

# Materiales biobasados en Chile. De residuos a nuevos productos

## *Bio-based Materials in Chile. From By-products to New Products*

ANDREA WECHSLER, YESENIA BRIONES, PABLO DOMÍNGUEZ, PAOLA BENAVIDES  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UNIVERSIDAD DE CHILE

FOTOS · PHOTOS · CORTESÍA DE BIOMATERIALISTAS  
INFOGRAFÍA · INFOGRAPHIC · MARCELO CÁCERES

LA SOSTENIBILIDAD SE HA CONVERTIDO EN UN IMPERATIVO GLOBAL, IMPULSANDO LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES INNOVADORAS EN DIVERSOS ÁMBITOS, COMO POR EJEMPLO EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS. EN ESTE CONTEXTO, LOS MATERIALES BIOBASADOS EMERGEN COMO UNA ALTERNATIVA PROMETEDORA AL TRANSFORMAR RESIDUOS EN INSUMOS PARA NUEVOS MATERIALES, EVITANDO QUE TERMINEN EN VERTEDEROS CON ALTOS COSTOS SOCIALES Y AMBIENTALES. SIGUIENDO ESTA TENDENCIA MUNDIAL, EN CHILE HA SURGIDO UNA SERIE DE INICIATIVAS ORIENTADAS A INCORPORAR RESIDUOS INDUSTRIALES Y DE POSTCONSUMO A NUEVAS CADENAS PRODUCTIVAS. SIN EMBARGO, ESTAS INICIATIVAS AÚN SON DISPERSAS, POR LO QUE SURGE LA PREGUNTA: ¿QUÉ TIPO DE ORGANIZACIONES ESTÁN LIDERANDO ESTAS INICIATIVAS, CON QUÉ TECNOLOGÍAS CUENTAN Y QUÉ NIVEL DE DESARROLLO E INSERCIÓN ESTÁN LOGRANDO? EL PRESENTE ARTÍCULO BUSCA ABORDAR LA REALIDAD DE LOS MATERIALES BIOBASADOS EN CHILE. ESPECÍFICAMENTE, SE ANALIZAN AQUELLAS INICIATIVAS QUE EXPLORAN EL USO DE DESECHOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA ACUÍCOLA, AVÍCOLA, HORTOFRUTÍCOLA Y FORESTAL, LAS CUALES EN SU PROCESO PRODUCTIVO GENERAN UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE RESIDUOS. LOS RESULTADOS MUESTRAN UNA REALIDAD MUY DIVERSA, COMPUESTA POR ORGANIZACIONES DE DIVERSA NATURALEZA Y COMPLEJIDAD, ASOCIADAS TANTO AL ÁMBITO ACADÉMICO UNIVERSITARIO, A UNIDADES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL SECTOR PRODUCTIVO, COMO TAMBIÉN A EMPRENDIMIENTOS INDEPENDIENTES. CADA UNA DE ESTAS UNIDADES CUENTA CON ACCESO A INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO CAPAZ DE REALIZAR DESDE EXPLORACIONES MATERIALES A PRODUCTOS CON UN ENFOQUE INNOVADOR Y CREATIVO, DISEÑANDO A PARTIR DE LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ELEGIDOS.

SUSTAINABILITY HAS BECOME A GLOBAL IMPERATIVE, DRIVING THE QUEST FOR INNOVATIVE SOLUTIONS IN DIFFERENT AREAS, SUCH AS WASTE MANAGEMENT. IN THIS CONTEXT, BIO-BASED MATERIALS EMERGE AS A PROMISING OPTION BY TRANSFORMING BY-PRODUCTS INTO INPUTS FOR NEW MATERIALS, PREVENTING THEM FROM ENDING UP IN LANDFILLS WITH HIGH SOCIAL AND ENVIRONMENTAL COSTS. FOLLOWING THIS GLOBAL TREND, IN CHILE SOME INITIATIVES HAVE EMERGED TO INCORPORATE INDUSTRIAL AND POST-CONSUMER BY-PRODUCTS INTO NEW PRODUCTION CHAINS. HOWEVER, THESE INITIATIVES ARE STILL SCATTERED, SO THE QUESTION ARISES: WHAT TYPE OF ORGANISATIONS ARE LEADING THESE INITIATIVES, WHAT TECHNOLOGIES DO THEY HAVE, WHAT LEVEL OF DEVELOPMENT AND MARKET INSERTION ARE THEY ACHIEVING? THIS ARTICLE AIMS TO EXPLORE THE CURRENT LANDSCAPE OF BIOBASED MATERIALS IN CHILE. WE SPECIFICALLY ANALYSED INITIATIVES THAT UTILISE BY-PRODUCTS FROM AQUACULTURE, POULTRY, FRUIT AND VEGETABLE PROCESSING, AND FORESTRY INDUSTRIES. THESE INDUSTRIES GENERATE SIGNIFICANT BY-PRODUCTS DURING PRODUCTION. THE RESULTS OF THIS STUDY INDICATE A DIVERSE BACKGROUND COMPRISING ORGANISATIONS OF VARIOUS TYPES AND COMPLEXITIES. THESE ORGANISATIONS ARE LINKED TO UNIVERSITIES, RESEARCH AND DEVELOPMENT UNITS IN THE PRODUCTIVE SECTOR, AND PRIVATE MANUFACTURERS. EACH UNIT HAS ACCESS TO INFRASTRUCTURE AND EQUIPMENT TO PERFORM FROM MATERIAL EXPLORATIONS TO DESIGN INNOVATIVE PRODUCTS, ADDING VALUE TO THE SELECTED BY-PRODUCTS.

## CHILE, PAÍS DE MATERIAS PRIMAS

### PARADIGMA DE LA ECONOMÍA LINEAL Y CIRCULAR EN CHILE

Chile, país productor y exportador de materias primas procesadas e importador de productos de consumo, presenta una dinámica de economía lineal, generando efectos adversos en el medio ambiente tanto en emisiones como en agotamiento de recursos naturales. Esta dinámica contradice al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 12 de las Naciones Unidas que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles mediante el uso eficiente de recursos y energía, creando infraestructuras sostenibles, facilitando el acceso a los servicios básicos, generando empleos ecológicos y decentes y, en consecuencia, una mejor calidad de vida para todos.

En Chile, para abordar este objetivo, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) genera el Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables (PNCS), cuyo objetivo es impulsar un crecimiento económico que contribuya a la protección del medio ambiente y a la equidad social, modificando los actuales patrones de consumo y producción, con el fin de desacoplar el crecimiento y desarrollo del país de la degradación del medio ambiente (Biggs et al., 2017). Con este propósito, se han creado leyes y regulaciones que promueven una producción

sustentable, como la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), Acuerdos de Producción Limpia (APL) y otros. Sin embargo, a pesar de estas medidas, aún no se ha llegado a instaurar una mirada sistémica global para abordar los problemas que trae consigo la economía lineal (Ministerio del Medio Ambiente, 2019).

En este contexto, diversas iniciativas a nivel nacional han identificado la oportunidad de valorizar residuos sólidos orgánicos mediante su aplicación en nuevos materiales y productos; sin embargo, también se han identificado brechas que han impedido que esto ocurra de manera más sistemática y con resultados más exitosos. Algunas de estas brechas son la falta de insumos y de infraestructura e innovación de procesos productivos (MMA Chile, 2021; Ramos et al., 2021; Rubik & MMA Chile, 2019). En función de la identificación de estas brechas, en estudios previos hemos logrado determinar si los grupos que trabajan generando nuevos materiales biobasados para una economía circular han logrado permear en la realidad productiva nacional (Wechsler, Briones & Domínguez, 2024).

## CHILE, A PRODUCER OF RAW MATERIALS

### LINEAR AND CIRCULAR ECONOMY PARADIGM IN CHILE

Chile produces and exports processed raw materials while importing consumer goods. This linear economic model generates negative environmental impacts, such as emissions and depletion of natural resources. This situation contradicts UN Sustainable Development Goal (SDG) 12, which promotes sustainable consumption and production patterns. SDG 12 focuses on the efficient use of resources and energy, the development of sustainable infrastructure, access to essential services, the creation of green and decent jobs and, ultimately, improving the quality of life for everyone.

The Ministry of Environment (MMA) has developed the National Programme for Sustainable Consumption and Production (PNCS) in Chile. This initiative aims to promote economic growth that supports environmental protection and social equity. The goal of the PNCS is to modify existing consumption and production patterns to ensure that the country's growth and development are not tied to environmental degradation (Biggs et al., 2017). Laws and regulations have been established to encourage sustainable production, such as the

Extended Producer Responsibility Law (REP in Spanish) and Clean Production Agreements (APLs in Spanish). However, despite these efforts, a comprehensive global approach to deal with the issues caused by the linear economy has not yet been implemented (Ministry of the Environment, 2019).

In this context, several initiatives at national level have identified the opportunity to add value to organic solid by-products through its application in new materials and products. However, gaps that have avoided this from happening more systematically and with more successful results have also been identified. Some of these gaps are the lack of adequate inputs, the lack of proper infrastructure, and the need to innovate production processes (MMA Chile, 2021; Ramos et al., 2021; Rubik & MMA Chile, 2019). Building on identifying these gaps, previous studies have enabled us to assess whether the groups involved in developing new bio-based materials for a circular economy in Chile have successfully joined the national production landscape (Wechsler, Briones & Domínguez, 2024).

En este estudio nos hemos propuesto caracterizar a las organizaciones que están liderando estas iniciativas — a quienes llamaremos biomaterialistas — en términos organizacionales y tecnológicos, así como determinar el nivel de desarrollo e inserción en el mercado de los materiales y los productos que están generando. Llamaremos materiales biobasados a aquellos materiales que busquen convertir residuos de algún proceso industrial o de posconsumo en insumos. Estos nuevos materiales buscan asegurar el uso eficiente de recursos y energía, minimizando los impactos medioambientales y sociales de la práctica actual de la industria y consumo nacional. La primera parte de este artículo caracteriza la gestión de residuos de cuatro importantes sectores industriales chilenos: forestal, agrícola, acuícola y avícola. En la segunda parte, se presentan los resultados de un mapeo de iniciativas chilenas orientadas al desarrollo de materiales biobasados a partir de los desechos provenientes de dichas industrias.

#### INDUSTRIA FORESTAL Y AGRÍCOLA

Chile es un país con una vasta superficie forestal y agrícola. El sector forestal ha crecido particularmente gracias al aprovechamiento de madera industrial proveniente de plantaciones de especies de rápido crecimiento, tales como el pino radiata (59%), *Eucalyptus Globulus* (24%) y *Eucalyptus Nitens* (11%) (INFOR, 2016). Actualmente, este sector cuenta con más de 10.000 empresas dedicadas a la silvicultura (64%), aserrado (31%), fabricación de tableros (4%), celulosa y papel (1%). Estas industrias se caracterizan por generar una amplia variedad de residuos que provienen de actividades tan diversas como la poda y la elaboración de productos de madera (CORMA, 2015). Los

residuos más comunes son cortezas, astillas, despuntes, aserrín y virutas (Reyes, 2013). Las regiones que más residuos madereros aportan son las regiones del Maule (22%), del Biobío (52%) y de la Araucanía (11%).

Por su parte, la industria agrícola concentra plantaciones de duraznos, uvas, paltos, manzanos rojos, nogales, cerezos, olivos, ciruelos, kiwis, entre otros (ODEPA, 2016). Estas plantaciones se ubican en las regiones Metropolitana, de O'Higgins y del Maule, y sus frutos son utilizados principalmente por la agroindustria hortofrutícola conservera (ODEPA, 2016). La industria conservera genera anualmente sobre las 80.000 toneladas de residuos sólidos orgánicos, siendo los principales las cáscaras y los carozos (ODEPA, 2016).

Los residuos de ambas industrias presentan una alta similitud química con la madera, razón por la que se les denomina *residuos celulósicos* (Molina, 2016; Wechsler et al., 2019).

En cuanto al tratamiento de los residuos, también se aprecian grandes similitudes entre ambas industrias. Algunos residuos de la agroindustria frutícola son donados para la obtención de energía a través de su incineración en calderas de biomasa, mientras que un 15% de los residuos forestales son utilizados como bioenergía para autoconsumo (Molina, 2016; Wechsler et al., 2019). Los productores que están ubicados cerca de las plantas generadoras de energía pueden vender sus residuos; sin embargo, para aquellos productores que están alejados, el costo de transporte sería mayor que la ganancia obtenida por la venta de residuos (Askew y Holmes, 2002). A esto se suman los efectos ambientales producto de la combustión de estos residuos, siendo responsable de hasta el 40% de las emisiones mundiales de dióxido y monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>, CO),

In this study, we aim to characterise the organisations leading these initiatives, which we will refer to as “biomaterialists.” We will analyse their organisational structure and technology and we will assess the development stage and market readiness of the materials and products they manufacture. We will define bio-based materials, as those materials that aim to transform by-products from industrial or post-consumer processes into usable inputs. These new materials target to optimise resource and energy use, reducing the environmental and social impacts of current industrial practices. The first part of this article characterises the waste management of four major Chilean industrial sectors: forestry, agriculture, aquaculture and poultry. In the second part, we present the results of a mapping of Chilean initiatives focused on developing bio-based materials from the by-products produced by those industries.

#### FORESTRY AND AGRICULTURAL INDUSTRY

Chile is a country with a vast forest and agricultural area. The forestry sector has grown mainly thanks to the harvesting of industrial wood from plantations of fast-growing species such as radiata pine trees (59%), *Eucalyptus Globulus* (24%) and *Eucalyptus Nitens* (11%) (INFOR, 2016). Currently, the sector has more than 10,000 enterprises involved in forestry (64%), saw-milling (31%), board manufacturing (4%), pulp and paper (1%). These industries usually generate a wide range of by-products

from diverse activities such as pruning and wood product processing (CORMA, 2015). The most common residues are bark, chips, offcuts, sawdust, and shavings (Reyes, 2013). The regions that contribute mostly to wood by-products are the regions of Maule (22%), Biobío (52%), and Araucanía (11%).

The agricultural industry focuses on plantations of canned peaches, grapes, avocados, red apple trees, walnut trees, cherry trees, olive trees, plum trees, and kiwis, among others (ODEPA, 2016). These plantations are in the Metropolitan, O'Higgins, and Maule regions, and their fruits are mainly used by the fruit and vegetable canning industry (ODEPA, 2016). The canning industry generates over 80,000 tonnes of organic solid by-products annually, mostly peels and pits (ODEPA, 2016).

By-products from both industries have a high chemical similarity to wood, which is why they are called cellulose by-products (Molina, 2016; Wechsler et al., 2019).

There are also strong similarities between the two industries in terms of waste treatment. Some solid organic by-products from the fruit agro-industry are donated for energy production through incineration in biomass boilers, while 15% of forest residues are used as bioenergy for self-consumption (Molina, 2016; Wechsler et al., 2019). Producers close to power plants can sell their by-products; however, for those far away producers, the transport cost would be higher than the profit made by selling by-products (Askew & Holmes, 2002). In

partículas de materia suspendidas (PM) y de un 50% de los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Kambis & Levine, 1996; Lemieux, et al., 2004).

Los residuos sólidos no utilizados se almacenan en lugares de acopio de las industrias (Reyes, 2013), generando malos olores (Aburto & Reyes, 2015; Molina, 2016), atrayendo plagas y hongos (Parodi, 2016), además de emitir dióxido de carbono a la atmósfera al descomponerse (Álvarez et al., 2001). El 42% de los residuos de la industria frutícola son enviados a vertederos sin tratamiento, siendo el aspecto económico de la disposición final uno de los mayores problemas para la industria.

Tan solo el transporte del material orgánico al relleno sanitario supera los US\$1.200 diarios en temporada alta (Molina, 2016). Mientras una parte de los residuos forestales se utiliza en tableros aglomerados (CONAMA, 2000), otra parte es utilizada para el mejoramiento del suelo. No obstante, esto puede dificultar los trabajos silvícolas, junto con ser un potencial combustible, ya que el material pequeño y mediano enciende con rapidez.

#### INDUSTRIA ACUÍCOLA Y AVÍCOLA

Otro importante sector productivo en Chile es la acuicultura. Abarca principalmente el cultivo de peces (70%), moluscos bivalvos (29%) y algas (1%) (Subpesca, 2024). Los moluscos bivalvos y algas son generados mayoritariamente en las regiones de Coquimbo (0,5%) y de Atacama (0,1%). En el sur, la mayor producción proviene de la región de Los Lagos (65%) —donde se cultivan principalmente mejillones (*Mytilus chilensis*)—, seguida por Aysén (25%). Le siguen la región de Magallanes y la Antártica Chilena (10%) y, finalmente, la región de Los Ríos (0,2%).

addition, the combustion of these by-products is responsible for up to 40% of global emissions of carbon dioxide and monoxide (CO<sub>2</sub>, CO), particulate matter (PM), and 50% of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) (Kambis & Levine, 1996; Lemieux et al., 2004).

Unused solid by-products are stored in industrial storage sites (Reyes, 2013), generating unpleasant odours (Aburto & Reyes, 2015; Molina, 2016), attracting pests and fungi (Parodi, 2016), as well as emitting carbon dioxide into the atmosphere when decomposing (Álvarez et al., 2001). Forty-two percent of by-products from the fruit industry is sent to landfills without treatment. The economic aspect of disposal is one of the industry's biggest problems. In high season, for one industry, transporting organic material to landfills can exceed US\$1,200 per day (Molina, 2016). While part of the forest by-products is used in chipboards (CONAMA, 2000), another part is used for soil improvement. However, this can hinder silvicultural work and turn into potential fuel, since small and medium-sized material ignites quickly.

#### AQUACULTURE AND POULTRY INDUSTRY

Another relevant production sector in Chile is aquaculture. It mainly comprises fish farming (70%), bivalve molluscs (29%), and algae (1%) (Subpesca, 2024). Bivalve molluscs and algae

En cuanto a la industria avícola, la producción mensual de huevos llega a casi 400 millones de unidades (Chilehuevos, 2024). El huevo puede ser procesado a nivel industrial, en empresas manufactureras de alimentos o consumido a nivel domiciliario.

De los residuos de los procesos productivos de la industria acuícola, se obtienen principalmente conchas de moluscos que son ricas en carbonato de calcio. Si bien las algas no son un residuo en sí mismo, mediante estudios y exploraciones ha demostrado ser una materia prima capaz de generar aglomerantes biobasados. Por su parte, la producción de huevos genera como descarte la cáscara, elemento con alta carga de carbonato de calcio, al igual que las conchas.

#### EL ESTUDIO A LOS BIOMATERIALISTAS EN CHILE

A nivel nacional existen diversos grupos académicos y profesionales que trabajan en la valorización de estos residuos para generar nuevos materiales y productos (Araújo & Franco, 2021; Wechsler, Briones & Domínguez, 2024). Sin embargo, hemos identificado que estas iniciativas aún se encuentran desvinculadas con el resto de actores de la cadena productiva nacional.

En estudios previos hemos identificado aquellos grupos que realizan materiales biobasados en Chile, los hemos caracterizado en función de la infraestructura y el enfoque de trabajo que declaran, y clasificado de acuerdo con las categorías que se describen a continuación (Wechsler et al., 2024):

- **Centros de investigación y desarrollo.** Se definen como espacios de una mayor infraestructura tecnológica en relación con el resto de las unidades, desarrollan materiales y productos de manera privada.

are primarily generated in the regions of Coquimbo (0.5%) and Atacama (0.1%). In the southern regions, the highest aquaculture production comes from the Los Lagos region, which contributes 65% of the total output, primarily through the farming of mussels (*Mytilus chilensis*). The Aysén region follows with 25% of production, while the Magallanes and Chilean Antarctica region accounts for 10%. Lastly, Los Ríos region represents a minimal contribution of 0.2%.

As for the poultry industry, monthly egg production reaches almost 400 million units (Chilehuevos, 2024). Eggs can be processed at the industrial level, in food manufacturing companies, or at home.

The by-products from the production processes of the aquaculture industry are mainly obtained from mollusc shells, which are rich in calcium carbonate. While algae are not by-products, studies have shown that it can be used as a raw material to generate bio-based binders. Egg production generates eggshells, rich in calcium carbonate, just like shells.

#### THE STUDY OF BIOMATERIALISTS IN CHILE

At the national level, various academic and professional groups are working on valorising these by-products to generate new materials and products (Araújo & Franco, 2021; Wechsler, Briones & Domínguez, 2024). However, we have identified that these

- **Espacios de docencia, investigación y desarrollo.** Se identifican como laboratorios insertos en un medio académico-universitario, con docencia y proyectos con financiamiento externo e interno.
- **Centros de investigación de biofabricación.** Son espacios que investigan desde la experimentación local de materiales que se cultivan.
- **Investigadores y emprendimientos independientes.** Se autosustentan y su trabajo es mayoritariamente exploratorio.
- **FabLabs.** Son unidades con experiencia en fabricación digital de acceso abierto, capaces de producir objetos a escala local mediante información global (Wechsler & Briones, 2023).

En el presente estudio consideramos relevante caracterizar el trabajo que desarrollan estas unidades, en particular, establecer cuáles son los principales residuos con los que están trabajando y de qué sector industrial provienen. Asimismo, buscamos establecer el nivel de desarrollo de los materiales que elaboran, el tipo de productos que han desarrollado a partir de dichos materiales y el nivel de desarrollo de los mismos productos. Para ello elaboramos una encuesta digital autoadministrada. La Tabla 1 presenta las diferentes categorías y subcategorías de la información solicitada, una breve definición de cada una y ejemplos de respuestas entregadas por los participantes.

Para reclutar a los participantes se envió una invitación vía correo electrónico tanto a las unidades que habían participado en estudios previos (Wechsler & Briones, 2023) como a otras identificadas con posterioridad a la realización del primer estudio. La encuesta estuvo disponible durante un mes y fue respondida por treinta y dos grupos o unidades que desarrollan materiales biobasados en Chile.

initiatives are still disconnected from the actors in the national production chain. In previous studies, we have identified those groups making bio-based materials in Chile, categorised them in terms of their stated infrastructure and approach to work and classified them according to the categories described below (Wechsler et al., 2024):

- **Research and development centres.** They are defined as spaces with a more significant technological infrastructure than the rest of the units. They develop materials and products privately.
- **Teaching, research, and development spaces.** They are identified as laboratories inserted in an academic university environment, with teaching and projects with external and internal funding.
- **Bio-manufacturing research centres.** These are spaces that explore local experimentation with cultivated materials.
- **Independent researchers and entrepreneurs.** They are self-supporting, and their work is primarily exploratory.
- **FabLabs.** These units with expertise in open-access digital fabrication produce objects locally using global information (Wechsler & Briones, 2023).

In this study, we aimed to characterise the work performed by these units, specifically to identify the main types of by-products they handle and the industrial sectors from which they originate. We focused on determining the development level

Las respuestas obtenidas se ordenaron en planillas Excel para su análisis. En primer lugar, se categorizaron las respuestas en función de los equipos declarados, separando los equipos en acondicionamiento de residuos, manufactura de materiales y caracterización de materiales. Luego, se organizó la información de acuerdo a materiales desarrollados según el tipo de residuo y aglomerante utilizados, productos desarrollados y su nivel de desarrollo.

Cabe mencionar que, al momento de recibir las respuestas de las encuestas, fue complejo obtener la información referida. Entre las razones por las que esto fue complejo se cuentan: la utilización de una terminología heterogénea y respuestas demasiado genéricas, lo que dificultó el análisis de los resultados. Por esta razón fue necesario acotar estas respuestas mediante consultas directas a los equipos de trabajo estudiados. Estas consultas fueron a través de entrevistas presenciales, entrevistas telefónicas, reuniones online, correos electrónicos y mensajería digital.

#### CARACTERIZACIÓN DE LAS INICIATIVAS DE MATERIALES BIOBASADOS EN CHILE

##### *¿Con qué tipo de tecnologías están trabajando los biomaterialistas en Chile?*

Para determinar el tipo de equipamiento utilizado por las unidades estudiadas, se clasificaron las respuestas de los participantes en las siguientes seis categorías: acondicionamiento de residuos, tecnologías digitales, moldeo, cultivo de materiales, domésticos y para medición (Tabla 2).

of the materials they produce, the products developed from them, and the sophistication of the products themselves. For this purpose, we performed a self-administered digital survey. Table 1 presents the various categories and subcategories of information requested, a brief definition of each, and examples of responses provided by participants.

To recruit participants, we emailed invitations to units that had participated in previous studies (Wechsler & Briones, 2023) and other units identified after the first study. The survey was available for one month and was completed by 32 groups or units involved in developing bio-based materials in Chile.

The responses were sorted into Excel spreadsheets for analysis. Firstly, the responses were categorised according to the declared equipment, separating the equipment into by-products conditioning, manufacturing, and characterisation. Then, the information about materials developed according to the type of by-products and binder used, products designed, and their level of development.

It is worth mentioning that when receiving the survey responses, it was quite complex to obtain the information referred to. One reason for the complexity was the inconsistent terminology and vague responses given, which hindered the analysis. For this reason, it was necessary to narrow down these responses through direct consultations with the studied work teams. These consultations included face-to-face interviews, telephone interviews, online meetings, emails, and digital messaging.

TABLA 1: CATEGORÍAS DE ANÁLISIS

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DEFINICIÓN O DESCRIPCIÓN	EJEMPLO DE RESPUESTAS (ENCUESTA)
<b>EQUIPAMIENTO SEGÚN FUNCIÓN</b>	EQUIPO(S) PARA EL ACONDICIONAMIENTO RESIDUOS	• Equipos utilizados para homogeneizar residuos para su posterior procesamiento.	• Estufa de secado • Molinos • Tamizadora
	TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DIGITAL	• Equipos utilizados para el modelado digital.	• Impresoras 3D • Cortadora láser
	EQUIPO(S) DE MOLDEO	• Equipo y sus accesorios utilizados en el moldeo de materiales biobasados.	• Prensa de platos calientes • Extrusora
	EQUIPO(S) PARA EL CULTIVO DE MATERIALES	• Equipos utilizados en materiales que crecen (micelio, kombucha u otros).	• Manta calefactora • Autoclave
	EQUIPO(S) DOMÉSTICOS	• Equipo de uso domiciliario para el procesamiento y moldeo de materiales biobasados.	• Molinillos de café • Licuadoras
	EQUIPO(S) PARA MEDICIÓN	• Equipos utilizados en la evaluación química, física, mecánica o de resistencia a agentes externos de materiales biobasados.	• Materiales generados desde residuos de la industria forestal o agrofrutícola similares a la madera, tales como aserrín, cortezas, hojas, cáscaras, tallos, carozos.
<b>MATERIALES SEGÚN TIPO DE RESIDUO</b>	ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS CELULÓSICOS	• Materiales generados desde residuos de la industria forestal o agrofrutícola similares a la madera, tales como aserrín, cortezas, hojas, cáscaras, tallos, carozos.	• <i>Yafun</i> , taburete de carozos de durazno • Mats de yoga de paja de trigo • <i>Caliptex</i> , contenedor textil de corteza de eucaliptos
	ELABORADOS A PARTIR DE CARBONATO DE CALCIO	• Materiales generados desde residuos de la industria acuícola, avícola con alto contenido de carbonato de calcio. Por ejemplo, con conchas de moluscos o cáscaras de huevo.	• <i>Liquid Calcium</i> , pasta de impresión 3D de concha de ostión
	ELABORADOS A PARTIR DE RESIDUOS DE ORIGEN ANIMAL	• Materiales generados desde residuos de origen animal. Por ejemplo, con gelatinas, seda, lana.	• Biolumina, biolentejuelas/cristales de guanina
<b>NIVEL DE DESARROLLO DEL MATERIAL*</b>	FASE EXPLORATORIA	• TRL 1 – Principios básicos estudiados • TRL 2 – Concepto tecnológico formulado	• Concepto o idea exploratoria
	VALIDACIÓN EN LABORATORIO	• TRL 3 – Prueba de concepto experimental • TRL 4 – Tecnología validada en laboratorio	• Validación en laboratorio producto mínimo viable
	MATERIAL TERMINADO	• TRL 5 – Tecnología validada en un entorno relevante	• TRL 9 – Sistema real probado en un entorno operacional real
	DESARROLLO DE APLICACIONES	• TRL 6 – Tecnología demostrada en un entorno relevante	• Desarrollo de aplicaciones
	MATERIAL VALIDADO EN USO	• TRL 7 – Demostración de sistema o prototipo completo demostrado en entorno operacional • TRL 8 – Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones	• Modelo de negocio
	ESCALAMIENTO INDUSTRIAL	• TRL 9 – Sistema real probado en un entorno operacional real	• Escalamiento industrial
<b>NIVEL DE DESARROLLO DEL MATERIAL*</b>	CONCEPTO O IDEA		
	PROTOTIPO	• TRL 1 – Principios básicos estudiados • TRL 2 – Concepto tecnológico formulado	• Exploratorio
	PRODUCTO MÍNIMO VIABLE	• TRL 2 – Concepto tecnológico formulado • TRL 3 – Prueba de concepto experimental	• Solo muestras experimentales
	PRODUCTO VALIDADO EN LABORATORIO	• TRL 3 – Prueba de concepto experimental	• Comprobación en la Región Metropolitana con buenos resultados de biocompatibilidad, actualmente en proceso de iteración ( <i>Savia Circular</i> , germinadores desde algas)
	PRODUCTO VALIDADO EN USO	• TRL 4 – Tecnología validada en laboratorio	• Producto validado en laboratorio
	ESCALAMIENTO INDUSTRIAL	• TRL 5 – Tecnología validada en un entorno relevante • TRL 6 – Tecnología demostrada en un entorno relevante	• Aglomerante biobasado, TRL 5  Producto presente en el mercado

\*Las subcategorías correspondientes al nivel de desarrollo fueron determinadas de acuerdo al modelo TRL (por sus siglas del inglés Transfer Readiness Level), tanto para los materiales como para los productos elaborados por las unidades consultadas.

TABLE 1: ANALYSED CATEGORIES

CATEGORY	SUBCATEGORY	DEFINITION OR DESCRIPTION	ANSWER EXAMPLES (SURVEY)
EQUIPMENT BY FUNCTION	BY-PRODUCTS CONDITIONING EQUIPMENT(S)	• Equipment used to homogenise by-products for further processing.	• Drying cooker • Mills • Screening machine
	DIGITAL MANUFACTURING TECHNOLOGIES	• Equipment used for digital modelling.	• 3D printers • Laser cutter
	MOULDING EQUIPMENT(S)	• Equipment and accessories used in the moulding of bio-based materials.	• Hot plate press • Extruder
	EQUIPMENT(S) FOR THE CULTIVATION OF MATERIALS	• Equipment used in growing materials (mycelium, kombucha or other)	• Heating mantle • Autoclave
	HOUSEHOLD EQUIPMENT(S)	• Home-use equipment to process and mould bio-based materials	• Coffee grinders • Blenders
	MEASURING EQUIPMENT(S)	• Equipment used in the chemical, physical, mechanical, or external agent resistance evaluation of bio-based materials.	• Universal testing machine UV chamber • Spectrophotometer
TYPE OF MATERIALS ACCORDING TO BY-PRODUCTS	MANUFACTURED FROM CELLULOSIC BY-PRODUCTS	• Materials generated from wood-like residues from the forestry or agro-fruit industry, such as sawdust, bark, leaves, husks, stems, and pits.	• <i>Yafun</i> , peach pit stool • Yoga mats of wheat straw • <i>Caliptex</i> , eucalyptus bark textile container
	MADE FROM CALCIUM CARBONATE	• Materials generated from by-products from the aquaculture and poultry industry with high calcium carbonate content. E.g. mollusc shells or eggshells.	• <i>Liquid Calcium</i> , oyster shell 3D printing paste
	MADE FROM BY-PRODUCTS OF ANIMAL ORIGIN	• Materials generated from animal by-products. For example, with gelatine, silk, wool.	• Biolumine, bioluminescence/guanine crystals
LEVEL OF MATERIAL DEVELOPMENT*	EXPLORATORY PHASE	• TRL 1 – Basic principles studied • TRL 2 – Technological concept formulated	• Concept or idea • Exploratory
	LABORATORY VALIDATION	• TRL 3 – Experimental proof of concept • TRL 4 – Laboratory-validated technology	• Laboratory validation • Minimum viable product
	FINISHED MATERIAL	• TRL 5 – Technology validated in a relevant environment	• Material validated in use
	APPLICATIONS DEVELOPMENT	• TRL 6 – PROVEN TECHNOLOGY IN A RELEVANT ENVIRONMENT	• Application development
	MATERIAL VALIDATED IN USE	• TRL 7 – Demonstration of complete system or prototype demonstrated in operational environment • TRL 8 – Complete and certified system through tests and demonstrations	• Business model
	INDUSTRIAL SCALE-UP	• TRL 9 – Real system tested in a real operational environment	• Industrial scale-up
LEVEL OF PRODUCT DEVELOPMENT*	CONCEPT OR IDEA		
	PROTOTYPE	• TRL 1 – Basic principles studied • TRL 2 – Formulated technological concept	• Exploratory
	MINIMUM VIABLE PRODUCT	• TRL 2 – Formulated technological concept • TRL 3 – Experimental proof of concept I	• Experimental samples only
	LABORATORY VALIDATED PRODUCT	• TRL 3 – Experimental proof of concept	• Testing in the Metropolitan region with good biocompatibility results is currently in the process of iteration ( <i>Savia Circular</i> , algae-based germination).
	PRODUCT VALIDATED IN USE	• TRL 4 – Laboratory-validated technology	• LABORATORY VALIDATED PRODUCT
	INDUSTRIAL SCALE-UP	• TRL 5 – Technology validated in a relevant environment • TRL 6 – Proven technology in a relevant environment	• Bio-based binder, TRL 5.  Product in the market

\*The subcategories corresponding to the level of development were determined according to the Transfer Readiness Level (TRL) model, both for materials and products produced by the consulted units.

Si bien todas las unidades declararon contar con equipos para acondicionar sus residuos, las unidades independientes y los espacios de docencia, investigación y desarrollo presentaron un porcentaje mayor en relación con el resto. Lo mismo ocurrió con los equipos domésticos y para moldeo y medición. De hecho, en la categoría de equipos de medición, los que declararon tener una mayor variedad fueron los Centros de Innovación y los Centros de Investigación en Biofabricación. Con respecto a tecnologías digitales, como era de esperar, los FabLabs presentaron una ventaja considerable en relación con el resto de las unidades. De igual manera, los Centros de Investigación en Biofabricación declararon mayoritariamente poseer equipos para el cultivo de materiales.

**¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES RESIDUOS CON LOS QUE TRABAJAN ESTAS UNIDADES Y CUÁL ES SU ORIGEN?**

Respecto del tipo de material elaborado, de un total de 90 materiales declarados por los participantes, un 71% corresponde a materiales de residuos celulósicos, un 20% a materiales con carga de carbonato de calcio y un 9% a materiales desde residuos de origen animal.

En cuanto a los 74 materiales de residuos celulósicos declarados, los principales residuos utilizados provienen de la industria forestal (35%); por ejemplo, las exploraciones de impresión 3D de pastas de aserrín desarrolladas por Spectro studio (Figura 1), seguidos por cáscaras de la industria frutícola (22%), borras y bagazos (15%).

TABLA 2: INFRAESTRUCTURA POR TIPO DE GRUPO

CATEGORÍAS SEGÚN ESTUDIO	EQUIPOS PARA ACONDICIONAR RESIDUOS	TECNOLOGÍAS DIGITALES	EQUIPOS PARA MOLDEO	EQUIPOS PARA CULTIVO DE MATERIALES	EQUIPOS DOMÉSTICOS	EQUIPOS PARA MEDICIÓN
<b>CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO</b>	18%	14%	21%	29%	-	32%
<b>CENTROS DE INVESTIGACIÓN BIOFABRICACIÓN</b>	13%	18%	13%	57%	-	32%
<b>ESPACIO DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO</b>	26%	21%	30%	-	75%	26%
<b>FABLABS</b>	13%	32%	18%	-	13%	11%
<b>INVESTIGACIÓN Y EMPRENDIMIENTO INDEPENDIENTE</b>	29%	15%	17%	14%	13%	-

TABLA 2: INFRASTRUCTURE BY GROUP TYPE

CATEGORIES ACCORDING TO STUDY	BY-PRODUCTS CONDITIONING EQUIPMENT	DIGITAL TECHNOLOGIES	MOULDING EQUIPMENT	EQUIPMENT FOR MATERIAL CULTIVATION	DOMESTIC EQUIPMENT	MEASURING EQUIPMENT
<b>RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTRES</b>	18%	14%	21%	29%	-	32%
<b>BIO-MANUFACTURING RESEARCH CENTRES</b>	13%	18%	13%	57%	-	32%
<b>SPACE FOR TEACHING, RESEARCH AND DEVELOPMENT</b>	26%	21%	30%	-	75%	26%
<b>FABLAB</b>	13%	32%	18%	-	13%	11%
<b>RESEARCH AND INDEPENDENT ENTREPRENEURSHIP</b>	29%	15%	17%	14%	13%	-

En relación con los veinte materiales de carbonato de calcio declarados, los principales residuos utilizados son la cáscara de huevo (40%) y las conchas de moluscos (45%). Por ejemplo, destacan Liquid Calcium, pasta de impresión 3D desde conchas de ostiones desarrollada por el espacio de docencia, investigación y desarrollo, Biodesign Lab (Figura 2), y *Biolúminas*, proyecto de valorización de residuos acuícolas del Centro Interdisciplinario de Materiales Sostenibles, UDD (Figura 3).

Se corrobora además, que los actores de este estudio han generado materiales con los residuos provenientes de las industrias presentadas previamente; sin embargo, al desglosar el tipo de materiales que se trabajan en regiones, se aprecian algunas diferencias. En la región de Valparaíso todas las unidades han trabajado con residuos celulósicos forestales, como el aserrín; y con residuos de la industria agrofrutícola, como cáscaras de nuez, orujo de uva y otros. Llama la atención también el uso de residuos de las actividades propias de la zona, al aprovechar las potencialidades de las algas locales y de los moluscos provenientes del comercio local. En la región del Biobío la relación es directa entre la producción local de la industria forestal y gran cantidad de los materiales desarrollados. Mientras en la región de Magallanes, si bien tiene una alta producción acuícola (moluscos bivalvos

y peces), se aprecia un enfoque hacia la exploración y desarrollo de materiales con recursos generados en la pequeña industria local, por ejemplo, el calafate, fruto propio de la zona, actualmente utilizado para producir mermeladas, jarabes y licores. El residuo obtenido de esta producción es la borra del calafate. De igual manera se han desarrollado materiales con residuos de posconsumo domiciliario, tales como la hierba mate.

#### ¿CUÁL ES EL NIVEL DE DESARROLLO DE LOS MATERIALES ELABORADOS POR LAS UNIDADES ESTUDIADAS?

Para determinar el nivel de desarrollo de los materiales y los productos se usó el modelo Transfer Readiness Level (TRL), que determina el grado de madurez de las tecnologías (NASA, 2023).

De los materiales declarados por los actores nacionales y su nivel de desarrollo prima la validación a nivel de laboratorio, seguido por los materiales terminados y el desarrollo a nivel exploratorio. Todos los niveles de materiales mencionados se relacionan con espacios de docencia, investigación y desarrollo, como se puede observar en la Figura 4. Cabe destacar que la validación en uso del material, el desarrollo de aplicaciones y el escalamiento industrial son los niveles de desarrollo logrados en menor cantidad por los actores participantes en este estudio.

#### CHARACTERISATION OF BIO-BASED MATERIALS INITIATIVES IN CHILE

##### *What kind of technologies are biomaterialists working with in Chile?*

To determine the type of equipment used by the studied units, the participants' responses were classified into the following six categories: by-products conditioning, digital technologies, moulding, material cultivation, domestic and measuring (Table 2).

While all units reported having equipment to manage their by-products, the independent units and the teaching, research, and development spaces had a higher percentage than the rest. The same was true for domestic, moulding and measuring equipment. In fact, the Innovation Centres and Bio-manufacturing Research Centres reported the greatest variety in the measuring equipment category. As expected, FabLabs had a considerable advantage over the rest of the units regarding digital technologies. Similarly, most of the Biomanufacturing Research Centres reported having equipment to grow materials.

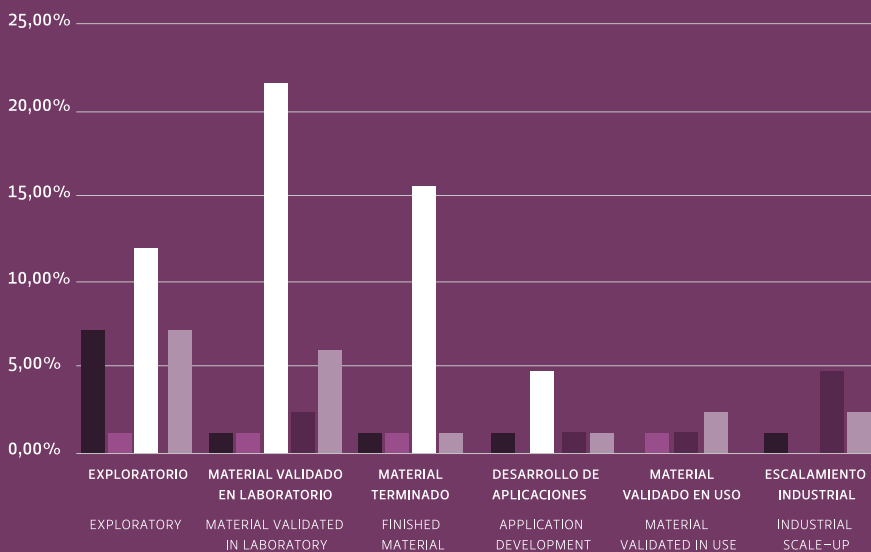
#### WHICH ARE THE PRIMARY BY-PRODUCTS THESE UNITS DEAL WITH AND WHAT IS THEIR ORIGIN?

Regarding the type of material produced, out of 90 materials declared by the participants, 71% corresponds to materials from cellulosic by-products, 20% to materials with calcium carbonate and 9% to materials from animals.

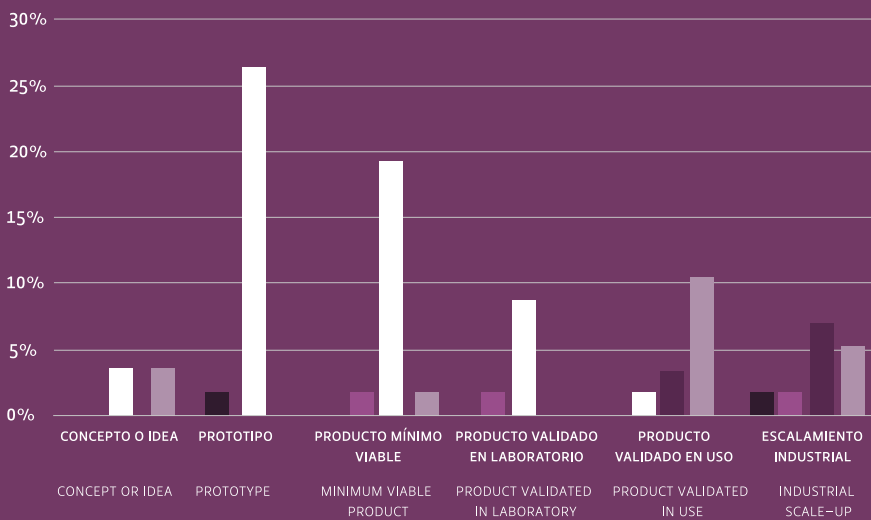
Regarding the 74 materials developed from cellulosic by-products, the main by-products used comes from the forestry industry (35%), e.g., 3D printed explorations of sawdust pulp developed by Spectro studio (Figure 1), followed by peels from the fruit industry (22%), husks and bagasse (15%).

The main by-products for the 20 calcium carbonate materials reported are eggshells (40%) and mollusc shells (45%). For example, Liquid Calcium, a 3D printing paste from oyster shells developed by the teaching, research and development space, Biodesign Lab (Figure 2), and *Biolúminas*, an aquaculture by-products valorisation project of the Interdisciplinary Centre for Sustainable Materials, UDD (Figure 3), stands out.

NIVEL DE DESARROLLO DEL MATERIAL / MATERIAL DEVELOPMENT LEVEL

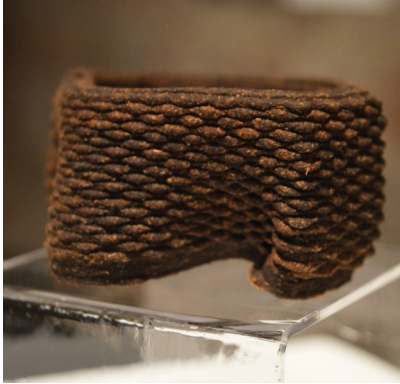


NIVEL DE DESARROLLO DEL PRODUCTO / PRODUCT DEVELOPMENT LEVEL



- CENTROS DE INNOVACIÓN / INNOVATION CENTRES
- CENTROS DE INVESTIGACIÓN EN BIOFABRICACIÓN / BIOMANUFACTURING RESEARCH CENTRES
- ESPACIO DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO / TEACHING, RESEARCH, AND DEVELOPMENT SPACES
- FaBLabs / Fab Labs
- INVESTIGACIÓN Y EMPRENDIMIENTO INDEPENDIENTE / RESEARCH AND INDEPENDENT ENTREPRENEURSHIPS

Fig. 4 y 5.



<b>FIGURA 1</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	Spectro studio
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Objeto / Object
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Pasta de aserrín / Sawdust paste
<b>TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN MANUFACTURING TECHNOLOGY</b>	Impresión 3D / 3D printing



<b>FIGURA 2</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	Biodesign Lab
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Liquid Calcium pasta de impresión 3D
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Conchas de ostiones / Oyster shells
<b>TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN MANUFACTURING TECHNOLOGY</b>	Impresión 3D / 3D printing



<b>FIGURA 3</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	Centro Interdisciplinario de Materiales Sostenibles, Universidad del Desarrollo
<b>AUTOR / AUTHOR</b>	Valentina Clavel
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Lentejuelas Biolumínicas / Bioluminescent sequins
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Escamas de salmón / Salmon scales



<b>FIGURA 6A</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	Taller Percán, Concepción
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Tacita Fungi / Fungi Small cup
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Micelio y aserrín de maderas locales / Mycelium and sawdust from local woods
<b>NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT</b>	Disponible en el mercado / Available on the market



<b>FIGURA 6B</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	Manifiesto
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Contenedor de crema de maní / Peanut butter container
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Micelio y cáscara de maní
<b>NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT</b>	Disponible en el mercado / Available on the market



<b>FIGURA 7A</b>	
<b>CENTRO / CENTRE</b>	BioLab FAU
<b>AUTOR / AUTHOR</b>	Belén Lagos
<b>PROYECTO / PROJECT</b>	Bioru
<b>RESIDUO BY-PRODUCT</b>	Orujo de uva / Grape pomace
<b>NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT</b>	Prototipo / Prototype



FIGURA 7B

CENTRO / CENTRE	BioLab FAU
AUTOR / AUTHOR	Lorena Muñoz
PROYECTO / PROJECT	Taburete Yafün / Yafün stool
RESIDUO BY-PRODUCT	Carozos de durazno / Peach pits
NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT	Prototipo / Prototype



FIGURA 7C

CENTRO / CENTRE	BioLab FAU
AUTOR / AUTHOR	Yessenia Solís
PROYECTO / PROJECT	Mats de yoga / Yoga mats
RESIDUO BY-PRODUCT	Paja de trigo / Wheat straw
NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT	Prototipo / Prototype



FIGURA 7D

CENTRO / CENTRE	BioLab FAU
AUTOR / AUTHOR	Nicolás Vidal
PROYECTO / PROJECT	Packaging de cerveza Bagazero / Bagazero beer packaging
RESIDUO BY-PRODUCT	Bagazo de malta / Malt bagasse
NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT	Prototipo / Prototype



FIGURA 7E

CENTRO / CENTRE	BioLab FAU
AUTOR / AUTHOR	Vania Uribe, Sofía Cáceres, Mauro Saravia, Claudia Moreno
PROYECTO / PROJECT	Mochila Caliptex / Caliptex Backpack
RESIDUO BY-PRODUCT	Corteza de Eucalyptus / Eucalyptus bark
NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT	Prototipo / Prototype



FIGURA 8

CENTRO / CENTRE	ProteinLab + Innova Lab, UTEM
PROYECTO / PROJECT	Vestido iluminado Smart Textile / Smart Textile Illuminated Dress
RESIDUO BY-PRODUCT	Cáscara de huevo, zanahoria y naranja / Eggshell, carrot and orange
NIVEL DE DESARROLLO LEVEL OF DEVELOPMENT	Prototipo validado / Validated prototype



FIGURA 9

PROYECTO / PROJECT	Collar Ancestra / Ancestra Necklace
RESIDUO BY-PRODUCT	Borra del calafate / Calafate scum

### ¿QUÉ PRODUCTOS SE DESARROLLAN A PARTIR DE LA MATERIALIDAD RESULTANTE Y CUÁL ES SU NIVEL DE DESARROLLO?

Se observa que el nivel de desarrollo con mayor éxito son los resultados en productos fabricados a partir de los materiales biobasados, principalmente el desarrollo de prototipos, seguido de producto mínimo viable, validado en uso y en laboratorio. Se aprecia también que los grupos que alcanzan los niveles de desarrollo más altos son los espacios de docencia, investigación y desarrollo independientes. Estos últimos, junto con los Fablabs, son los que logran un incipiente escalamiento industrial (Figura 5). Por ejemplo, Tacita Fungi y Manifiesto, que fueron desarrollados con micelio y residuos celulósicos, ya están disponibles en el mercado (Figuras 6a y 6b). También destacan los prototipos de productos desarrollados en BioLab FAU (Figuras 7a, b, c, d y e). Un ejemplo

The actors involved in this study have produced materials using by-products from the previously mentioned industries. However, some remarkable differences emerge upon analysing the materials used in different regions. In the Valparaíso region, all the units have worked with cellulosic by-products from the forestry industry, such as sawdust and by-products from the agro-fruit industry, such as nut shells, grape pomace, and others. Also, it is worth to mention the use of by-products from local activities, taking advantage of the potential of local seaweed and molluscs from the local trade. In the Biobío region, a direct relationship was found between local forest industry production and the significant number of materials developed. The Magallanes region is known for its substantial aquaculture production, which includes bivalve molluscs and fish. However, there is also an emphasis on exploring and developing materials derived from resources generated by small local industries. One remarkable example is Calafate, a fruit native to the area used to make jams, syrups, and liqueurs. The by-product obtained from this production is Calafate husk. Similarly, gourd herbs have been developed with post-consumer household by-products from mate herbs.

### WHAT IS THE LEVEL OF DEVELOPMENT OF THE MATERIALS PRODUCED BY THE UNITS BEING STUDIED?

The Transfer Readiness Level (TRL) model, which evaluates the maturity of technologies (NASA, 2023), was utilized to determine the level of development of the materials and products.

Among the materials reported by national actors, laboratory-level validation is the most crucial, followed by finished materials and exploratory-level development. All the above levels of materials relate to teaching, research, and

de producto validado en uso es *Smart Textile*, proyecto interdisciplinario y experimental que vincula el mundo análogo y digital mediante el diseño de vestuario, la aplicación de materiales biobasados, la electrónica embebida y la fabricación digital. La colección se compone de tres prendas: un vestido, un bolso y un visor. Todas integran materiales a partir de cáscara de zanahoria, naranja y huevo. El proyecto fue desarrollado por ProteinLab + Innova Lab UTEM (Figura 8).

Cabe mencionar que, en este estudio, la gran mayoría de los materiales identificados tiene como resultados aproximaciones exploratorias en las que se ponen en valor sus cualidades perceptuales. Tal es el caso de Ancestra, cuya exploración material se centra en joyería a partir de la borra del calafate, la cual transmite la esencia de su materia prima (Figura 9).

development spaces, as seen in Figure 4. It is important to note that validation of material use, application development, and industrial scale-up have been achieved to a lesser extent by the participants in this study.

### WHAT PRODUCTS ARE DEVELOPED FROM THE RESULTING MATERIALITY, AND WHAT IS THEIR LEVEL OF DEVELOPMENT?

Successful product development primarily involves bio-based materials, starting with prototype development and progressing to a minimum viable product validated in use and the laboratory. It can also be seen that the groups that reach the highest levels of development are the teaching, research, and development areas, as well as independent research and entrepreneurship units. The latter and the Fablabs achieve incipient industrial scale-up (Figure 5). For example, Tacita Fungi and Manifiesto, which were developed with mycelium and cellulosic by-products, are already available on the market (Figures 6a and 6b). Also noteworthy are the prototype products developed at BioLab FAU (Figures 7a, b, c, d, and e).

An example of a validated product in use is *Smart Textile*. This interdisciplinary and experimental project links the analogue and digital worlds through costume design, the application of bio-based materials, embedded electronics and digital fabrication. The collection consists of three garments: a dress, a bag, and a visor. All integrate materials from carrots, oranges, and eggshells. The project was developed by ProteinLab + Innova Lab UTEM (Figures 8 a and b).

It is important to note that most materials identified in this study are explored in ways that highlight their perceptual qualities. One example is Ancestra, which focuses on jewellery made from Calafate flock, effectively conveying the essence of its raw material (Figure 9).

## CONCLUSIONES

Con los datos obtenidos en este estudio es posible observar que existe la capacidad de generar nuevos materiales biobasados desde residuos y productos innovadores para lograr su inserción en el mercado, propiciando la tan necesaria valorización con miras a una economía circular nacional.

Los materiales y productos declarados por cada unidad consultada muestran un nivel de desarrollo variable, acorde al perfil de cada una. Se aprecia, además, coherencia entre sus capacidades tecnológicas, los tipos de residuos más usados y el nivel de desarrollo logrado. A través de la exploración de los materiales, algunos casos exitosos logran, además de la validación del material, el desarrollo de aplicaciones y productos de alto valor agregado. Se aprecia en varios casos exitosos que cada iniciativa se ejecuta buscando aportar desde su espacio en pos de una colaboración y crecimiento local.

## CONCLUSIONS

This study demonstrates the potential to create new bio-based materials and innovative products from by-products. This approach not only promotes the necessary up cycling of these materials but also supports the development of a national circular economy, facilitating their integration into the market, and promoting the much-needed transition towards a national circular economy.

The materials and products reported by each consulted unit exhibit varying levels of development, reflecting the unique profile of each unit. Additionally, there is a clear relationship between their technological capabilities, the types of by-products they utilise, and the level of development they have attained.

By exploring various materials, some successful cases validate the material and develop high-value applications and products. It is evident in these successful cases that each initiative aims to foster collaboration and promote local growth within its respective field.

En este estudio, si bien se observa una relación directa entre los residuos generados a gran escala por las industrias de cada zona y los materiales desarrollados por los actores estudiados, se aprecian algunas excepciones dignas de destacar. Entre estas se cuentan el uso de residuos de posconsumo domiciliario y de residuos propios de la pequeña industria local. Estas excepciones proyectan una visión mucho más cercana al medio y cultura de la zona.

Por ello se considera vital la concepción de una colaboración desde las capacidades propias de cada unidad, desde los recursos como el medio tecnológico que permiten a cada espacio generar diversas exploraciones, desarrollos y aplicaciones a partir de los materiales procesados, y desde la difusión y promoción de los materiales explorados y los productos de diseño creados.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los treinta y dos espacios y actores estudiados, quienes amablemente fueron parte de este estudio. ⑤

This study reveals a direct relationship between the large-scale by-products generated by industries in each area and the materials developed by the subjects involved. However, there are noteworthy exceptions to this trend. These exceptions include post-consumer household by-products and by-products from local small-scale industries. Such practices offer a perspective that aligns more closely with the local environment and culture.

It is essential to foster collaboration that considers each unit's unique capabilities. This includes utilising technological resources that enable varied explorations, developments and applications based on the processed materials. Effective dissemination and promotion of the explored materials and the designed products are also crucial.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors appreciate the collaboration of the 32 spaces and participants who were kindly involved in this study. ⑤

# Biomaterialistas en Chile

## Tipo de industria

Estas son las principales industrias que generan residuos adecuados para manufacturar nuevos materiales.

### Industria conservera



**+80.000**

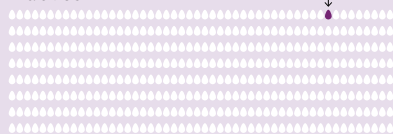
Toneladas de residuos sólidos orgánicos

Principales residuos cáscaras y carozos

### Industria avícola

**400.000**

Huevos



Producción al mes

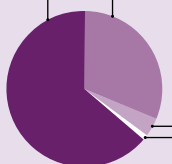
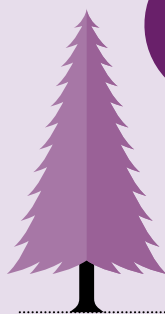
### Industria Forestal

**64%**  
Silvicultura

**31%**  
Aserrado

**4%**  
Tableros

**1%**  
Celulosa y papel



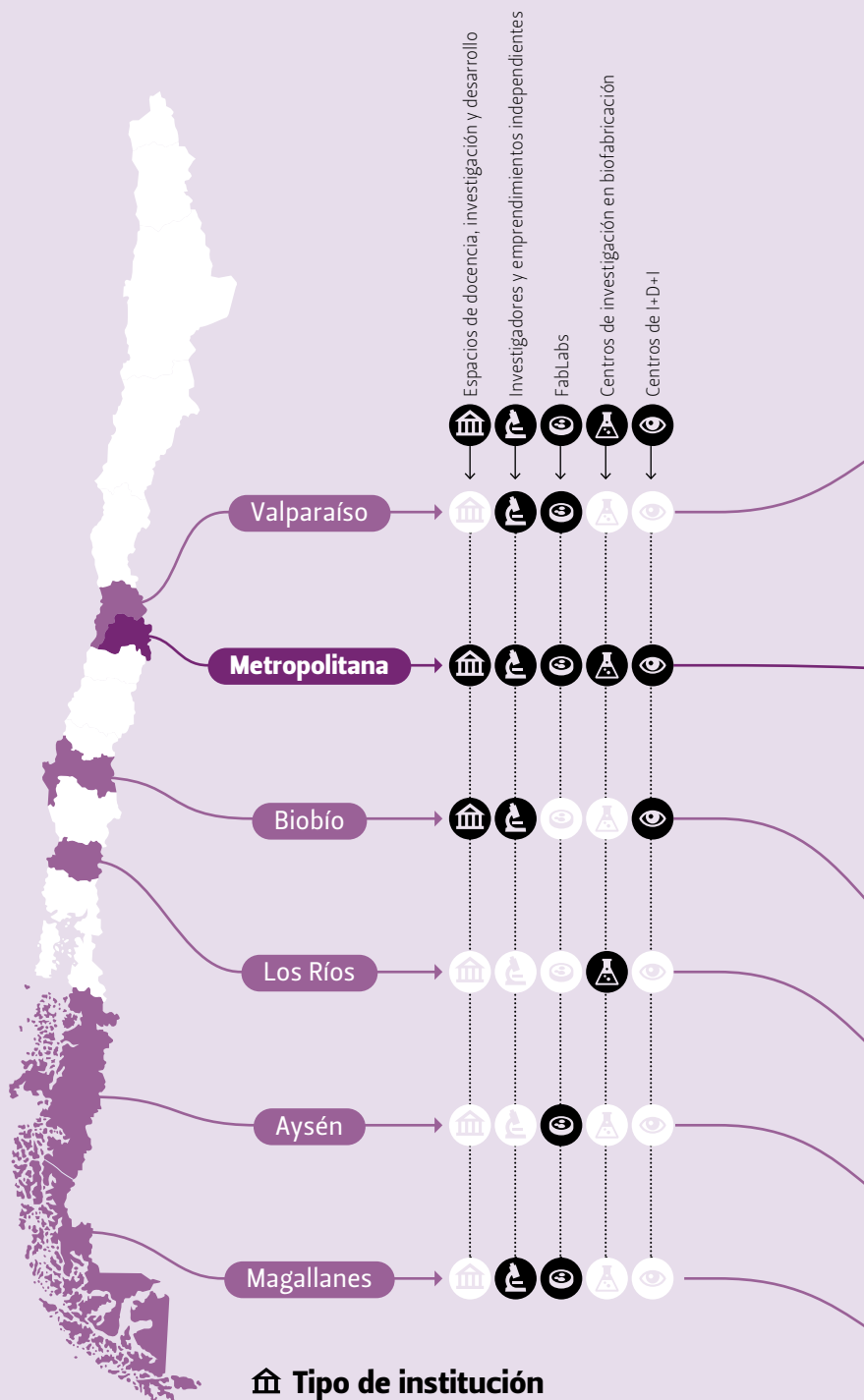
Residuos: corteza, astillas, despuntes, aserrín y virutas.  
\*Residuos celulósicos

### Industria acuícola

Altos en carbonato de calcio  
Residuos de origen animal

**70%**  
Moluscos bivalvos

**30%**  
Peces



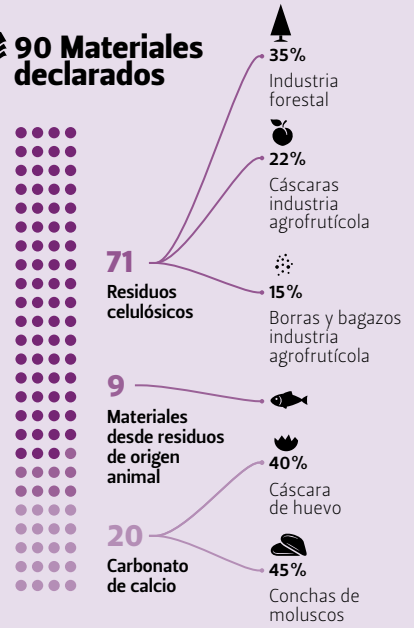
## Tipo de institución

De los 32 participantes, se muestra la distribución geográfica (por región) y el tipo de espacio.

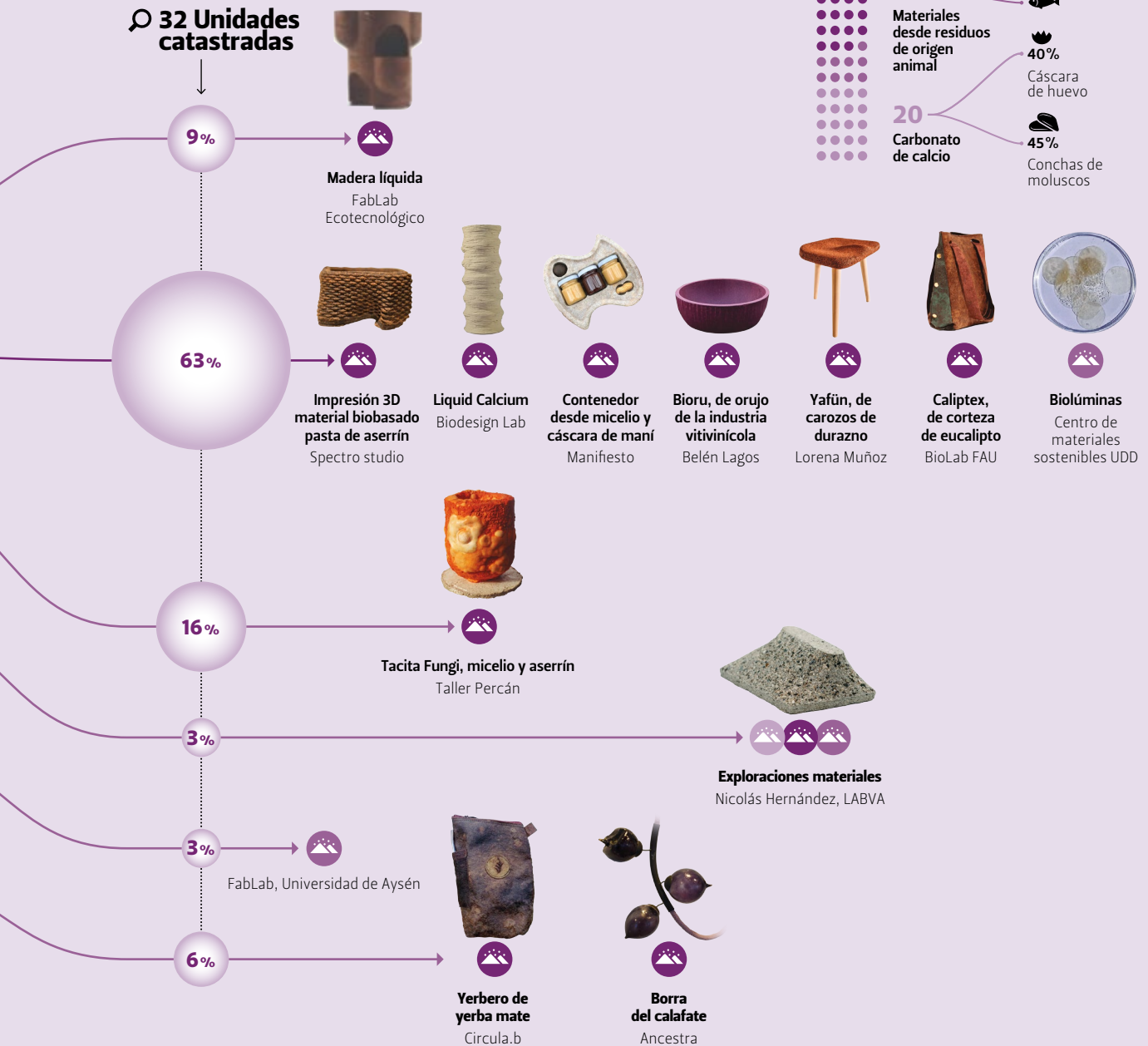
## Tipo de residuos

- Celulósicos
  - Industria forestal
  - Cáscaras, industria agrofrutícola
  - Borrás y bagazos, industria agrofrutícola
- Origen animal
  - Residuos de peces
- Altos en carbonato de calcio
  - Cáscara de huevo
  - Conchas de moluscos

## 90 Materiales declarados



## 32 Unidades catastradas



**ANDREA WECHSLER PIZARRO<sup>1</sup>**

DISEÑADORA INDUSTRIAL (UBB) Y DOCTORA EN AMBIENTES CONSTRUIDOS (UNSW). ES PROFESORA INVESTIGADORA DE LA FACULTAD DE DISEÑO, UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO, Y COORDINADORA DE BIORED IBEROAMÉRICA DEL PROGRAMA CYTED. HA DIRIGIDO MÁS DE CIENTO CURSOS DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO, DISEÑO DE MATERIALES, DISEÑO SUSTENTABLE Y PROYECTOS DE PRE Y POSGRADO TANTO NACIONAL COMO INTERNACIONAL. HA LEVANTADO FINANCIAMIENTO DESDE FONDOS NACIONALES E INTERNACIONALES DE INVESTIGACIÓN APLICADA. ENTRE SUS ÁREAS DE TRABAJO SE CUENTAN DISEÑO SUSTENTABLE Y NUEVOS MATERIALES BIOBASADOS.

INDUSTRIAL DESIGNER AND PHD BUILT ENVIRONMENT (UNSW). RESEARCH PROFESSOR AT THE SCHOOL OF DESIGN OF UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO AND COORDINATOR OF BIORED IBEROAMÉRICA OF THE CYTED PROGRAM. SHE HAS DIRECTED OVER ONE HUNDRED RESEARCH COURSES IN DESIGN, MATERIALS DESIGN, SUSTAINABLE DESIGN, UNDERGRADUATE AND GRADUATE PROJECTS NATIONALLY AND INTERNATIONALLY. DURING HER RESEARCH EXPERIENCE, SHE HAS RAISED FUNDING FROM NATIONAL AND INTERNATIONAL APPLIED RESEARCH FUNDS. HER AREAS OF WORK INCLUDE SUSTAINABLE DESIGN AND NEW BIO-BASED MATERIALS.

**YESENIA BRIONES CASTRO<sup>1,2</sup>**

DISEÑADORA INDUSTRIAL (UCH). DOCENTE Y CO-GUÍA DE PROYECTOS DE LA LÍNEA DE MATERIALES, MANUFACTURA Y APLICACIONES DEL DEPARTAMENTO DE DISEÑO (FAU UCH). CODIRECTORA DEL LABORATORIO DE MATERIALES BIOBASADOS (BIOLAB FAU) DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE E INVESTIGADORA DE LA BIORED IBEROAMÉRICA DEL PROGRAMA CYTED. ASESORA DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN I+D E INVESTIGADORA DEL GRUPO DE NUEVOS MATERIALES DEL C+ (UDD).

INDUSTRIAL DESIGNER (UCH). LECTURER AND CO-GUIDE OF PROJECTS IN TOPICS OF SUSTAINABILITY, MATERIALS, MANUFACTURING AND APPLICATIONS IN DESIGN (FAU UCH). CO-DIRECTOR OF THE BIOBASED MATERIALS LABORATORY (BIOLAB FAU) OF UNIVERSIDAD DE CHILE AND RESEARCHER OF THE BIORED IBEROAMÉRICA OF THE CYTED PROGRAM. ADVISOR OF R&D RESEARCH PROJECTS AND RESEARCHER OF THE NEW MATERIALS GROUP OF THE C+ CENTRE (UDD).

**PABLO E. DOMÍNGUEZ GONZÁLEZ<sup>1</sup>**

INGENIERO EN MECÁNICA (UTEM) Y MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DEL DISEÑO (UAB). CODIRECTOR DEL LABORATORIO DE MATERIALES BIOBASADOS FAU (BIOLAB FAU). PROFESOR ASISTENTE DEL DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE E INVESTIGADOR DE LA BIORED IBEROAMÉRICA DEL PROGRAMA CYTED. MIEMBRO DEL LABORATORIO DE PLANIFICACIÓN DE NEUROLOGÍA, NEUROLAB 3D, DEL INSTITUTO DE NEUROLOGÍA ALFONSO ASENJO GÓMEZ (INCA).

MECHANICAL ENGINEER (UTEM) AND MASTER IN DESIGN TECHNOLOGIES (UAB). CO-DIRECTOR OF THE LABORATORY OF BIO-BASED MATERIALS FAU (BIOLAB FAU). ASSISTANT PROFESSOR OF THE DEPARTMENT OF DESIGN AT UNIVERSIDAD DE CHILE AND RESEARCHER OF THE BIORED IBEROAMÉRICA OF THE CYTED PROGRAM. MEMBER OF THE NEUROLOGY PLANNING LABORATORY, NEUROLAB 3D, OF THE NEUROLOGY INSTITUTE ALFONSO ASENJO GÓMEZ (INCA).

**PAOLA BENAVIDES BERMÚDEZ<sup>1</sup>**

DOCTORA EN CIENCIA DE LOS MATERIALES (UCH) E INGENIERA CIVIL MECÁNICA (PUCV). PROFESORA ASISTENTE (UAI Y FAU UCH) EN LÍNEA DE FABRICACIÓN Y MATERIALES EN PRE Y POSGRADO EN EL MAGÍSTER DE INNOVACIÓN Y DISEÑO Y EN EL MAGÍSTER EN CIENCIAS DEL DISEÑO, INVESTIGADORA EN BIORED IBEROAMÉRICA DEL PROGRAMA CYTED. SUS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SON: DESARROLLO DE MATERIALES SOSTENIBLES, NUEVOS MATERIALES BIOBASADOS Y MANUFACTURA DIGITAL.

PHD IN MATERIALS SCIENCE (UCH) AND MECHANICAL CIVIL ENGINEER (PUCV). ASSISTANT PROFESSOR (UAI) IN MANUFACTURING AND MATERIALS IN UNDERGRADUATE AND GRADUATE COURSES IN THE MASTER OF INNOVATION AND DESIGN AND IN THE MASTER IN DESIGN SCIENCES. RESEARCHER IN BIORED IBEROAMÉRICA OF THE CYTED PROGRAM. HER RESEARCH INTERESTS ARE DEVELOPING SUSTAINABLE MATERIALS, BIO-BASED MATERIALS AND DIGITAL MANUFACTURING.

<sup>1</sup>FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO,  
FACULTY OF ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING  
UNIVERSIDAD DE CHILE

<sup>2</sup>CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS PARA LA SOCIEDAD,  
CENTRE FOR RESEARCH IN TECHNOLOGIES FOR SOCIETY, SCHOOL OF ENGINEERING  
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO

## REFERENCIAS / REFERENCES

- Álvarez, E., Díaz, S., & Alessandrini, M. (2001). Utilización racional de los residuos forestales. *Revista Unasylva*, 206(52). FAO. <http://www.fao.org/docrep/003/y1237s/y1237s00.htm>
- Araújo, R., & Franco, M. (2021). The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127975. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127975>
- Askew, M., & Holmes, C. (2002). The potential for biomass and energy crops in agriculture in Europe, in land use, policy and rural economy terms. *Thunbridge Wells, U.K.*, 104(1247).
- Biggs, A., Briceño, S., Cino, A., Emhart, C., Florenzano, A. M. S., Pizarro, R., & Sepúlveda, M. B. (2017). *Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables*. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905\\_PNCPS.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905_PNCPS.pdf)
- Chilehuevos. (2024). *Boletín Chilehuevos I. Producción*. <https://www.chilehuevos.cl/storage/boletines/BoletínChilehuevos-Mayo2024.pdf>
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2000). *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, rubro aserraderos y procesos de madera*. [http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articulos-39920\\_recurso\\_1.pdf](http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articulos-39920_recurso_1.pdf)
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). (2015). *Aportes a la economía: Exportaciones*. <http://www.corma.cl/perfil-del-sector/aportes-a-la-economia>
- Instituto Forestal (INFOR). (2016). *Anuario Forestal 2016*.
- Kambis, A. D., & Levine, J. S. (1996). Biomass and the production of carbon dioxide: A numerical study. In J. S. Levine (Ed.), *Biomass burning and global change* (Vol. 1, pp. 170–177).
- Lemieux, P. M., Lutes, C. C., & Santoianni, D. A. (2004). Emissions of organic air toxics from open burning: A comprehensive review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2003.08.001>
- Ministerio del Medio Ambiente (MMA) Chile. (2021). *Hoja de ruta para un Chile Circular al 2040*. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/chi211134.pdf>
- Molina, J. (2016). *Desarrollo de un material compuesto basado en carozo de durazno y polipropileno para aplicaciones constructivas* [Tesis de grado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143144>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2023). *Technology Readiness Level*. [https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology\\_readiness\\_level](https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/technology_readiness_level)
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). (2016). *Superficie plantada nacional, regional, número de huertos e infraestructura frutícola*. <http://www.odepa.cl/estadisticas/productivas/>
- Parodi, D. (2016). *Desarrollo de un material compuesto biodegradable a partir de la utilización del residuo cáscara de nuez* [Tesis de grado, Universidad de Chile].
- Ramos, M., Pérez, J., Dumbay, C., Robinson, J., Florenzano, A., & Salvo, R. (2021). *Diagnóstico sectorial, Acuerdo de producción limpia: "Transición hacia una Economía Circular"*. <https://accionempresas.cl/content/uploads/informe-de-diagnostico-sectorial-apl-transicion-hacia-la-economia-circular-accion-empresas>
- Reyes, L. (2013). *Cuantificación y aprovechamiento de residuos de proceso de aserrío del Parque Industrial, Ixtlán de Juárez, Oaxaca* [Tesis de grado, Universidad de La Sierra Juárez].
- Rubik & Ministerio del Medio Ambiente (MMA) Chile. (2019). *Economía Circular en Chile: Informe Final*. [https://www.paiscircular.cl/wp-content/uploads/2019/08/Econom%C3%ADa-Circular\\_-\\_Informe-1.pdf](https://www.paiscircular.cl/wp-content/uploads/2019/08/Econom%C3%ADa-Circular_-_Informe-1.pdf)
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). (2023). *Informe ambiental de la acuicultura*. Período 2021–2022. [http://www.subpesca.cl/publicaciones/606/articulos-60013\\_recurso\\_1.pdf](http://www.subpesca.cl/publicaciones/606/articulos-60013_recurso_1.pdf)
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA). (2024). *Introducción a la Acuicultura*. [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905\\_PNCPS.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/20160905_PNCPS.pdf)
- Wechsler, A., Molina, J., Cayumil, R., Núñez Decap, M., & Ballerini-Arroyo, A. (2019). Some properties of composite panels manufactured from peach (*Prunus persica*) pits and polypropylene. *Composites Part B: Engineering*, 175. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107152>
- Wechsler, A., Briones, Y., & Domínguez, P. (2024). Nuevos materiales y la simbiosis creativa en el diseño en Chile. In E. Giorgi & M. Vicuña (Eds.), *Intersections – Interdisciplinary Research on Architecture, Design, City and Territory*. Scales, Agencies and Territories in Latin America (Geographies). Springer. [https://doi.org/Printed ISSN 2194–315X](https://doi.org/Printed%20ISSN%202194-315X)
- Wechsler, A., & Briones, Y. (2023). Nuevos recursos metodológicos para el desarrollo de materiales desde y para el diseño. *Cuaderno*, 203, 71–79. [https://doi.org/ISSN 1668–0227](https://doi.org/ISSN%201668-0227)