agricultores das tres contornas analizadas. Rexistrouse a superficie dedicada ao cultivo da variedade de trigo local ‘Caaveiro’. Este cultivo prodúcese en rotación na meirande parte da superficie, con cultivos acompañantes como o millo, a pataca, a colza e o *Lupinus*, aínda que este último en menor medida. Na labra primaria apóstase maioritariamente polo arado de vesco. Na fertilización de fondo empréganse fertilizantes orgánicos de explotacións gandeiras intensivas (coello ou polo de engorde). Tódolos produtores realizan control químico de malas herbas (tratamento herbicida), habitualmente cun tratamento de preemergencia para a eliminación de adventicias de folla ancha e folla estreita. En canto á fertilización de cobertura aplícase un fertilizante simple nitróxeno nos casos de monocultivo. No encanado ata folla bandeira é moi habitual a aplicación dun fungicida sistémico para o control de roia, con produtos do grupo dos triazoles. Para a colleita contrátase o servizo externo de máquinas colleitadoras autopropulsadas. Finalmente, o propio agricultor asume o custe do transporte do material a granel á industria, a través de remolques propios (Figura 9) no caso de produtores con ubicacións próximas, < 20 km, ou camións bañeira (nas explotacións máis afastadas).

Na produción de trigo con destino a semente certificada (S1c), o gran pasa a través dun proceso de limpa e selección exhaustiva. Neste proceso interveñen unha serie de máquinas de limpeza por tamaño e peso (separadores de barutos con aspiración). Outras discriminan aquelas partículas ou sementes de igual diámetro có gran de trigo pero máis alargadas ou curtas (“separadores de cilindros”). Finalmente, a mesa densimétrica selecciona grans de maior peso específico afinando a limpa das máquinas anteriores. Na derradeira fase o trigo envásase en sacos ou big-bags, previo tratamento se procede.



Figura 9: Descarga de gran colleitado a bañeira, en parcela de trigo comercial, previo transporte ao muíño.

➤ **Datos do sistema de moenda (S2):**

Para poder ter o perfil ambiental completo do pan elaborado con fariña de trigo galego, hai que ter en conta tamén o proceso de moenda. Os datos de inventario vencellados ao diagrama de fluxo, maquinaria, consumos e minguas foron proporcionados polo persoal técnico e responsables da instalación de moenda da empresa. Basicamente a instalación componse de dúas partes fundamentais: o sistema de limpa e acondicionado do gran e o sistema de moenda co cernido e correspondente transporte pneumático. Esta instalación componse de 5 muíños de pedra alimentados por corrente eléctrica que dan como resultado unha fariña semiintegral que incorpora a parte máis fina da cuberta mantendo íntegro o xerme do trigo. A extracción acada unha media do 72%. Os rendementos medios oscilan entre 7 e 10 t de fariña ao día.



Figura 10: Instalación de moenda.

➤ **Datos do proceso de fabricación de pan (S3):**

A continuación detállanse as fases do diagrama de fluxo do proceso de fabricación de pan:

1.- Recepción de envases e embalaxes, materias primas e ingredientes secundarios: os pedidos descárganse do vehículo de transporte a través do peirao, mediante portapalés automatizadas, almacenándose nas súas localizacións correspondentes.

2.- Almacenamento: actuación inmediatamente posterior a recepción, situando cada material no seu emprazamento correspondente, seguindo as especificacións pertinentes.

3.- Dosificado, mestura e amasado: segundo a receita establecida. A dosificación da fariña, lévedo e auga realízase de forma automática mediante a programación nos respectivos paneis de control. O resto dos ingredientes dosifícanse manualmente.

A masa nai dosifícase nunha cantidade mínima do 15% do peso da fariña amasada.

A cantidade de auga incorporada rolda os 75-80 litros por 100 kg de fariña.

4.- Fermentación en bloque: despois do amasado, vértese o material nas artesas. Este é un proceso fundamental, sobre todo nas masas de elevada humectación, carácter típico do Pan Galego. Esta fase prolóngase durante dúas horas, producíndose ácidos orgánicos que influen positivamente no sabor do pan e na súa conservación.

5.- Pesado e dividido: despois da fermentación en artesa efectúase o dividido e pesado das porcións de masa segundo o formato de pan a elaborar.

6.- “Heñido”: formado manual para transformar a peza de masa en bola.

7.- Repouso en bola: unha segunda fermentación da peza no seu transcorrer por cinta ata a mesa de formado manual.

8.- Formado: manualmente, dándolle á masa os diferentes formatos tradicionais.

9.- Cocción: a través de cargadores automatizados, que ademais son responsables da súa descarga unha vez rematado o proceso. Dura de media 1 h por Kg. Empréganse fornos refractarios. A temperatura de cocción oscila entre 180 e 270 °C, dependendo do formato.

10.- Temperado: o pan atempera durante un mínimo dunha hora en estantes de madeira, para facilitar a perda de humidade, antes de proceder ao envasado e expedición.

11.- Envasado/Etiquetado: en envases de papel con ventá microperforada coa correspondente etiqueta.

En base aos datos de inventario referidos, e outra información bibliográfica, efectúase unha avaliación do ciclo de vida (ACV) do pan galego elaborado con fariña de trigo galego móida en muíño de pedra. Para elo dividiuse o análise en dúas fases fundamentais. Unha vinculada á produción primaria e outra enfocada a transformación dese gran en pan.

As unidades funcionais escollidas foron:

Fase 1 (produción primaria): 1 kg de gran de trigo. Nesta fase imos diferenciar os seguintes subsistemas;

Subsistema de cultivo de trigo autóctono en rotación (S1a-CR).

Subsistema de cultivo de trigo autóctono en monocultivo (S1a-M).

Subsistema de cultivo de trigo comercial nacional, típico de Castela e Andalucía (S1b).

(Para este subsistema recóllese información na base de datos Ecoinvent® v.3.5).

Subsistema de produción de semente de trigo autóctono certificado (S1c).

Fase 2 (elaboración de pan): 1 kg de pan. Nesta fase identificamos os seguintes subsistemas.

Subsistema de moenda de trigo (S2).

Subsistema de panificación (S3).

Escollendo estas unidades (kg de trigo e kg de pan), facilítase a comparación con outros estudos [47, 49].

RESULTADOS

Resultados dos datos de inventario

➤ Datos de xestión agronómica:

Os datos das superficies dedicadas a cereal nas explotacións avaliadas variaron entre 1 e 36 ha (Táboa 3).

Tipo de rotación:

A meirande parte das parcelas de trigo das rexións analizadas forman parte dun sistema de rotación de cultivos coas seguintes secuencias máis habituais:

- 1) Trigo, colza e *L. albus*. na bisbarra de Carral (**S1a-CR**). Nas explotacións onde non se sementa *L. albus* optan por repetir dous anos de trigo por un ano de colza.
- 2) Trigo e millo na zona de Bergantiños (**S1a-CR**). Este tipo de rotación é máis habitual nas rexións de tradición gandeira, onde hai demanda de forraxe de millo ensilado.
- 3) Dous anos de trigo e pataca na zona da Limia (**S1a-CR**), onde a pataca é o cultivo cabecera de rotación e o trigo cumpre unha misión de ruptura de ciclos de pragas e enfermidades como os nematodos e o mildeu.
- 4) Nestas bisbarras tamén se realiza o cultivo de trigo baixo sistema de monocultivo, aínda que en menor medida (**S1a-M**), sendo habitual nas explotacións xestionadas por persoal de maior idade, con menores recursos de instalacións e maquinaria.

O sistema de cultivo de trigo en réxime de rotación (**S1a-CR**) presenta como unha das súas vantaxes a reciclaxe e recuperación de nutrientes do solo, evitando custes e contaminación derivada do uso de fertilizantes químicos, posto que este sistema só emprega abono orgánico como fertilizante. Iso sí: son necesarios períodos máis longos para cultivar trigo.

O sistema de cultivo de trigo en monocultivo (**S1a-M**) caracterízase pola repetición sucesiva de cereal na mesma parcela. Adoita ser moi habitual facer aplicacións complementarias de fertilizantes nitrogenados para manter os niveis produtivos. É un sistema máis vulnerable á afección de pragas e enfermidades, especialmente de fungos saprófitos como a *Septoria* ou o *Fusarium*. Ademais, son sistemas con maior presión de adventicias.

O sistema produción de trigo para semente certificada (**S1c**) integra, ademais, as fases de limpeza, selección e envasado do cereal. Segue as mesmas actuacións que o cereal dirixido á moenda pero nun sistema de rotación anual con outros cultivos.

No 100% das explotacións estudadas aplícase fertilización orgánica de fondo. Ademais, en todas elas se fai unha labra convencional profunda que adoita empregar arado seguido das labores secundarias de rotocultor. Un 28% das explotacións efectúan fertilización nitrogenada en cobertura (a meirande parte da superficie correspóndese con parcelas en monocultivo). Case un 45% da superficie se atopa a distancias inferiores aos 70 km, quedando o 55% da superficie restante dentro dun radio inferior aos 200 km (Táboa 3).

Táboa 3: Datos de xestión agronómica. Agric. (agricultor); Rotac. (rotación); Cult. Ant. (cultivo anterior); Sup. (superficie); Lab.1º (labra primaria); Ab.Org. (abonado orgánico); Lab.2º (labra secundaria); Herb. (tratamento herbicida); Ab.Cob. (abonado de cobertura); Funx. (tratamento funxicida); Tte. (distancia dende a explotación á Industria Panificadora).

Agric.	Concello	Rotac.	Cult. Ant.	Sup.	Lab.1º	Ab.Org.	Lab.2º	Herb.	Ab.Cob.	Funx.	Tte.(Km)
2	Carral	S1a-CR	Colza	7	si	si	si	si	non	si	<20
3	Abegondo	S1a-CR	Colza	2	si	si	si	si	non	si	<20
4	Aranga	S1a-CR	Millo	8	si	si	si	si	non	si	<50
5	Vilasantar	S1a-CR	Millo	2	si	si	si	si	non	si	<70
6	Laracha	S1a-CR	Millo	35	si	si	si	si	non	si	<40
7	Laracha	S1a-CR	Colza	36	si	si	si	si	non	si	<40
9	Carballo	S1a-CR	Millo	10	si	si	si	si	non	si	<50
11	Narón	S1a-CR	Millo	9	si	si	si	si	non	si	<70
12	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
13	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	3	si	si	si	si	non	si	<200
14	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	2	si	si	si	si	non	si	<200
18	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
19	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
20	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	2	si	si	si	si	non	si	<200
21	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	3	si	si	si	si	non	si	<200
22	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	7	si	si	si	si	non	si	<200
23	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	1	si	si	si	si	non	si	<200
24	Xinzo Limia	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
25	A Porqueira	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
26	A Porqueira	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
33	Sarreaus	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
34	Sarreaus	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
35	Sarreaus	S1a-CR	Pataca	6	si	si	si	si	non	si	<200
38	Sarreaus	S1a-CR	Pataca	6	si	si	si	si	non	si	<200
39	Sarreaus	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
42	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
43	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
44	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	3	si	si	si	si	non	si	<200
45	Vilar Barrio	S1a-CR	Colza	6	si	si	si	si	non	si	<200
46	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
47	Vilar Barrio	S1a-CR	Millo	8	si	si	si	si	non	si	<200
48	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
49	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	6	si	si	si	si	non	si	<200
50	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	4	si	si	si	si	non	si	<200
51	Vilar Barrio	S1a-CR	Pataca	5	si	si	si	si	non	si	<200
8	Laracha	S1a-M	Trigo	8	si	si	si	si	si	si	<40
10	Mugardos	S1a-M	Trigo	8	si	si	si	si	si	si	<70
15	Xinzo Limia	S1a-M	Trigo	6	si	si	si	si	si	si	<200
16	Xinzo Limia	S1a-M	Trigo	5	si	si	si	si	si	si	<200
17	Xinzo Limia	S1a-M	Trigo	6	si	si	si	si	si	si	<200
27	Sandiás	S1a-M	Trigo	2	si	si	si	si	si	si	<200
28	Sandiás	S1a-M	Trigo	4	si	si	si	si	si	si	<200
31	Sarreaus	S1a-M	Trigo	4	si	si	si	si	si	si	<200
32	Sarreaus	S1a-M	Trigo	5	si	si	si	si	si	si	<200
36	Sarreaus	S1a-M	Trigo	6	si	si	si	si	si	si	<200
37	Sarreaus	S1a-M	Trigo	6	si	si	si	si	si	si	<200
40	Trasmiras	S1a-M	Trigo	8	si	si	si	si	si	si	<200
41	Trasmiras	S1a-M	Trigo	4	si	si	si	si	si	si	<200
1	Carral	S1c	Colza	18	si	si	si	si	si	si	<20

Datos vencellados ao proceso de moenda do trigo galego (S2):

A **moenda (S2)** é o proceso de conversión do gran de trigo en fariña, destino do produto colleitado nos subsistemas **S1a-CR, S1a-M, S1b** e parte do gran descartado no proceso de produción de semente **S1c (20-25%)**. A fariña empregada para facer o pan tradicional de Galicia adoita mesturar o trigo galego en porcentaxes do 25-40% co trigo comercial de gran forza, en porcentaxes que varían entre o 75% e 60%.

Este proceso de moenda segue un fluxo de produción (Figura 9) no que se identifican os seguintes pasos:

- 1.- Descarga:** Dende remolque ou bañeira á moega de recepción.
- 2.- Moega de recepción:** Tolva de recepción por debaixo do nivel da soleira con capacidade para recibir uns 30.000 kg de gran.
- 3.- Prelimpa:** O gran é transportado mediante transportador sen fin a un separador de tamices con aspiración para facer unha limpeza preliminar que é fundamental antes do proceso de almacenamento. Nesta fase xéranse minguas en forma de impurezas que varían entre o 0,5-1,5%, destinándose en parte á alimentación animal. O que non serve como alimento (restos de palla, po...) compórtase.
- 4.- Transportador sinfín e elevadores:** Dirixen o material mediante canxilóns aos silos.
- 5.- Almacenamento nos silos:** O gran almacenase, con tratamento de desinsectación, de 2 a 12 meses.
- 6.- Transportador sinfín:** Dirixe o material dende os silos de almacenamento á instalación de moenda.
- 7.- Limpa:** Nas propias instalacións do muíño, despois do transporte do material dende os silos. Consiste nun separador de tamices con aspiración de grans rotos, murchos, sementes de malas herbas, partículas de diferente diámetro ao gran de trigo. Nesta fase sepárase un 1,5% do total, o que se destina á alimentación animal.
- 8.- Espedradora:** Situada nun nivel inferior á máquina de limpa, recibe o material por gravidade, separando por densidade pequenas pedras de tamaño similar ao gran de trigo e que, por tanto, non se puideron separar no implemento anterior.

9.- Acondicionado: O gran móllase a través dun sinfín rociador. O material repousa en Tolva 14 h para permitir a separación correcta entre farelo e fariña, facilitando a moenda. Nesta fase tamén se producen minguas no entorno do 1,5% en forma de impurezas.

10.- Segundo repouso en Tolva2: Unha hora.

11.- Despuntado: O gran é impulsado sobre tela abrasiva para separar partículas adheridas ao mesmo.

12.-Columna de aspiración: Unha corrente de aire retira ditas partículas máis lixeiras. Nestas dúas últimas fases vólvese perder outro 1,5%.

13.- Moenda: Efectuada con muíños de pedra, a fariña é separada a través dun transporte pneumático, resultando nunha extracción media do 70%-72% cun 22% de farelo. O 6% restante son o total das impurezas mencionadas con anterioridade.

14.- Peneirado: A fariña sepárase do farelo a través das telas da peneira.

15-16.- Pesado e Envasado: Con pesadora-ensavadora semiautomática, en sacos de 25 kg ou envases de 600 kg.

17.- Paletizado: Sobre palé de madeira europeo.

18.- Expedición: En vehículos axeitados a través do peirao de carga.

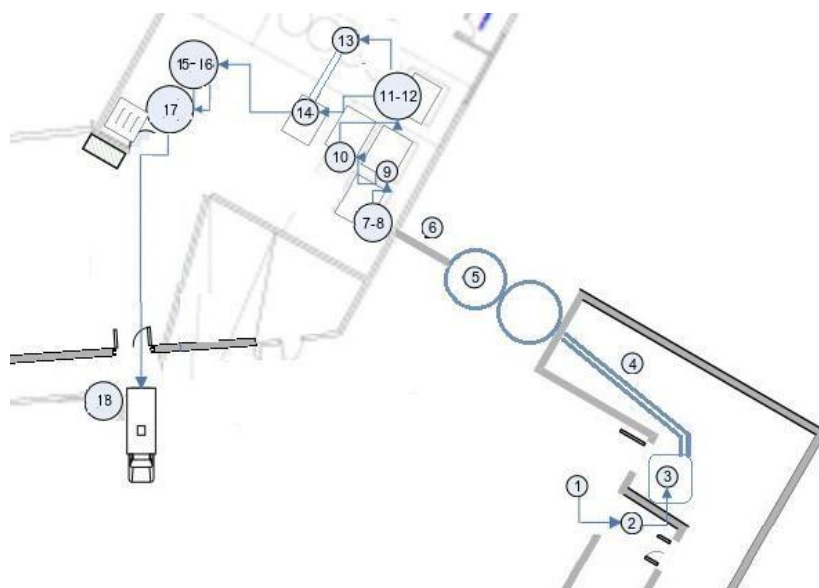


Figura 10: Fases do diagrama de fluxo de produción de fariña de trigo galego sobre plano.

Táboa 4 Datos de inventario para a produción dun kg de Pan Tradicional na fase de moenda e elaboración de pan (modificado de Iana Cámara-Salim, Fernando Almeida-García, et al. 2020).

Actividade	Tipo de actividade	Fase	Descrición	Cantidade	Ud
Trigo comercial granel	Entrada	Moenda	60% de variedades comerciais de talla baixa (S1b).	1	Kg
Trigo galego granel	Entrada	Moenda	35% de variedades de trigo galego (S1a-CR, S1a-M).		
Trigo Galego big-bags	Entrada	Moenda	5% de gran descartado para semente certificada (S1c).		
Auga	Entrada	Moenda	A necesaria para o proceso de acondicionado do gran previo á moenda.	0,33	l
Terra Diatomeas	Entrada	Moenda	Tratamento fitosanitario control de pragas de almacén.		
Transporte	Entrada	Moenda	Muíño - Obradoiro panadería.	2	km
Fariña	Saída	Moenda		0,72	Kg
Farelo	Saída	Moenda	A parte máis grosa da cuberta do gran. Destinase a súa á venda como materia prima para a elaboración de pensos.	0,22	
Impurezas e minguas	Saída	Moenda	As derivadas dos procesos de limpa e despuntado do gran.	0,06	
Fariña	Entrada	Elaboración de pan		0,72	Kg
Auga	Entrada	Elaboración de pan	Cun grado de humectación do 80% sobre o total da masa. Non se xeran augas residuais. Toda esta auga recíclase ou absórbese no proceso.	0,6	l
Sal	Entrada	Elaboración de pan		< 16,6*	g/kg
Lévedo	Entrada	Elaboración de pan	Biolóxica fresca comercial, prensada.	<15	g/kg
Pellets	Entrada	Elaboración de pan	Empregados na cocción do pan, producindo calor indirecto a través da súa combustión nos fornos refractarios anulares.	12	g/kg
Enerxía	Entrada	Elaboración de pan		0,05	kWh
Pan	Saída	Elaboración de pan		1	kg
Residuos	Saída	Elaboración de pan	Destínanse á compostaxe ou á alimentación animal.	8,5	g/kg

*Segundo análise de sodio total

O proceso de panificación (S3), conversión da faría en pan (Figura 11)

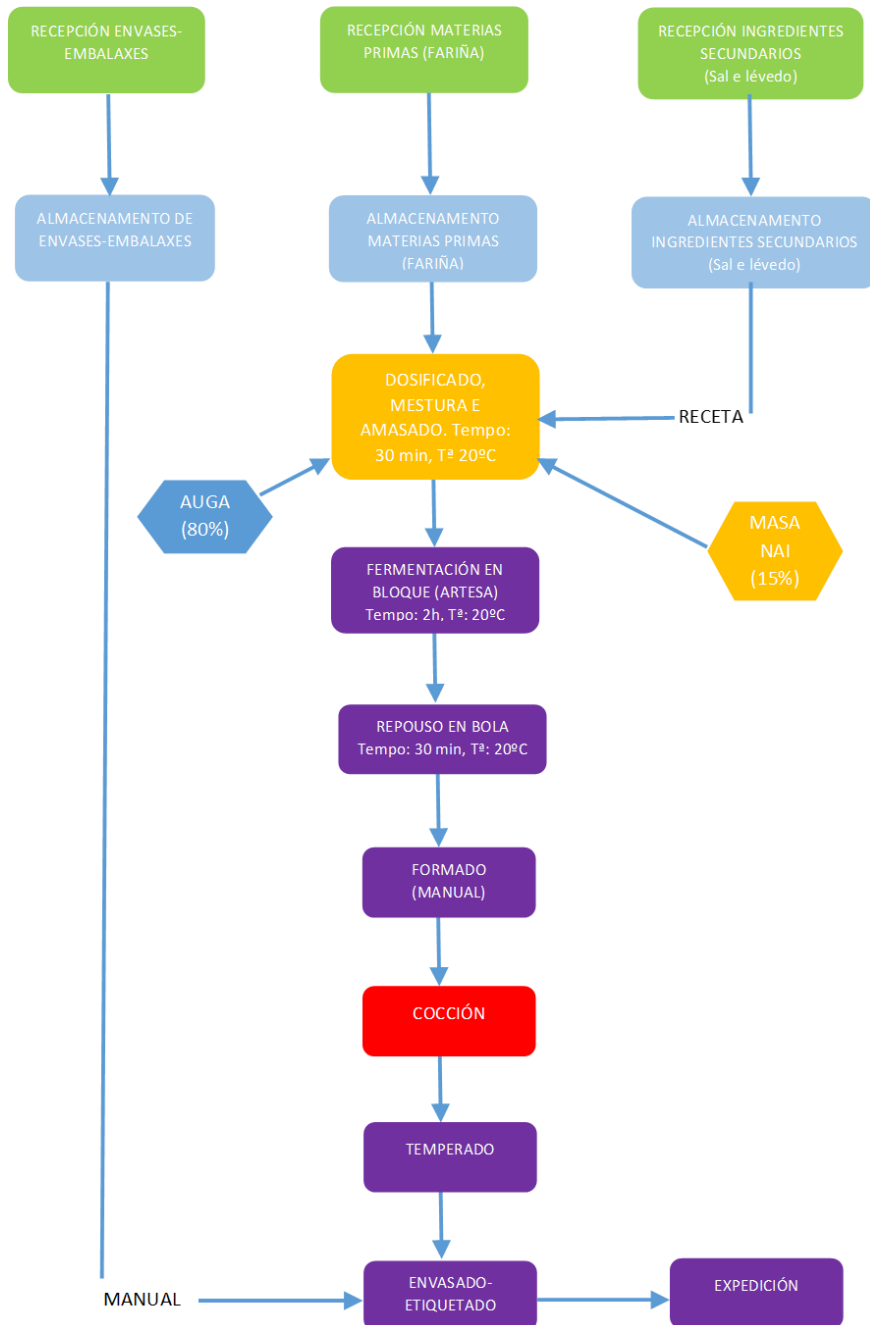


Figura 11: Diagrama de Fluxo completo do Proceso de Panificación.

Datos vencellados ao proceso de produción de pan (S3):

Os obradoiros sitúanse a 2 km de distancia do muíño. Nun día empréganse unhas 7-10 t de fariña procesadas, xerándose o redor de 80 kg de residuos destinados á compostaxe. Cun kg de fariña fábricase aproximadamente 1,4 kg de pan tradicional de Galicia (Figura 12). Hai que ter en conta que este tipo de pans teñen un elevado grao de humectación, (próximo ao 80%). O proceso de fabricación comeza co amasado no cal se mesturan as materias primas: fariña, auga, sal, masa nai e lévedo nun proceso que dura 30 min. aproximadamente. Esta fase é de vital importancia para conferirlle á masa, forza e elasticidade. A seguinte fase é a fermentación en bloque en artesa. Prolóngase durante dúas horas e media (sobre 150 min). Neste proceso, o lévedo aliméntase dos azucres da fariña expulsando gases e alcohol, facendo que o pan se expanda, adquirindo simultaneamente os sabores e aromas característicos. Despois desta primeira fermentación prodúcese un segundo repouso en bola que dura uns 30 min. Na derradeira fase o pan cócese durante 75 minutos en fornos refractarios con soleira de pedra, alimentados con pellets. Se ben se poden atopar diferenzas entre diferentes panaderías, este obrador pódese considerar representativo do proceso de produción de pan tradicional en Galicia.



Figura 12: O Pan Galego contén unha porcentaxe mínima de fariña de trigo autóctono do 25%.

Resultados da avaliación dos impactos ambientais:

Tanto as emisións de campo como os fertilizantes e as operacións de campo contribúen notablemente aos impactos do cultivo do trigo a nivel mundial. As emisións de campo xogan un papel fundamental no cambio climático (CC) e na eutrofización da auga doce (FE), mentres que a produción e uso de fertilizantes contribúen considerablemente sobre a acidificación terrestre (AC), toxicidade humana (HT) e no esgotamento de combustibles fósiles (FD).

O cultivo de trigo autóctono con rotación de cultivos (S1a-CR) tivo un mellor comportamento ambiental en tódalas categorías de impacto (Táboa 5). O menor aporte de fertilizante tivo unha influencia importante, o que se traslada directamente á fase de produción de pan (Táboa 6), contribuindo de forma moi importante nos impactos ambientais globais .

Táboa 5: Perfil ambiental en resultados absolutos para cada escenario e categoría de impacto (modificado de Iana Cámara-Salim, Fernando Almeida-García, et al. 2020). a Este escenario representa o cultivo do trigo galego baixo un sistema de monocultivo. b Este escenario representa un cultivo de trigo galego baixo un sistema de rotación de cultivos. c Este escenario representa un cultivo de trigo convencional en Castela e León e Andalucía, España. d Este escenario representa un sistema galego de cultivo de sementes.

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDADES	(S1a-M) ^a	(S1a-CR) ^b	(S1b) ^c	(S1b) ^d
		Trigo galego en monocultivo	Trigo galego con rotación	Trigo convencional de Castela	Trigo galego para semente
CC - Cambio climático	kg CO ₂ -eq	0,95	0,68	0,9	0,82
AC - Acidificación terrestre	kg SO ₂ -eq	1,7·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³	4,8·10 ⁻³	1,5·10 ⁻³
FE - Eutrofización de auga doce	kg P-eq	2,1·10 ⁻⁴	1,8·10 ⁻⁴	3·10 ⁻⁴	2,4·10 ⁻⁴
HT - Toxicidade humana	kg 1,4-DCB	1,1·10 ⁻²	9,2·10 ⁻³	3,2·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²
FD -Esgotamento comb. fósiles	kg oil-eq	8,9·10 ⁻²	5,4·10 ⁻²	0,18	7,3·10 ⁻²

Táboa 6: Impactos ambientais por 1 kg de pan producido. (modificado de Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García, et al. 2020). S1abc-M, produción de trigo en monocultivo: trigo autóctono en monocultivo (S1a-M), trigo comercial de Castela (S1b) e sementes rexeitadas da produción de semente certificada de trigo autóctono (S1c). S1abc-CR, trigos baixo un sistema de rotación de cultivos: trigo autóctono en rotación (S1a-CR), trigo comercial de Castela (S1b) e sementes rexeitadas da produción de semente galega (S1c). S2, proceso de moenda de grans. S3, proceso de panificación. Pan (M): pan feito con trigo de monocultivo (S1abc-M). Pan (CR): pan feito con trigo de rotación (S1abc-CR).

Categoría de Impacto	Unidades	Fase Agrícola	Fase Agrícola	Moenda	Panificación	Pan con trigo de monocultivo	Pan con trigo de rotación
		(S1abc-M)	(S1abc-CR)	(S2)	(S3)	(M)	(CR)
CC - Cambio climático	kg CO ₂ -eq	0,98	0,87	0,02	0,25	1,25	1,15
AC - Acidificación terrestre	kg SO ₂ -eq	3,8·10 ⁻³	3,6·10 ⁻³	1,1·10 ⁻⁴	1,9·10 ⁻³	5,9·10 ⁻³	5,6·10 ⁻³
FE - Eutrofización de auga doce	kg P-eq	2,8·10 ⁻⁴	2,7·10 ⁻⁴	7,9·10 ⁻⁶	1,3·10 ⁻⁴	4,3·10 ⁻⁴	4,2·10 ⁻⁴
HT - Toxicidade humana	kg 1,4-DCB	2,6·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	7,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻²	3,9·10 ⁻²	3,8·10 ⁻²
FD - Esgotamento comb. fósiles	kg oil-eq	0,15	0,14	5,8·10 ⁻³	5,0·10 ⁻²	0,21	0,19

DISCUSIÓN

O sistema de produción de trigo en España non ten un alto rendemento, cunha media de 3 t ha⁻¹ para o trigo convencional de Castela e 2,5 t ha⁻¹ para o galego, en comparación con outros campos agrarios, como en Alemaña, onde se obtén unha media de rendemento de trigo de 7,6 t ha⁻¹ [50]. Os maiores rendementos benefíciáanse dos resultados ambientais se a unidade funcional escollida é o kg de gran, xa que a participación dos impactos dilúense cando o rendemento é maior.

As variedades locais caracterízanse pola súa rusticidade e menor demanda de insumos. Isto é relevante no caso da fertilización nitroxenada, moi pouco estendida no cultivo do trigo autóctono, debido a que promove un alongamento dos entrenós e implica un maior risco de encamado. A menor dependencia de aportes nitroxenados externos é unha vantaxe dende o punto de vista ambiental. O aporte de fertilizantes nitroxenados implica impactos vencellados ás emisións de N₂O, NO₃⁻, NH₃ e N₂O. Ademais das emisións e consumo de recursos asociados á súa fabricación. Esta cuestión foi destacada en numerosos estudos [39, 51, 52, 53] onde se avaliaron diferentes sistemas de rotación de cultivos, dende o punto de vista ambiental.

A sustentabilidade ambiental dos produtos galegos, considerados parte da dieta atlántica, foi avaliada para algúns produtos [41, 54]. Ademais, o estudo ambiental correspondente ao pan tradicional tamén se investigou na rexión de Sicilia (Italia), para avaliar unha denominación de orixe protexida (DOP) de pan duro [55]. Isto demostra que o interese polo perfil medioambiental dos produtos especiais medrou en importancia entre a ciencia e a sociedade.

CONCLUSIÓNS

A fase de cultivo constitúe un importante foco medioambiental na produción de pan; e dentro desta fase destacan a fertilización, o uso de agroquímicos e as emisións de campo como os principais contribuíntes ao impacto ambiental.

Unha estratexia eficaz para reducir os impactos da produción de pan galego pode ser a adopción de sistemas de rotación de cultivos fronte ao monocultivo, posto que empregando un sistema de rotación de cultivos redúcense as cargas ambientais. Outra estratexia é incluír variedades locais rústicas menos dependentes de fertilizantes químicos. O pan galego ten un baixo impacto ambiental, se o comparamos con outros produtos básicos producidos en Europa, pero hai que sinalar que os procesos e ingredientes poden variar considerablemente.

O fabricante de fariña e o panadeiro deben considerar que a elección da súa materia prima, a variedade de trigo e a fariña resultante, ten unha forte importancia no perfil ambiental das súas producións.

SECCIÓN II.2. AVALIACIÓN DOS PERFÍS AMBIENTAIS DOS SISTEMAS DE ROTACIÓN DO TRIGO DE INVERNO BAIXO DIFERENTES ESTRATEXIAS DE MANEXO.

INTRODUCCIÓN:

O cambio climático está a provocar profundas consecuencias, como a perda de biodiversidade, supoñendo un desafío á seguridade alimentaria mundial [31, 32] debido a que a agricultura é o sector máis afectado. O trigo é unha das especies máis cultivadas no mundo [33, 34], considerándose esencial no mantemento da seguridade alimentaria.

O incremento das producións agrícolas foron posibles grazas a produción intensiva, que provocou problemas ambientais, contaminación, erosión e perda da fertilidade do solo, o que compromete seriamente a seguridade alimentaria para as xeracións futuras. A rotación de cultivos proporciona o maior efecto positivo sobre os rendementos de biomasa e sobre o ciclo de retención de nutrientes en comparación co monocultivo [40].

O deseño de rotacións de cultivos ambientalmente eficientes require dunha ferramenta integral que permita avaliar os diferentes aspectos ambientais.

Importancia dos cultivos de pataca, millo e colza nas rotacións de Galicia



Figura 13: Campos de colza e Millo na Bisbarra de Bergantiños.

En Galicia destaca o millo forraxeiro como cultivo mais importante, sendo a base da ración das explotacións de vacún de leite. Galicia é a primeira Comunidade Autónoma en termos de superficie e rendemento. No caso da pataca, Galicia sementa ao 25% do total da superficie nacional, soamente superada por Castela e León (17328 ha). A colza (*Brassica napus* subsp. *napus*) é un cultivo aínda minoritario en Galicia; así e todo, incrementou notablemente a súa superficie nos últimos anos, sendo un cultivo que se adapta perfectamente ás súas condicións agroclimáticas. De feito o cultivo de Brásicas ten unha grande importancia en Galicia, sendo a base da súa dieta tradicional (verzas, repolos, nabos e grelos...). O cultivo da colza amósase como unha opción de grande potencial na rotación con pataca, millo e trigo. É un cultivo facilmente mecanizable, sendo a terceira fonte de aceite e a segunda de proteína a nivel mundial. En Galicia acádanse rendementos interesantes entre tres e catro t/ha en secaño.

OBXECTIVO

O principal obxectivo foi a análise ambiental e económica de tres sistemas de rotación de trigo (autóctono e comercial) en Galicia con cultivos como a pataca, millo e colza, para así identificar o mellor sistema de xestión no territorio, avaliando os beneficios económicos e ambientais de cada sistema mediante a estimación da marxe, e finalmente determinar o sistema de rotación que produce o maior beneficio económico co menor impacto ambiental.

O **obxectivo específico**, e aporte fundamental neste traballo, foi a recollida de datos de inventario dos cultivos que forman parte da rotación co trigo autóctono en Galicia cara á aplicación da **metodoloxía ACV**. Esta información foi a base das estimacións dos impactos ambientais e económicos dos sistemas de produción considerados.

MATERIAIS E MÉTODOS:

Neste estudo utilizouse a metodoloxía ACV atribucional (ALCA), seguindo as Normas Internacionais ISO 14040 e ISO 14044, para avaliar os impactos ambientais de varios sistemas de rotación de trigo de inverno panificable.

- Tres tipos de cultivos principais:
 - ✓ **C-WW**: Trigo de inverno comercial baixo xestión convencional.
 - ✓ **Gc-WW**: Trigo de inverno galego (trigo do país, variedade ‘Caaveiro’) en xestión convencional.
 - ✓ **Ge-WW**: Trigo de inverno galego ‘Caaveiro’ en xestión ecolóxica.
- As rotacións propostas plantexaron tres tipos de cultivo acompañantes:
 - ✓ **M**: Millo.
 - ✓ **OSR**: Colza.
 - ✓ **P**: Pataca de consumo.

Polo tanto estudiáronse un total de $3 \times 3 = 9$ escenarios de rotación diferentes durante un período de tempo de 6 anos.

Para as **parcelas experimentais** consideráronse “coutos redondos”, dunhas 40 ha para cada tipo de rotación, para un total de 450 ha, situadas en tres zonas xeográficas (Bisbarras das Mariñas-Betanzos, Bergantiños e Bisbarra da Limia). As parcelas pertencían a produtores da Asociación TRIAGA (Produtores de Trigo Autóctono de Galicia).

Tódalas parcelas se adicaron ao cultivo agrícola como mínimo nos derradeiros vinte anos. A climatoloxía variaba dende o clima oceánico, nas parcelas das Bisbarras da Coruña, ata o mediterráneo (bisbarra da Limia), con precipitacións medias no rango 750 -1000 mm e concentradas maioritariamente en outono e inverno.

Neste estudo utilizouse a hectárea de terreo (ha) como unidade funcional base. Esta unidade dalles aos agricultores unha idea de como xestionar as súas terras para minimizar os impactos ambientais.

A través de entrevistas persoais con cuestionarios específicos, identificáronse as operacións, maquinaria implicada, e a demanda de insumos dos agricultores:

- ✓ Rendemento de cultivo en gran.
- ✓ Rendemento en palla.
- ✓ Características da maquinaria, apeiros.
- ✓ Actividades de cultivo.
- ✓ Capacidade de traballo dos apeiros.
- ✓ Consumo medio das labores por ha.
- ✓ Control de malas herbas.
- ✓ Prezos de compra de insumos.
- ✓ Prezo de venda de produto colleitado.

En total, consideráronse 9 combinacións de cultivos (Táboa 7):

- ✓ S1: (C-WW1 + C-WW2 + P1) x 2 ciclos de cultivo; Trigo comercial e pataca en convencional.
- ✓ S2: (C-WW3 + M1) x 3 ciclos de cultivo; Trigo comercial e millo forraxeiro en convencional.
- ✓ S3: (C-WW4 + OSR1) x 3; Trigo comercial e colza en convencional.
- ✓ S4: (Gc-WW1 + Gc-WW2 + P) x 2; Trigo galego e pataca en convencional.
- ✓ S5: (Gc-WW3 + M2) x 3; Trigo galego e pataca en convencional.
- ✓ S6: (Gc-WW4 + OSR2) x 3; Trigo galego e colza en convencional.
- ✓ S7: (Ge-WW1 + Ge-WW2 + P3) x 2; Trigo galego e pataca en ecolóxico.
- ✓ S8: (Ge-WW3 + M3) x 3; Trigo galego e millo forraxeiro en ecolóxico.
- ✓ S9: (Ge-WW4 + OSR3) x 3; Trigo galego e colza en ecolóxico.

Para cada sistema de rotación, considérase tanto a produción de tódolos insumos empregados (maquinaria, agroquímicos, sementes, gasóleo...) como a utilización dos mesmos. O uso destes insumos implica unhas emisións directas vencelladas á combustión de gasóleo como aquelas emisións derivadas da aplicación de agroquímicos. Ademais

realizouse a pertinente identificación de puntos quentes, elementos ou actividades que máis contribúen a unha determinada categoría de impacto.

De seguido, descríbese o sistema empregado na avaliación das emisións de campo debidas á aplicación de fertilizantes e outros agroquímicos. As emisións de N_2O estimáronse segundo o Panel Intergubernamental sobre o Cambio Climático [56]. As emisións de NO_2 e NH_3 calculáronse segundo a proposta da Axencia Europea de Medio Ambiente e o Programa Europeo de Seguimento e Avaliación [57]. Tamén se considerou a lixiviación de NO_3^- [58] e a lixiviación e escoamento de fosfato (PO_4^{3-}) [59]. Estimáronse as emisións ao aire, auga e solo relacionadas con pesticidas, fungicidas e insecticidas segundo a orientación [60] e non se contabilizaron as emisións de metais pesados.

Neste estudio empregouse a ha de terreo como unidade funcional base. Con esta asignación coñécese o mellor aproveitamento da terra dende o punto de vista ambiental. Ademais tamén se discuten os perfís en termos de marxe bruta, descontando os custes totais aos ingresos totais polas vendas. Desta maneira tamén temos a información de cal é o sistema que produce o maior beneficio co menor impacto.

Ademais, analizáronse 9 categorías de impacto ambiental a través do ACV:

- ✓ GW– Quecemento Global.
- ✓ SOD - Esgotamento do ozono estratosférico.
- ✓ TA - Acidificación terrestre.
- ✓ FE - Eutrofización de auga doce.
- ✓ ME - Eutrofización mariña.
- ✓ TET - Ecotoxicidade terrestre.
- ✓ FET - Ecotoxicidade na auga doce.
- ✓ MET - Ecotoxicidade mariña.
- ✓ FRS - Escasez de recursos fósiles.

A elección destas categorías permitiu a comparación con outros estudos agrícolas dispoñibles na literatura. Utilizouse o software SimaPro v9.0 [61] para a implementación computacional dos inventarios de ciclo de vida.

Táboa 7: Escenarios avaliados: (C-WW): Trigo de inverno comercial baixo xestión convencional; (Gc-WW): Trigo de inverno galego (trigo do país, variedade ‘Caaveiro’) en xestión convencional; (Ge-WW): Trigo de inverno galego en xestión ecolóxica; (M): Millo; (OSR): Colza; (P): Pataca de consumo.

Escenario	Ano					
	1	2	3	4	5	6
S1	C-WW1	C-WW2	P1	C-WW1	C-WW2	P1
S2	C-WW3	M1	C-WW3	M1	C-WW3	M1
S3	C-WW4	OSR1	C-WW4	OSR1	C-WW4	OSR1
S4	Gc-WW1	Gc-WW2	P1	Gc-WW1	Gc-WW2	P1
S5	Gc-WW3	M1	Gc-WW3	M1	Gc-WW3	M1
S6	Gc-WW4	OSR1	Gc-WW4	OSR1	Gc-WW4	OSR1
S7	Ge-WW1	Ge-WW2	P1	Ge-WW1	Ge-WW2	P1
S8	Ge-WW3	M1	Ge-WW3	M1	Ge-WW3	M1
S9	Ge-WW4	OSR1	Ge-WW4	OSR1	Ge-WW4	OSR1

RESULTADOS

Resultado dos datos de inventario

Recolléronse a través de enquisas personalizadas aos produtores da Asociación TRIAGA os seguintes parámetros vencellados os sistemas produtivos plantexados:

- **Rendemento de cultivo en gran.** Os rendementos dependen do sistema de cultivo e o manexo agronómico. No caso do trigo comercial de talla baixa os rendementos varían entre 5 e 5,5 t/ha segundo o cultivo precedente. Con respecto ao trigo galego os rendementos medios oscilan entre as 2 e 2,8 t/ha segundo sistema produtivo e cultivo precedente.
- **Rendemento en palla,** aínda que depende das condicións agroclimáticas e da xestión agronómica, as variedades de trigo galego difiren bastante das comerciais en termos de Índice de Colleita.
- **Características da maquinaria, apeiros.** Predominan nas explotacións os tractores entre os 120 e 150 CV, entre 6000 e 8000 kg de peso. Para labores secundarios e complementarios poden participar ademais tractores de simple tracción entre 50 e 70 CV de potencia, aínda que esta tendencia está diminuíndo, ao se ir implementando o traballo con apeiros combinados e de maior capacidade de traballo. Os labores de colleita de cereal e colza efectúanse con colleitadoras autopropulsadas, ao igual que no millo forraxeiro coas picadoras de forraxe. Na pataca seguen a predominar as colleitadoras remolcadas moi empregadas nas variedades para industria de frito.
- **Actividades de cultivo:** na labra recórrase ao arado e o chisel para labores primarias. Nos labores secundarios os rotocultores (fresas ou grades rotativas) son os implementos máis predominantes. Na fertilización impóñense as fertilizadoras centrífugas sobre as pendulares. Para os tratamentos fitosanitarios recórrase aos pulverizadores hidráulicos suspendidos. No sistema de produción ecolóxica emprégase a grade de púas no control mecánico de malas herbas e o espaxador de fertilizante orgánico nos labores de fertilización.

- **Capacidade de traballo dos apeiros.** Destacan as actividades de control fitosanitario con pulverizador como os labores que requiren menor tempo por unidade de superficie ($0,15 \text{ h}\cdot\text{ha}^{-1}$) fronte o control mecánico con grade de púas ($0,4 \text{ h}\cdot\text{ha}^{-1}$). Entre os labores que demandan máis tempo destacan o arado ($0,90 \text{ h}\cdot\text{ha}^{-1}$) e o labor combinado de rotocultor e sementeira ($0,85 \text{ h}\cdot\text{ha}^{-1}$). As actividades de menor capacidade de traballo son as da colleita ($1 \text{ h}\cdot\text{ha}^{-1}$).
- **Consumo medio dos labores por ha:** Varían dende os $1,5 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$, nos tratamentos fitosanitarios con pulverizador hidráulico, ata os $18 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ no labor de arada ou na combinada de rotocultor e sementeira.
- **Control de malas herbas.** Dependendo do sistema de produción: en convencional emprégase os tratamentos herbicidas con pulverizador hidráulico, mentres que na produción ecolóxica utilízase o control mecánico con grade de púas.

Prezos de compra de insumos, prezo de venda de produto colleitado.

Recórrese á información directa dos agricultores, rexistrada nas correspondentes facturas de compra de insumos e venda de produtos colleitados (Táboa 8).

Táboa 8: Prezos de venda de produtos colleitados en novembro de 2020 (produtores de TRIAGA).

PRODUTO	PREZO DE VENDA	UNIDADES
Trigo comercial	0,20	€·kg ⁻¹
Trigo galego	0,40	€·kg ⁻¹
Trigo galego ecolóxico	0,48	€·kg ⁻¹
Pataca de consumo	0,12 - 0,20	€·kg ⁻¹
Pataca de consumo ecolóxica	0,25 - 0,30	€·kg ⁻¹
Pataca de refugo	0,05	€·kg ⁻¹
Millo forraxeiro para silo	0,06	€·kg ⁻¹
Millo forraxeiro para silo ecolóxico	0,09	€·kg ⁻¹
Colza	0,30	€·kg ⁻¹
Colza ecolóxica	0,40	€·kg ⁻¹

➤ **Operacións de campo e datos de inventario. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario** (por ha):

- ✓ **SM1**, para o cultivo de trigo de inverno de variedade comercial (C-WW1, C-WW2, C-WW3 e C-WW4) (Táboa 9).
- ✓ **SM2**, de trigo de inverno variedade ‘Caaveiro’ (autóctono de Galicia) (Gc-WW1, Gc-WW2, Gc-WW3 e Gc-WW4) (Táboa 10).
- ✓ **SM3**, de trigo de inverno autóctono galego en xestión ecolóxica (Ge-WW1, Ge-WW2, Ge-WW3 e Ge-WW4) (Táboa 11).
- ✓ **SM4**, para o cultivo de pataca baixo xestión convencional (P1 e P2) (Táboa 12).
- ✓ **SM5**, para o cultivo de millo baixo xestión convencional (M1 e M2) (Táboa 13).
- ✓ **SM6**, para o cultivo de colza baixo xestión convencional (OSR1 e OSR2) (Táboa 14).
- ✓ **SM7**, para o cultivo de pataca baixo xestión ecolóxica (P3) (Táboa 15).
- ✓ **SM8**, para o cultivo de millo baixo xestión ecolóxica (M3) (Táboa 16).
- ✓ **SM9**, para o cultivo de colza baixo xestión ecolóxica (OSR3) (Táboa 17).

Operacións de campo e datos de inventario

Táboa 9: SM1. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de trigo de inverno de variedade comercial (C-WW1, C-WW2, C-WW3 e C-WW4).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Esparexedor centrifugo de fertilizantes	450	0,25	1,5	NPK 8-15-15 400 kg·ha ⁻¹	20	0,36 €·kg ⁻¹
Labra secundaria	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa	1300	0,75	14	--	65	--
Sementeira	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	200 kg·ha ⁻¹	20	0,65 €·kg ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1,5	Clorotoluron+Diflufenican 2,50 L·ha ⁻¹	15	10,30 €·L ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1,5	Tribenurón-metilo 40 g·ha ⁻¹ Pinoxaden 6% 0,75L·ha ⁻¹	15	Tribenurón-metilo 20 €/100 g Pinoxaden 70 €·L ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Esparexedor centrifugo de fertilizantes	450	0,25	1,5	CAN 27% 200 kg·ha ⁻¹	20	0,24 €·kg ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1,5	Epoxiconazol 1 L·ha ⁻¹	15	38,5 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Segadora	--	1,00	15	--	70	--
Empacado	7000 kg 96,9 kW	Empacadora	1700	1,00	10	--	75	--

Táboa 10: SM2. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) de trigo de inverno variedade ‘Caaveiro’ (autóctono de Galicia) (Gc-WW1, Gc-WW2, Gc-WW3 e Gc-WW4).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Labra secundaria	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa	1300	0,75	14	--	65	--
Sementeira	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	150 kg·ha ⁻¹	20	0,75 €·kg ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Clorotoluron+Diflufenican 2,50 L·ha ⁻¹	15	10,30 €·L ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Esparexedor centrifugo de fertilizantes	450	0,25	1.5	CAN 27% 150 kg·ha ⁻¹	20	0,24 €·kg ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Tebuconazol 25% 1 L·ha ⁻¹	15	20 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Segadora	--	1.00	15	--	70	--

Táboa 11: SM3. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) de trigo de inverno autóctono galego en xestión ecolóxica (Ge-WW1, Ge-WW2, Ge-WW3 e Ge-WW4).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	70	--
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	6	Esterco ecolóxico de aves 5 m ³ ·ha ⁻¹	27	150 €·ha ⁻¹
Labra secundaria combinada con sementeira	7000 kg 96,9 kW	Grade rotativa + sementadora	3000	0,85	18	150 kg·ha ⁻¹	70	0,75 €·kg ⁻¹
Tratamento mecánico	7000 kg 96,9 kW	Grade de púas	300	0,40	5	--	25	--
Fertilización foliar	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1,5	Nitromiel 30-0-0 3 L·ha ⁻¹	15	13,33 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitadora	--	1,00	15	--	70	--

Táboa 12: SM4. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de pataca baixo xestión convencional (P1 e P2).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	70	--
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Distribuidor de fertilizantes centrífugo	450	0,25	1.5	NPK 9-18-27 800 kg·ha ⁻¹	20	0,35 €·kg ⁻¹
Labranza	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa	1300	0,75	14	-	65	--
Sementeira	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	1200-1500 kg·ha ⁻¹	20	1,5 €·kg ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Metribuzina 70% 750 g·ha ⁻¹	15	44 €·kg ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Bentazon 48% 2 L·ha ⁻¹	15	30 €·L ⁻¹
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Lambda Cihalotrin 10% 0,75 L·ha ⁻¹	15	60 €·L ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Esparexedor centrífugo de fertilizantes	450	0,25	1.5	CAN 27% 250 kg·ha ⁻¹	20	0,24 €·kg ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Metalaxil 1,2 kg·ha ⁻¹	15	34 €·kg ⁻¹
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Cipermetrina 10% 0,2 L·ha ⁻¹	15	10 €·L ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Benalaxyl 6% + Cymoxanil 3,2% + Mancozeb 40% 3 kg·ha ⁻¹	15	12 €·kg ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Clorotalonil 39,95% + Dimetomorf 7,99% 2,5 kg·ha ⁻¹	15	20 €·kg ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitadora	--	1.00	15	35 t·ha ⁻¹ 10% de patacas residuais para alimentación animal	150	--

Táboa 13: SM5. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de millo baixo xestión convencional (M1 e M2).

	<i>Tractor (A)</i>	<i>Implemento (B)</i>		<i>A+B</i>				
<i>Operación</i>	<i>Peso e potencia</i>	<i>Elemento de labranza</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Capacidade de traballo efectiva (h·ha⁻¹)</i>	<i>Combustible diésel consumo (L·ha⁻¹)</i>	<i>Taxas de entrada</i>	<i>Custo laboral (€·ha⁻¹)</i>	<i>Custo de entrada</i>
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12		70	--
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Fertilizadora centrífuga	450	0,25	1.5	NPK 8-15-15 800 kg·ha ⁻¹	20	0,36 €·kg ⁻¹
Labra Secundaria	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa	1300	0,75	14	-	65	--
Sementeira + aplicación de insecticida	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	30 kg·ha ⁻¹ semente Lambda Cihalotrin 0,4% 15 kg·ha ⁻¹	20	200 €·ha ⁻¹ (sementes) + 30 €·ha ⁻¹ (insecticida)
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Dimetenamida-P 72% 1,2 L·ha ⁻¹	15	29 €·L ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Fertilizadora centrífuga	450	0,25	1.5	CAN 27% 250 kg·ha ⁻¹	20	0,24 €·kg ⁻¹
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Cipermetrina 10% 0,75 L·ha ⁻¹	15	10 €·L ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Piraclostrobin 20% 1 L·ha ⁻¹	15	45 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Segadora	--	1.00	15	--	150	--
Transporte a silo	7000 kg 96,9 kW	Tráiler	8000	1.00	15	--	30	--

Táboa 14: SM6. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de colza baixo xestión convencional (OSR1 e OSR2).

	<i>Tractor (A)</i>	<i>Implemento (B)</i>		<i>A+B</i>				
<i>Operación</i>	<i>Peso e potencia</i>	<i>Elemento de labranza</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Capacidade de traballo efectiva (h·ha⁻¹)</i>	<i>Combustible diésel consumo (L·ha⁻¹)</i>	<i>Taxas de entrada</i>	<i>Custo laboral (€·ha⁻¹)</i>	<i>Custo de entrada</i>
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	70	--
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Fertilizadora centrífuga	450	0,25	1.5	NPK 8-15-15 350 kg·ha ⁻¹	20	0,36 €·kg ⁻¹
Labra secundaria + sementeira	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa + sementadora	3000	0,85	18	4 kg·ha ⁻¹	70	7 €·kg ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Fertilizadora centrífuga	450	0,25	1.5	CAN 27% 200 kg·ha ⁻¹	20	0,24 €·kg ⁻¹
Tratamento herbicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Imazamox 1,75% + Metazachlor 37,5% 0,75 L·ha ⁻¹	15	60 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitadora	--	1.00	15	--	80	--

Táboa 15: SM7. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de pataca baixo xestión ecolóxica (P3).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	65	--
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	5.5	Esterco ecolóxico de aves 5 veces ⁻¹	27	80 €·ha ⁻¹
Fertilización mineral	7000 kg 96,9 kW	Fertilizadora centrífuga	450	0,25	1.5	Patente Kali 30% 250 kg·ha ⁻¹	20	0,50 €·kg ⁻¹
Labra secundaria	7000 kg 96,9 kW	Fresa rotativa	1300	0,75	14	--	65	--
Sementeira	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	1200-1500 kg·ha ⁻¹	20	2 €·kg ⁻¹
Tratamento mecánico	7000 kg 96,9 kW	Grade de púas	300	0,40	5	--	25	--
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Azadiractina 3,2% 1,5 L·ha ⁻¹	15	50 €·L ⁻¹
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Spinosad 48% 0,75 L·ha ⁻¹	15	130 €·ha ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Sulfato de cobre e calcio (20% Cu) 4 kg·ha ⁻¹	15	5 €·kg ⁻¹
Tratamento fungicida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Oxicloruro de cobre (70% Cu) 2 L·ha ⁻¹	15	11 €·L ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitadora	--	1.00	15	--	150	--

Táboa 16: SM8. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de millo baixo xestión ecolóxica (M3).

Operación	Tractor (A)	Implemento (B)		A+B		Taxas de entrada	Custo laboral (€·ha ⁻¹)	Custo de entrada
	Peso e potencia	Elemento de labranza	Peso (kg)	Capacidade de traballo efectiva (h·ha ⁻¹)	Combustible diésel consumo (L·ha ⁻¹)			
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	5.5	Estercos ecolóxicos de aves 8 t·ha ⁻¹	27	80 €·ha ⁻¹
Arado de veso	7000 kg 96,9 kW	Arado de veso	2600	0,90	18	--	70	--
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	70	--
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	5.5	Estercos de vaca ecolóxicos 15 m ³ ·ha ⁻¹	27	30 €·ha ⁻¹
Labra secundaria	7000 kg 96,9 kW	Grade rotativa	1300	0,75	14	--	65	--
Sementeira	7000 kg 96,9 kW	Sementadora	1100	0,50	5	30 kg·ha ⁻¹	20	200 €·ha ⁻¹
Tratamento mecánico	7000 kg 96,9 kW	Grade de púas	300	0,40	5	--	25	--
Tratamento insecticida	7000 kg 96,9 kW	Pulverizador hidráulico	2000	0,15	1.5	Spinosad 48% 0,20 L·ha ⁻¹	15	130 €·ha ⁻¹
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitadora	--	1.00	15	--	150	--
Transporte a silo	7000 kg 96,9 kW	Tráiler	8000	1.00	15	--	30	--

Táboa 17: SM9. Calendario normalizado de operacións de campo e datos de inventario (por ha) para o cultivo de colza baixo xestión ecolóxica (OSR3).

	<i>Tractor (A)</i>	<i>Implemento (B)</i>		<i>A+B</i>				
<i>Operación</i>	<i>Peso e potencia</i>	<i>Elemento de labranza</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>Capacidade de traballo efectiva (h·ha⁻¹)</i>	<i>Combustible diésel consumo (L·ha⁻¹)</i>	<i>Taxas de entrada</i>	<i>Custo laboral (€·ha⁻¹)</i>	<i>Custo de entrada</i>
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	5.5	Esterco ecolóxico de aves 5 veces ⁻¹	27	80 €·ha ⁻¹
Chisel	7000 kg 96,9 kW	Chisel	1500	0,50	12	--	70	--
Fertilización orgánica	7000 kg 96,9 kW	Remolque espaxedor	9000	0,50	5.5	Esterco de vaca ecolóxico 12 m ³ ·ha ⁻¹	27	30 €·ha ⁻¹
Labra secundaria + sementeira	7000 kg 96,9 kW	Grade rotativa + sembradora	3000	0,85	18	4 kg·ha ⁻¹	70	12 €·kg ⁻¹
Tratamento mecánico	7000 kg 96,9 kW	Grade de púas	300	0,40	5	--	25	--
Colleita	15000 kg 260 kW	Colleitora	--	1.00	15	--	80	--

No caso dos trigos comerciais (C-WW1-4) prodúcese gran (0,20 €·kg⁻¹) e palla WW (0,07 €·kg⁻¹). O 10% da colleita é refugo, que non cumpre os estándares de calidade alimentaria, vendéndose para alimentación animal. No caso do millo e da colza (Figura 14), só se obtivo un produto (ensilado e gran, respectivamente). No caso do trigo autóctono (Gc-WW e Ge-WW), só se obtivo gran como produto, a palla deixouse no chan como provedor de nutrientes.

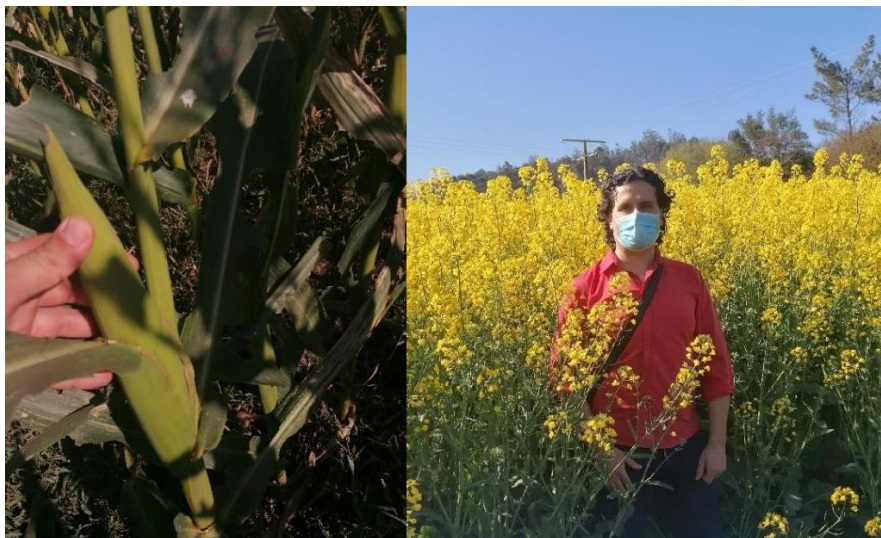


Figura 14: Cultivos de millo e colza convencionais en Carral e Carballo (A Coruña).

O cultivo da pataca requiriu dun considerable nivel de mecanización e uso de insumos, con ata sete aplicacións de fitosanitarios con pulverizador hidráulico, dúas fertilizacións minerais (800 kg·ha⁻¹ NPK e 250 kg·ha⁻¹ NAC), así como numerosas actividades de acondicionamento de solos (labras de veso e chisel, e labra secundaria).

Resultados dos perfís ambientais

A comparación xeral en termos de ha (Figura 15) mostraron como as rotacións con trigo comercial e millo (S2) foi o escenario con peor perfil, xa que reportaron as maiores cargas en numerosas categorías de impacto.

Do mesmo xeito, S1, onde se cultivou a mesma variedade WW pero en rotación coa pataca, debería ser a segunda peor opción de cultivo, rexistrando as peores puntuacións en categorías como GW, TET e MET. O cultivo desta variedade de trigo require múltiples aplicacións mecanizadas de fertilizantes minerais ($400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NPK e $200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NAC) e outros agroquímicos (dúas aplicacións de herbicidas e unha dosificación de funxicida) en comparación coa variedade autóctona (Figura 15). É importante sinalar que a consideración desta unidade funcional penaliza os cultivos con maiores rendementos.

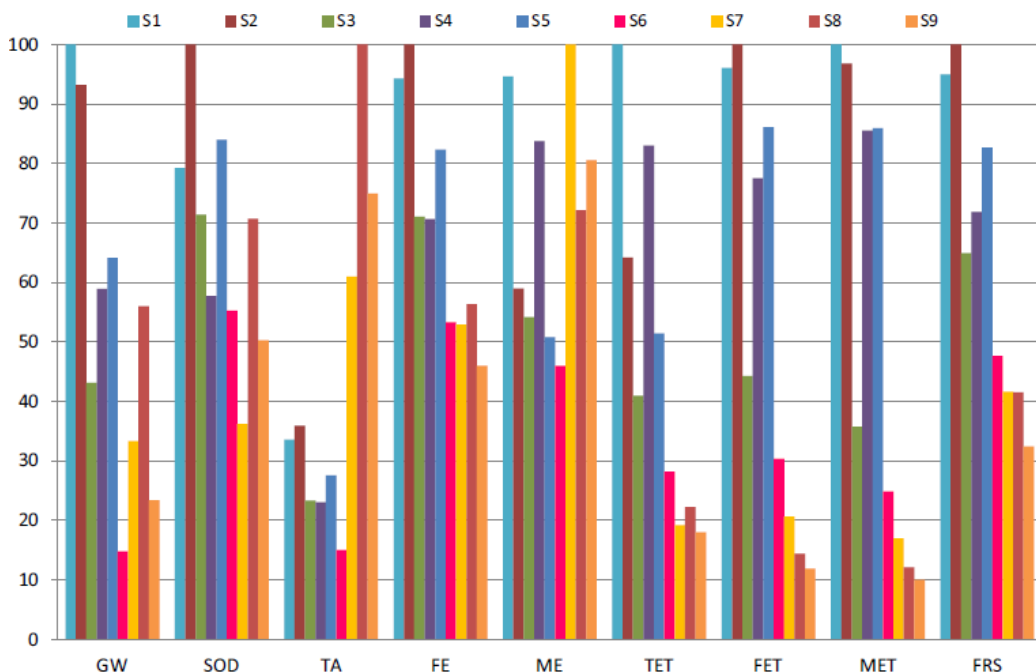


Figura 15: Rotación empregadas en explotación galegas: S1: (C-WW1 + C-WW2 + P1) x 2; **S2:** (C-WW3 + M1) x 3; **S3:** (C-WW4 + OSR1) x 3; **S4:** (Gc-WW1 + Gc-WW2 + P) x 2; **S5:** (Gc-WW3 + M2) x 3; **S6:** (Gc-WW4 + OSR2) x 3; **S7:** (Ge-WW1 + Ge-WW2 + P3) x 2; **S8:** (Ge-WW3 + M3) x 3; **S9:** (Ge-WW4 + OSR3) x 3. **GW** – Quecemento global, **SOD** – Esgotamento do ozono estratosférico, **TA** – Acidificación terrestre, **FE** – Eutrofización de auga doce, **ME** – Eutrofización mariña, **TET** – Ecotoxicidade terrestre, **FET** – Ecotoxicidade na auga doce, **MET** – Ecotoxicidade mariña, **FRS** – Escasez de recursos fósiles. (Modificado de Sara González-García, Fernando Almeida-García, et al., 2021).

O cultivo da pataca requiriu dun considerable nivel de mecanización e uso de insumos, con ata sete aplicacións de fitosanitarios con pulverizador hidráulico, dúas fertilizacións minerais ($800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NPK e $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ NAC), así como numerosas actividades de acondicionamento de solos (labras de veso e chisel, e labra secundaria) (Figura 16).



Figura 16: Labores en pataca de consumo nunha parcela de A Limia (Ourense).

En canto ao S8, onde se combina o trigo galego (Ge-WW3) co millo (M3) en réxime orgánico, este escenario amosou o peor perfil en termos de TA (Figura 15). O motivo estivo asociado co uso de esterco animal como fertilizante, principalmente no cultivo de millo. Neste escenario, foron necesarias grandes cantidades de esterco ($5\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ de esterco orgánico de aves en Ge-WW3, $8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de esterco ecolóxico de aves e $15\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ de esterco ecolóxico de vaca en M3), o que implicou unhas emisións de campo destacadas de amoníaco ao aire (principal punto quente en TA, 79% do total de emisións contribuíntes), entre outros.

S7, onde a variedade autóctona de WW se combina coa pataca (P3) presentou a peor puntuación en ME, principalmente debido ás emisións no campo derivadas do uso de esterco, en concreto á lixiviación de nitratos.

As rotacións de cultivos con colza (S3, S6 e S9) tiveron os mellores resultados, nas que as rotacións coa variedade autóctona (S6 e S9) pareceron ser as máis favorables en varias

categorías de impacto (como GW, TA FRS, así como categorías relacionadas coa toxicidade e a eutrofización) (Figura 15). Neste senso, o cultivo de colza (OSR1, OSR2 e OSR3) requiriu menos actividades mecánicas (e, polo tanto, menos gasóleo), fertilizantes e agroquímicos que o millo e a pataca, resultando en menores cargas ambientais.

S9, no que a colza (OSR3) se combina coa variedade de trigo autóctona baixo xestión ecolóxica (Ge-WW4), pareceu ser a mellor opción para o uso da terra, é dicir, o sistema de cultivo que presentou as cargas ambientais máis baixas (en catro dos nove impactos analizados) (Figura 15).

Independentemente da variedade de WW cultivada en rotación con pataca (S1, S4 e S7), o cultivo desta última foi, en xeral, o responsable das maiores cargas ambientais derivadas da rotación, é dicir, responsable das maiores contribucións ás diferentes categorías de impacto, especialmente nas categorías relacionadas coa toxicidade en S1 e S4. A razón deste resultado estivo asociada á gran demanda de fertilizantes e agroquímicos para o cultivo de pataca baixo o réxime non orgánico.

Así e todo, mesmo baixo a xestión ecolóxica, o cultivo da pataca xogou un papel fundamental no perfil ambiental de S7, xa que este cultivo demandou máis insumos e actividades mecanizadas que o trigo de inverno (Táboa 15, Figura 15). Ademais, e observando os perfís e contribucións á rotación, a WW creceu despois doutra colleita WW anterior (é dicir, WW2, independentemente do réxime de xestión) rexistrando unha lixeira mellora en GW por ha con respecto ao anterior valor (é dicir, WW1), debido ao efecto da devolución da palla ao campo e aos correspondentes beneficios ambientais asignados a esa cuestión (o efecto do incremento do contido de carbono orgánico do solo debido á devolución da palla ao campo se asigna ao seguinte cultivo, o que implica un crédito ambiental).

Os perfís dos escenarios que incluíron millo (S2, S5 e S8) e colza (S3, S6 e S9) estiveron dominados polas contribucións do manexo dos cultivos que os acompañan na rotación. O efecto do millo foi significativo, xa que é un cultivo cunha gran demanda de agroquímicos (insecticidas, fertilizantes e funxicidas) en comparación co WW. Polo tanto, o seu efecto sobre as categorías de impacto relacionados coa toxicidade TET, MET e TET foi notable.

A produción dos fertilizantes minerais necesarios no millo producido baixo a xestión

convencional (S2 e S5) tamén xogou un papel fundamental, especialmente en categorías como GW, OSD, TA, FE e FRS. O comportamento en réxime orgánico (S8) sufriu un lixeiro cambio, principalmente nas categorías relacionadas coa toxicidade, polo uso de fertilizantes orgánicos. En consecuencia, o efecto do cultivo de trigo sobre o perfil de rotación baixo a xestión ecolóxica foi máis notable nalgúns impactos como ME, FRS e categorías relacionadas coa toxicidade que noutros escenarios con millo.

No que se refire á colza, o cultivo en réxime convencional e orgánico requiriu aplicacións importantes de fertilizantes (minerais e orgánicos), pero con esixencias baixas para outros agroquímicos. Así, producíronse grandes taxas de emisión de campo procedentes da fertilización, o que penalizou o seu perfil ambiental en comparación co trigo correspondente (en especial en S6). Debe prestarse especial atención aos créditos ambientais identificados en GW debido á devolución da palla ao campo, o que contribúe a aumentar o contido de carbono do solo. Este efecto notouse en S6 e S9 no cultivo WW debido á recepción de grandes cantidades de palla de colza.

Contribución de parámetros aos perfís ambientais

As actividades de mecanización non foron moi relevantes, salvo nas categorías de toxicidade e FRS debido ao consumo de gasóleo e ás correspondentes emisións do tubo de escape. Dentro das actividades agrícolas que se realizan no campo, a colleita xoga un papel fundamental (Figura 17).



Figura 17: Colleita de trigo comercial convencional en Narón (A Coruña).

Cando se requiriu unha operación de empacado, como aconteceu en S1-S3, o efecto desta actividade foi notable. Tendo en conta a análise da contribución, as emisións de campo foron as que máis contribuíron ás cargas ambientais (excepto en FRS). Este factor contribuínte incluíu as emisións ao aire, auga e solo derivadas da aplicación de fertilizantes, agroquímicos e da descomposición da palla.

Respecto destas emisións, o N_2O derivado da aplicación de fertilizantes a base de

nitróxeno (orgánico ou inorgánico) e palla foi a emisión máis crítica, concretamente en GW e OSD.

En canto ao TA, foron salientables ás emisións de NH_3 e N_2O derivadas da fertilización con N. En consecuencia, as operacións mecanizadas desenvolvidas no campo foron menos importantes para estas categorías de impacto debido ao baixo impacto das emisións do tubo de escape en comparación coas derivadas da aplicación de fertilizantes.

Nas categorías relacionadas coa eutrofización, as emisións de fosfato e nitrato á auga foron os puntos quentes en FE e ME, respectivamente. Polo tanto, a fertilización con nitróxeno e fósforo foi considerablemente relevante sobre o perfil ambiental global destes sistemas de cultivo. En canto á aplicación de agroquímicos, as emisións derivadas ao solo do principio activo foron os principais contribuíntes responsables das categorías relacionadas coa toxicidade, sempre que fosen aplicadas (ver S1-S6). Outro parámetro a considerar é o crédito vencellado á devolución da palla ao solo trala colleita, e o correspondente incremento do contido de carbono do solo. Dito efecto foi bastante relevante no perfil GW, contribuíndo a reducir a emisión de gases de efecto invernadoiro (GEI) por sistema de cultivo.

Perfil ambiental da rotación de cultivos por € de marxe bruta

Tódolos escenarios mostraron un beneficio bruto positivo que oscilou entre os 70 € no S3 e os 6698 € no S4. Polo tanto, os custos totais foron inferiores aos ingresos e derivaron en beneficios económicos moi diferentes.

A marxe bruta foi maior no trigo cando foi acompañado pola pataca na rotación.

Naqueles escenarios nos que se combinou o trigo autóctono coa pataca, os custos asociados ao cultivo do tubérculo foron bastante notables. A pataca foi responsable do 77% dos custos totais en S4 e S7 derivados do sistema de rotación.

A razón detrás destes resultados estivo ligada ás altas doses de agroquímicos e actividades agrícolas necesarias no cultivo de pataca e millo en comparación co trigo autóctono. Ademais, a colza non presentou o mesmo nivel de intensidade que as outras dúas.

No que se refire aos ingresos por vendas, foi maior para aqueles escenarios nos que se combinou o cultivo de trigo de inverno (dentro da mesma variedade) coa pataca, principalmente pola gran produción asociada a este cultivo e o prezo de mercado en comparación cos outros dous cultivos.

Segundo os nosos resultados, o ranking das rotacións de cultivos cambiou por completo e, así, tamén o fai a decisión apoiada neste estudo ao pasar a unha unidade financeira, é dicir, € de marxe bruta.

As rotacións de cultivos, incluíndo a variedade autóctona WW, foron as que presentaron mellores perfís ambientais. De lonxe, o S3 no que se combinou a variedade de trigo comercial coa colza foi o sistema de cultivo con maiores cargas ambientais, independentemente da categoría de impacto. Este escenario foi o de menor marxe bruta (70 € por ha e sistema de rotación).

Os escenarios que incluiron a variedade galega en réxime ecolóxico poden considerarse, en liñas xerais, como os escenarios máis respectuosos co medio ambiente. En especial S7 que combinou a WW con pataca (Ge- WW1 + Ge-WW2 + P3). Aínda que S7 devolveu ao campo toda a palla WW e non tivo un beneficio económico pola súa venda, e a pesar de ter unha redución considerable de cereais WW e patacas en comparación cos seus escenarios alternativos (S1 e S4), viuse compensado polo prezo máis alto do mercado para o gran e o tubérculo orgánicos (0,48 €·kg⁻¹ e 0,28 €·kg⁻¹, respectivamente) así como cos custos máis baixos.

Pola contra, aínda que o trigo galego baixo unha xestión convencional (S4-S6) reportou rendementos máis baixos que o seu homólogo comercial (aprox. 50%), o prezo de mercado máis alto do gran ($0,40 \text{ €}\cdot\text{kg}^{-1}$ vs $0,20 \text{ €}\cdot\text{kg}^{-1}$), xunto cos menores custos asociados ao cultivo (principalmente os vencellados cos insumos), contribuíu a conseguir maiores marxes brutas e, en consecuencia, mellores perfís ambientais para os escenarios incluíndo a variedade autóctona.

Os resultados ambientais mostraron que os escenarios ecolóxicos que incluían millo e colza (S8 e S9) presentaban baixas cargas ambientais en practicamente tódalas categorías de impacto cando se analizaron os perfís por € de ingresos. Estes sistemas de cultivo produciron menores cantidades de gran e coprodutos WW que os convencionais, aínda que os prezos máis elevados dos produtos ecolóxicos mantiveron os ingresos.

Clasificación de preferencia dos sistemas de rotación de cultivos

Pódese considerar que a mellor rotación de cultivos foi S9, cando se informaron os resultados por ha. S9, OSR e Ge-WW mostraron a puntuación ambiental normalizada máis baixa. Ademais, todos os escenarios ecolóxicos ocuparon os tres primeiros postos, sendo a opción de cultivo preferida en canto ao uso da terra a pesar de ter os rendementos máis baixos.

Pola contra, S1 e S4 (ambos incluíndo a pataca como cultivo acompañante do trigo) foron os sistemas de rotación de cultivos menos respectuosos co medio ambiente por ha.

Cando a análise se realizou por € de marxe bruta, os escenarios ecolóxicos (S7-S9) volveron ser os de menor puntuacións resultando, neste caso, S7 a preferida. Este escenario incluíu P e Ge-WW e é unha das rotacións con maior marxe bruta. Os sistemas de cultivo que incluíron a variedade WW comercial (S1-S3) foron os que tiveron as puntuacións ambientais máis altas e S3 ocupou a peor posición preferida para cultivar WW. O fundamento deste achado estivo directamente relacionado coa marxe bruta, que foi realmente baixa (só 70 € por ha) en comparación cos escenarios alternativos que se estudan. Neste sentido, en canto aos beneficios económicos (rango de marxe bruta), os escenarios de cultivo preferidos foron os que incluíron a variedade autóctona

En primeiro lugar, cando se cultivou baixo manexo convencional en rotación con pataca (S4), por mor dos altos ingresos derivados da venda de coprodutos. Entón, os escenarios preferidos deberían incluír a rotación de trigo autóctono co millo (S8) e pataca (S7), cunhas marxes brutas duns 5300 € de media. A razón detrás das súas posicións estivo ligada aos baixos custos de cultivo en S8 e aos altos ingresos en S7.

DISCUSIÓN:

Os sistemas de rotación analizados e as variedades de trigo incluídas non foron analizadas previamente, polo que é difícil establecer unha comparación directa con outros estudos dispoñibles. Polo tanto, centrámonos nos achados e diferenzas do presente estudio respecto aos existentes na actualidade.

Aínda que os procesos, condicións e variedades difiren entre os estudos, a fertilización nitróxenada sempre se sitúa como o principal foco ambiental. Isto é importante no tocante ás emisións de N, que inflúen directamente nos parámetros ambientais: GW (emisión de N_2O), FE (nitrato) e TA (emisións de NH_3 e N_2O). Ademais o impacto esténdese aos requirimentos enerxéticos asociados cos procesos de fondo de produción do mesmo fertilizante, implicando impactos nas categorías GW, TA e FRS. Esta cuestión foi destacada en numerosos estudos [39, 51, 52 e 53] nos que se avaliaron ambientalmente diferentes sistemas alternativos de rotación de cultivos.

Nun estudo [62] suxeriuse que a rotación de cultivos con leguminosas podería ser unha estratexia desexable en España para reducir a dependencia dos fertilizantes de N e interromper os ciclos de enfermidades e pragas e reducir as consecuencias ambientais. Noutro estudo [63] sinálase que é posible manter os rendementos dos cereais e a calidade dos grans en sistemas especializados reducindo a aplicación de fertilizantes N coa incorporación de leguminosas de grans no ciclo de rotación.

Os labores de cultivo requiren diésel e implican emisións de gases, constituíndo contribuíntes críticos ao perfil ambiental [53, 64]. Nos nosos resultados, o efecto das actividades agrícolas foi relevante, aínda que en menor medida que o factor da fertilización.

É importante considerar que a elección da unidade considerada, superficie (ha) ou marxe bruta (€), xeran discrepancias na clasificación de preferencias das rotacións propostas.

CONCLUSIÓNS:

A recompilación de datos de inventario vencellados á xestión agronómica dos cultivos permitiu unha axeitada análise (ACV) dos diferentes perfís ambientais e económicos de diversas estratexias de rotación en Galicia.

O uso de fertilizantes (orgánicos ou inorgánicos) e as operacións mecánicas vencelladas á preparación do solo tiveron un impacto significativo en numerosas categorías ambientais. A fertilización N sempre foi clasificada como o principal punto crítico ambiental en termos de emisións derivadas de N que xogan un papel fundamental en categorías como GW (emisión de N_2O), FE (emisión de nitratos) e TA (emisións de NH_3 e N_2O).

A aplicación de fertilizantes nitroxenados podería reducirse considerablemente nos cultivos que seguen ás leguminosas, o que levaría a melloras ambientais considerables (redución de emisións no campo, como N_2O e lixiviación de nitratos, entre outros, así como un menor uso de maquinaria).

Outros produtos agroquímicos, como insecticidas e funxicidas, que se requiren na xestión convencional (e con alta intensidade nalgúns cultivos como a pataca e o millo), presentaron unha contribución importante ás categorías vencelladas coa toxicidade debido, basicamente, ás emisións do campo derivados da súa aplicación, polo que a súa redución tamén sería factor influínte na mellora do perfil ambiental da rotación.

Reducir ou eliminar a fertilización mineral, incorporar a palla e restos de cultivo ao solo, e adoptar sistemas de produción ecolóxica, inflúen reducindo os impactos e, por tanto, mellorando os perfís ambientais, polo que son prácticas recomendables.

A Análise do Ciclo de Vida, é unha ferramenta excelente para guiar intervencións políticas dirixidas a potenciar sistemas agrícolas sostibles.

SECCIÓN II.3. CONSECUENCIAS AMBIENTAIS DA ROTACIÓN DE CULTIVOS BASEADA NO TRIGO NOS SISTEMAS DE CULTIVO DE PATACA EN GALICIA, ESPAÑA.

INTRODUCCIÓN:

A intensificación da agricultura produciu un impacto negativo no equilibrio dos ecosistemas provocando unha considerable perda de biodiversidade [65]. No 2015, o 10% das emisións totais de CO₂ en Europa foron producidas polo sector agrícola [66]. A rotación de cultivos reduciuse nas últimas décadas debido á intensificación da agricultura, causando impactos ambientais adversos [67].

Unha rotación de cultivos ben xestionada pode axudar a mellorar o equilibrio dos ecosistemas [45, 51, 68]. A rotación de cultivos é unha ferramenta que permite mellorar a calidade do solo axudando na súa recuperación. Mediante a rotación de cultivos redúcense as cargas ambientais da agricultura [69].

A rotación de cultivos diminúe o uso de fertilizantes minerais, mellorando a eficiencia do uso de nutrientes e reducindo o impacto de pragas e enfermidades [51, 70]. Iso si, a rotación de cultivos require dunha planificación coidadosa para que contribúa á redución dos impactos ambientais de xeito eficaz [51].

Aínda que existen estudos previos sobre rotacións de trigo [51, 53], non existen referencias previas de estudos de ACV que inclúan trigo galego.

OBXECTIVOS:

O obxectivo principal deste estudo é avaliar o perfil ambiental da produción de pataca e trigo baixo un sistema de rotación de cultivos en Galicia, España, para o cal fíxose unha recollida de datos de inventario desta rotación que inclúe unha variedade de trigo autóctono en Galicia. Para o estudo do perfil ambiental empregouse a metodoloxía ACV, como base das estimacións dos impactos ambientais e económicos dos sistemas de produción propostos.



Figura 18: Trigo 'Caaveiro' na fase de espigado en Piñeira Seca, Xinzo de Limia.

MATERIAIS E MÉTODOS:

O sistema comprendeu o análise dunha rotación trienal baixo sistema convencional. No primeiro ano se cultiva a pataca (cP), o segundo unha variedade de trigo comercial de gran potencial produtivo (cW) e, no terceiro, unha variedade local de trigo rústico adaptada ao clima e solos da rexión: O trigo ‘Caaveiro’ (GcW) (Figura 18). É un sistema que permite mitigar o impacto de determinadas pragas e enfermidades, o que afecta significativamente o rendemento do cultivo principal: a pataca (mildio, e nematodos, fundamentalmente). Ademais disto, pódese aproveitar ao máximo a fertilidade residual que deixa a pataca no chan (cultivo que adoita estar abundantemente fertilizado). Este sistema de rotación de cultivos de pataca e trigo foi elixido por moitos produtores xa que se considera o máis eficiente dende o punto de vista económico, de calidade e de saúde do solo.

Para o estudio ambiental analizouse a rotación de pataca e trigo (Figura 19), sendo a pataca (cP) a colleita do primeiro ano, seguida do trigo comercial (cW) e, finalmente, o trigo galego (GcW) no terceiro ano. O manexo dos tres cultivos seguiu un sistema convencional.

Mes	Xan	Feb	Mar	Abr	Mai	Xuñ	Xull	Ag	Set	Out	Nov	Dec	
Ano 1					PATACA (cP)								cW
Ano 2	TRIGO COMERCIAL (cW)												GcW
Ano 3	TRIGO GALEGO (GcW)												

Figura 19: Ciclo da rotación de trigo autóctono e pataca seguido en Galicia.

Datos de inventario. Os datos sobre as actividades agrarias nos tres sistemas de explotación recolléronse a través de cuestionarios efectuados en entrevistas persoais a produtores da comarca integrados dentro da Asociación TRIAGA. Recolléronse datos de campo para o inventario de ciclo de vida do sistema de cultivo pataca-trigo tendo en conta a secuencia: 1) pataca (cP), 2) trigo comercial de talla baixa (cW) e 3) trigo galego talla alta (GcW). Esta secuencia repetiríase sucesivamente salvo imprevistos ou cambios de estratexia puntuais.

Para o análise ambiental emprégase a metodoloxía de ACV atribucional seguindo as directrices das normas ISO 14040 e ISO 14044.

Considéranse catro unidades funcionais:

1. ha; infórmanos sobre os impactos en termos de superficie [51, 52, 71, 72].
2. kg, impactos en termos de produtividade do produto obxectivo [52, 71, 72, 73].
3. MJ, impactos por unidade de valor enerxético do produto colleitado.
4. €, centrada na perspectiva da renda dos agricultores [38, 51, 52, 74].

No estudio calculáronse as emisións de campo derivadas do uso de agroquímicos, coa seguinte metodoloxía:

1. Emisións de óxidos nitrosos (N_2O), incluídas as emisión dos restos de cultivo: Panel Intergobernamental de Cambio Climático [56].
2. Emisións de dióxidos de nitróxeno (NO_x) e amoníaco (NH_3): Axencia Europea de Medio Ambiente e o Programa Europeo de Seguimento e Avaliación [57].
3. Lixiviación de nitratos (NO_3) [58].
4. Lixiviación e escoamento de fósforo (PO_4^{-3}) [59].
5. Emisións de pesticidas ao aire, á auga e ao solo: regra da categoría de pegada ambiental do produto PEFCR [60].

As emisións de CO_2 derivadas do cambio de uso do solo, non se avalían debido a que as parcelas de estudio estiveron dedicadas a actividade agrícola nos derradeiros 20 anos.

Os inputs e outputs agrícolas considéranse en termos de valores medios.

As categorías de impacto escollidas foron:

1. Cambio Climático - CC (CO₂ eq).
2. Partículas - PM (kg PM_{2,5} eq).
3. Acidificación Terrestre - TA (kg SO₂ eq).
4. Eutrofización de auga doce - FE (kg P eq).
5. Eutrofización mariña - ME (kg N eq).
6. Toxicidade humana - HT (kg 1,4-DCB).
7. Uso da terra - LU (m²a eq. cultivo).
8. Esgotamento de fósiles - FD (kg eq aceite).

RESULTADOS

Análise dunha rotación trienal na que o primeiro ano se cultiva a pataca (cP), o segundo unha variedade de trigo comercial de gran potencial produtivo (cW) e, no terceiro, unha variedade local de trigo rústico adaptada ao clima e solos da rexión (GcW).

Cultivo convencional de pataca (cP). O cultivo da pataca tivo lugar a partir de maio do primeiro ano (Figura 19). En maio, a preparación do campo comezou cunha labra profunda mediante arado de veso, seguida dunha labor vertical cun chisel. Ademais, aplicáronse fertilizantes minerais ao chan en forma de abono complexo tipo 9-18-27, e despois un rotocultor executou o derradeiro labor de refino do leito de sementeira xusto antes de proceder á plantación con plantadora de dous sucos.

A continuación, aplicouse un herbicida de preemergencia en base a de Metribuzin 70% e Bentazon 48%, seguido dun tratamento insecticida con Lambda Cyhalothrin 10%. Ademais, efectuouse un abonado de cobertura con nitrato de calcio e amonio (NAC 27%). Posteriormente aplicáronse en campo outras 4 series de praguicidas na seguinte orde: Funxicida Metalaxyl, Cipermetrina 10% insecticidas, unha mestura de funxicidas Benalaxyl 6% + Cymoxanil 3,2% + Mancozeb 40% e, por último, outra mestura de funxicidas Chlorothalonil 39,95 + Dimetomorf 7,99%. Durante a colleita, o rendemento da pataca foi 92 de,

aproximadamente, 35 t ha. O destino comercial da colleita destinouse fundamentalmente á industria da fritura. Os tubérculos que non alcanzaron os estándares de calidade (refugo) destináronse á alimentación animal.

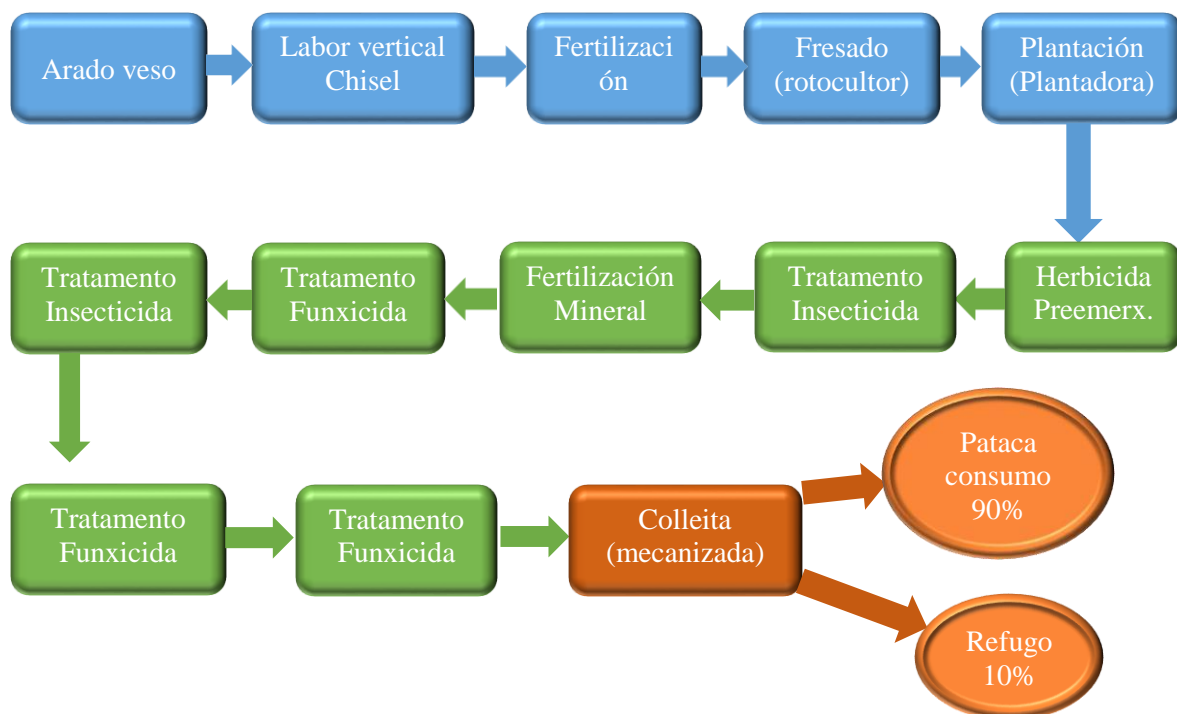


Figura 19: Fases de produción de pataca de consumo nun sistema convencional (modificada de Iana Cámara-Salim, [Fernando Almeida-García et al. 2021](#)).

Cultivo de trigo comercial en sistema convencional (cW). O segundo ano comezou co cultivo de trigo comercial de talla baixa (*Triticum aestivum*) (Figura 3). No mes de novembro, xusto antes da sementeira, preparouse o solo cun labor de arado veso, seguido da aplicación de fertilizante mineral NPK. Finalmente procedeuse a sementeira cun equipo combinado de rotocultor e sementadora. O control de adventicias realizouse mediante herbicidas: inicialmente a combinación de Chlorotoluron e Diflufenican en tratamento de preemerxencia e, posteriormente, unha segunda aplicación de postemerxencia, cunha mestura de Tribenuron e Pinoxaden 6%. Posteriormente produciuse a fertilización con nitrato de calcio e amonio (NAC 27%) e aplicouse o funxicida Epoxiconazol. Os rendementos de gran de trigo e palla foron de aproximadamente 5,5 e 1 t, respectivamente. O restrollo deixouse no campo (15%) e o resto da palla empacouse. O gran de trigo vendeuse á industria panadeira ou de penso e a palla para a alimentación animal.



Figura 20: Fases de produción de trigo comercial en sistema convencional (modificada de Iana Cámara-Salim, Fernando Almeida-García et al. 2021).

Cultivo convencional de trigo galego (GcW). Despois da colleita do cereal anterior no mes de agosto. No terceiro ano, sementouse o trigo galego (Figura 4). Este tipo de trigo é unha variedade local de Galicia, coñecido como ‘Caaveiro’, dotada de gran rusticidade e menor dependencia de agroquímicos.

O obxectivo foi aproveitar ao máximo fertilidade residual do solo. Durante o establecemento do cultivo utilizáronse os mesmos pasos que os do cultivo anterior (Figura 2), excluindo a aplicación de fertilización mineral de fondo e eliminando o tratamento herbicida de postemerxencia. É dicir, o tratamento herbicida aplicouse unha soa vez co uso de Chlorotoluron + Diflufenican en preemerxencia. De seguido tivo lugar a fertilización con nitrato de calcio e amonio (NAC 27%). Posteriormente, empregouse o fungicida Tebuconazol 25%. O rendemento de gran de trigo e de palla foi de aproximadamente 2,8 e 2,7 t·ha⁻¹, respectivamente. A palla deixouse no campo. A produción de semente pasou polas mesmas etapas de xestión agrícola que o trigo galego para moenda. O gran de trigo vendeuse á industria panadeira para a produción de pan.

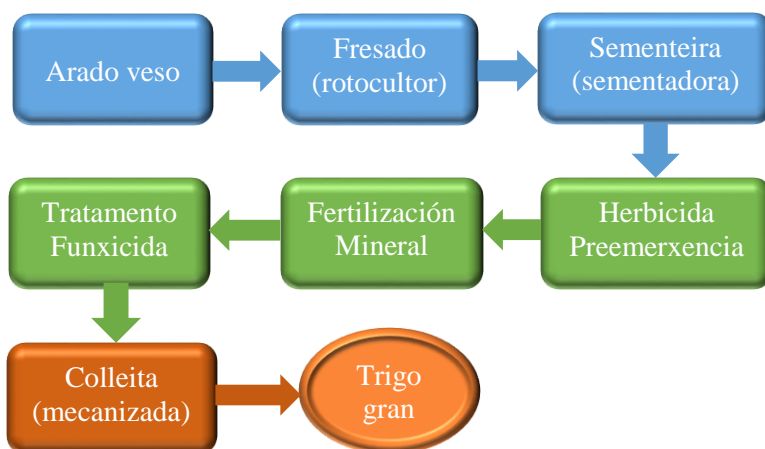


Figura 21: Fases de produción de trigo galego en sistema convencional (modificada de Iana Cámara-Salim; [Fernando Almeida-García et al. 2021](#)).

Resultados dos datos de inventario

Para unha superficie de 600 ha, a duración do cultivo da pataca foi de 4 meses e de 10 meses para o trigo (comercial e autóctono) (Táboa 18). O rendemento medio foi de 2,8, 5,5 e 31,5 t·ha⁻¹ para o trigo galego, trigo comercial e pataca, respectivamente. En canto o valor de mercado do produto colleitado destaca o caso do trigo galego, acadando un prezo de venda de 400 €·t⁻¹.

Táboa 18: Resumo das principais características dos cultivos de pataca (cP), trigo comercial (cW) e trigo galego (GcW) en Galicia (modificada de de Iana Cámara-Salim, Fernando Almeida-García et al. 2021).

Concepto	Pataca (cP)	Trigo Comercial (cW)	Trigo Galego (GcW)	Unidade
Superficie cultivada	600	600	600	ha
Duración do ciclo cultivo	4	10	10	Meses
Rendemento produto colleitado	31,5	5,5	2,8	t·ha ⁻¹
Rendemento residuos	3,5	2,2	2,7	t·ha ⁻¹
Residuos que permanecen no solo	0	15	100	%
Humidade do produto principal	80	12	12	%
Prezo do produto principal	0,16	0,18	0,4	€·kg ⁻¹
Prezo dos subprodutos	0,05	0,07	-	€·kg ⁻¹
Destino final do produto	Industria Frito	Produción pan	Produción pan	

A base de datos produtores con rotación trienal Pataca - Trigo Comercial - Trigo Galego amosou unha variación (Táboa 19) das superficies de cultivo dende as 27 ha ata as 100 ha. Os rendementos acadados para o trigo galego variaron entre as 2,3 t·ha⁻¹ ata 3,4 t·ha⁻¹.

Táboa 19: Base de datos produtores con rotación trienal: Pataca - Trigo Comercial - Trigo Galego. cP, pataca; cP resid., residuos de colleita da pataca; cW, trigo comercial; cW resid., residuos de colleita do trigo comercial (palla); GcW, trigo galego; GcW resid, residuos de colleita do trigo galego (palla).

AGRIC.	CONCELLO	ROTACIÓN	cP (ha)	cP (t·ha ⁻¹)	cP resid. (t·ha ⁻¹)	cW (ha)	cW (t·ha ⁻¹)	cW resid. (t·ha ⁻¹)	GcW (ha)	GcW (t·ha ⁻¹)	GcW resid. (t·ha ⁻¹)
A1	X. de Limia	cP-cW-GcW	33	34,2	3,8	33	5,8	2,3	33	2,8	2,7
A2	X. de Limia	cP-cW-GcW	15	37,6	4,1	15	5,7	2,3	15	2,8	2,7
A3	X. de Limia	cP-cW-GcW	19	35,8	3,9	19	4,9	2,0	19	3,2	3,1
A4	X. de Limia	cP-cW-GcW	23	27,6	3,0	23	4,5	1,8	23	3,2	3,1
A5	X. de Limia	cP-cW-GcW	9	21,7	2,4	9	7,1	2,8	9	3	2,9
A6	X. de Limia	cP-cW-GcW	17	29,2	3,2	17	5,7	2,3	17	2,8	2,7
A7	X. de Limia	cP-cW-GcW	17	29,9	3,3	17	5,5	2,2	17	3,2	3,1
A8	X. de Limia	cP-cW-GcW	12	31,7	3,5	12	4,3	1,7	12	2,4	2,3
A9	X. de Limia	cP-cW-GcW	22	22,6	2,5	22	4,4	1,8	22	2,5	2,5
A10	X. de Limia	cP-cW-GcW	22	34,8	3,8	22	7,7	3,1	22	2,8	2,7
A11	X. de Limia	cP-cW-GcW	13	27,6	3,0	13	5,7	2,3	13	2,7	2,6
A12	X. de Limia	cP-cW-GcW	19	37,3	4,1	19	4,9	2,0	19	2,5	2,4
A13	A Porqueira	cP-cW-GcW	19	36,9	4,1	19	5,3	2,1	19	2,9	2,8
A14	A Porqueira	cP-cW-GcW	23	30,4	3,3	23	2,4	1,0	23	3	2,9
A15	Sarreaus	cP-cW-GcW	24	31,7	3,5	24	4,3	1,7	24	2,8	2,7
A16	Sarreaus	cP-cW-GcW	16	21,3	2,3	16	6,3	2,5	16	2,4	2,3
A17	Sarreaus	cP-cW-GcW	16	32,6	3,6	16	4,5	1,8	16	2,9	2,8
A18	Sarreaus	cP-cW-GcW	21	39,2	4,3	21	5,3	2,1	21	3,4	3,3
A19	Sarreaus	cP-cW-GcW	19	35,3	3,9	19	7,7	3,1	19	2,3	2,2
A20	Sarreaus	cP-cW-GcW	20	32	3,5	20	5,3	2,1	20	2,5	2,4
A21	Sarreaus	cP-cW-GcW	21	36,1	4,0	21	6,7	2,7	21	3,1	3,1
A22	V. de Barrio	cP-cW-GcW	25	36,2	4,0	25	6,6	2,6	25	2,6	2,5
A23	V. de Barrio	cP-cW-GcW	24	33,9	3,7	24	4,9	2,0	24	3	2,9
A24	V. de Barrio	cP-cW-GcW	13	28,7	3,2	13	4,7	1,9	13	2,5	2,4
A25	V. de Barrio	cP-cW-GcW	20	27,3	3,0	20	5,7	2,3	20	3,1	3,0
A26	V. de Barrio	cP-cW-GcW	25	29,7	3,3	25	5,1	2,0	25	2,7	2,6
A27	V. de Barrio	cP-cW-GcW	18	31,2	3,4	18	6,3	2,5	18	2,3	2,2
A28	V. de Barrio	cP-cW-GcW	22	35,1	3,9	22	6,1	2,4	22	2,5	2,4
A29	V. de Barrio	cP-cW-GcW	26	30,2	3,3	26	5,3	2,1	26	2,4	2,3
A30	V. de Barrio	cP-cW-GcW	27	27,4	3,0	27	6,6	2,6	27	2,5	2,4
Total			600	31,5	3,5	600	5,5	2,2	600	2,8	2,7

A secuencia de operacións de campo normalizadas e datos de inventario (por ha) de cultivo convencional de trigo comercial (cW) e galego (GcW) (Táboa 20) amosaron diferenzas nas doses de sementeira, fertilización e tratamentos fitosanitarios entre as dúas variedades analizadas. O trigo galego é un cultivo menos dependente de insumos externos, prescindindo de abonado mineral de fondo e do tratamento herbicida de post-emerxencia. Ademais redúcese a dose do abonado de cobertura.

A secuencia de operacións de campo estándar e datos de inventario (por ha) para o cultivo de pataca convencional (cP) (Táboa 21) mostra unha elevada dependencia de insumos e labores agrícolas: tratamentos herbicida, dous insecticidas, tres fungicidas, con doses de abonado mineral que superan os $800 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de complexo en fondo e 250 kg de simple nitroxenado en cobertura.

Táboa 20: Secuencia de operacións de campo normalizadas e datos de inventario (por ha) de cultivo convencional de trigo comercial (cW) e galego (GcW) (Táboa modificada de de Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García et al. 2021).

OPERACIÓN	TRACTOR (PESO; POTENCIA)	APEIRO	PESO (kg)	CAPACIDADE DE TRABALLO (h·ha ⁻¹)	CONSUMO (l·ha ⁻¹)	INSUMO (DOSE)
ARADO DE VESO	7000 kg; 96,9 KW	ARADO	2600	0,90	18,00	
ABONADO MINERAL FONDO	7000 kg; 96,9 KW	FERTILIZADORA	450	0,25	1,50	8-15-15 (400 kg·ha ⁻¹)
FRESADO	7000 kg; 96,9 KW	ROTOCULTOR	1300	0,75	14,00	
SEMENTEIRA	7000 kg; 96,9 KW	SEMENTADORA	1100	0,50	5,00	Semente R2 (200 ^a kg·ha ⁻¹ ou 150 ^b Kg·ha ⁻¹)
HERBICIDA PREEMERXENCIA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Clortoluron+Dff (2,5 l·ha ⁻¹) ^{a y b}
HERBICIDA POSTEMERXENCIA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Tribenuron (40 g/ha) + Pinoxaden (0,75 l·ha ⁻¹) ^a
ABONADO MINERAL COBERTERA	7000 kg; 96,9 KW	FERTILIZADORA	450	0,25	1,50	NAC 27% (200 ^a kg·ha ⁻¹ o 150 ^b Kg·ha ⁻¹)
FUNXICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Epoxiconazol ^a (1 l·ha ⁻¹) o Tebuconazol ^b (1 l·ha ⁻¹)
COLLEITA	15000 kg; 260 KW	COLLEITADORA		1,00	15,00	
EMPACADO	7000 kg; 96,9 KW	ROTOEMPACADORA	1700	1,00	10,00	

^a Aplicado ao trigo comercial (cW)

^b Aplicado a Trigo Galego (GcW)

Táboa 21: Secuencia de operacións de campo estándar e datos de inventario (por ha) para o cultivo de pataca convencional (cP) (Táboa modificada de Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García et al. 2021).

OPERACIÓN	TRACTOR (PESO; POTENCIA)	APEIRO	PESO (kg)	CAPACIDADE DE TRABALLO (h·ha ⁻¹)	CONSUMO (l·ha ⁻¹)	INSUMO (DOSE)
ARADO VESO	7000 kg; 96,9 KW	ARADO	2600	0,90	18,00	
CHISEL	7000 kg; 96,9 KW	CHISEL	1500	0,50	12,00	
ABONADO MINERAL FONDO	7000 kg; 96,9 KW	FERTILIZADORA	450	0,25	1,50	9-18-27 (800 kg·ha ⁻¹)
FRESADO	7000 kg; 96,9 KW	ROTOCULTOR	1300	0,75	14,00	
PLANTACIÓN	7000 kg; 96,9 KW	SEMENTADORA	1100	0,50	5,00	Semente Certificada A (1200 Kg·ha ⁻¹ -1500 kg·ha ⁻¹)
HERBICIDA PRE EMERXENCIA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Metribuzina 70% (750 g·ha ⁻¹)
HERBICIDA POST EMERXENCIA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Bentazona 48% (2 l·ha ⁻¹)
INSECTICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Lambda Cyhalothrin 10% (0,75 l·ha ⁻¹)
ABONADO MINERAL COBERTERA	7000 kg; 96,9 KW	FERTILIZADORA	450	0,25	1,50	NAC 27% (250 kg·ha ⁻¹)
FUNXICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Metalaxyl (1,2 kg·ha ⁻¹)
INSECTICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Cipermetrina 10% (0,2 l·ha ⁻¹)
FUNXICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Benalaxil+Cimoxanilo+Mancozeb (3 kg·ha ⁻¹)
FUNXICIDA	7000 kg; 96,9 KW	PULVERIZADOR	2000	0,15	1,50	Clortalonil+Dimetomorf (2,5 kg·ha ⁻¹)
COLLEITA	15000 Kg; 260 KW	COLLEITADORA		1,00	15,00	35 t·ha ⁻¹

Impacto ambiental do sistema de rotación de cultivos trigo – pataca

Unha vez analizados os cultivos que integran a rotación, GcW (trigo galego) tivo o mellor rendemento ambiental, mentres que cP (pataca) amosou o peor perfil (Táboa 18).

O cultivo de pataca (cP) presentou resultados notablemente mellores para o uso de solo (LU), debido á menor ocupación da terra dende a sementeira ata a colleita (só 4 meses), fronte aos 10 meses para o cultivo de trigo. O cultivo de cP requiriu máis agroquímicos e maquinaria agrícola que o trigo (cW e cGW). Por outro lado cW (trigo comercial) tamén requiriu máis insumos agrícolas que cGW, o precisar máis fertilización, pesticidas e un proceso de empacado da palla.

Táboa 18: Resultados de impacto ambiental por superficie (ha), do sistema de rotación de cultivos trigo – pataca: (Táboa modificada de Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García et al. 2021). cP, pataca; cW, trigo comercial; GcW, trigo galego; CC, Cambio Climático; PM, partículas; TA, Acidificación terrestre; FE, Eutrofización da auga doce; ME, Eutrofización mariña; HT, Toxicidade carcinóxena humana; LU, Uso do solo; FD, Esgotamento de combustibles fósiles.

CATEGORÍA DE IMPACTO	UNIDADES	cP	cW	GcW	Total
		Pataca	Trigo comercial	Trigo autóctono	Rotación trienal
CC - Cambio climático	kg CO ₂ -eq	1298	741	392	2431
PM - Materia particulada	kg PM _{2,5} -eq	2,82	1,43	0,57	4,82
TA - Acidificación terrestre	kg SO ₂ -eq	10,62	5,23	1,56	17,41
FE - Eutrofización de auga doce	kg P-eq	0,46	0,33	0,14	0,93
ME - Eutrofización mariña	kg N-eq	4,13	1,84	1,38	7,35
HT - Toxicidade carcinóxena humana	kg 1,4-DCB	33,1	17,66	8,27	59,03
LU - Uso do solo	m ² acrop-eq	1230	2731	2646	6607
FD -Esgotamento comb. fósiles	kg oil-eq	222	120	58	400

Análise das fases máis influíntes no impacto ambiental global

As emisións de campo, aplicación de fertilizantes e os labores (sobre todo os labores de arado, fresado e colleita) contribuíron significativamente ao Cambio Climático (CC), partículas (PM), Acidificación terrestre (TA) e Eutrofización da auga doce (FE). No que respecta á Eutrofización mariña (ME), as emisións de campo foron, con diferenza, o principal contribuínte.

As operacións de campo e a aplicación de fertilizantes tiveron unha gran influencia sobre a Toxicidade carcinóxena humana (HT) e o Esgotamento de fósiles (FD). Finalmente, a ocupación directa do solo foi o principal contribuínte ao Uso do solo (LU). Reducir a labra do solo e empregar máquinas máis lixeiras e eficientes beneficiaría a sustentabilidade desta rotación de cultivos.

Impactos ambientais – en función da produción:

Neste caso as cifras amosaron un cambio significativo. Agora cP contribuíu menos aos impactos ambientais globais. Isto debeuse principalmente á considerable diferenza de rendemento entre os tres sistemas de cultivo, aínda que consumiu máis insumos e enerxía que cW e cGW por ha.

O uso da asignación económica tamén está beneficiando os resultados para cP e cW, xa que ambos producen subprodutos valiosos para alimentación animal. Non se realizou ningunha asignación para GcW xa que a palla de trigo queda completamente no campo.

Impactos ambientais - función do valor enerxético:

O cultivo de patacas cP mostrou de novo o peor perfil ambiental. Isto debeuse o seu elevado contido de humidade (80%) en comparación co gran de trigo (12%), ademais do seu baixo valor calórico bruto (3,14 MJ por materia seca) en comparación co gran de trigo (15,9 MJ por materia seca).

Impactos ambientais - función da renda:

Avaliando o impacto segundo o balance económico, GcW (Figura 22) presentou o mellor perfil en tódalas categorías de impacto, agás para LU, mentres que cP mostrou as peores cifras. Os resultados pódense explicar polo mellor prezo do trigo galego (GcW), ademais do menor uso de insumos e labores.



Figura 22: Trigo ‘Caaveiro’, Trandeiras, Xinzo de Limia (Ourense).

DISCUSIÓN

Neste estudo, a rotación liberou 2431 kg CO₂-eq ha⁻¹ nun período de 3 anos. Actualmente, non existen estudos de ACV analicen especificamente a secuencia de cultivos aquí exposta. Porén, pódese avaliar a comparación con outros ACV sobre rotacións, asumindo que se empregaron diferentes cultivos e xestión agronómica. Por exemplo, un estudo [53] mostrou os resultados de 12 rotacións de cultivos en Francia utilizando combinacións de colza, trigo de inverno, cebada, chícharos, xirasol e cultivos intermedios. Os resultados de CC das combinacións de cultivos mencionadas foron entre 2057 kg e 2756 kg CO₂-eq ha⁻¹ nun período de 6 e 7 anos. Noutro estudo [51] no que investigaron 64 combinacións de cultivos cos mesmos cultivos, excepto o xirasol, e na mesma rexión que o estudo mencionado anteriormente, informaron dunha media de aproximadamente 2800 kg CO₂-eq ha⁻¹. Polo tanto, os resultados de CC do presente traballo están no rango dos estudos de ACV anteriores sobre a rotación de cultivos.

CONCLUSIÓNS

O ACV (Análise de Ciclo de Vida) é unha ferramenta interesante para avaliar o impacto ambiental na rotación trienal de trigo galego en pataca en Galicia porque permitiu identificar que a influencia dos cultivos no resultado do impacto global da rotación dependeron da elección da unidade de asignación.

Así, o trigo galego (GcW) mostrou o mellor perfil posible cando se usaron as unidades funcionais ha⁻¹·ano⁻¹, MJ⁻¹ e €⁻¹. Porén, polo seu baixo rendemento, presentou o peor perfil cando se informaron os resultados por kg.

O uso de fertilizantes orgánicos podería contribuír significativamente a reducir os impactos ambientais vencellados os procesos de produción dos fertilizantes inorgánicos. O uso de leguminosas pode diminuír a necesidade de fertilización nitroxenada, xa que teñen o potencial de fixar nitróxeno do aire e transferir nutrientes para os seguintes cultivos. Ademais, os cultivos de cobertura tamén son importantes para protexer o solo, evitando a erosión do mesmo.

BIBLIOGRAFÍA:

31. Mäkinen, H., Kaseva, J., Trnka, M., Balek, J., Kersebaum, K.C., Nendel, C., Gobin, A., et al., 2018. Sensitivity of European wheat to extreme weather. *Field Crops Research* 222, 209–217.
32. Li, G., Zakari, A., Tawiah, V., 2020. Does environmental diplomacy reduce CO2 emissions? A panel group means analysis. *Science of the Total Environment* 722, 137790.
33. Le Gouis, J., Oury, F.X., Charmet, G., 2020. How changes in climate and agricultural practices influenced wheat production in Western Europe. *Journal of Cereal Science* 93, 102960.
34. Campo de Tejada, 2020. <https://www.campodetejada.es/en/products/cereals/commonwheat/>(accessed July 2020).
35. Erice, G., Sanz-Sáez, Á., González-Torralba, J., Méndez-Espinoza, A.M., Urratavizcaya, I., Nieto, M.T., Serret, M.D., Araus, J.L., Irigoyen, J.J., Aranjuelo, I., 2019. Impact of elevated CO2 and drought on yield and quality traits of a historical (Blanqueta) and a modern (Sula) durum wheat. *Journal of Cereal Science* 87, 194–201.
36. Liu, Q., Q., N., Xu, X., Xin, X., Han, J.Y., Tian, Y., Ouyang, H., Kuzyakov, Y., 2016. Nitrogen acquisition by plants and microorganisms in a temperate grassland. *Scientific Reports* 6, 22642.
37. Habermeyer, M., Roth, A., Guth, S., Diel, P., Engel, K.H., et al., 2015. Nitrate and nitrite in the diet: how to assess their benefits and risk for human health. *Molecular Nutrition & Food Research* 59, 106–128.
38. Nemecek, T., Huguenin, O., Dubois, D., Gaillard, G., Schaller, B., Chervet, A., 2011b. Life cycle assessment of Swiss farming systems: II. Extensive and intensive production. *Agricultural Systems* 104, 233–245.
39. Goglio, P., Bonari, E., Mazzoncini, M., 2012. LCA of cropping systems with different external input levels for energetic purposes. *Biomass & Bioenergy* 42, 33–42.
40. Ghaley, B.B., Rusu, T., Sandén, T., Spiegel, H., Menta, C., Visioli, G., et al., 2018. Assessment of benefits of conservation agriculture on soil functions in arable production systems in Europe. *Sustainability* 10 (3), 794.
41. González-García, S., Bacenetti, J., Negri, M., Fiala, M., Arroja, L., 2013. Comparative environmental performance of three different annual energy crops for biogas production in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production* 43, 71–83.
42. Noya, I., González-García, S., Bacenetti, J., Arroja, L., Moreira, M.T., 2015. Comparative life cycle assessment of three representative feed cereals production in the Po Valley (Italy). *Journal of Cleaner Production* 99, 250–265.
43. Noya, I., González-García, S., Bacenetti, J., Fiala, M., Moreira, M.T., 2017. Environmental impacts of the cultivation-phase associated with agricultural crops for feed production. *Journal of Cleaner Production* 172, 3721–3733.
44. Pishgar-Komleh, S., Sefeedpari, P., Pelletier, N., Brandão, M., 2019. Life cycle assessment methodology for agriculture: some considerations for best practices.

Assessing the Environmental Impact of Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, pp. 229–257.

45. Salim, I., González-García, S., Feijoo, G., Moreira, M.T., 2019. Assessing the environmental sustainability of glucose from wheat as a fermentation feedstock. *Journal of Environmental Management* 247, 323–332.
46. Rieznik, N., & Hernández, A. (2005). *Análisis del ciclo de vida*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
47. Kulak, M., Nemecek, T., Frossard, E., Chable, V., Gaillard, G., 2015. Life cycle assessment of bread from several alternative food networks in Europe. *J. Clean. Prod.* 90, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.060>.
48. Ingraio, C., Licciardello, F., Pecorino, B., Muratore, G., Zerbo, A., Messineo, A., 2018. Energy and environmental assessment of a traditional durum-wheat bread. *J. Clean. Prod.* 171, 1494–1509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.283>.
49. Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Saouter, E., Sonesson, U., 2017a. The role of life cycle assessment in supporting sustainable Agri-food systems: a review of the challenges. *J. Clean. Prod.* 140, 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.071>.
50. FAOSTAT, 2018. Crop statistics. [www Document]. URL. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>, Accessed date: 10 January 2019.
51. Nemecek, T., Hayer, F., Bonnin, E., Carrouée, B., Schneider, A., Vivier, C., 2015. Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy* 65, 40–51.
52. Ankathi, S.K., Long, D.S., Gollany, H.T., Das, P., Shonnard, D., 2019. Life cycle assessment of oilseed crops produced in rotation with dryland cereals in the inland Pacific Northwest. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 24, 627–641.
53. Hayer, F., Bonnin, E., Carrouée, B., Gaillard, G., Nemecek, T., Schneider, A., Vivier, C., 2009. Designing sustainable crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. 9th European IFSA Symposium, 4–7 July 2009, Vienna (Austria).
54. Esteve-Llorens, X., Darriba, C., Moreira, M.T., Feijoo, G., González-García, S., 2019. Towards an environmentally sustainable and healthy Atlantic dietary pattern: life cycle carbón footprint and nutritional quality. *Sci. Total Environ.* 646, 704–715. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.264>.
55. Ingraio, C., Licciardello, F., Pecorino, B., Muratore, G., Zerbo, A., Messineo, A., 2018. Energy and environmental assessment of a traditional durum-wheat bread. *J. Clean. Prod.* 171, 1494–1509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.283>.
56. IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. N2O emissions from managed soils, and CO2 emissions from lime and urea application chapter 11. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use.
57. EEA (European Environmental Agency), 2013. Chapter 3D: Crop production and agricultural soils Book: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook

2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. <https://doi.org/10.2800/92722>.
58. Faist Emmenegger, M., Reinhard, J., Zah, R., 2009. Sustainability Quick Check for Biofuels - intermediate background report. With contributions from T. Ziep, R. Weichbrodt, Prof. Dr. V. Wohlgemuth, FHTW Berlin and A. Roches, R. Freiermuth Knuchel, Dr. G. Gaillard. Agroscope Reckenholz-Tänikon, Dübendorf.
59. Prasuhn, V., 2006. Erfassung der PO4-Austräge für die Ökobilanzierung - SALCAPHosphor. Agroscope FAL Reckenholz, Zürich 22 p., Available at www.agroscope.admin.ch.
60. PEFCR guidance, 2017. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf (accessed July 2020).
61. PRé Consultants, 2020. SimaPro Database Manual. Methods library, The Netherlands.
62. Guardia, G., Tellez-Rio, A., García-Marco, S., Martin-Lammerding, D., Tenorio, J.L., Ibáñez, M.A., Vallejo, A., 2016. Effect of tillage and crop (cereal versus legume) on greenhouse gas emissions and global warming potential in a non-irrigated Mediterranean field. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 221, 187–197.
63. Plaza-Bonilla, D., Nolot, J.-M., Raffailac, D., Justes, E., 2017. Innovative cropping systems to reduce N inputs and maintain wheat yields by inserting grain legumes and cover crops in southwestern France. *Eur. J. Agron.* 82, 331–341.
64. Jeswani, H.K., Espinoza-Orias, N., Crocker, T., Azapagic, A., 2018. Life cycle greenhouse gas emissions from integrated organic farming: a systems approach considering rotation cycles. *Sustainable Production and Consumption* 13, 60–79.
65. Traba, J., Morales, M.B., 2019. The decline of farmland birds in Spain is strongly associated to the loss of fallowland. *Sci. Rep.* 9, 1–6. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45854-0>.
66. European Commission, 2019a. Agri-environmental Indicator - Greenhouse Gas Emissions [www Document]. <https://doi.org/https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/pdfscache/16817.pdf>.
67. Eip Agri, 2019. Workshop Cropping for the Future : Networking for Crop Rotation and Crop Diversification FINAL REPORT [WWW Document]. Final Rep. https://doi.org/https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_ws_cropping_for_the_future_final_report_2019_en.pdf.
68. Mousavi, S.R., Eskandari, H., 2014. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.* 1, 482–486.
69. European Commission, 2019a. Agri-environmental Indicator - Greenhouse Gas Emissions [www Document]. <https://doi.org/https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/pdfscache/16817.pdf>.
70. Brankatschk, G., Finkbeiner, M., 2015. Modeling crop rotation in agricultural

- LCAs - challenges and potential solutions. *Agric. Syst.* 138, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.008>.
71. Knudsen, M.T., Meyer-Aurich, A., Olesen, J.E., Chirinda, N., Hermansen, J.E., 2014. Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations - using a life cycle assessment approach. *J. Clean. Prod.* 64, 609–618. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.009>.
 72. Yang, X., Sui, P., Zhang, X., Dai, H., Yan, P., Li, C., Wang, X., Chen, Y., 2019. Environmental and economic consequences analysis of cropping systems from fragmented to concentrated farmland in the North China Plain based on a joint use of life cycle assessment, energy and economic analysis. *J. Environ. Manag.* 251 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109588>.
 73. Tidåker, P., Sundberg, C., Öborn, I., Kärrer, T., Bergkvist, G., 2014. Rotational grass/clover for biogas integrated with grain production - a life cycle perspective. *Agric. Syst.* 129, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.015>.
 74. Deytieux, V., Nemecek, T., Freiermuth Knuchel, R., Gaillard, G., Munier-Jolain, N.M., 2012. Is Integrated Weed Management efficient for reducing environmental impacts of cropping systems? A case study based on life cycle assessment. *Eur. J. Agron.* 36, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.08.004>.

CONCLUSIÓNS XERAIS:

Os estudos realizados do cultivo do trigo ‘Caaveiro’ en rotación de cultivos permitiron concluír que:

1. **Na produción**, os resultados de rendemento en gran ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) do trigo galego nas variedades estudadas melloraron notablemente nas rotacións, incluso en ciclos curtos (tres anos), se o comparamos co monocultivo.
2. **Na calidade do trigo**, a rotación mellorou os índices de peso hectolitro e peso das mil sementes. Estes dous parámetros inflúen positivamente no rendemento muiñeiro. Ademais, tamén se apreciaron reducións no porcentaxe de impurezas, outro parámetro a ter en conta na calidade do cereal. Porén, non se apreciaron diferenzas significativas nos parámetros alveográficos, que si se viron afectados polas características de fertilidade do solo.
3. **No balance económico** observáronse tamén mellores resultados na rotación con leguminosas, incluso incluíndo un ano de barbeito. Neste apartado tamén se apreciaron os impactos negativos do monocultivo sobre os rendementos, o que implicaron consecuencias no balance económico.
4. **O Análise de Ciclo de Vida** é unha ferramenta interesante para avaliar o impacto ambiental das rotacións de trigo galego en Galicia. A información da xestión agronómica aportada polos propios agricultores proporcionou **datos de inventario** fundamentais para levar a cabo o estudo do impacto ambiental no ámbito da produción agrícola. O trigo galego aporta un mellor comportamento ambiental nas rotacións das que forma parte, o que débese a súa menor dependencia de agroquímicos. As variedades locais de talla alta adáptanse a sistemas de produción ecolóxicas e sustentables grazas a súa rusticidade, capacidade de competencia fronte as adventicias e menor demanda de abono nitrogenado. O uso de fertilizantes (orgánicos ou inorgánicos) e as operacións mecánicas vencelladas á preparación do solo teñen un impacto significativo en numerosas categorías ambientais.

No deseño e xestión agronómica das rotacións hai que ter en conta os seguintes parámetros, se queremos reduci-lo impacto ambiental:

- a. Diminuír o abonado Nitroxenado para reduci-las emisións de N_2O , NO_3^- , NH_3 , N_2O , ademais do impacto asociado á fabricación do propio fertilizante.
- b. Potenciar a rotación de cultivos con leguminosas para reduci-la dependencia dos fertilizantes nitroxenados, e romper os ciclos de pragas e enfermidades. Deste xeito limitamos o uso de agroquímicos e as consecuencias ambientais.
- c. Incluír variedades rústicas, menos exixentes, adaptadas ao medio, xunto con outras medidas como a implementación dunha fertilización racional e precisa acorde ás análises de solo.
- d. Na xestión ecolóxica, potenciar o uso de fertilizantes orgánicos pola súa positiva influencia nas categorías vencelladas coa toxicidade.
- e. Devolve-la palla ao solo para incrementalo contido de carbono orgánico do mesmo.
- f. Diminuír o número de labores mecánicos, promovendo estratexias coma a labra reducida ou a sementeira directa, para reducir o consumo de gasóleo.

ANEXO DE PUBLICACIÓNS:

De seguido indícanse a relación de publicacións vencelladas a presente tese de doutoramento:

- 1. Growing *Triticum aestivum* Landraces in Rotation with *Lupinus albus* and Fallow Reduces Soil Depletion and Minimises the Use of Chemical Fertilisers.** Fernando Almeida-García, Sara Lago-Oliveira, Ricardo Rebolledo-Leiva, Sara González-García, María Teresa Moreira, Benigno Ruíz-Nogueiras and Santiago Pereira-Lorenzo. **Agriculture** 2022, 12(7), 905; <https://doi.org/10.3390/agriculture12070905>.

Agriculture: revista científica internacional de acceso aberto revisada por pares publicada mensualmente en liña por MDPI. Alta visibilidade: indexado dentro de Scopus, SCIE (Web of Science), PubAg, AGRIS, RePEc e outras bases de datos.

Rango da revista: JCR - Q1 (Agronomía) / CiteScore - Q2 (Ciencia das Plantas). Rango xeral: 9523. Puntuación de impacto: 3.49, Índice h: 43, SJR: 0.525.

- 2 Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal breadproduction in Galicia, Spain.** (*Avaliación do ciclo de vida de variedades autóctonas de trigo e produción de pan artesano en Galicia, España*). Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García, Sara González-García, Angeles Romero-Rodríguez, Benigno Ruíz-Nogueiras, Santiago Pereira-Lorenzo, Gumersindo Feijoo, Maria Teresa Moreira. **Science of the Total Environment**. 14 January 2020.

- 3. Evaluating the environmental profiles of winter wheat rotation systems under different management strategies.** (*Avaliación dos perfís ambientais dos sistemas de rotación do trigo de inverno baixo diferentes estratexias de manexo*). Sara González-García, Fernando Almeida-García, Maria Teresa Moreira, Miguel Brandão. **Science of the Total Environment**. 14 January 2021.

Science of the Total Environment: revista científica internacional para a investigación sobre o medio ambiente e a súa relación coa humanidade. Cubre as categorías vencelladas coa Química Ambiental (Q1); Enxeñería Ambiental (Q1); Contaminación (Q1); Xestión e eliminación de residuos (Q1). Rango xeral: 1488. Puntuación de impacto: 10.15, Índice h: 275, SJR: 1806.

- 4. Environmental consequences of wheat-based crop rotation in potato farming systems in Galicia, Spain.** (*Consecuencias ambientais da rotación de cultivos baseada no trigo nos sistemas de cultivo de pataca en Galicia, España*). Iana Câmara-Salim, Fernando Almeida-García, Gumersindo Feijoo, Maria Teresa Moreira, Sara González-García. **Journal of Environmental Management**, 5 March 2021.

Journal of Environmental Management: revista científica internacional que cubre as categorías vencelladas coa Enxeñería Ambiental (Q1); xestión, supervisión, política e dereito (T1); Menciña (varios) (Q1); Xestión e eliminación de residuos (Q1). Rango xeral: 2132. Puntuación de impacto: 8.63, Índice h: 196, SJR: 1.481.



O obxectivo principal da investigación foi avaliar a resposta do trigo autóctono (*Triticum aestivum* L.) en rotación con *Lupinus albus* L. doce incluíndo un ano de barbeito fronte ao monocultivo. A investigación situouse na localidade de Tabeaio (Carral), prolongouse durante 3 anos analizando 13 variables de resposta no terceiro ano, vencelladas ao rendemento e á calidade panadeira.

A rotación influíu no rendemento de gran, nas impurezas, no peso hectolitro e no peso de mil sementes. O monocultivo afectou negativamente ás variables anteriores.

Por outro lado, contribuíuse á avaliación do ciclo de vida de diferentes rotacións con variedades locais de trigo. O trigo autóctono mellora o perfil ambiental destas rotacións gracias a súa menor dependencia de agroquímicos.