

TÍTULO: *SUSTAINABLE VALORIZATION OF AGRO-INDUSTRIAL BY-PRODUCTS FOR PROTEIN EXTRACTION USING SUBCRITICAL FLUIDS*

AUTOR: D. PEDRO BAREA GÓMEZ

PROGRAMA DE DOCTORADO: AVANCES EN CIENCIA Y BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIAS.

ACTO Y FECHA DE LECTURA: EL ACTO PÚBLICO DE DEFENSA DE TESIS SE DESARROLLARÁ EL DÍA 2 DE MARZO DE 2026, A LAS 11:30 HORAS, DE MANERA PRESENCIAL EN EL SALÓN DE ACTOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE BURGOS

DIRECTORES: DÑA. MARÍA TERESA SANZ DÍEZ
D. RODRIGO MELGOSA GÓMEZ

TRIBUNAL: D. EULOGIO CASTRO GALIANO
DÑA. DANIELA LORENA LAMAS
DÑA. MARÍA DOLORES TORRES PÉREZ

RESUMEN: El aumento de la población mundial plantea la necesidad de desarrollar fuentes sostenibles de proteínas, dado que la producción alimentaria convencional resultará insuficiente. Este desafío, junto con la gestión de los residuos agroindustriales, impulsa la valorización de subproductos proteicos. En esta Tesis Doctoral se estudian dos de ellos: la harina de pescado, procedente de la industria atunera, como fuente animal, y la okara, procedente de la elaboración de leche de soja y tofu, como fuente vegetal. Ambas biomásas conservan un elevado contenido proteico, lo que las hace idóneas para su valorización, además de contener compuestos bioactivos, como las isoflavonas de la okara, con potencial nutracéutico.

El objetivo principal de esta Tesis es proponer tecnologías verdes basadas en fluidos presurizados para valorizar la fracción proteica de estos subproductos, sustituyendo procesos convencionales menos sostenibles. La hidrólisis con agua subcrítica (SWH) es la principal tecnología empleada. Se basa en el uso de agua en estado líquido a alta temperatura y presión, variables que son estudiadas además del tiempo de tratamiento y el gas presurizante. En este proceso se generan corrientes ricas en biocompuestos mediante la modificación de la temperatura de operación.

La SWH se compara con otras tecnologías verdes innovadoras, como el tratamiento con microondas, ultrasonidos, enzimas y extracciones alcalinas a presión reducida. Los hidrolizados proteicos obtenidos se fraccionaron por tamaño molecular mediante membranas y se evaluaron sus propiedades tecno-funcionales. Además, se implementó un proceso en cascada para la biomasa vegetal, orientado a la recuperación de compuestos bioactivos previa a

la extracción proteica.

En conjunto, esta Tesis presenta estrategias para convertir subproductos ricos en proteínas en compuestos de alto valor, manteniendo un firme compromiso con la sostenibilidad ambiental y contribuyendo al desarrollo de enfoques de bioeconomía circular en el procesamiento de alimentos.

PALABRAS CLAVE: Proteínas, valorización, agua subcrítica, harina de atún, okara de soja.

The growth of the world population highlights the need to develop sustainable protein sources, as conventional food production will become insufficient. This challenge, together with the management of agro-industrial residues, drives the valorization of protein-rich by-products. In this PhD Thesis, two of them are studied: fish meal, from the tuna industry, as an animal protein source, and okara, derived from the production of soy milk and tofu, as a plant-based source. Both biomasses retain a high protein content, making them suitable for valorization, and also contain bioactive compounds, such as the isoflavones in okara, with nutraceutical potential.

The main objective of this Thesis is to propose green technologies based on pressurized fluids to valorize the protein fraction of these by-products, replacing less sustainable conventional processes. Subcritical water hydrolysis (SWH) is the main technology employed. It relies on the use of water in its liquid state at high temperature and pressure, variables that are studied along with the treatment time and the type of pressurizing gas. This process generates streams rich in biocompounds through the simple modification of the operating temperature.

SWH is compared with other innovative green technologies, such as microwave, ultrasound, enzymatic, and alkaline extraction under reduced pressure. The protein hydrolysates obtained were fractionated by molecular size using membranes, and their techno-functional properties were evaluated. In addition, a cascade process was implemented for the plant biomass, intended for recovering bioactive compounds prior to protein extraction.

Overall, this Thesis presents strategies to convert protein-rich by-products into valuable compounds while maintaining a strong commitment to environmental sustainability, contributing to the development of circular bioeconomy approaches in food processing.

KEY WORDS: Protein, valorization, subcritical water, tuna fish meal, soybean okara.