

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**VALORIZACIÓN DEL AZAFRÁN (*CROCUS SATIVUS* L.) Y SUS DERIVADOS
COMO OPCIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.**

POR

BASTIÁN NICOLÁS VALENZUELA RIVERA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2024**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**VALORIZACIÓN DEL AZAFRÁN (*CROCUS SATIVUS* L.) Y SUS DERIVADOS
COMO OPCIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.**

POR

BASTIÁN NICOLÁS VALENZUELA RIVERA

**MEMORIA PRESENTADA A LA
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÓNOMO**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2024**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Pamela Williams S.
Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agrarias

Guía

Profesor Asociado, Susana Fischer G.
Ing. Agrónomo, Dr. Cs. Agropecuarias

Asesor

Profesor Asociado, Antonio Pinto R.
Ing. Agrónomo, Mg. Eco., Ph. D.

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

Decano

TABLA DE CONTENIDOS

	Página
Resumen.....	1
Summary.....	1
Introducción.....	2
Desarrollo y Discusión.....	4
Conclusiones.....	21
Referencias.....	22

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 1	Estimación de bioresiduos (flores y hojas) generados en una hectárea según el rendimiento promedio de azafrán especia en distintos países productores.....	7
Tabla 2	Estimación de residuos generados en las dos unidades demostrativas que terminaron el proyecto en tres temporadas de producción cada una.....	8
Tabla 3	Estimación de la cantidad de biomasa residual con respecto al rendimiento de azafrán comercial obtenida en 1.000 m ² , medido en 1.000 m ² y 1 ha.....	9
Tabla 4	Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de estambres de azafrán.....	10
Tabla 5	Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de tépalos de azafrán.....	11
Tabla 6	Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de hojas de azafrán.....	12
Tabla 7	Tabla de frecuencia con grupos químicos y compuestos bioactivos más presentes entre los tépalos, hojas y estambres de azafrán.....	13
Tabla 8	Efectos encontrados de los extractos de bioresiduos, concentrados en tépalos, hojas y estambres de la planta de azafrán.....	14
Tabla 9	Composición nutricional de residuos de azafrán obtenidas en diferentes zonas geográficas, según la estructura de la planta. Valores entregados en Base Seca	16
Tabla 10	Estimación del número de animales que se podrían alimentar en base a la masa de residuos generada en 1 ha de azafrán dentro de un año productivo.....	18
Tabla 11	Efectos de metabolitos en el organismo de rumiantes y no rumiantes, según su etapa de crecimiento.....	20

VALORIZACIÓN DEL AZAFRÁN (*CROCUS SATIVUS* L.) Y SUS DERIVADOS COMO OPCIÓN PARA LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.

VALORIZATION OF SAFFRON (*CROCUS SATIVUS* L.) AND ITS DERIVATIVES AS AN OPTION FOR ANIMAL FEED.

Palabras índice adicionales: Metabolitos secundarios, extractos, biomasa, nutrición animal.

RESUMEN

El cultivo de azafrán poco a poco se ha ido introduciendo en el país dado que existen zonas edafoclimáticas óptimas para su producción, estableciéndose de norte a sur en Chile con el fin de generar el "Oro Rojo". El *Crocus sativus* L. es un cultivo que ha irrumpido en los últimos años, genera una considerable cantidad de residuos orgánicos, de los cuales es un desafío comprender sus posibles usos, pudiéndose estimar cuantitativamente según datos obtenidos de información externa y local. De acuerdo con investigaciones, los desechos agrícolas del azafrán (tépalos, hojas y estambres principalmente) tendrían una variada cantidad de metabolitos secundarios como fenoles, flavonoides, ácidos orgánicos, minerales, aminoácidos y otros, con potenciales usos antimicrobianos teniendo importantes efectos en cepas bacterianas que inciden en la contaminación alimentaria. Además, presenta actividad antioxidante, por lo que su uso compromete darle valor a este subproducto. En la presente investigación se mide la composición nutricional de una muestra de residuos obtenidos en Chile y su comparación con otras y se evalúa su uso como forraje y/o como aditivo. Bajo esta información se esperan efectos positivos en el animal, beneficiando la fisiología y desarrollo de los animales evaluados al mejorar ciertas características productivas.

SUMMARY

The cultivation of saffron has gradually been introduced in the country since there are optimal soil and climatic zones for its production, establishing itself from north to south in Chile in order to generate the "Red Gold". *Crocus sativus* L. is a crop that has burst onto the scene in recent years, it generates a considerable amount of organic waste, of which it is a challenge to understand its possible uses, being able

to estimate quantitatively according to data obtained from external and local information. According to research, the agricultural waste of saffron (mainly tepals, leaves and stamens) would have a varied amount of secondary metabolites such as phenols, flavonoids, organic acids, minerals, amino acids and others, with potential antimicrobial uses having important effects on bacterial strains that affect food contamination. In addition, it has antioxidant activity, so its use compromises to give value to this by-product. In this research, the nutritional composition of a sample of residues obtained in Chile and its comparison with others is measured, and its use as forage and/or as an additive is evaluated. Under this information, positive effects on the animal are expected, benefiting the physiology and development of the animals evaluated by improving certain productive characteristics.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas alternativas de producción agrícola y pecuaria encontró en el cultivo de azafrán (*Crocus sativus* L.), una opción interesante de investigar. Esta es una especie perteneciente a la familia de las Iridáceas y su ciclo productivo puede llegar a tener una duración aproximada de cinco años, donde el período de cosecha se concentra entre otoño e invierno. Es una planta triploide estéril, considerada como fanerógama, es decir, que tiene semillas a pesar de no producirlas, por ende, la reproducción es de tipo asexual o vegetativa mediante cormos (Gresta *et al.*, 2016; Tardío *et al.*, 2018). Desde esta estructura vegetativa denominada cormo emergen de 6 – 10 hojas de 20 cm aproximadamente (FIA, 2019a), y flores color morado violáceo que se compone por 3 estambres, 6 tépalos y un estilo filiforme con un estigma color rojizo/anaranjado dividido en tres (Serrano-Díaz *et al.*, 2012; Moratalla-López *et al.*, 2019), que corresponde al azafrán especia. Para que esta estructura floral sea considerada especia debe pasar por un proceso de secado, perdiendo aproximadamente el 80% de su peso, conservando y aumentando sus atributos (Tardío *et al.*, 2018).

La producción y superficie cultivada a nivel mundial no está del todo definida, pero sí se conoce que ha ido a la baja e Irán es quien domina, aportando el 90% de la producción en el mundo, produciendo estimativamente más de 300 Ton al año de

azafrán especia (FIA, 2022), y le siguen países como España, Italia, Grecia, India y Marruecos que también inciden en este mercado (Caser et al., 2020; Ruiz et al., 2022). La calidad del azafrán especia está directamente relacionado con sus tres principales compuestos bioactivos: la crocina, la picrocrocina y el safranal, los cuales están regulados bajo la norma de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 3632 (Caser et al., 2020).

La monda y desbrizado es el proceso en que se separa el estigma de la flor para generar la especia, el cual entrega un valor socio-cultural importante en zonas con Denominación de Origen (por ejemplo Castilla-La Mancha, España), donde se vincula el trabajo familiar de generaciones, reconociéndose un producto de calidad en el mercado interno y exportador (Ruiz *et al.*, 2023). La mecanización para su cosecha es un desafío ya que se necesita una alta cantidad de mano de obra, la cual cada vez es más escasa, siendo una labor fundamental al requerir un trabajo minucioso y delicado, que será determinante a la hora de obtener una especia de máxima calidad (FIA, 2019b).

A la fecha, los bioresiduos de la planta de azafrán no presentan mayor valor comercial (Holzmann, 2019), pero si existe un aumento en investigación sobre posibles utilidades. El poco valor de los subproductos, que podrían ser utilizados en importantes industrias, está determinado por la falta de entendimiento de sus compuestos bioactivos (Zhou *et al.*, 2022), entregando, por ejemplo, interesantes propiedades antioxidantes y antimicrobianas contra algunos hongos y bacterias Gram (+) y Gram (-) (Primavilla *et al.*, 2022). La información acerca del uso de subproductos del azafrán poco a poco ha ido en aumento en los últimos años, concentrándose principalmente en la determinación de sus compuestos bioactivos, las características y los aportes que podría entregar principalmente en la industria farmacéutica y en la medicina.

Dada las cualidades destacables del azafrán como planta surge la oportunidad de entregar un valor adicional a esta producción en el uso de sus derivados o subproductos que se obtengan posterior a la cosecha de las hebras. Por una parte, el sector agroalimentario incide en el impacto ambiental a nivel mundial ya que genera grandes cantidades de desechos que se traducen en pérdidas y

desperdicios (Lakka *et al.*, 2019) y, por otro lado, la suplementación en la dieta animal con alimentos ricos en fitoquímicos ha tenido un impacto considerable en los últimos años los cuales han aportado positivamente a los animales de producción (Beslo *et al.*, 2023). De acuerdo con esto, metabolitos obtenidos de plantas podrían tener la capacidad de mejorar la producción animal al optimizar el crecimiento, estimular su sistema inmune, mejorar la reproducción, la eficiencia alimenticia y el fortalecimiento de los microorganismos comensales en el tracto digestivo de estos (Varga-Visi *et al.*, 2023). Por ende, valorizar estos bioresiduos favorecería una economía circular al reducir la cantidad de biomasa residual generada (Nath *et al.*, 2023), utilizando estos residuos potencialmente activos que ayudarían a minorizar costos de producción, favoreciendo el concepto de desarrollo sostenible (Coelho, 2014), lo cual resulta interesante al vincularlos con la alimentación animal y sus posibles repercusiones, buscando optimizar el sector agropecuario.

El cultivo de azafrán en Chile en los últimos años se ha visto introducido y diversificado gracias a proyectos financiados por áreas estatales como la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) en colaboración con universidades y profesionales, los cuales han generado la oportunidad de estudiar este cultivo y valorizar sus desechos. Por esto, con las características mencionadas y los desafíos presentes en la agricultura este documento tiene por objetivo conocer el cultivo de azafrán en general y la biomasa residual que pudiera generarse, como también realizar un análisis químico-nutricional e investigar sus cualidades, para finalmente vincular con la nutrición animal dada sus características buscando un método de utilización y un posible efecto en parámetros productivos en algunos animales del sector pecuario.

DESARROLLO Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DEL CULTIVO DE AZAFRÁN

La planta de azafrán es herbácea y perenne con floración otoñal, la cual emerge de su estructura reproductiva que corresponde al cormo, alcanzando una altura entre 10 – 25 cm (Ruggieri *et al.*, 2023), acondicionándose a variados sistemas agroecológicos, rindiendo más en condiciones de clima mediterráneo o templado, con inviernos frescos y fríos, y veranos cálidos y secos (Ruiz *et al.*, 2022).

El crecimiento y desarrollo del azafrán consta de 3 etapas que son: dormancia o latencia, floración y el crecimiento de estructuras vegetativas – reproductivas: La dormancia comienza al marchitamiento de las hojas e incubación de los bulbos una vez iniciada ya la inducción floral a mediados de primavera ante el aumento de las temperaturas (Caser *et al.*, 2020). La floración inicia posterior a la inducción floral en respuesta a los requerimientos edafoclimáticos necesarios como el termoperíodo estacional (disminución de temperatura), además de otros factores como el contenido de humedad en el suelo y el tamaño del cormo, produciéndose una o más flores (Stelluti *et al.*, 2021), y se concentra entre otoño e invierno (Caser *et al.*, 2020; FIA, 2022). Finalmente, el crecimiento vegetativo - reproductivo consiste en la aparición de hojas que crecen ya a finales de la floración, permitiendo el óptimo desarrollo de las estructuras reproductivas que ayudarán a formar las próximas plantas (Caser *et al.*, 2020), completando así el ciclo. El rendimiento floral no se puede definir de forma clara y determinada dado que diversas investigaciones coinciden en que este parámetro está directamente influenciado por factores bióticos, abióticos y de manejo productivo (Ruggieri *et al.*, 2023).

La producción en Chile aún no está del todo definida, pero ha ido creciendo en los últimos años gracias a proyectos realizados por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y trabajos colaborativos. Dentro de estos proyectos se pueden destacar tres, realizados en las regiones de Tarapacá, Valparaíso y la Araucanía, de los cuales se pueden obtener resultados en común:

1.- Este cultivo requiere una alta inversión inicial dado el costo de los cormos y con retornos al tercer o cuarto año, por ende, el cultivo genera rentabilidad en mediano a largo plazo. El primer año se considera “no productivo” dado que los cormos requieren botánicamente una temporada de adaptación al ambiente y el inicio productivo ocurre al segundo año, por lo que la asociatividad entre pequeños agricultores en Chile es una buena estrategia comercial para conseguir volúmenes de venta del producto en cuestión.

2.- Recomendaciones al momento de producir azafrán: a) baja densidad de plantación al primer año, debido a que los cormos pueden triplicarse (3 – 3,5 cormos por cormo madre) las siguientes temporadas y así la densidad de plantas por m²

aumenta bajo el suelo, aumentando también el rendimiento de azafrán comercial. En caso de existir excedente de cormos a los requeridos para un próximo ciclo productivo, estos podrían ser comercializados; b) Es viable producir por año en 1.000 m². El cultivo de azafrán se ordena en ciclos productivos de 5 – 6 años antes de extraer los cormos y replantarlos en otra superficie, por lo que en 3.000 m² se podría obtener una producción constante y cíclica de 5 - 6 años con un descanso recomendado de la superficie de suelo utilizada de 8 años, manejo que se realiza principalmente para el control de enfermedades del suelo.

3.- Al cuarto año se recuperaría la inversión y el rendimiento del azafrán alcanza su pick productivo al 3er o 4to año, dependiendo también del manejo productivo (densidad de plantas, profundidad de plantación y levantamiento de cormos).

Los buenos resultados obtenidos de estos proyectos han generado interés en productores a lo largo del país, por lo que este cultivo se ha adaptado de buena forma a las condiciones edafoclimáticas diversas de la zona norte, centro y sur de Chile, llegándose a cultivar en zonas de secano y de riego como Panquehue, Quillota, Caleu, Parral, Talca, Itata, Melipilla, Rengo, Yumbel, Chiloé, Aculeo, Batuco, Cajón del Maipo y Chile Chico, Los Sauces, Traiguén, Victoria y otros (FIA, 2022).

CAPÍTULO 2. BIORESIDUOS DEL AZAFRÁN

Zara et al. (2021) afirma que en 1 kg de flores de azafrán se pueden obtener 15 g de azafrán especia. Además, se requieren de 150 mil a 200 mil flores aproximadamente para producir 1 kg de azafrán especia (Caser et al., 2020; Lachguer et al., 2022), y de esto restan 63 kg de tépalos, 9 kg de estambres y ½ - 1 kg de estilos, además de 1.500 kg de hojas y 100 kg de cormos sobrantes (Serrano-Díaz et al., 2012; Naim et al., 2022; Zara et al., 2021; Ruggieri et al., 2023).

El cultivo de azafrán no es sostenible dado que en base a la producción a escala mundial se estima que exista aproximadamente más de 10.000 Ton de restos florales (Maestre-Hernández et al., 2023).

2.1 Biomasa

Los principales residuos generados entre cada temporada o año en este cultivo son principalmente restos florales y hojas, donde se excluyen los cormos como

bioresiduo ya que estos son extraídos del suelo cada 4 a 6 años según sea el caso, y su potencial función sería la replantación y la venta de sus excedentes. Así, con la información anteriormente mencionada y, según el rendimiento de hebras producido se podría estimar cuánto residuo biológico de azafrán se obtendría para algunos territorios productores de esta especie, la cual se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Estimación de bioresiduos (flores y hojas) generados en una hectárea según el rendimiento promedio de azafrán especia en distintos países productores.

PAÍSES	RENDIMIENTO PROM. AZAFRÁN (KG/HA)	BIORESIDUO ESTIMADO (KG/HA)
Marruecos	2 a 2,5	3.000 - 3900
Italia	10 a 16	15.000 - 25.000
Grecia	4 a 7	6.200 - 10.900
India	2 a 7	3.000 - 10.900

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de proyecto FIA en la Región de Valparaíso

Estos rendimientos pueden tender a la baja ya que son datos no actuales. Por ejemplo, en España, la producción bajo la Denominación de Origen Protegido (DOP) “Azafrán de la Mancha” que corresponde a la principal zona productiva de este país, informa que el rendimiento promedio por hectárea al año 2023 llegó a los 3,01 kg, considerablemente por debajo de años anteriores. Con este rendimiento, la cantidad de residuos generados ronda los 4.700 kg de restos florales y de hojas por hectárea.

A nivel nacional, y gracias a los resultados obtenidos de los proyectos realizados por la FIA, se puede estimar la cantidad de bioresiduos que se generarían en la superficie recomendada para el cultivo en Chile. Bajo condiciones óptimas sería posible obtener un rendimiento de 11 kg de azafrán comercial por hectárea, el cual generaría como estimado una cantidad de 17.000 kg de restos biológicos (FIA, 2019a). Por otro lado, el proyecto realizado en la Región de la Araucanía trabajó con un grupo de agricultores, cada uno con una superficie de 1.000 m², en las que se estableció inicialmente una baja densidad de plantas (10 plantas/m²) la cual fue aumentando año tras año. Las unidades demostrativas en el estudio fueron seis, donde solo dos terminaron de realizar el proyecto, por lo que la estimación presentada en la siguiente tabla utiliza estos datos para calcular un valor cercano al real. Estos valores se calculan al relacionar la cantidad de azafrán producido (convirtiendo de g a kg) y datos de literatura (equivalencias azafrán

producido/bioresiduos flor u hoja) obteniendo la cantidad de flores que se requirieron para producir dicha cantidad de azafrán y la cantidad de hojas restantes.

Tabla 2: Estimación de residuos generados en las dos unidades demostrativas que terminaron el proyecto en tres temporadas de producción cada una.

DATOS	VALOR UNIDAD DEMOSTRATIVA 1	VALOR UNIDAD DEMOSTRATIVA 2	UNIDAD DE MEDIDA
Producción 1er año	14	12	g
Producción 2do año	72	171	g
Producción 3er año	90	200	g
Equivalencia azafrán deshidratado/flor	1/200	1/200	g/flores
Equivalencia azafrán deshidratado/hojas	1/1500	1/1500	kg/kg
Flores requeridas al primer año	2800	2400	flores
Flores requeridas al segundo año	14400	34200	flores
Flores requeridas al tercer año	18000	40000	flores
ESTIMACIÓN RESTOS FLORALES			
CANTIDAD DE FLORES	KG RESIDUOS FLORALES		-
150000	73	73	kg
-	1,4*	1,2*	kg
-	7*	16,6*	kg
-	8,8*	19,5*	kg
ESTIMACIÓN RESTOS DE HOJAS			
AZAFRÁN ESPECIA	KG RESIDUOS FOLIARES		-
1	1500	1500	kg
-	21**	18**	kg
-	108**	256,5**	kg
-	135**	300**	kg

*Cantidad de restos florales y **Cantidad de residuos de hojas; calculados en base a las equivalencias y los datos informados al inicio de la tabla, para las dos unidades demostrativas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de proyecto FIA en la Región de la Araucanía

En la tabla 2 la vinculación de información entre datos reales de campo y de literatura permite entregar una noción de cuánto volumen residual se podría formar con respecto a la superficie de cultivo y al rendimiento de la especia. Bajo un cálculo simple, la información teórica es congruente, ya que, si se analiza los tres períodos productivos, se observa un primer año escasamente productivo de hebras pero que, al segundo año, su rendimiento pudo verse aumentado seis veces o más, condicionando un aumento en sus residuos. Ante esto es que, en promedio, en una producción convencional inicial a baja escala (1.000 m²) y baja densidad de plantas (10 plantas/m²), se obtendrían aproximadamente 21, 194 y 232 kg de residuos cada

año, en los primeros tres años productivos. Si se considera un programa de trabajo asociativo en el que participen mayor número de pequeños agricultores con las mismas características productivas, los valores de biomasa residual aumentarían proporcionalmente, llegando a valores que serían interesantes de medir en terreno y analizar la integración de estos como posibles alimentos en la dieta animal.

En la tabla 3 se expone la estimación de residuos generados dentro de un primer ciclo productivo a partir de rendimientos esperados que se informan en el proyecto de la FIA realizado en la Región de Valparaíso. Se entregan valores del primer al sexto año obtenidos bajo las mismas condiciones de manejo productivo (baja densidad de plantas), enfocado principalmente en la multiplicación de los cormos bajo el suelo para su aumento en número de cormos hijos con el fin de producir en alta densidad durante el siguiente ciclo. Para el cálculo se relacionó el rendimiento de azafrán con los residuos generados según informa la literatura.

Tabla 3: Estimación de la cantidad de biomasa residual con respecto al rendimiento de azafrán comercial obtenida en 1.000 m², medido en 1.000 m² y 1 ha.

AÑO	RENDIMIENTO (KG)	RESIDUOS FLORES	RESIDUOS HOJAS	TOTAL 1000 m ² (KG)	TOTAL 1 HA (KG)
1	0	0	0	0	0
2	0,6	43,8	900	944	9438
3	1,2	87,6	1800	1888	18876
4	2,0	146	3000	3146	31460
5	2,0	146	3000	3146	31460
6	1,3	94,9	1950	2045	20449

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de proyecto FIA en la Región de Valparaíso

Dentro del análisis cuantitativo de los dos proyectos revisados se puede determinar que la cantidad de kg que se obtienen de residuos a partir de la producción de estigmas será variable en el tiempo y dependerá directamente del manejo productivo que se ejecute, según la superficie de cultivo y la densidad de plantación. Ya sea un pequeño productor o una asociación de agricultores, la biomasa residual es llamativa y podría vincularse de alguna forma con la alimentación animal. Sin embargo, es relevante estudiar aspectos químicos y nutricionales de estos desechos, de qué forma se podría entregar el alimento a los animales y, según la cantidad generada, a qué animales sería más factible aplicar, lo que podría beneficiar de alguna u otra forma principalmente a la pequeña agricultura.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS QUÍMICO – NUTRICIONAL DE BIORESIDUOS DE AZAFRÁN

3.1 Composición química

A modo general, según Ruggieri et al. (2023) no ha habido mayor investigación sobre la composición química de las hojas, a diferencia de estructuras florales como los tépalos y estambres, de los cuales se ha demostrado propiedades antioxidantes (mayor en estambres). Para analizar la composición química de los bioresiduos de azafrán, las muestras han sido analizadas en un estado tanto seco como fresco en el que, de acuerdo con investigaciones, los valores obtenidos bajo determinadas metodologías de extracción resultan en datos cuantitativos similares entre sí (Stelluti et al., 2021; Tuberoso et al. 2015). El estudio científico fitoquímico de la planta de *Crocus sativus* L. ha ido creciendo en el último tiempo, tanto de estigmas como residuos, de los cuales se han encontrado conocidos compuestos químicos con interesantes propiedades. Primeramente, se presenta la tabla 4 una lista de compuestos químicos encontrados en estambres de azafrán, donde se pueden observar principalmente ácidos orgánicos, destacándose la presencia de ácidos linoléico, linolénico y palmítico.

Tabla 4: Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de estambres de azafrán.

GRUPO	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MEDICIÓN	COMPUESTO BIOACTIVO	AUTOR (ES)
Antocianinas	Éter dietílico	Resonancia magnética nuclear (RMN)	cis crocina, trans crocina	Zara et al., 2021
	-	-	Ácido hexadecanoico	Mykhailenko et al., 2021a
Ácidos orgánicos	Éter dietílico	Resonancia magnética nuclear (RMN)	Ácido linoléico	Zara et al., 2021
			Ácido linolénico	
		Ácido palmítico	Mykhailenko et al., 2021a; Zara et al., 2021	
		Ácido láurico		
Cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS)	Ácido mirístico	Zara et al., 2021		
	Ácido vaccénico			
	Ácido oleico			

La siguiente estructura evaluada y presentada en la tabla 5 corresponde a extractos obtenidos de los tépalos de azafrán. Es en esta estructura residual donde se han

podido conocer un mayor número de compuestos, considerando que existe un mayor interés en su estudio bioquímico, después de los estigmas secos. Aquí se pueden destacar grupos químicos pertenecientes a los fenoles, algunos ácidos orgánicos y hasta la presencia de Vitamina C.

Tabla 5: Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de tépalos de azafrán.

GRUPO	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MEDICIÓN	COMPUESTOS BIOACTIVOS	AUTOR (ES)
Antocianinas	Ácido L-láctico/glicina (5:1)	UV-vis/Espectrometría de masas	Glucósidos de Delfinidina y Petunidina	Lakka <i>et al.</i> , 2019
Ácidos orgánicos	Destilación al vapor/n-hexano/Éter de petróleo/Etanol	Espectrometría de masas	Ácido n-hexadecanoico, Ácido linoleico, Ácido dodecanoico	Liu <i>et al.</i> , 2023
Alcoholes	Acuoso	Cromatografía de gases-Espectrometría de masas (GC-MS)	Alcohol fenilético	Naim <i>et al.</i> , 2022
Ácido cinámico	Maceración EtOH/Baño ultrasónico EtOH	Espectrometría de masas	Ácido ferúlico	Stelluti <i>et al.</i> , 2021; Primavilla <i>et al.</i> , 2022
Ácidos benzoicos Catequinas	Maceración/Extracción Asistida por Ultrasonido	Cromatografía líquida (HPLC-DAD)	Ácido elágico Epicatequina	Caser <i>et al.</i> , 2020; Stelluti <i>et al.</i> , 2021
Carotenoides	Acuoso	Cromatografía de gases-Espectrometría de masas (GC-MS)	Safranal	Naim <i>et al.</i> , 2022
Fenoles y Flavonoides	Ácido L-láctico/glicina (5:1), Maceración EtOH/Baño ultrasónico EtOH	UV-vis/Espectrometría de masas	Ác gálico, Ác clorogénico, Ác caféico, Miricetina, Luteolina, Apigenina, Kaempferol (y algunos glucósidos), Quercetina, Isoquercetina, Naringenina	Lakka <i>et al.</i> , 2019; Primavilla <i>et al.</i> , 2022
Flavonoles	Maceración/Extracción Asistida por Ultrasonido	Cromatografía líquida (HPLC-DAD)	Hiperósido, Rutina, Isoquercitrina	Caser <i>et al.</i> , 2020; Stelluti <i>et al.</i>
Terpenos	Acuoso	Cromatografía de gases-Espectrometría de masas (GC-MS)	Limoneno, Timol	Naim <i>et al.</i> , 2022
Terpenoides			Carvona	
Vitaminas	Maceración/Extracción Asistida por Ultrasonido	Cromatografía líquida (HPLC-DAD)	Vitamina C	Caser <i>et al.</i> , 2020

Por último, en la tabla 6 se presenta el análisis bioquímico de las hojas, y corresponde a la parte de la planta de azafrán en la cual se han podido encontrar

una lista de compuestos químicos variada, similar a los tépalos, pero destacándose además la presencia de aminoácidos y minerales, los cuales no se han encontrado en las otras estructuras anteriormente evaluadas.

Tabla 5: Grupos químicos y sus principales compuestos bioactivos encontrados en extractos de hojas de azafrán.

GRUPO	MÉTODO DE EXTRACCIÓN	MEDICIÓN	COMPUESTO BIOACTIVO	AUTOR (ES)
Ácidos grasos			Ác cítrico, Ác cítrico, Ác málico, Ác mirístico, Ác palmítico, Ác alfa-linolénico, Ác esteárico, Ác lignocérico	
Aminoácidos		Cromatografía de gases de aminoácidos	Leucina, Isoleucina, Prolina, Metionina, Serina, Treonina, Fenilalanina, Lisina, Glutamina, Tirosina, Triptófano	
Fenoles	Etanol/Acuoso		Ác aspártico, Ác glutámico, Ác cafeico, Ác ferúlico, Rutina, Quercetina, Luteolina, Apigenina, Glucósido de Genisteina	Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021a; Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021b
Flavonoides			Ác clorogénico, Kaempferol, Ác trans-cinámico	
Minerales		Espectroscopía de absorción atómica en horno de grafito (GF-AAS)	Fe, Si, Al, K, Ca, P, Na	
Xantonas		HPLC/Espectrofotometría UV-Vis	Mangiferina	

Los datos cuantitativos de los compuestos encontrados en los extractos no se informan ya que pueden variar según el método de extracción que se utilice y, por otro lado, el origen geográfico que tengan las muestras en estudio (Maestre-Hernandez *et al.*, 2023), como por ejemplo los polifenoles los cuales pueden tener una respuesta determinada a ciertas características del ambiente como la luz percibida por la planta (Ruggieri *et al.*, 2023). La agrupación de esta información resulta en que algunos compuestos fenólicos y ácidos orgánicos predominan su concentración dentro de los desechos agrícolas principales de esta especie. Estos compuestos, detallados a continuación en la tabla 7, están presentes al menos en dos estructuras de la planta de azafrán. La alta capacidad antioxidante se puede atribuir a la variada gama de metabolitos correspondientes a compuestos fenólicos,

los cuales permiten entregar efectos antioxidantes y antimicrobianos como lo informan las investigaciones.

Tabla 7: Tabla de frecuencia con grupos químicos y compuestos bioactivos más presentes entre los tépalos, hojas y estambres de azafrán.

GRUPO	COMPUESTO BIOACTIVO	FRECUENCIA	AUTOR (ES)
Fenoles	Ácido cafeico	3	Primavilla <i>et al.</i> , 2022; Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021a; Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021b
	Ácido clorogénico	2	
	Luteolina	2	
	Apigenina	2	
	Kaempferol	2	Primavilla <i>et al.</i> , 2022; Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021b
	Quercetina	2	
	Ácido ferúlico	2	
	Rutina	2	
Ácidos orgánicos	Ácido palmítico	2	Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021a; Zara <i>et al.</i> , 2021
	Ácido mirístico	2	

3: Compuesto bioactivo presente en todas las estructuras evaluadas; 2: Compuesto bioactivo presentes en dos de las estructuras evaluadas

3.1.1 Actividad antioxidante y antimicrobiano

Dentro de estas investigaciones se han encontrado también la actividad antioxidante y antimicrobiana, las cuales se detallan en la tabla 8 donde, según sus estructuras anteriormente analizadas, se han aplicado pruebas que han demostrado estos atributos, encontrándose resultados en la inhibición del crecimiento y desarrollo de bacterias Gram negativas y positivas, algunas conocidas en la industria alimentaria como *Escherichia coli* (-) y *Staphylococcus aureus* (+), además de otra familia patogénica en la alimentación animal los clostridios, específicamente *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens* y *Clostridium difficile*.

El trabajo de Primavilla *et al.* (2022) es destacable al encontrar un control específico en algunas cepas de clostridios, bacterias Gram positivas de relevancia en la contaminación de alimentos para animales, pero sugiere mayor investigación sobre si este control está dado por algunos compuestos de mayor concentración o por el complejo fitoquímico. Según Caser *et al.* (2020), los extractos de tépalos pueden asociarse también al aumento en características organolépticas y nutricionales, así como también prevenir enfermedades vinculadas al estrés

oxidativo.

Tabla 8: Efectos encontrados de los extractos de bioresiduos, concentrados en tépalos, hojas y estambres de la planta de azafrán.

ATRIBUTOS	ESTRUCTURA RESIDUAL	DESCRIPCIÓN	AUTOR (ES)
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE	Tépalos	-	Stelluti <i>et al.</i> , 2021; Caser <i>et al.</i> , 2020; Liu <i>et al.</i> , Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021a; Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021b; Zara <i>et al.</i> , 2021
	Hojas	Similar capacidad antioxidante que Vitamina E (Tocoferol)	Jadouali <i>et al.</i> , 2017
	Estambres	Mayor actividad inhibitoria de radicales libres que el galato de propilo (antioxidante usado en la industria alimentaria)	Serrano-Díaz <i>et al.</i> , 2012
		Control selectivo de Clostridios (<i>Clostridium botulinum</i> (+), <i>C. perfringens</i> (+), <i>C. difficile</i> (+))	Primavilla <i>et al.</i> , 2022
ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA	Tépalos	Inhibe procesos a nivel de membrana o energéticos de microorganismos como: <i>Escherichia coli</i> (-), <i>Staphylococcus aureus</i> (+) y <i>Candida albicans</i> , posiblemente debido al sinergismo de algunos principios activos de extractos etanólicos	Liu <i>et al.</i> , 2023
	Hojas	Efecto antimicrobiano en <i>Escherichia coli</i> (-), <i>Staphylococcus aureus</i> (+)(sólo extracto etanólico), <i>Candida albicans</i> , <i>Pseudomonas vulgaris</i> (-) y <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (-), <i>Listeria monocytogenes</i> (+)	Mykhailenko <i>et al.</i> , 2021a; Jadouali <i>et al.</i> , 2017
	Estambres	Inhibición del crecimiento en <i>Staphylococcus aureus</i> (+), <i>Escherichia coli</i> (-), <i>Bacillus cereus</i> (+), <i>Salmonella typhi</i> (-), <i>Shigella dysenteriae</i> (-)	Zara <i>et al.</i> , 2021; Asgarpanah <i>et al.</i> , 2013

Por otro lado, se presenta una alta capacidad antioxidante dada la presencia de diversos compuestos fenólicos. Un estudio realizado por Zhou *et al.* (2022) compara residuos de tépalos y estigmas de azafrán, y encontró que su composición es similar, con una actividad antioxidante mayor en extractos de tépalos debido a sus flavonoides. Sin embargo, estas comparaciones no han sido suficientes para

entregar un valor real a los restos de azafrán, no así con su producto principal (Li *et al.*, 2023). Serrano-Díaz *et al.* (2012), demuestra en un estudio el mayor efecto antioxidante en subproductos florales del azafrán comparado a un antioxidante ya utilizado en la industria alimentaria como el galato de propilo, siendo los estambres la estructura con mayor actividad. Por su parte, Lahmass *et al.* (2017) dentro de su investigación encontró actividad antioxidante (similar a estigmas) principalmente en hojas secas, esto dado que la cantidad de compuestos polifenólicos fue mayor que en los estigmas.

3.2 Composición nutricional

En su estudio, Cerdá-Bernad *et al.* (2023) presentó altos valores de K, mineral que aporta protección a la pérdida ósea y a reducir enfermedades cardiovasculares, analizando dos muestras de subproductos florales, y comparándolas con valores obtenidos de estigmas. Aquí se evaluó también la inulina, un compuesto activo usado como fibra dietética y prebiótico, lo que sugiere un efecto positivo en el crecimiento microbiano intestinal, con valores cercanos a los informados para centeno, cebada y trigo. Así, los tépalos de azafrán son ricos en minerales esenciales como K, Ca y P, además de proteínas y fibra, los cuales son fundamentales para el crecimiento animal, pudiendo usarse su alimentación y contribuir a la sostenibilidad productiva (Ruggieri *et al.*, 2023). Cabe destacar el alto valor de FDN y FDA en la muestra de Chile que puede estar debido al estado de madurez de la muestra y que podría repercutir negativamente en la digestibilidad y consumo de materia seca en rumiantes.

Por otro lado, Cerdá-Bernad *et al.* (2023) y Jadouali *et al.* (2022) en sus estudios informan también la presencia de ácidos orgánicos como el ácido láctico, ácido málico y el ácido propiónico, y ácidos grasos como el ácido eicosanoico, oleico, palmítico, linoleico, alfa-linolénico, linolénico, encontrándose en hojas y/o tépalos de azafrán. Se podrían obtener otros ácidos grasos relevantes, pero esta característica y sus concentraciones variarán según de dónde se obtenga la muestra. La adaptabilidad de la planta y su respuesta fisiológica al ambiente queda representada numéricamente en la tabla 9 donde se informan datos de tres análisis de composición nutricional de muestras residuales obtenidas en Chile, España y

Marruecos de acuerdo con la estructura (flor entera, partes de esta y hojas), encontrándose una notoria variabilidad. Es observable la diferencia cuantificable entre las muestras residuales de azafrán. Si bien no se logró comparar todos los indicadores, se destaca la marcada diferencia que existe en muestras, florales principalmente, y su contenido de proteína, energía metabolizable y algunos minerales, destacando un alto valor de Fe en M1. Por otro lado, los valores de fibra tienden a semejarse entre la muestra de Chile y España, no así con la de Marruecos.

Tabla 9: Composición nutricional de residuos de azafrán obtenidas en diferentes zonas geográficas, según la estructura de la planta. Valores entregados en Base Seca.

INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	CHILE	ESPAÑA *M1	ESPAÑA *M2	MARRUECOS			
		FLOR ENTERA	TÉPALOS	TÉPALOS	FLOR ENTERA	TÉPALOS	HOJAS	ESTAMBRES
Materia seca	g/100g	90,97	-	-	-	-	-	-
Cenizas	g/100g	3,46	8,39	4,89	10,9	7,3	5,63	13,4
Proteína Cruda	g/100g	22,11	8,58	8,68	4,3	6,35	7,24	5,97
Extracto Etéreo	g/100g	2,84	-	-	-	-	-	-
Fibra Cruda	g/100g	29,28	26,59	22,56	10,4	11,2	19,3	13,3
Fibra Detergente Neutro	g/100g	63,81	-	-	-	-	-	-
Fibra Detergente Ácida	g/100g	42,2	-	-	-	-	-	-
Energía Metabolizable	Mcal/Kg MS	1,71	3,69	3,81	2,85	3,1	4,04	2,72
Calcio	mg/100g	211,1	415,2	112,6	3,93	3,92	1,48	1,38
Fósforo	mg/100g	97,72	-	-	-	-	-	-
Potasio	mg/100g	-	1.530	1.450	2,37	2,37	2,01	26,3
Magnesio	mg/100g	-	120,3	103,3	-	-	-	-
Sodio	mg/100g	-	9	9,2	4,58	4,58	5,54	5,33
Cobre	mg/100g	-	0,57	0,55	-	-	-	-
Fierro	mg/100g	-	46,26	6,38	72,7	14,9	98,5	9,47
Manganeso	mg/100g	-	2,51	0,95	-	-	-	-
Zinc	mg/100g	-	3,89	2,1	4,26	4,72	2,05	4,99

*M1: Muestra 1; *M2: Muestra 2

Fuente: Datos obtenidos de muestras del Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad de Concepción Campus Chillán (Chile), Cerdá-Bernad *et al.*, 2023 (España) y Jadouali *et al.*, 2022 (Marruecos).

CAPÍTULO 4. APLICACIÓN DE BIORRESIDUOS EN PIENSO ANIMAL: EVALUACIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS

Existen registros que hojas secas del *Crocus sativus* L. se han utilizado como forraje para la alimentación de rumiantes (Moratalla-López *et al.*, 2019; Agarwal *et al.*, 2021;

Jadouali *et al.*, 2022), pero los subproductos florales también podrían utilizarse como complemento alimentario para el ganado (Lachguer *et al.*, 2022).

Cerdá-Bernad y Frutos (2023) informa acerca del uso de residuos florales en la preparación de pan a base de trigo y trigo espelta, aplicado en una digestión *in vitro*, donde se encontró que aplicar entre 5 y 10% de este subproducto puede beneficiar las propiedades nutrificionales de este tipo de alimento, ya que habría mayores niveles de inulina (efecto prebiótico), ácidos orgánicos, minerales y compuestos fenólicos en el alimento. Por otro lado, Caicedo *et al.* (2022) en una revisión bibliográfica valoriza el uso de aditivos de origen natural, obtenidos de diferentes especies de plantas, aplicados al alimento de cerdos en distintas etapas productivas, donde pudo encontrar compuestos químicos como polifenoles (flavonoides), ácidos grasos poliinsaturados (omega 3), timol, quecetina, apigenina, aminoácidos, entre otros, los cuales de forma individual o sinérgica tienen efectos positivos en estos animales, presentando en general actividad antioxidante y antimicrobiana, mejor salud gastrointestinal, mayor consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimenticia y peso final. Surge entonces una necesidad de entregar valor a estos residuos evaluando de qué forma se puede aplicar este posible alimento al ganado y a qué tipo de animales es más factible aplicar según la biomasa generada.

Dadas las características nutricionales de los residuos, se podría analizar su uso como un forraje suplementario. En la tabla 10 se evalúa el número de animales que se podría alimentar con la cantidad de biomasa producida por año en un ciclo productivo. De acuerdo con información del consumo de materia seca (MS) al día que requieren animales con determinadas características (puede variar según la etapa de crecimiento y otros factores), se puede conseguir el consumo anual de MS que requiere. En el supuesto de suplementar en un 10% de bioresiduos en el consumo, se calcula el requerimiento anual de MS de residuos necesarios para la dieta. Dentro de la estimación se aplica un análisis de sensibilidad al consumo de residuos y, con esto, se obtiene el rango numérico de animales posibles a alimentar. Sin embargo, interesa conocer e investigar a nivel de campo este valor y averiguar si en este período se genera un volumen de residuos considerable.

Tabla 10: Estimación del número de animales que se podrían alimentar en base a la masa de residuos generada en 1 ha de azafrán dentro de un año productivo.

ANIMALES	CARACTERÍSTICAS	CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO	CONSUMO	VARIACIÓN	VARIACIÓN	RANGO DE ANIMALES SEGÚN LA CANTIDAD DE BIOMASA RESIDUAL GENERADA EN 1 HA				
		(kg MS/día)	ANUAL (kg MS)	RESIDUOS 10% DIARIO (kg MS/día)	RESIDUO 10% ANUAL (kg MS)	CONSUMO ANUAL +10%	CONSUMO ANUAL -10%	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
Ovinos	Oveja en lactancia 60 kg, consumo del 4,3% de su peso vivo	2,6	949	0,26	95	104	85	90-111	181-221	301-368	301-368	196-239
Caprinos	Cabra adulta, 50 kg, consumo del 4% de su peso vivo	2	730	0,2	73	80	66	118-144	235-287	392-479	392-479	255-311
Bovinos	Vaca lechera, 500 kg, consumo del 3% de su peso vivo	15	5475	1,5	548	602	493	16-19	31-38	52-64	52-64	34-42

Fuente: Elaboración propia a partir de información de características productivas extraídas de Manejo de producción caprina, Región de Coquimbo; Manual de manejo Ovino (INIA Tameil Aike); y de Muñoz, C. y Canto, F. (INIA Remehue).

La biomasa generada en 1 ha podría cubrir la alimentación anual mayormente en rumiantes menores, cubriendo un alto número de animales. No ocurre lo mismo con los bovinos, principalmente porque su consumo diario es más elevado al tener mayores requerimientos, permitiendo la alimentación anual de un número de cabezas considerablemente menor al de ovinos y caprinos. Cabe recalcar que esta estimación corresponde a restos florales más las hojas, por lo que la composición nutricional de este conjunto puede diferir en los indicadores analizados anteriormente. Esto hace necesario investigar la viabilidad del uso como forraje y, en caso de serlo, estandarizar el uso de estos, determinando su uso por separado o en conjunto.

El uso de estos residuos, gracias a su riqueza fitoquímica permitiría también usarlos en forma de aditivos alimentarios. Por ejemplo, los animales alimentados en confinamiento (engorde principalmente) son propensos a consumir alimentos contaminados con toxinas generadas por *Clostridium botulinum* y *Clostridium perfringens* (causando botulismo y clostridiosis respectivamente) (Álvarez, M. y

Arrieche, P., 2016), por lo que sería interesante investigar *in vitro* si existe un efecto positivo por parte de los extractos de tépalos sobre estas cepas.

En los extractos de hojas se pueden encontrar glucósidos de genisteína, una isoflavona derivada de los flavonoides que participa en el proceso hormonal de humanos y animales al unirse con receptores de estrógenos, y se encuentran principalmente en leguminosas como la soya (Ridner *et al.*, 2012). Considerados como fitoestrógenos, este metabolito secundario fue investigado por Morales *et al.* (2022) en una revisión sistemática, donde encontró efectos positivos y negativos en los cuales analizó la incidencia de este compuesto según el grupo animal y su raza, al otorgar determinada cantidad de genisteína en el alimento. Dentro de los resultados positivos, en novillos Angus se encontró un aumento en la concentración espermática (135 mg/kg MS), aumento en las hormonas LH, FSH y 17-beta estradiol (0,1 mg/kg MS) en aves de postura adultas (Bovans Brown). En los ovinos no se encontraron mayores efectos, y en algunos casos fueron negativos como menor duración del estro. En vacas Holstein, con un aporte de 100 mg/kg MS de genisteína, hubo un aumento de la 17-beta estradiol, pero una disminución en la progesterona y la LH.

Así también, según otras diversas investigaciones se conoce acerca de metabolitos que se encuentran en los residuos de azafrán y que se han aplicado a la alimentación animal, incidiendo positivamente en el organismo de estos. En la Tabla 11 se puede observar algunos compuestos fenólicos como la quercetina y flavonoles/ácidos grasos poliinsaturados, pueden mejorar parámetros como la respuesta inmune en aves y la calidad de la carne en bovinos y porcinos, respectivamente. Esta tabla se presentan los metabolitos benéficos, a qué animales se ha estudiado este efecto, una descripción de como actúa en el organismo animal y finalmente el parámetro productivo que se ve afectado positivamente.

Tabla 11: Efectos de metabolitos en el organismo de rumiantes y no rumiantes, según su etapa de crecimiento.

METABOLITO O GRUPO DE METABOLITO	ANIMAL	DESCRIPCIÓN	INCIDENCIA PRODUCTIVA
Quercetina	Aves	Incidencia en microbioma cecal en aves: Estimula crecimiento de bacterias benéficas, optimizando la fermentación de los alimentos mejorando la nutrición, el metabolismo y salud animal (Deryabin <i>et al.</i> , 2023)	Tasa de conversión de alimento, eficiencia alimenticia
Carotenoides		1) Efecto sinérgico con Vitamina E fortalecen genes Interferón-gamma e Interleucina-2; 2) Menor expresión genética pro inflamatoria ante estrés (Gvozdanovic <i>et al.</i> , 2023)	1) Respuesta inmune, tasa de mortalidad 2) Respuesta inmune
Flavonoides	Aves de postura	Aumento en niveles de estrógeno y reducción en apoptosis ovárica, actividad antioxidante y regulación de osteoclastos (salud ósea) (Gvozdanovic <i>et al.</i> , 2023)	Capacidad reproductiva
Calcio	Aves de engorda	Participa en la transcripción de receptores de Vitamina D, permitiendo una regulación en la absorción de este mineral en el intestino delgado (Gvozdanovic <i>et al.</i> , 2023)	Crecimiento y desarrollo óseo
Ácido linoleico			
Ácido alfa-linolénico	Cerdos	Popescu <i>et al.</i> , 2023	Crecimiento y desarrollo del cerebro
AGPI*			
Ácido ferúlico	Cerdos en finalización Vaquillas en finalización	1) Activación de lipasa (responsable de lipólisis) donde se aprovecha la energía liberada para dirigirla a otros procesos metabólicos; 2) Mayores valores en parámetros productivos al aplicar en la alimentación dosis de 5 y 10 mg/kg peso vivo/día (Peña <i>et al.</i> , 2019)	1) Mejor calidad de la carne 2) Ganancia de peso, conversión alimenticia, Rendimiento de canal
Antocianinas, Flavonoles	Ovinos Bovinos	1) Aumento de los lípidos totales, niveles más altos de ácidos grasos poliinsaturados, mayor estabilidad oxidativa; 2) Mayor estabilidad oxidativa y mayores niveles de ácido linoleico en la carne (Bennato <i>et al.</i> , 2023)	1) Rendimiento, calidad de la carne 2) Calidad de la carne
Limoneno	Ovinos (lactantes y de engorde)	Mayor eficiencia energética de la fermentación ruminal en ovejas lactantes, Actividad antihelmíntica en corderos de engorde (Varga-Visi <i>et al.</i> , 2023)	Ganancia de peso, respuesta inmune

*AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados.

CONCLUSIONES

El cultivo de la planta de azafrán genera una de las especias más antiguas y caras del mundo que ha sido utilizada en muchas culturas y épocas. La investigación sobre su composición bioquímica ha crecido, pero sus residuos no reciben la misma atención, considerando que, de la planta, aproximadamente el 95% es desecho agrícola. La biomasa generada en términos métricos no ha sido interesante de medir en base a parámetros como superficie, probablemente por el desconocimiento de sus propiedades, los cuales en los últimos años poco a poco ha ido aumentando su investigación.

Este estudio permitiría abrir nuevas posibilidades de investigación y vincular estos bioresiduos con la sostenibilidad agropecuaria, ya que se da a conocer el alto valor biológico concentrado en este material vegetal. Sin embargo, los resultados estimativos presentados deben ser contrapuestos con información real obtenida en campo, ya que los valores obtenidos podrían condicionar la aplicabilidad de estos subproductos en la alimentación animal, así como también ser estudiado con mayor profundidad la base nutricional y química según sus estructuras (restos florales, hojas o su conjunto), considerando que Chile es un país diverso en clima y el comportamiento fisiológico de la planta puede variar.

Se ha podido observar una gran cantidad de compuestos bioactivos que posiblemente podrían incidir en los animales del sector pecuario, pero es necesario comprobar la efectividad *in vitro* e *in vivo* el efecto real de los metabolitos encontrados en el organismo animal, ya que su comportamiento podría ser diferente.

La presente investigación ha entregado, bajo estimación e inferencia, algunos atributos positivos en base a rasgos generales que podrían otorgar los residuos agrícolas del *Crocus sativus* L. sobre la alimentación animal, por lo que profundizar su investigación podría beneficiar ciertos nichos del sector agropecuario y aportar en la sostenibilidad alimentaria a nivel país y, por qué no, a nivel mundial dentro de los principales países productores de azafrán.

REFERENCIAS

1. Agarwal, N., Kolba, N., Jung, Y., Cheng, J. y Tako, E. 2022. Saffron (*Crocus sativus* L.) Flower water extract disrupts the cecal microbiome, brush border membrane functionality, and morphology in vivo (*Gallus gallus*). *Nutrients* 2022, 14, 220. <https://doi.org/10.3390/nu14010220>.
2. Álvarez, M. y Arrieche, P., 2016. Presentación y diagnóstico de intoxicación por *Clostridium botulinum* en bovinos estabulados. Universidad de la República. Facultad de Veterinaria. Montevideo, Uruguay.
3. Bennato, F., Martino, C., Ianni, A., Giannone, C. y Martino, G. 2023. Dietary grape pomace supplementation in lambs affects the meat fatty acid composition, volatile profiles and oxidative stability. *Foods* 2023, 12, 1257. <https://doi.org/10.3390/foods12061257>
4. Bešlo, D., Golubic, N., Rastija, V., Agic, D., Karmaš, M., Subaric, D. y Lucic, B. 2023. Antioxidant activity, metabolism, and bioavailability of polyphenols in the diet of animals. *Antioxidants* 2023, 12, 1141. <https://doi.org/10.3390/antiox12061141>
5. Caicedo, W., Chinque, D. y Grefa, V. 2022. Aditivos fitobióticos y su efecto en el desempeño productivo de cerdos. *Cuban Journal of Agricultural Science*. Vol.56. No.2. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802022000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
6. Caser, M., Demasi, S., Stelluti, S., Donno, D. y Scariot, V. 2020. *Crocus sativus* L. Cultivation in Alpine Environments: Stigmas and Tepals as Source of Bioactive Compounds. *Agronomy* 2020, 10, 1473. Disponible en: [doi:10.3390/agronomy10101473](https://doi.org/10.3390/agronomy10101473)
7. Cerdá-Bernad, D. y Frutos, MJ. 2023. Saffron Floral By-Products as Novel Sustainable Vegan Ingredients for the Functional and Nutritional Improvement of Traditional Wheat and Spelt Breads. *Foods* 2023, 12, 2380. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foods12122380>
8. Cohelo, J., 2014. Pétalas da Flor de Açafão (*Crocus sativus* L.): Valorização de um Subproduto. Faculdade de Farmácia. Universidade Do Porto.
9. Deryabin, D., Kosyan, D., Inchagova, K. y Duskaev, G. 2023. Plant-derived quorum sensing inhibitors (quercetin, vanillin and umbelliferon) modulate

cecal microbiome, reduces inflammation and affect production efficiency in broiler chickens. *Microorganisms* 2023, 11, 1326. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051326>

10. Donadia, A., Santos, R., Melo, H., Rodrigues, S., Kinyu, A. y Soares, A. 2023. Factors Affecting Enteric Emission Methane and Predictive Models for Dairy Cows. *Animals* 2023, 13, 1857. <https://doi.org/10.3390/ani13111857>
11. FIA, 2019a. Introducción del cultivo de azafrán en Tarapacá. Proyecto de innovación en Región de Tarapacá. Serie experiencias de innovación para el emprendimiento agrario. FIA – Valorización de resultados – 140. Sección 1. Disponible en: <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/a0f51dbb-e115-4903-9852-d696e973d948>
12. FIA, 2019b. Resultados y lecciones en Introducción del Cultivo de Azafrán. Proyecto de innovación en Región de Valparaíso. Serie experiencias de innovación para el emprendimiento agrario. Disponible en: <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/2e52b902-8a49-4d71-972f-fe02256dd784>
13. FIA, 2022. Introducción del cultivo de azafrán en la Región de la Araucanía. Proyecto de innovación en Región de Tarapacá. Serie experiencias de innovación para el emprendimiento agrario. FIA – Valorización de Resultados – 158. Sección 2. Disponible en: <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/4d7a9036-128b-455c-b748-be95dfad6ff9>
14. Goenaga, I., García-Rodríguez, A., Goiri, I., León-Ecay, S., De Las Heras, J., Aldai, N. y Insausti, K. 2023. Vegetable by-products as alternative and sustainable raw materials for ruminant feeding: Nutritive evaluation and their inclusion in a novel ration for calf fattening. *Animals* 2023, 13, 1391. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani13081391>
15. Gvozdanovic, K., Kralik, Z., Radisic, Z., Kosevic, M., Kralik, G. y Djurkin, I. 2023. The interaction between feed bioactive compounds and chicken genome. *Animals* 2023, 13, 1831. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani13111831>
16. Gresta *et al.*, 2016. Crop rotation as an effective strategy for saffron (*Crocus sativus* L.) cultivation. *Scientia Horticulturae* 211 (2016) 34-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.08.007>
17. Holzmann, C. 2019. Manual de producción del cultivo de azafrán en la Pampa del Tamarugal. Serie Agricultura del Desierto. Pág: 15-20. Disponible en: <https://bibliotecadigital.fia.cl/items/3fa61de3-fb3f-4d77-8dbf-c026fd0da6c2>

18. INIA-INDAP. 2017. Manual de manejo Ovino. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N°368. Pág 63-74. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/dbab580e-babb-4c67-b2c1-57fa2e42d7c3/content>
19. Maestre-Hernández, A., Vicente-López, J., Pérez-Llamas, F., Candela-Castillo, M., García-Conesa, M., Frutos, M., Cano, A., Hernández-Ruiz, J. y Arnao, M. 2023. Antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents in floral saffron bio-residues. *Processes* 2023, 11, 1400. <https://doi.org/10.3390/pr11051400>
20. Manual de producción Caprina. s/f. Ficha 1. Alimentación de Cabras Lecheras. Alimentación Caprina. Disponible en: <http://www.indap.gob.cl/sites/default/files/2023-12/Manual-de-Produccion-Caprina-productores-caprinos.pdf>
21. Lahmass, I., Lamkami, T., Delporte, C., Sikdar, S., Antwerpen, P., Saalaoui, E. y Megalizzi, V. 2017. The waste of saffron crop, a cheap source of bioactive compounds. *Journal of Functional Foods* 35 (2017) 341-351.
22. Lakka, A., Grigorakis, S., Karageorgou, I., Batra, G., Kaltsa, O., Bozinou, E., Lalas, S y Makris, D. 2019. Saffron processing wastes as a bioresource of High-Value added compounds: Development of a green extraction process for polyphenol recovery using a natural deep Eutectic Solvent. *Antioxidants*. 8, 586. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/antiox8120586>
23. Morales, M., Vargas, D., Juárez, I., Pérez-Rivero, J., Sierra, A., Flores, H., Cerbón, J y Peña-Corona, S. 2022. Efectos de los fitoestrógenos en la fisiología reproductiva de especies productivas. Revisión. *Rev. mex. de cienc. Pecuarias*. 13 (3). Disponible en: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.5878>
24. Moratalla-López, N. 2019. Avances en la calidad y aprovechamiento del *Crocus sativus* L. Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete, España.
25. Muñoz, C. y Canto, F. 2019. Programa de difusión tecnológica en subsector pecuario bovino para el territorio Patagonia verde. Intervención sistémica de los planteles ganaderos de cría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N°419. Pág 23-40. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6872>
26. Mykhailenko, O., Ivanauskas, L., Bezruk, I., Sodirenko, L., Lesyk, R. y Georgiyants, V. 2021a. Characterization of phytochemical components of *Crocus sativus* L. leaves: A new attractive by-product. *Sci. Pharm.* 2021, 89, 28. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/scipharm89020028>

27. Mykhailenko, O., Petrikaite, V., Korinek, M., Chang, F., El-Shazly, M., Yen, Ch., Bezruk, I., Chen, B., Hsieh, Ch., Lytkin, D., Ivanauskas, L., Georgiyants, V. y Hwang, T. 2021b. Pharmacological potential and chemical composition of *Crocus sativus* L. leaf extracts. *Molecules* 2022, 27, 10. <https://doi.org/10.3390/molecules27010010>
28. Naim, N., Bouymajane, A., Oulad, Y., Ezrari, S., Lahlali, R., Tahiri, A., Ennahli, S., Laganà, R., Cacciola, F., Mondello, L. y Madani, I. 2022. Flavonoid composition and antibacterial properties of *Crocus sativus* L. petal extracts. *Molecules* 2023, 28, 186. <https://doi.org/10.3390/molecules28010186>
29. Nath, P., Ojha, A., Debnath, S., Sharma, M., Nayak, P., Sridhar, K. y Inbaraj, B. 2023. Valorización del desperdicio de alimentos como alimento para animales: un paso hacia la gestión sostenible del desperdicio de alimentos y la bioeconomía circular. *Animales* 2023, 13, 1366. <https://doi.org/10.3390/ani13081366>
30. Peña, E., González, H., Avendaño, L., Valenzuela, N., Pinelli, A., Muhlia, A. y Peña, E. 2019. Ácidos hidroxicinámicos en producción animal: farmacocinética, farmacodinamia y sus efectos como promotor de crecimiento. *Rev Mex Cienc Pecu* 2019;10(2):391-415. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i2.4526>
31. Popescu, R., Marinescu, G., Radulescu, M., Taranu, I. y Dinischiotu, A. 2023. Natural antioxidant by-product mixture counteracts the effects of aflatoxin B1 and ochratoxin a exposure of piglets after weaning: A proteomic survey on liver microsomal fraction. *Toxins* 2023, 15, 299. <https://doi.org/10.3390/toxins15040299>
32. Primavilla, S., Pagano, C., Roila, R., Branciarri, R., Ranucci, D., Valiani, A., Ricci, M. y Perioli, L. 2022. Antibacterial activity of *Crocus sativus* L. petals extracts against foodborne pathogenic and spoilage microorganisms, with a special focus on *Clostridium*. *Life* 2023, 13, 60. <https://doi.org/10.3390/life13010060>
33. Ridner, E., Gamberale, M., Basile, R., Aragona, H., Saad, G., Marsó, A., Lozano, G., Cela, C. y Sandro, S. 2012. Las aves alimentadas con soja, ¿pueden tener isoflavonas?. *Actualización en Nutrición*. 13 (2). Disponible en: <https://www.cincap.com.ar/wp-content/uploads/2017/03/Las-aves-alimentadas-con-soja-pueden-tener-isoflavonas.pdf>
34. Ruiz, Á., Cañizares, M. y Martínez, H. 2023. Identidad Regional y Patrimonio Inmaterial Relacionado con el Cultivo del Azafrán en Castilla-La Mancha

(España). Herencia. 6, 2453–2472. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/heritage6030129>

35. Serrano-Díaz, J., Sánchez, A., Maggi, L., Martínez-Tomé, M., García-Diz, L., Murcia, M. y Alonso, G. 2012. Increasing the applications of *Crocus sativus* flowers as natural antioxidants. *Journal of Food Science*. Vol. 77, Nr. 11.
36. Serrano-Díaz, J., Sánchez, A., Martínez-Tomé, M., Winterhalter, P. y Alonso, G. 2013. A contribution to nutritional studies on *Crocus sativus* flowers and their value as food. *Journal of Food Composition and Analysis* 31 (2013) 101–108. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2013.03.009>
37. Stelluti, S., Caser, M., Demasi, S. y Scariot, V. 2021. Sustainable processing of floral bio-residues of saffron (*Crocus sativus* L.) for valuable biorefinery products. *Plants* 2021, 10, 523. <https://doi.org/10.3390/plants10030523>
38. Tardío, J., Pardo de Santayana, M., Morales, R., Molina, M. y Aceituno, L. 2018. Inventario español de los conocimientos tradicionales relativos a la biodiversidad agrícola. Volumen 1. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 420 pp.
39. Tuberoso, C., Rosa, A., Montoro, P., Fenu, M. y Pizza, C. 2015. Antioxidant activity, cytotoxic activity and metabolic profiling of juices obtained from saffron (*Crocus sativus* L.) floral by-products. *Food Chemistry* 199 (2016) 18–27.
40. Varga-Visi, É., Nagy, G., Cservincsik, Á. y Tóth, T. 2023. Evaluation of a phytogetic feed supplement containing carvacrol and limonene on sheep performance and parasitological status on a Hungarian milking sheep farm. *Vet. Sci.* 2023, 10, 369. <https://doi.org/10.3390/vetsci10060369>
41. Zara, S., Petretto, G., Mannu, A., Zara, G., Budroni, M., Mannazzu, I., Multineddu, Ch., Pintore, G. y Fancello, F. 2021. Antimicrobial activity and chemical characterization of a non-polar extract of saffron stamens in food matrix. *Foods* 2021, 10, 703. <https://doi.org/10.3390/foods10040703>
42. Zhou, L., Cai, Y., Yang, L., Zou, Z., Zhu, J. y Zhang, Y. 2023. Análisis metabólico comparativo de estigmas y pétalos en azafrán chino (*Crocus sativus* L.) por metabolómica ampliamente dirigida. *Plantas* 2022, 11, 24–27. <https://doi.org/10.3390/plant11182427>