

03-023

INVENTIVE TO GENERATE INNOVATION IN TRADITIONAL PRODUCTION PROCESSES. A CASE ANALYSIS BASED ON AXIOMATIC DESIGN THEORY

Bermeo-Andrade, Helga ⁽¹⁾; Moreno-Henao, Jhusty ⁽¹⁾; Cubillos, Alfonso ⁽²⁾

⁽¹⁾ Universidad de Ibagué, ⁽²⁾ Agrosavia

Production processes that transform agricultural raw materials and rely on tradition are usually present in rural communities, where technique and good practices to achieve product quality and sustainability are limited. In these communities, the application of modern engineering tools is required to transform their process practices without losing the traditional and indigenous value of their products. This article presents the case of the productive process developed by indigenous communities in the central region of Colombia, for the transformation of fresh leaves of plants genus 'musa', which after post-harvest, are marketed as traditional food biopacks. With the support of the axiomatic design theory, the functional requirements (FR) and the design parameters (DP) were established for the development of a prototype that would improve the problems present in the stage of softening leaves in postharvest. The final result was an eco-efficient and ergonomic equipment for softening leaves, deserving of an invention patent in Colombia, which in addition to transforming the production process, contributed to the quality of the product, the health of the producers and reducing the environmental impact of the process.

Keywords: process innovation; axiomatic design; biopacking, ecoefficiency

INVENTIVA PARA GENERAR INNOVACIÓN EN PROCESOS PRODUCTIVOS TRADICIONALES. UN ANÁLISIS DE CASO BASADO EN LA TEORÍA DEL DISEÑO AXIOMÁTICO

Los procesos productivos que transforman materias primas agrícolas y se apoyan en la tradición, suelen estar presentes en las comunidades rurales, donde la técnica y las buenas prácticas para lograr sostenibilidad y calidad de producto son limitadas. En estas comunidades se precisa la aplicación de herramientas modernas de ingeniería para transformar sus prácticas de proceso sin perder el valor tradicional y autóctono de sus productos. Este artículo presenta el caso del proceso productivo que desarrollan comunidades indígenas de la región centro de Colombia, para la transformación de hojas frescas de plantas del género 'musa', que luego de su poscosecha, se comercializan como bioempaques de alimentos tradicionales. Con el apoyo de la teoría de diseño axiomático se establecieron los requisitos funcionales (RF) y los parámetros de diseño (PD) para el desarrollo de un prototipo que mejorara las problemáticas presentes en la labor de soasado de las hojas en la poscosecha. El resultado final fue un equipo de soasado de hojas, ecoeficiente y ergonómico, merecedor de patente de invención en Colombia, que además de transformar el proceso productivo, aportó a la calidad del producto, a la salud de los productores y a la reducción del impacto ambiental del proceso.

Palabras clave: innovación en proceso; diseño axiomático; bioempaque, ecoeficiencia

Correspondencia: Helga Bermeo Andrade helga.bermeo@unibague.edu.co



©2020 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los procesos productivos tradicionales (PPT) representan en la zona andina de Colombia un eslabón de gran importancia para el sector agropecuario por su participación económica y social. No obstante, en los PPT hay una necesidad de transitar hacia técnicas y tecnologías más sostenibles, que mejoren no sólo la calidad de producto y de procesos, también la calidad de vida de las comunidades que se dedican a estas actividades económicas y productivas (Meynard et al., 2017). Lo anterior, supone un reto a la investigación en sistemas agropecuarios para fomentar la aplicación de nuevos enfoques de diseño e innovación para afrontar los desafíos contemporáneos que enfrenta la agricultura para cumplir con las expectativas sociales y las necesidades de las agrocadenas cada vez más globalizadas y competitivas (King et al., 2017; Prost et al., 2018).

A pesar de ello, pocos enfoques nuevos del diseño se han direccionado para dar soluciones innovadoras a los PPT (Berthet et al., 2018). Uno de ellos se visualiza en el diseño axiomático como una posibilidad para aproximarse a las realidades y dar soluciones innovadoras en los PPT. Lo anterior, se justifica porque el diseño axiomático debido a su carácter sistemático es adecuado para buscar soluciones desde abajo hacia arriba, en otras palabras soluciones funcionales, sostenibles, útiles y reales, orientadas por las necesidades de los productores (Foith-Förster et al., 2016; Qu et al., 2016). A continuación, se presenta el resultado de investigación del estudio de caso que utilizó el modelo del diseño axiomático para construir un prototipo usado en un PPT. El artículo está construido por una revisión de literatura del diseño y el diseño axiomático, seguido del estudio de caso y la aplicación del diseño axiomático para el equipo ecoeficiente y ergonómico.

2. Revisión de Literatura

2.1 El Diseño como Factor de Innovación

El diseño se plantea como una estrategia para afrontar los retos de los PPT, por ser considerada una herramienta clave para buscar alternativas innovadoras a necesidades y problemas relacionadas con la productividad, competitividad, sostenibilidad y uso de nuevas tecnologías, entre otras, que surgen en medio de los procesos productivos propios de empresas, instituciones u organizaciones sociales, incluidas entre estas últimas, las comunidades locales (Ceschin & Gaziulusoy, 2016; Meroni & Bala, 2007; Robayo Acuña, 2016)

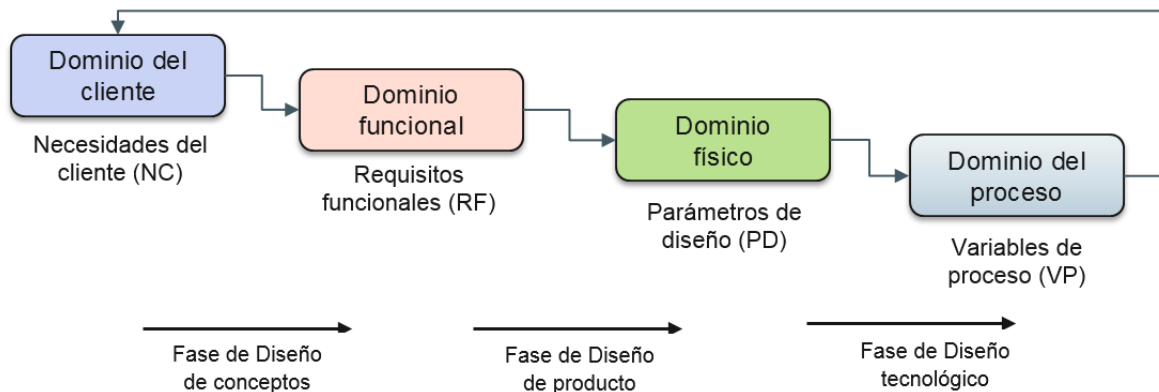
El diseño a lo largo de sus múltiples conceptos y dominios comparte tres atributos: 'La palabra diseño se refiere a un proceso; el proceso está orientado a objetivos y el objetivo del diseño es resolver problemas, satisfacer necesidades, mejorar situaciones o crear algo nuevo o útil' (Friedman, 2003, p. 508). En el contexto empresarial, el diseño se considera un agente proveedor de conocimiento para generar innovación (Bertola & Teixeira, 2003; Hernández et al., 2018; Xiao et al., 2012), así como un factor diferenciador de procesos y productos. (Crilly & Morosanu, 2019). El diseño también obedece a una labor multidisciplinar que atiende problemas contemporáneos (Cash, 2020; Chen et al., 2015; Rauch et al., 2016) que se apoya en diversos modelos para apoyar la innovación en producto, proceso, comercial y organización como se evidencian en el Manual de Oslo (OCDE, 2018).

2.2 Teoría del Diseño Axiomático

Suh (1990) fue el primer diseñador en proponer los axiomas como una teoría que sintetiza diseños creativos y toma de decisiones correctas para la fabricación de productos en el menor tiempo posible y a partir de una base científica sistemática. Esta teoría fundamenta el modelo

del diseño axiomático (DA) que busca la creación de soluciones para satisfacer necesidades percibidas, a través del mapeo y la descomposición de los detalles del diseño entre los requisitos funcionales (RF) y los parámetros de diseño (PD) para encontrar soluciones novedosas a una situación problema. Algunos de los casos prácticos abordados y documentados en este sentido, se reportan en Benavides (2012), Kulak et al. (2010), Lu et al. (2016), Rauch et al., (2016). El diseño desde esta perspectiva axiomática plantea una jerarquía que establece predecesores y descendientes en los objetos de diseño. La jerarquía del diseño axiomático se clasifica en cuatro dominios (Suh, 2007), como lo sugiere la figura 1.

Figura 1. Interacción y jerarquía entre los cuatro dominios del AD



Fuente: Adaptado de Lu (2016)

Los buenos diseños, bajo el modelo de DA, deben cumplir dos axiomas (Suh, 2007): *independencia* de los requisitos funcionales (RF) e *información mínima* contenida en el diseño. De esta manera, en una aplicación del DA se debe cumplir el mismo número de RF y PD, estar desacoplados y tener un valor nulo contenido de información (Benavides, 2012). Las relaciones entre los m requisitos funcionales (FR), que son los que definen los objetivos de diseño; y los n parámetros de diseño (DP), que son los elementos que satisfacen cada requisito funcional, se simplifican en las ecuaciones [1] y [2]. La matriz A es rectangular, de tamaño $m \times n$, y contiene sólo elementos no negativos.

$$\{FR_m\} = [A] * [DP_n] \quad [1]$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{bmatrix} \quad [2]$$

Las aplicaciones del modelo DA en el entorno empresarial son variadas, y van desde su uso para el desarrollo de nuevos productos comerciales hasta el desarrollo de prototipos y maquinaria industrial. En menor grado, este modelo se ha utilizado para el rediseño de procesos que conlleven a reducción de los impactos ambientales de los mismos (tabla 1).

Tabla 1. Aplicaciones del diseño axiomático en múltiples casos de estudio

Caso de estudio	Autor	Hallazgos
Diseño de circuitos	Ferent et al. (2013)	Un nuevo modelo para el desarrollo innovadores de circuitos
Diseño de productos mecatrónicos	Janthong et al. (2010)	El diseño de nuevos componentes para un diseño innovador y la adaptación de técnicas para configurar y diseñar la nueva solución a través del DA
Gestión de buques	Celik & Er (2009)	Investigación sobre el modelado analítico de los procesos de gestión de buques usando los axiomas independientes y la solución de problemas del DA
Diseño de un cabezal para una impresora 3D	Porpiglió et al. (2019)	El uso del diseño axiomático permitió explorar las relaciones entre los dominios funcionales y técnicos del sistema investigado
Diseño de un avión solar	Rodriguez et al. (2015)	Los principios del diseño axiomático describen los límites tecnológicos de la aviación solar y permiten la formulación del problema como resultado de requisitos funcionales
Prototipo para captar agua lluvia	Betasolo & Smith (2016)	La aplicación de DA en el diseño de un prototipo de cosechadora de agua de lluvia para la presentación visual de la infraestructura.
Prototipo de bicicleta para niños	Lu et al. (2016)	La combinación de necesidades de uso y de producto para diseñar un sistema interactivo basado en DA
Diseño de una tecnología para la molienda	Linke & Dornfeld (2012)	El DA permitió combinar las características de la tecnología con los requisitos funcionales del proceso de la molienda, para obtener un proceso más eficiente y sostenible

Fuente: Elaboración propia

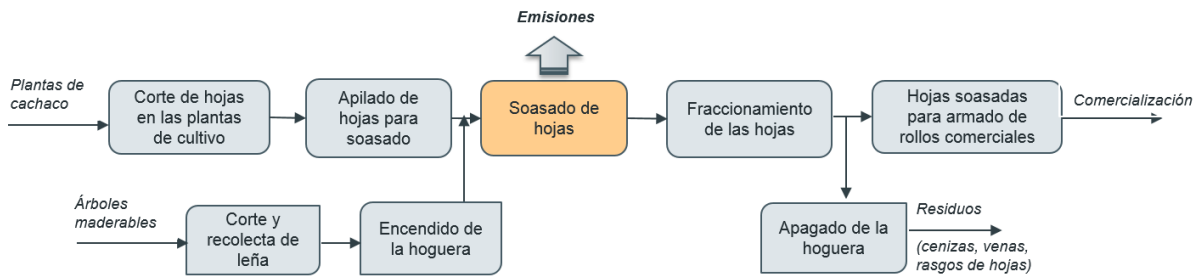
3. Metodología

3.1 Caso de Estudio

El caso de estudio obedece a la actividad económica que vincula la producción de hojas frescas destinadas a empaque de alimentos autóctonos y tradicionales, que tiene lugar al interior de comunidades indígenas localizadas en la región centro de Colombia, en los municipios de Coyaima y Natagaima al sur del departamento del Tolima. En total se estima que cerca de 1.500 familias se dedican a esta actividad, la cual constituye su principal fuente de ingreso económico. Las hojas que se cultivan y transforman en esta zona, son provenientes de una planta del género ‘musa’ conocida popularmente como ‘cachaco’, que a diferencia de sus cercanas especies como la planta del plátano o la fruta de banano, tiene especial valor comercial por la producción de la hoja y no del fruto.

El proceso de transformación de la hoja de cachaco (figura 2) una vez cosechadas las hojas de la planta, presenta diferentes etapas, una de ellas es la etapa de ‘soasado’ o ‘suavizado’, que consiste en la exposición de la hoja al calor (usualmente en hogueras a fuego abierto), para darle mayor resistencia y facilitar su uso en la envoltura de los alimentos.

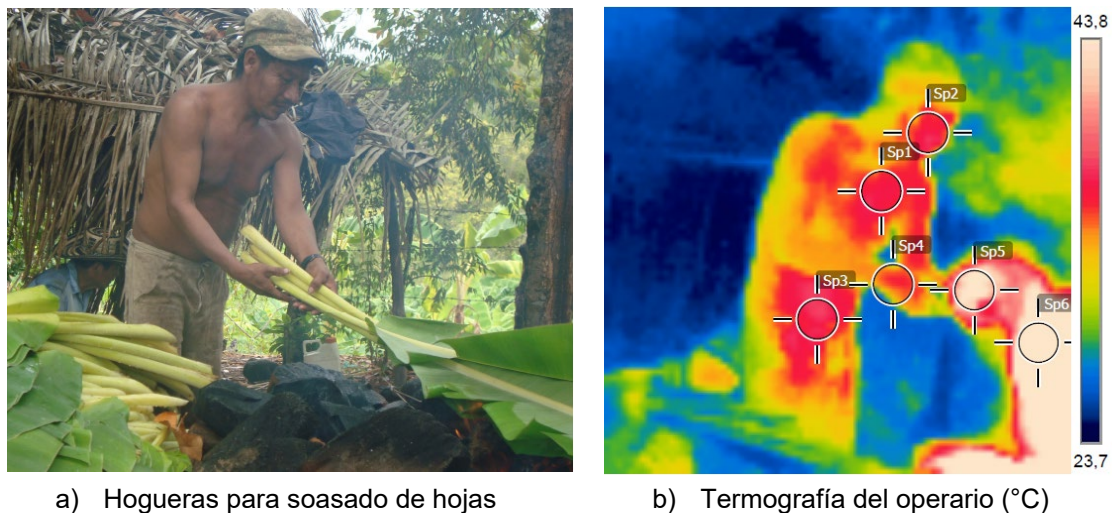
Figura 2. Proceso productivo de la hoja del cachaco



Fuente: Moreno & Bermeo (2017)

El soasado en su método tradicional (ver figura 3a) se realiza en improvisados fogones instalados en las mismas parcelas de cultivo, que se localizan en lugares de producción lejanos de los centros poblados. Esta labor presenta diferentes problemáticas frente al consumo de leña, emisiones al ambiente (Monóxido de Carbono (CO), Gas Metano (CH₄) y Material carbón particulado (MP), deterioro de la calidad del producto final y un alto riesgo ergonómico y laboral por la posición del trabajo y la exposición a altas temperaturas de las manos y la cara del productor (figura 3b) (Moreno & Bermeo, 2017).

Figura 3. Método de soasado de hojas e impactos en el operario



a) Hogueras para soasado de hojas

b) Termografía del operario (°C)

Fuente: Unibague (2017)

3.2 Configuración del Diseño Axiomático

Para la aplicación del DA al caso de estudio, se desarrollaron varios momentos. El primero fue entender el proceso de soasado de manera sistémica, para así reconocer las interacciones de interdependencias que había entre sus tres componentes claves: 'operario' 'producto' y 'ambiente'. El segundo momento fue acudir a la voz de los operarios, para identificar las necesidades de diseño, con el fin de dar respuesta la pregunta: ¿Qué requiere el proceso poscosecha de la HC para ser ecoeficiente? A través de charlas informales con los productores en zona, se lograron terminar las necesidades en los diferentes niveles identificados: Operario, producto y ambiente. El tercer momento fue hacer uso de las herramientas metodológicas del DA, para identificar los RF y formular consecuentemente los

PD que los satisficían. El desarrollo metodológico facilitó la configuración de los resultados hasta el nivel I y II de descomposición del modelo.

4. Resultados y Discusión

Una vez aplicada la consulta a las comunidades productoras, en zona de producción, las necesidades identificadas como más críticas fueron:

- **Necesidades de producto:** Que se soasara completa, que no hubiera daño al soasar y que no facilitara el contacto con agentes contaminantes provenientes de la hoguera o del suelo.
- **Necesidades del operario.** Que durante la labor se minimizara su exposición al calor, a la inhalación de material particulado y que fuera más descansada.
- **Necesidades del proceso.** Reducir consumo de leña como combustible, reducir las emisiones al medio ambiente de CO, calor y material particulado, para que sea más amigable con el ambiente.

Identificadas las necesidades, estas se simplificaron en tres requerimientos funcionales (RF₁, RF₂, RF₃), cada uno de ellos con tres sub-requerimientos a la vez. Consecuentemente, siguiendo el modelo DA, se formularon los tres parámetros de diseño (PD₁, PD₂, PD₃) con los subniveles de estos parámetros que se tendrían en cuenta, en el diseño de un horno de soasado que permitiera hacer más ecoeficiente el proceso de beneficio de la hoja de cachaco en el sur del Tolima (Colombia). Los resultados de esta labor se consolidan en la tabla 3.

Tabla 3. Requisitos funcionales (RF) y parámetros de diseño (PD)

Requisitos funcionales (RF)	Parámetros de diseño (PD)
RF ₁ : Efectivo soasado de la hoja	PD ₁ : Diseño de la parrilla soasado de hojas
RF ₁₁ : Suficiente área de soasado	DP ₁₁ : Área de la parrilla de soasado
RF ₁₂ : Temperatura uniforme requerida	DP ₁₂ : Tolva de soasado con diseño asimétrico
RF ₁₃ : Prevenir el daño en las hojas	DP ₁₃ : Pulido de esquinas y uniones en la tolva
RF ₂ : Labor cómoda para el operario	PD ₂ : Diseño de la torre de conducción
RF ₂₁ : Ser aislante del calor	DP ₂₁ : Uso de materiales aislantes
RF ₂₂ : Ser ergonómico	DP ₂₂ : Altura para dar tiro de salida al calor
RF ₂₃ : Ser portable	DP ₂₃ : Composición para montaje/desmontaje
RF ₃ : Desempeño eco-amigable	PD ₃ : Diseño de la cámara de combustión
RF ₃₁ : Máxima eficiencia calórica	DP ₃₁ : Entradas de aire
RF ₃₂ : Reducción de combustible	DP ₃₂ : Dimensión de la cámara de entrada
RF ₃₃ : Facilitar apagado y limpieza	DP ₃₃ : Rejilla inferior para salida de los residuos

Al establecer la interacción entre los RF y PD, se logra cumplir los axiomas establecidos por la DA: Los requerimientos funcionales son independientes entre sí, y se recurre a la mínima

información contenida en los parámetros de diseño para reducir la incertidumbre del diseño final. En las figuras 4, 5 y 6, se resume el modelo en su Nivel I y Nivel 2 o descompuesta.

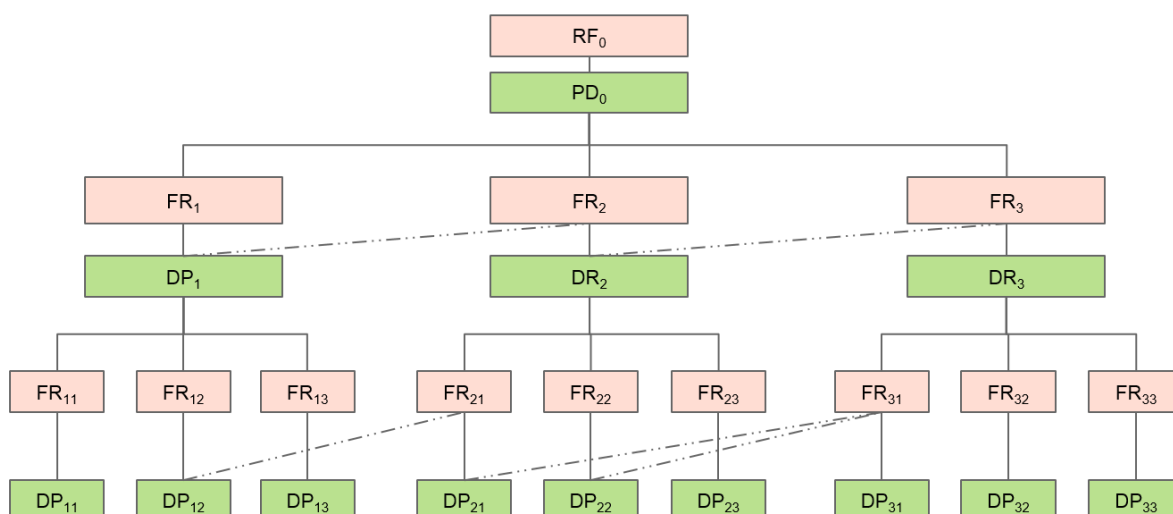
Figura 4. Matriz del diseño – Nivel I

$$\begin{Bmatrix} \text{RF1} \\ \text{RF2} \\ \text{RF3} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \text{PD1} \\ \text{PD2} \\ \text{PD3} \end{Bmatrix}$$

Figura 5. Matriz de interacción – Nivel II

	PD ₁₁	PD ₁₂	PD ₁₃	PD ₂₁	PD ₂₂	PD ₂₃	PD ₃₁	PD ₃₂	PD ₃₃
RF ₁₁	1	0	0						
RF ₁₂	0	1	0						
RF ₁₃	0	0	1						
RF ₂₁	0	1	0	1	0	0			
RF ₂₂	0	0	0	0	1	0			
RF ₂₃	0	0	0	0	0	1			
RF ₃₁				1	1	0	1	0	0
RF ₃₂				0	0	0	0	1	0
RF ₃₃				0	0	0	0	0	1

Figura 6. Descomposición axiomática – Nivel II



Finalmente el diseño ideal fue implementado a nivel piloto para determinar su ecoeficiencia en el proceso del soasado. El horno diseñado, en sus tres componentes se denominó “*Equipo Portátil, Ergonómico y Eficiente para el Soasado de Hojas del Género ‘Musa’*”, que dado su nivel de inventiva y las características de funcionalidad, utilidad y novedad, fue merecedor de patente de invención NC 2017/0012969 SIC- Colombia (Cubillos et al., 2017) (figura 7). Las métricas de desempeño del nuevo diseño se presentan en la Tabla 4, según valoración *post-facto* de los productores, luego del uso de prototipos habilitados en zona.

Figura 7. Equipo desarrollado: concepto de diseño y prueba piloto en campo



a) Modelo isométrico del horno diseñado con sus tres partes componentes



b) Productor validando las ganancias en ecoeficiencia, ergonomía y calidad

Fuente: Unibague (2017)

Tabla 4. Métricas de desempeño del nuevo diseño

Necesidades del Proceso	Situación actual	Situación generada
Nivel de esfuerzo manual del operario	Alto	Bajo
Número de daños en las hojas	Alto	Bajo
Temperatura en los operarios	Alta	Media
Nivel de asepsia en las hojas soasadas	Bajo	Alto
Cantidad de combustible usado	Alto	Bajo
Temperatura de soasado	Alta	Alta
Ergonomía frente a la labor	Baja	Media
Facilidad de limpieza de residuos y cenizas	Medio	Bajo

La aplicación del DA para solucionar las múltiples problemáticas de la etapa del soasado dentro del proceso poscosecha de la hoja del cachaco como bioempaque en Colombia, coincide metodológicamente con aplicación similar hecha por Lu et al (2016) para el diseño de un prototipo mejorado de bicicleta para niños, así como con la aplicación de Betasolo & Smith (2016) para el diseño de colectores de agua lluvia. De igual manera, los resultados obtenidos son afines en su propósito con los resultados de Linke & Dornfeld (2012), quienes aplicaron el DA para ganar ecoeficiencia en el proceso de la molienda a través del diseño maquinaria, con el fin de disminuir la contaminación y el consumo energético en el proceso. La aplicación del DA en las etapas tempranas de diseño, permitió el aseguramiento de las características de funcionalidad, utilidad, novedad e inventiva para optar por la patentabilidad del mismo (Naidu & Naidu, 2011).

5. Conclusiones

Los procesos productivos tradicionales se caracterizan por el uso de conocimientos basados en la ancestralidad y la herencia tradicional de las comunidades rurales, en muchos procesos se presentan problemas por la falta de ecoeficiencia, sostenibilidad, el desproporcionado uso de recursos naturales, los riesgos asociados a la ergonomía y salud de los productores. En esa dirección, el AD fue la herramienta que fue útil para determinar los requerimientos funcionales y dar respuesta a ellos a través de los parámetros de diseño que finalmente aportaron para el desarrollo de una solución que correspondió al objetivo de diseño planteado.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó con el patrocinio del Proyecto 499-19-INT de la Universidad, a partir de los resultados obtenidos en el Proyecto Convenio 1032-2013 financiado por la Gobernación del Tolima (Colombia).

6. Referencias

- Benavides, E. M. (2012). Axiomatic design. *Advanced Engineering Design*, 1(1990), 77–258. <https://doi.org/10.1533/9780857095046.77>
- Berthet, E. T., Hickey, G. M., & Klerkx, L. (2018). Opening design and innovation processes in agriculture: Insights from design and management sciences and future directions. *Agricultural Systems*, 165, 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.004>
- Bertola, P., & Teixeira, J. C. (2003). Design as a knowledge agent: How design as a knowledge process is embedded into organizations to foster innovation. *Design Studies*, 24(2), 181–194. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(02\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00036-4)
- Betasolo, M. L., & Smith, C. A. (2016). Axiomatic Design Process in Developing a model Prototype Rainwater Harvesting Infrastructure. *Procedia CIRP*, 53, 187–192. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.004>
- Cash, P. (2020). Where next for design research? Understanding research impact and theory building. *Design Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.03.001>
- Celik, M., & Er, I. D. (2009). Fuzzy axiomatic design extension for managing model selection paradigm in decision science. *Expert Systems with Applications*, 36(3 PART 2), 6477–6484. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.07.038>
- Ceschin, F., & Gaziulusoy, I. (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. *Design Studies*, 47, 118–163. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002>
- Chen, Y., Zhang, Z., Xie, Y., & Zhao, M. (2015). A new model of conceptual design based on Scientific Ontology and intentionality theory. Part I: The conceptual foundation. *Design*

- Studies*, 37, 12–36. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2014.12.002>
- Crilly, N., & Morosanu, R. (2019). Creativity and fixation in the real world: Three case studies of invention, design and innovation. *Design Studies*, 64, 169–212. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.07.003>
- Cubillos, A., Bermeo, H., Bohorquez, Y., & Moreno, M. (2017). *Equipo portátil, ergonómico y eficiente para el soasado de las hojas del género “musa”* (Patent No. NC2017/0012969).
- Ferent, C., Doboli, A., & Doboli, S. (2013). An axiomatic model for concept structure description and its application to circuit design. *Knowledge-Based Systems*, 45, 114–133. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2013.02.013>
- Foith-Förster, P., Wiedenmann, M., Seichter, D., & Bauernhansl, T. (2016). Axiomatic Approach to Flexible and Changeable Production System Design. *Procedia CIRP*, 53, 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.001>
- Friedman, K. (2003). Theory construction in design research Criteria: Approaches, and methods. *Design Studies*, 24(6), 507–522. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(03\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(03)00039-5)
- Hernández, R. J., Cooper, R., Tether, B., & Murphy, E. (2018). Design, the Language of Innovation: A Review of the Design Studies Literature. In *She Ji* (Vol. 4, Issue 3, pp. 249–274). Tongji University Press. <https://doi.org/10.1016/j.sheji.2018.06.001>
- Janthong, N., Brissaud, D., & Butdee, S. (2010). Combining axiomatic design and case-based reasoning in an innovative design methodology of mechatronics products. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2(4), 226–239. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2010.05.005>
- King, T., Cole, M., Farber, J. M., Eisenbrand, G., Zabararas, D., Fox, E. M., & Hill, J. P. (2017). Food safety for food security: Relationship between global megatrends and developments in food safety. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.014>
- Kulak, O., Cebi, S., & Kahraman, C. (2010). Applications of axiomatic design principles: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 37(9), 6705–6717. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.03.061>
- Linke, B. S., & Dornfeld, D. A. (2012). Application of axiomatic design principles to identify more sustainable strategies for grinding. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(4), 412–419. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.07.007>
- Lu, R. J., Feng, Y. X., Zheng, H., & Tan, J. R. (2016). A Product Design Based on Interaction Design and Axiomatic Design Theory. *Procedia CIRP*, 53, 125–129. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.061>
- Meroni, A., & Bala, P. (2007). *Creative communities: people inventing sustainable ways of living*. Poli. Design.
- Meynard, J. M., Jeuffroy, M. H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M. B., & Michon, C. (2017). Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*, 157, 330–339. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>
- Moreno, J., & Bermeo, H. (2017). Exploración de los potenciales impactos que genera el proceso artesanal de beneficio de la hoja de cachaco como empaque tradicional en el sur del Tolima. *Vía Innova: Revista de Divulgación Científica*, 4, 78–88. <https://doi.org/10.23850/2422068X.1183>
- Naidu, P. C. R. J., & Naidu, K. C. J. (2011). Design for Patentability (DFP). *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 7, 783–792. <https://doi.org/10.1115/DETC2011-48609>
- OCDE. (2018). *Manual de Oslo*.
- Porpíglío, I., Scalice, R. K., & Silveira, Z. C. (2019). Axiomatic design and solution variants applied to a modular 3D printing head based in material extrusion. *Procedia CIRP*, 84, 143–148. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.319>
- Prost, L., Reau, R., Paravano, L., Cerf, M., & Jeuffroy, M. H. (2018). Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. Lessons from a

- case study. *Agricultural Systems*, 164, 122–132.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.04.009>
- Qu, H. L., Feng, Y. X., Gao, Y. C., & Tan, J. R. (2016). Optimization Design of Guiding Device on Hydraulic Press Column Based on Axiomatic Design Theory. *Procedia CIRP*, 53, 247–251. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.001>
- Rauch, E., Matt, D. T., & Dallasega, P. (2016). Application of Axiomatic Design in Manufacturing System Design: A Literature Review. *Procedia CIRP*, 53, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.04.207>
- Robayo Acuña, P. V. (2016). La innovación como proceso y su gestión en la organización: una aplicación para el sector gráfico colombiano. *Suma de Negocios*, 7(16), 125–140. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2016.02.007>
- Rodriguez, J. B., Morales, C. G., & Benavides, E. M. (2015). A First Approach to Solar Aviation with the Use of Axiomatic Design. *Procedia CIRP*, 34, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.07.069>
- Suh, N. (1990). Design of Thinking Design Machine. *Annals of the CIRP*, 39(1), 145–149.
- Suh, N. (2007). Ergonomics, axiomatic design and complexity theory. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 8(2), 101–121. <https://doi.org/10.1080/14639220601092509>
- Unibague (2018). Informes técnicos Convenio 1032-2013. Ibagué.
- Xiao, R., Zu, Y., & Mei, S. (2012). Creative product configuration design driven by functional features. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(1), 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2011.04.002>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

