ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2440

University Capabilities for Innovation and Technology Transfer in the Coffee Sector: An Evaluation Index for Colombia's Coffee Axis

Lloyd Morris[1]; Fernando Zorto[2]; Jose Texier[3]; Olga Salazar[4]
[1] *Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, l.morris@utp.edu.co*
[2] *Universidad Nacional de Honduras, Honduras, fernando.zorto@unah.edu.hn*
[3] *LACCEI, Estados Unidos, texier@laccei.org*
[4] *Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, o.salazar@utp.edu.co*

Abstract– ***This study proposes and applies an Institutional Capability Index to assess the maturity level of research, development, innovation, and entrepreneurship (R&D+i+e) in universities within Colombia's Coffee Axis, specifically in relation to their potential to drive technological transformation in the coffee sector. The index integrates five key dimensions: economic capacity, legal agility, scientific and technological output, human resources with scientific impact, and entrepreneurship. Grounded in theoretical models such as capability gap analysis, economic complexity, and the triple helix, the analysis enables quantification of universities' contributions to regional innovation processes.***

A case study was conducted with three representative universities in the region: Universidad Tecnologica de Pereira, Universidad de Caldas, and Universidad del Quindío. The results reveal significant differences among the institutions, with UTP standing out for its well-established innovation ecosystem, while Universidad del Quindío shows critical weaknesses in infrastructure, scientific output, and technology transfer capabilities.

The developed index proves to be a useful tool for identifying strengths, weaknesses, and areas for improvement, allowing the alignment of institutional strategies and public policies. Furthermore, its applicability is validated in strategic sectors such as coffee, where university knowledge can play a key role in the differentiation, sustainability, and global competitiveness of the product. This work highlights the strategic role of universities in territorial productive transformation and their function as catalysts of sustainable development.

Keywords-- University Innovation, Technology Transfer, Coffee Sector, Institutional Capability.

Capacidades Universitarias para la Innovación y Transferencia Tecnológica en el Sector Cafetero: Un Índice de Evaluación para el Eje Cafetero Colombiano

Lloyd Morris[1]; Fernando Zorto[2]; Jose Texier[3]; Olga Salazar[4]
[1] *Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, l.morris@utp.edu.co*
[2] *Universidad Nacional de Honduras, Honduras, fernando.zorto@unah.edu.hn*
[3] *LACCEI, Estados Unidos, texier@laccei.org*
[4] *Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, o.salazar@utp.edu.co*

Resumen– ***Este estudio propone y aplica un Índice de Capacidad Institucional para evaluar el nivel de madurez en investigación, desarrollo, innovación y emprendimiento (I+D+i+e) de universidades ubicadas en el Eje Cafetero colombiano, específicamente en relación con su potencial para impulsar la transformación tecnológica del sector cafetero. El índice integra cinco dimensiones clave: capacidad económica, agilidad legal, producción científica y tecnológica, recursos humanos con impacto científico, y emprendimiento. Basado en modelos teóricos como el de brechas de capacidades, la complejidad económica y la triple hélice, el análisis permite cuantificar la contribución de las universidades a los procesos de innovación regional.***

Se realizó un estudio de caso en tres universidades representativas de la región: Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), Universidad de Caldas y Universidad del Quindío. Los resultados muestran diferencias significativas entre las instituciones, con la UTP destacándose por su ecosistema consolidado de innovación, mientras que la Universidad del Quindío presenta debilidades críticas en infraestructura, producción científica y capacidades de transferencia.

El índice desarrollado demuestra ser una herramienta útil para identificar fortalezas, debilidades y oportunidades de mejora, permitiendo orientar estrategias institucionales y políticas públicas. Además, se valida su aplicabilidad en sectores estratégicos como el café, donde el conocimiento universitario puede jugar un papel clave en la diferenciación, sostenibilidad y competitividad global del producto. Este trabajo resalta la función estratégica de las universidades en la transformación productiva territorial y su rol como catalizadoras del desarrollo sostenible.

Palabras clave- ***Innovación Universitaria, Transferencia Tecnológica, Sector Cafetero y Capacidad Institucional.***

I. Introducción

La región del Eje Cafetero colombiano —conformada por los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío— es reconocida por su tradición en la producción de café, pero enfrenta desafíos significativos para sostener su competitividad en un entorno global cada vez más dinámico. En este contexto, el fortalecimiento de la educación superior, la investigación y la transferencia tecnológica emerge como una estrategia clave para el desarrollo económico y social del territorio [1], [2]. Las universidades, más allá de su función formativa, se constituyen en actores fundamentales para promover el conocimiento, formar talento humano altamente calificado y generar soluciones tecnológicas orientadas a sectores productivos estratégicos como el café [3].

Este estudio propone la formulación y aplicación de un Índice de Capacidad Institucional que permita evaluar el nivel de madurez de las universidades del Eje Cafetero en cinco dimensiones críticas: capacidad económica, agilidad jurídica, producción científica y tecnológica, recursos humanos con impacto científico y emprendimiento para tener un comparativo con universidades alemanas con importantes avances de desarrollo tecnológico. A partir de enfoques teóricos como el modelo de brechas institucionales de Sölvell, el enfoque de capacidades tecnológicas y Know-How de Hidalgo y Hausmann [4], [5], y el concepto de complejidad económica aplicado a entornos académicos y productivos [6], se estructura una herramienta de diagnóstico que contribuye a cuantificar las capacidades de transformación de las universidades.

Particularmente, el sector cafetero, por su relevancia histórica, económica y cultural, representa un caso emblemático para analizar el vínculo entre ciencia, tecnología e innovación. Estudios recientes han demostrado que el desarrollo de productos de alta complejidad requiere no solo recursos materiales, sino también capacidades institucionales avanzadas, propias de entornos universitarios articulados a la industria [7], [8]. En este sentido, la educación en ingeniería desempeña un papel protagónico, al facilitar la transición hacia una economía basada en el conocimiento mediante procesos de investigación aplicada y transferencia tecnológica [9].

El estudio se centra en tres universidades representativas de la región —Universidad Tecnológica de Pereira, Universidad de Caldas y Universidad del Quindío—, seleccionadas por su relación directa con la cadena de valor del café, su infraestructura en investigación agroindustrial y su oferta de programas de posgrado especializados y su comparativo con algunas universidades de Alemania. A través del análisis comparativo de sus capacidades institucionales, se busca no solo identificar fortalezas y debilidades, sino también proporcionar evidencia que fundamente la formulación de

políticas públicas y estrategias institucionales que fortalezcan el ecosistema de innovación regional.
Así, este trabajo ofrece una herramienta metodológica rigurosa y contextualizada, con el potencial de ser replicada en otros sectores productivos, y reafirma el rol de las universidades como motores de desarrollo sostenible e innovación territorial.

II. Marco Teórico

El Índice de Capacidad para la Transformación de la Educación en Ingeniería, en el contexto del caso de estudio Café de Colombia, busca evaluar y entender la capacidad de las instituciones educativas para adaptarse y evolucionar frente a los desafíos que presenta el entorno actual, tanto en términos de las demandas del mercado como de la necesidad de fomentar la innovación tecnológica al tener un patrón comparativo con otras universidades. Para ello, se utilizan una serie de teorías, modelos y conceptos clave que permiten medir y analizar las diferentes dimensiones que afectan la capacidad de transformación educativa.
Este marco teórico se desarrolla a partir de una serie de modelos y teorías interrelacionadas que abordan la evaluación de capacidades institucionales desde diversos ángulos: teoría de brechas, producción científica, recursos humanos, agilidad legal, emprendimiento, capacidad económica y transferencia tecnológica. A su vez, se establece la conexión con los patrones de innovación que se desarrollan en el análisis de capacidades tecnológicas, bajo modelos de tendencias utilizados para evaluar los potenciales de las economías en el saber hacer tecnológico [10].

A. Modelo Relevante Gap Model (Modelo de Brecha)

El Gap Model o Modelo de Brecha diseñado para identificar los distanciamientos entre los principales actores de un sistema de firmas en relación a la potencialidad de desarrollo económico a través de los clusters [11], hacia un marco conceptual utilizado para identificar las diferencias entre las expectativas de los diferentes actores involucrados en el contexto estudiantil (estudiantes, docentes, industrias, comunidad) y la realidad de los servicios educativos proporcionados puede visualizarse por medio de la figura 1.

Fig. 1. The Gap Model – types of actors in a cluster. [11]

Este modelo resalta las brechas existentes en la calidad educativa, infraestructura, formación docente y en la vinculación con el sector empresarial en relación al caso de estudio del café en el eje cafetero colombiano. En el contexto de la transformación educativa en ingeniería, el Gap Model permite identificar las áreas que requieren atención para que la educación en ingeniería pueda alinearse mejor con las demandas de la industria y la sociedad, así como la competitividad en las cadenas productivas de las Mipymes [12]. Por ejemplo, la brecha entre el conocimiento impartido o las investigaciones desarrolladas en las instituciones educativas y las habilidades o consultorías requeridas por las empresas es un aspecto crucial que el Gap Model permite evaluar, guiando a las instituciones a mejorar sus programas educativos y enfoques pedagógicos.

B. Universities Capability Index

El índice sugerido para evaluar la capacidad de las universidades, y por ende de los países, en la transformación de la educación en ingeniería se estructura en cinco categorías fundamentales de indicadores: agilidad económica, agilidad legal, producción científica y tecnológica, recursos humanos con impacto científico y emprendimiento. Estos indicadores están respaldados por teorías y enfoques científicos expuestos por Lall, Meyer et al. y Powers [13], [14] y [15].

Así, los indicadores que se muestran a continuación fueron escogidos a partir de los tres enfoques teóricos previos, [13], [14] y [15], más algunos autores complementarios, para evaluar la manera en que las universidades impulsan el desarrollo económico local y regional, a través de su habilidad para generar, transferir y comercializar conocimiento avanzado. En el Apéndice I se ofrece una descripción más detallada del índice de capacidad de las universidades, construido con estos indicadores y que se explican a continuación:

Indicadores económicos: La capacidad económica es un factor clave que determina hasta qué punto las instituciones

educativas pueden llevar a cabo los procesos de transformación necesarios para adaptarse a los cambios tecnológicos y del mercado [16]. Esto incluye la inversión en infraestructura tecnológica, la contratación de personal docente altamente calificado, el desarrollo de programas de investigación aplicada y la creación de vínculos con la industria.

Además, la capacidad económica permite a las instituciones realizar mejoras continuas en sus recursos materiales y humanos, lo que a su vez mejora su capacidad para adaptarse a la evolución del mercado y la tecnología. Las alianzas público-privadas y la inversión en investigación y desarrollo (I+D) son fundamentales para la mejora continua y la adaptación de los programas educativos a las necesidades del mercado. Dentro de este indicador se tiene en cuenta:

- Gasto en investigación y desarrollo como un porcentaje del PIB.
- Políticas de CTI en el país.
- Complejidad económica del producto o servicio a desarrollar.
- Oportunidad de ganancia.

Indicadores de agilidad legal: La agilidad legal se refiere a la capacidad de las instituciones educativas para adaptarse rápidamente a los cambios en las normativas legales, políticas educativas y regulaciones gubernamentales. En el contexto de la transformación educativa, las instituciones deben ser capaces de modificar sus estructuras curriculares, sus procesos administrativos y sus políticas internas conforme se ajustan a nuevas leyes y regulaciones, tanto a nivel nacional como internacional [17]. Para este indicador se considera:

- Cantidad de trámites para la protección.
- Tiempo de protección de propiedad intelectual.

Indicadores de producción científica y tecnológica: La transferencia tecnológica implica el proceso mediante el cual los avances científicos y tecnológicos generados en las universidades y centros de investigación son aplicados en el sector productivo. En el caso de la educación en ingeniería, la transferencia tecnológica es crucial para vincular la investigación académica con la práctica profesional, mejorando la formación de los estudiantes y la conexión con la industria [18].

Las universidades deben desarrollar capacidades para transferir el conocimiento generado en sus laboratorios y centros de investigación hacia la industria, entre otros aspectos para fomentar la creación de nuevas empresas y la mejora de los procesos productivos existentes. En este aspecto se tienen los siguientes indicadores:

- Capacidad de creación de conocimiento.
- Capacidad de transferencia tecnológica.
- Infraestructura tecnológica.

Indicadores de Recursos Humanos con Impacto Científico: Los recursos humanos son un elemento esencial en la capacidad de transformación de las instituciones educativas. En particular, los docentes y el personal administrativo juegan un papel clave en la implementación de cambios pedagógicos, la incorporación de nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza y la gestión eficiente de los recursos institucionales. El desarrollo de competencias de los docentes y la formación continua son factores determinantes para asegurar que la educación en ingeniería se mantenga a la vanguardia de los avances tecnológicos y las demandas del mercado, así como la identificación de indicadores y uso de indicadores relacionados con los recursos humanos son acciones esenciales para garantizar que las instituciones puedan adaptarse a los cambios y proporcionar una educación de calidad [19]. Los indicadores seleccionados son:

- Cantidad de investigadores por millón de personas.
- Beca de movilidad otorgadas a postgrados.
- Profesores con nivel de PhD.
- Profesores ligados a redes de investigación.
- Programas de doctorado.

Indicadores de emprendimiento: El emprendimiento es una capacidad fundamental para la transformación educativa en ingeniería. Las instituciones educativas tienen un papel clave en el fomento de una mentalidad emprendedora tanto en sus procesos investigativos como en los estudiantes de ingeniería, preparándose para ser creadores de empresas tecnológicas y soluciones innovadoras. Esto es crucial para la adaptación de la educación a las nuevas necesidades del mercado, donde la capacidad de generar innovación y nuevos productos debe fundamentarse en el reconocimiento de indicadores de innovación [20].

El emprendimiento en las universidades puede ser promovido mediante incubadoras de empresas, programas de formación en negocios tecnológicos y colaboraciones con la industria. Las instituciones deben contar con mecanismos que apoyen a los estudiantes en la creación de sus propios proyectos, fortaleciendo las conexiones entre la educación y el sector empresarial. Los indicadores relacionados con este ítem son:

- Cantidad de Incubadoras.
- Cantidad de StartUps y/o Spin-Offs Universitarias.
- Tiempo de vida de los emprendimientos.
- Programas de emprendimiento tecnológico abiertos en las facultades de ingeniería y ciencias.

III. Metodología

Este estudio adopta una metodología integral para evaluar las capacidades de las universidades en el contexto del sector del café, con un énfasis particular en los cafés del Eje Cafetero. Se destaca la importancia de la capacidad tecnológica de las universidades en esta región, entendida no sólo como un recurso para el desarrollo académico, sino como un motor de

innovación y mejora para las industrias locales, especialmente para el proceso de tostado del sector cafetero.
La metodología empleada se apoya en las teorías y enfoques propuestos por Lall, Meyer et al. y Powers [13], [14], [15], cuyas perspectivas ofrecen una base sólida para comprender la interacción entre el desarrollo tecnológico generado en las universidades y su impacto en el desarrollo económico local y regional. Estos marcos conceptuales proporcionan una estructura adecuada para evaluar de qué manera las universidades contribuyen al valor agregado de las industrias avanzadas, en este caso, al sector cafetero, impulsando la competitividad y sostenibilidad del mismo.
El Índice de Capacidad Universitaria se basa en el modelo teórico propuesto por Hidalgo y Hausmann en su trabajo sobre la "Cuantificación de la complejidad económica de los países" (véase la Figura 2). En su propuesta, los autores sugieren que las capacidades de un país pueden compararse con letras, entendidas como las unidades fundamentales necesarias para generar productos. De esta forma, los productos se asemejan a palabras, que son el resultado de la combinación de estas capacidades (letras).

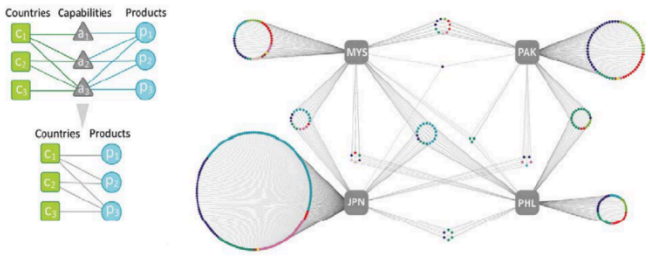

Fig. 2. Capacidades y ejemplos: Malaysia (MYS), Pakistan (PAK), Philippines (PHL), and Japan (JPN) in 2000 [4].

En términos más sencillos, cuantas más capacidades (letras) tiene un país, mayor será la diversidad de productos (palabras) que puede generar. Este concepto se puede entender como un rompecabezas en el que cada capacidad (letra) es una pieza esencial para formar productos más complejos. Así, un país puede compararse a un conjunto de piezas de Lego, donde cada capacidad (pieza) se ensambla para generar productos específicos.
De este modo, los países que disponen de un mayor número de capacidades están mejor posicionados para desarrollar productos más complejos, lo que les otorga una ventaja en términos de diversificación y competitividad económica. Este enfoque también puede aplicarse a las universidades, ya que las capacidades tecnológicas y de conocimiento que desarrollan pueden contribuir de manera significativa a la creación de productos diferenciados con base en el proceso de tostado del café.
Con el fin de evaluar de manera integral las capacidades de las universidades para fomentar la creación de productos y servicios más competitivos en una cadena de valor específica, se propone un índice compuesto por cinco macroindicadores. Estos macroindicadores miden el ecosistema y las diversas capacidades que posee la universidad para promover la innovación y competitividad en una actividad particular de dicha cadena.
El Apéndice I presenta los indicadores propuestos, junto con sus respectivos pesos, que se utilizan para medir la capacidad de innovación de la universidad dentro de una actividad concreta de la cadena de valor. Las referencias detalladas de todos los indicadores propuestos pueden encontrarse en el Apéndice II.
Para normalizar el valor de un subindicador, se utiliza la siguiente fórmula, dependiendo de si el indicador tiene una tendencia positiva o negativa: Si el indicador tiene una tendencia positiva (es decir, un valor mayor es mejor), el valor normalizado se calcula utilizando la fórmula

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{\text{mín}}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}$$

Donde:
- X es el valor actual del indicador para la universidad,
- Xmin y Xmax son los valores mínimo y máximo del rango esperado.

Si el indicador presenta una tendencia negativa (es decir, un valor inferior es mejor que uno superior), se emplea la siguiente fórmula:

$$X_{\text{norm}} = \frac{X_{\text{máx}} - X}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}$$

Donde los términos siguen teniendo el mismo significado, pero la normalización ajusta el valor de modo que un valor inferior se mapea hacia los valores más cercanos a 1, en lugar de los más cercanos a 0.
Para calcular el valor normalizado del índice, es necesario ponderar cada indicador con su respectivo peso. La ecuación para obtener el valor final del índice ponderado es la siguiente:

Donde:
- β es el índice de capacidades,
- Pi es el peso del indicador i,
- Xnorm,i es el valor normalizado del subindicador i,
- n es el número total de subindicadores.

Una vez calculados los valores normalizados y ponderados para cada universidad se ordenarán según un criterio descendente. Esto significa que se priorizan aquellas universidades con índices más altos, ya que estos reflejan un mayor nivel de desempeño o relevancia en relación con los

objetivos del índice. Para el índice se eliminaron los indicadores económicos y de agilidad jurídica, por el hecho que se encuentran en la misma región y cuantificar el mismo valor para las universidades estudiadas. El área de conocimiento a evaluar será en agricultura. Por tal motivo estudiaremos los indicadores de producción científica y tecnológica por medio de la Base de Scopus, Lens.org y páginas webs de las diferentes universidades. Se utilizó como rango de tiempo todo aquel documento que se encuentre en las bases de datos hasta la fecha de 22 de marzo de 2025.

IV. Caso de Estudio: Café del eje cafetero

Para el estudio se consideraron las Universidad de Caldas, Universidad del Quindío y la Tecnológica de Pereira (Risaralda). Dichas universidades se encuentran en el eje cafetero que cumplen con los tres principios de inclusión que pueden favorecer la aplicación del índice de capacidad relacionado con el nivel de madurez en investigación, desarrollo, innovación y emprendimiento (I+D+i+e). Para ello se definió un perfil por universidad y su impacto en la región mediante las siguientes cuatro características:

1. Alto nivel de representatividad en la matrícula estudiantil.
2. Poseer en su estructura una facultad relacionada con el contexto cafetero.
3. Tener programas de posgrado relacionados con el contexto cafetero.
4. Contar con al menos un centro de investigación o de desarrollo tecnológico relacionado con el contexto cafetero.

Para el estudio se consideraron las Universidad de Caldas, Universidad del Quindío y la Universidad Tecnológica de Pereira (Risaralda) más tres universidades alemanas. Dichas universidades se encuentran en el eje cafetero que cumplen con los tres principios de inclusión que pueden favorecer la aplicación del índice de capacidad relacionado con el nivel de madurez en investigación, desarrollo, innovación y emprendimiento (I+D+i+e).

V. Resultados

Universidad Tecnológica de Pereira:

La Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) para el año 2023 en el segundo semestre tuvo 16542 estudiantes matriculados de un total de 31079 estudiantes del departamento de Risaralda. Cuenta con la facultad de Ciencias Agrarias y Agroindustria, posee la Maestría agronegocios del café y la maestría en desarrollo agroindustrial. Finalmente tiene el CDTA: Centro de desarrollo tecnológico agroindustrial.

En la figura 3, se puede observar seis grandes clústeres: a) Clúster amarillo: Salud Pública, Farmacovigilancia y enfermedades infecciosas, b) Enfermedades tropicales y estudios ambientales en la amazonia, c) Ingeniería eléctrica y electrónica de potencia, d) Inteligencia artificial y mantenimiento predictivo, e) Farmacología y salud mental; f) Antioxidantes y compuesto bioactivos

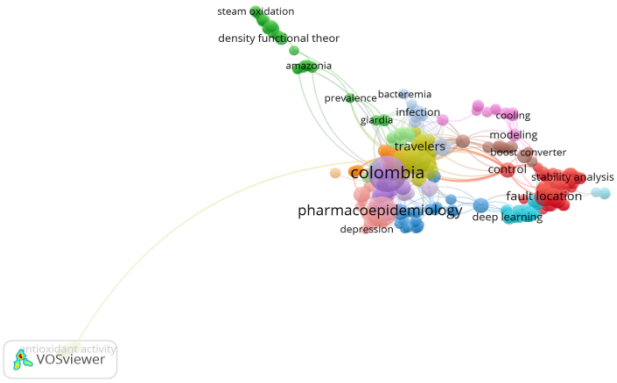

Figura 3. Clústeres de Conocimiento de la Universidad Tecnológica de Pereira. (16 clúster) (2890 docs) fecha: 3-22-2025

Podemos asociar que el clúster a, b, e y f están en el área de conocimiento de ciencias médicas y farmacología. El primer clúster refleja una fuerte producción científica en torno a la farmacología y el control de enfermedades infecciosas. La vigilancia del uso de medicamentos y los efectos adversos es fundamental en países con diversidad epidemiológica. Este enfoque es especialmente relevante para mejorar la toma de decisiones clínicas y políticas sanitarias, así como para gestionar riesgos asociados a la movilidad humana y enfermedades emergentes. El segundo clúster aborda las enfermedades tropicales y estudios ambientales en la amazonia. Estas investigaciones están centradas en patógenos como Giardia y condiciones como la bacteriemia, en contextos tropicales como la Amazonía colombiana. La combinación de estudios microbiológicos con análisis ambientales —por ejemplo, procesos como la oxidación por vapor— sugiere un enfoque interdisciplinario hacia la calidad del agua, salud pública y sostenibilidad ecológica. El quinto clúster se enfoca en el impacto de los medicamentos en la salud mental, especialmente en condiciones como la depresión. Es particularmente relevante en contextos post-pandemia, donde los trastornos mentales se han incrementado y requieren un abordaje integral desde la farmacología y la salud pública. Aunque menos conectado, el sexto clúster, representa estudios sobre compuestos bioactivos, antioxidantes y su aplicación en salud y alimentos funcionales. Su aislamiento sugiere que es un tema emergente o específico dentro del conjunto analizado.

Así mismo, no se puede dejar atrás la generación de conocimiento en Ingeniería, estos conocimientos evidencian una línea sólida de investigación en electrónica de potencia, control de sistemas dinámicos, y eficiencia térmica en convertidores como el boost converter. Esta área es clave para el desarrollo de tecnologías de energía renovable, vehículos eléctricos y automatización industrial. Así mismo, existe una línea de investigación asociada a la aplicación de inteligencia artificial (IA) —especialmente el aprendizaje profundo— en el diagnóstico de fallas, sistemas de control y predicción de comportamientos en sistemas eléctricos o industriales. Las

técnicas de fault location son esenciales en redes eléctricas inteligentes y mantenimiento predictivo.
La Universidad tiene una red mucho más compacta entre las áreas de conocimiento de las ciencias médicas, la energía y los sistemas de potencias. Así mismo, existen estudios de inteligencia artificial creando una fuerte conexión entre otras áreas. No obstante, no se muestra una fuerte conexión con el sector café (ver la figura 3).
Al momento de hacer el análisis en temas de agricultura obtenemos que existe un clúster donde el tema de investigación está centrado en lombrices de tierra (earthworms) y su clasificación (clitellata, oligochaeta) en contextos biogeográficos específicos como la Amazonía y Colombia. Podría reflejar estudios sobre diversidad, distribución y taxonomía en ecosistemas tropicales sudamericanos (Ver figura 4).

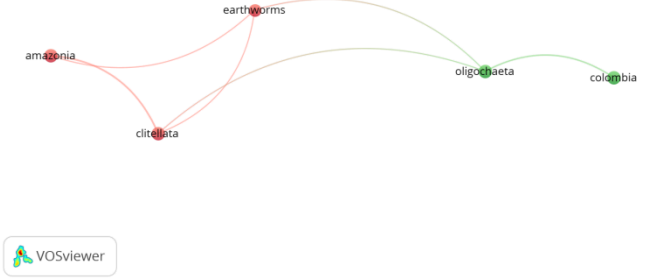

Figura 4. Clúster de conocimiento en el área de agricultura con base en Scopus (UTP). 728 documents _ 3-22-2025

Universidad de Caldas:
La Universidad de Caldas para el año 2023 en el segundo semestre tuvo 14,496 estudiantes matriculados de un total de 34,246 estudiantes del departamento de Caldas. Cuenta con la facultad de Ciencias Agropecuarias, posee la Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria y el Doctorado en Ciencias Agrarias. Finalmente, tiene el Centro de Desarrollo Tecnológico Planta de Bioprocesos y Agroindustria.
Al realizar el estudio bibliométrico (figura 5), la Universidad de Caldas presenta un perfil científico interdisciplinario y territorialmente contextualizado, con al menos siete líneas de investigación destacadas: a) Taxonomía y biodiversidad neotropical, b) Salud pública y salud mental, c) Agroindustria y alimentos funcionales, d) Educación, envejecimiento y sostenibilidad, e) Tecnologías emergentes (IA, ML), f) Ciencias veterinarias, y g) Fisiología y nutrición.

El clúster de conocimiento general de la Universidad de Caldas es el siguiente:

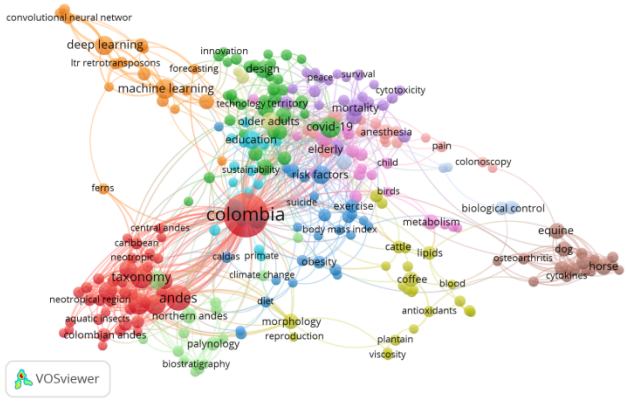

Figura 5. Clústeres de Conocimiento de la Universidad de Caldas. (7 clúster) (3068 docs) fecha: 3-22-2025

El clúster de taxonomía revela una línea de investigación profundamente comprometida con la descripción, clasificación y contextualización histórica de la biodiversidad. Esto no solo fortalece la base científica para la conservación de especies y hábitats, sino que también aporta información crucial sobre el cambio climático, las dinámicas evolutivas y la historia ecológica del territorio. Así mismo, la Universidad de Caldas, dentro de las ciencias de la vida ha estudiado los productos agroindustriales locales como el café y el plátano, así como la exploración de compuestos funcionales (antioxidantes, lípidos), fortaleciendo la innovación en el sector alimentario. Este clúster conecta investigación básica con desarrollo de productos de alto valor agregado. No obstante, también existen líneas de investigación en equinos, ganado y control biológico que son esenciales para la salud animal, seguridad alimentaria y sostenibilidad agropecuaria. Además, los avances en inmunología y biotecnología animal contribuyen a mejorar la productividad y el bienestar en sectores rurales ver la figura 5.

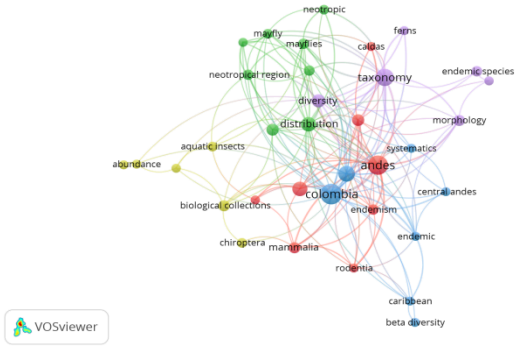

Figura 6. Clúster de conocimiento en el área de agricultura con base en Scopus (U. Caldas). 728 documento fecha de recuperación 3-22-2025

En el área de ciencias médicas se trabajó en la pandemia para dar una respuesta científica oportuna ante la crisis sanitaria, con estudios sobre factores de riesgo, envejecimiento y

mortalidad. Además, aborda temas estructurales como la salud mental y el suicidio. Dentro de sus estudios se aborda un clúster sobre salud pública orientada en salud humana, nutrición y actividad física que tiene gran relevancia en contextos con alta prevalencia de enfermedades crónicas como obesidad, diabetes y problemas cardiovasculares. Este clúster articula estudios en fisiología del ejercicio, morfología y reproducción, generando conocimiento útil para programas de salud preventiva, educación física y medicina del deporte. Finalmente, esta universidad responde a los desafíos en temas de educación, envejecimiento y sostenibilidad. El envejecimiento poblacional, las brechas educativas y la necesidad de desarrollo sostenible en territorios afectados por conflicto armado son temas centrales.
En el área de ingeniería se presentan líneas de investigación en temas de Inteligencia artificial específicamente en predicción y análisis de datos. El desarrollo de capacidades en IA permite aplicar modelos de aprendizaje automático a problemas complejos de salud, agricultura, biodiversidad y educación, con alto potencial de innovación.

Universidad del Quindío:
La Universidad del Quindío para el año 2023 en el segundo semestre tuvo 16455 estudiantes matriculados de un total de 21308 estudiantes del departamento del Quindío. Cuenta con la facultad de Ciencias Agroindustriales, posee la Maestría en Procesos Agroindustriales. Dentro de sus centros de investigación, cuenta con el Instituto Interdisciplinario de las Ciencias que realiza investigación básica y aplicada en el campo de nuevos materiales para el desarrollo de dispositivos en optoelectrónica y en el campo de materiales orgánicos como el café y la guadua.

Los grandes clústeres de conocimiento de la Universidad del Quindío son los siguientes: a) Ciencias de la vida y biodiversidad, b) Salud Pública y enfermedades infecciosas, c) Enfermedades crónicas y genómica, e) Ciencias de materiales y agroindustria, f) Educación, sociedad y emprendimiento (ver figura 7).

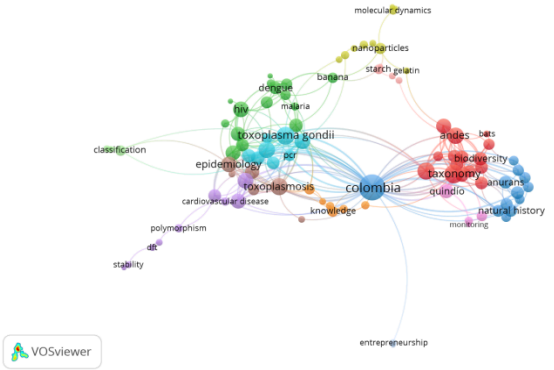

Figura 7. Clústeres de Conocimiento de la Universidad del Quindío. (12 clúster) (1470 docs) fecha: 3-22-2025

El clúster de biodiversidad y taxonomía refleja una línea consolidada de investigación en la descripción, clasificación y monitoreo de la biodiversidad colombiana, especialmente en regiones como los Andes y el departamento del Quindío. El estudio de grupos taxonómicos como los anuarios (ranas y sapos) y el enfoque en historia natural son esenciales para conservar especies endémicas y documentar el patrimonio natural del país.

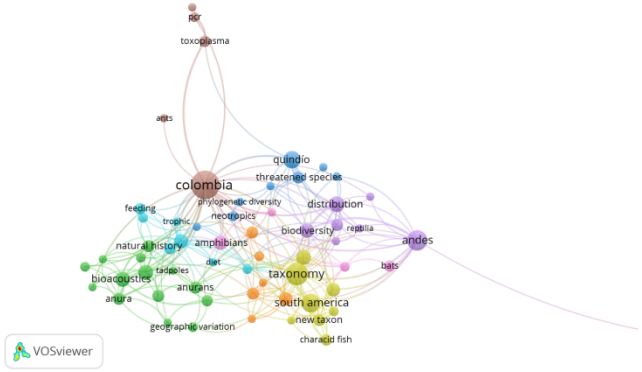

Figura 8. Clúster de conocimiento en el área de agricultura con base en Scopus (Quindío). 423 documentos_ 3-22-2025

En el clúster de Ciencias médicas tenemos estudios de alta relevancia sanitaria como toxoplasmosis, VIH, dengue y malaria, con enfoques moleculares, epidemiológicos y de diagnóstico. Así mismo tenemos otro clúster asociado a enfermedades cardiovasculares, polimorfismos genéticos y aspectos moleculares de infecciones como toxoplasmosis. En el tema de ciencias de los materiales se tienen trabajos sobre nanopartículas, almidones naturales (como banana y gelatina), y simulaciones moleculares. Sugiere aplicaciones en agroindustria, conservación de alimentos o encapsulación de compuestos activos. Y finalmente, tienen una línea de investigación asociada a gestión del conocimiento, innovación educativa y fomento de capacidades emprendedoras.

Identificación de esfuerzos en el área del café en universidades del Eje Cafetero:
Las universidades del Eje Cafetero colombiano—Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), Universidad de Caldas y Universidad del Quindío—han demostrado un compromiso significativo en el desarrollo y fortalecimiento de tecnologías relacionadas con el café, a través de su colaboración en la Maestría en Agronegocios del Café, un programa único en América Latina orientado al fortalecimiento de la cadena productiva del café. Este posgrado busca cualificar profesionales con enfoque estratégico y capacidad para crear y gestionar negocios sostenibles e innovadores en el sector cafetero. La maestría cuenta con líneas de investigación en sistemas productivos, agregación de valor y agronegocios.
A continuación, se presenta un análisis de sus capacidades y contribuciones en el ámbito del café:

- Universidad del Quindío: La Universidad del Quindío ha participado en proyectos como el "Desarrollo Experimental para la Competitividad del Sector Cafetero del Departamento del Quindío", en colaboración con el Comité Departamental de Cafeteros y otras entidades. Este proyecto capacitó a aproximadamente 900 caficultores en buenas prácticas agrícolas y de manufactura, mejorando la calidad del café en la región. Además, investigadores de la Universidad del Quindío han trabajado en la mejora de procesos de secado del café mediante modelos matemáticos aplicados, contribuyendo al desarrollo de dispositivos que permiten a los caficultores obtener información precisa sobre el secado, lo que incide directamente en la calidad del producto final.
- Universidad de Caldas: La Universidad de Caldas, además de su participación en la Maestría en Agronegocios del Café, ha liderado proyectos estratégicos de formación doctoral enfocados en atender demandas territoriales en la región del Eje Cafetero. Aunque no se especifican proyectos tecnológicos en café, su compromiso con la formación de alto nivel en ciencia, tecnología e innovación contribuye indirectamente al desarrollo del sector cafetero.
- Universidad Tecnológica de Pereira (UTP): Aunque la UTP no tiene proyectos específicos mencionados en las fuentes consultadas, su participación en la Maestría en Agronegocios del Café y su colaboración con las otras universidades del Eje Cafetero indican un compromiso con el desarrollo tecnológico en el sector cafetero.

En resumen, estas universidades han establecido alianzas estratégicas y desarrollado programas académicos y proyectos de investigación que fortalecen la capacidad tecnológica en la producción y comercialización del café, beneficiando a los caficultores y contribuyendo al desarrollo sostenible de la región.

Identificación de esfuerzos en el área del café en universidades de Alemania: Teniendo en cuenta que el proceso con altas alternativas en innovación para mejorar la calidad del café y sus productos derivados café es el proceso de tostión (punto desarrollado en el siguiente apartado) y Aunque Alemania no es un país productor de café, su papel en la cadena global de valor del grano es altamente estratégico, especialmente en las etapas de transformación, industrialización y comercialización. De hecho, Alemania figura entre los mayores importadores y reexportadores de café procesado en el mundo, con ingresos significativos derivados de la exportación de café tostado y productos derivados [21]. Este posicionamiento se ha consolidado gracias a una infraestructura tecnológica sólida y una red de universidades e institutos de investigación aplicada, como la Universidad de Rostock, la Universidad de Ciencias Aplicadas Rhein-Waal en colaboración con la empresa Probat, y la Technische Universität München junto al Leibniz Institute for Food Systems Biology [22]–[24]. Estas instituciones han liderado desarrollos científicos y tecnológicos en áreas como el análisis espectroscópico del proceso de tostado, la percepción sensorial del sabor del café y la automatización inteligente del control de calidad. Por esta razón, contrastar sus experiencias con las capacidades universitarias del Eje Cafetero colombiano permite establecer un marco comparativo útil para identificar brechas, transferir conocimiento y orientar estrategias de sofisticación productiva en países productores [25].

- La Universidad de Rostock ha consolidado una línea de investigación altamente especializada en el monitoreo del proceso de tostado de café, con énfasis en técnicas avanzadas de espectrometría de masas. Destaca su desarrollo del sistema REMPI-TOFMS (Resonance-Enhanced Multiphoton Ionization – Time-of-Flight Mass Spectrometry), aplicado para el análisis en tiempo real de compuestos volátiles generados durante el tostado [22], [26]. Este esfuerzo se articula en colaboración con la empresa Photonion GmbH, derivada de sus propios laboratorios, lo que evidencia una clara orientación hacia la transferencia tecnológica [27]. Además, sus publicaciones en revistas indexadas de alto impacto y su participación en redes científicas internacionales refuerzan su posicionamiento como un referente en el estudio fisicoquímico del café durante la etapa de transformación térmica.
- La Universidad de Ciencias Aplicadas Rhein-Waal, en alianza con la empresa Probat —líder global en tecnologías de tostado— ha promovido una innovadora sinergia entre la academia y la industria. Esta colaboración ha dado lugar a desarrollos tecnológicos de control inteligente de calidad durante el proceso de tostado, que fueron reconocidos con un premio universitario en 2024 [23]. Aunque su producción científica formal es más limitada en comparación con universidades de investigación intensiva, el valor de esta alianza radica en su impacto práctico, su capacidad de formación aplicada de talento humano, y su influencia directa en los procesos productivos. Esta universidad representa un caso ejemplar de innovación basada en la solución de necesidades reales del sector cafetero, fortaleciendo el puente entre el conocimiento técnico y la aplicación industrial.
- La Technische Universität München (TUM), junto con el Leibniz Institute for Food Systems Biology (LSB), lidera investigaciones de frontera orientadas a comprender la percepción sensorial del café, incluyendo la genética del gusto y la respuesta de los consumidores a compuestos aromáticos generados durante el tostado [24]. Estos esfuerzos combinan herramientas avanzadas de biología molecular, análisis metabolómico y sensometría, integrando capacidades de laboratorios como el Campus of the Senses [28]. Además, TUM destaca por su sólido ecosistema de innovación, que incluye incubadoras especializadas y programas de emprendimiento científico como el Quantum Entrepreneurship Lab [29], lo que le permite traducir sus descubrimientos en soluciones aplicables al mercado. Esta capacidad integral de generación, transferencia y escalamiento de conocimiento, la posiciona como un nodo estratégico en el desarrollo tecnológico de la cadena del café a nivel internacional.

Proceso del tostado del café:

Dentro de los procesos de transformación del café, se ha identificado que, en el proceso del tostado del café, la innovación tecnológica juega un papel crucial para mejorar la calidad del producto final, optimizar la eficiencia operativa y alcanzar una diversificación en los productos derivados del café. Las capacidades tecnológicas que deben revisarse incluyen el control preciso de la temperatura y el tiempo del tostado, lo cual afecta directamente los perfiles de sabor y aroma del café. Las nuevas tecnologías de sensores y automatización permiten un monitoreo en tiempo real, ajustando los parámetros del proceso según las variaciones en las condiciones ambientales y características del grano. Además, las tecnologías del tostado más sostenibles, como los sistemas de reutilización de calor y los hornos de bajo consumo energético, son esenciales para minimizar el impacto ambiental. La innovación también puede abarcar el desarrollo de tostadoras inteligentes que incorporan inteligencia artificial para predecir y replicar perfiles de tostado deseados, lo que permite una mayor personalización de productos derivados del café, como: cafés especiales, cafés infusionados y otros productos gourmet. Estas innovaciones tecnológicas no solo mejoran la calidad y la sostenibilidad, sino que también ofrecen nuevas oportunidades para la diversificación de productos en el mercado del café, por lo tanto, es de crucial importancia y relevancia el estudio de las capacidades en innovación y tecnología de las universidades del eje cafetero que puedan impulsar la transformación de capacidades en ingeniería de la región.

La evaluación de las capacidades universitarias en el Eje Cafetero colombiano, considerando la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), la Universidad de Caldas y la Universidad del Quindío, se llevó a cabo mediante un índice compuesto por cinco grandes dimensiones: indicadores económicos, agilidad jurídica, producción científica y tecnológica, recursos humanos con impacto científico y emprendimiento. Cada una de estas dimensiones incluye múltiples subindicadores, cuya ponderación fue normalizada para obtener una calificación global que permite comparar el grado de madurez institucional y su capacidad de aportar al desarrollo tecnológico del sector cafetero.

Índice de capacidades.

Al aplicar, los indicadores de producción científica y tecnológica, recursos humanos de impacto científico, y de emprendimiento del índice de capacidades. Los resultados revelan una clara superioridad de la Universidad Tecnológica de Pereira (0.408), seguida de la Universidad de Caldas (0.339) y, con un rezago considerable, la Universidad del Quindío (0.072). Esta diferencia se explica en gran parte por la mayor capacidad de producción científica, la infraestructura tecnológica y el número de investigadores asociados a redes activas en la UTP, así como su oferta doctoral y programas de emprendimiento tecnológico en ingeniería.

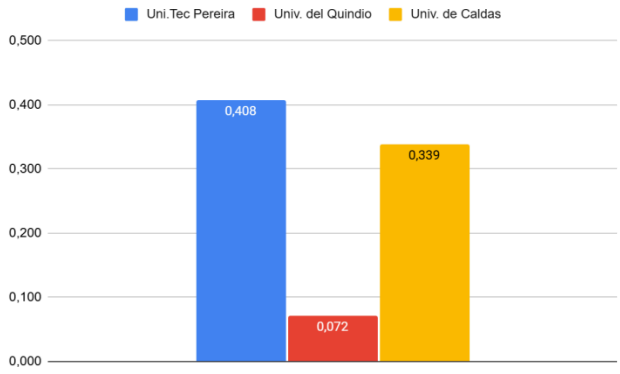

Figura 9. Resultados del Índice

En la dimensión de producción científica y tecnológica, que posee el mayor peso dentro del índice (35%), la UTP muestra una ventaja significativa. La universidad registró 759 artículos científicos frente a 432 de la Universidad de Caldas y 162 del Quindío, lo que se traduce en un valor normalizado de 5.0 frente a 2.261 y 0, respectivamente. Además, la UTP cuenta con grupos de investigación, proyectos ligados a redes y una Oficina de Transferencia de Tecnología activa, todos estos indicadores ausentes o poco desarrollados en las otras dos instituciones.

En lo relativo a recursos humanos con impacto científico (25%), la UTP lidera con una puntuación de 13.21, impulsada por su número de profesores con PhD (9), investigadores (612), y programas de doctorado (4). La Universidad de Caldas también tiene fortalezas en este componente, pero el Quindío presenta una debilidad notable, sin profesores PhD reportados, programas de doctorado ni investigadores en redes activas.

En emprendimiento (20%), solo la UTP refleja acciones concretas, con programas de emprendimiento tecnológico abiertos, mientras que tanto Caldas como Quindío no reportan incubadoras, startups ni duración de emprendimientos. Este aspecto es fundamental para la vinculación efectiva entre universidad e industria y representa una oportunidad de mejora urgente para estas instituciones.

Las dimensiones de agilidad jurídica y capacidad económica, aunque con menor ponderación (10% cada una), también evidencian el liderazgo de la UTP. Aunque los tres casos tienen niveles similares en políticas de CTI y exportaciones tecnológicas, la UTP se beneficia de una mejor articulación entre trámites legales y mecanismos de protección intelectual, reforzando su rol en la transferencia de tecnología.

Los resultados comparativos evidencian una brecha significativa entre las universidades del Eje Cafetero colombiano y las universidades alemanas evaluadas en relación con su capacidad institucional para generar valor agregado en la etapa de tostado de café. Mientras que la Universidad Tecnológica de Pereira, con el puntaje más alto entre las instituciones colombianas, alcanzó un índice normalizado de 0.408, la Universidad de Rostock, Rhein-Waal

UAS + Probat y TU München / Leibniz-LSB reportaron valores de 0.900, 0.880 y 0.970 respectivamente. Esta diferencia refleja no solo un mayor grado de desarrollo científico y tecnológico en las universidades alemanas, sino también una articulación más eficiente entre academia, industria y centros de innovación. La ausencia de investigaciones aplicadas de alta especialización, la baja producción científica en temas relacionados con el tostado, y la débil conexión con el sector productivo en Colombia limitan la posibilidad de escalar la cadena de valor del café más allá de la exportación del grano verde. Por tanto, estas brechas no solo evidencian desigualdades estructurales, sino que también subrayan oportunidades claras para orientar políticas públicas, fomentar alianzas estratégicas internacionales y fortalecer capacidades institucionales locales.

VI. Discusión

El análisis de los clústeres de conocimiento en la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), la Universidad de Caldas y la Universidad del Quindío revela estructuras científicas con fortalezas en áreas como salud pública, biodiversidad, inteligencia artificial e ingeniería, pero con una débil vinculación con el sector cafetero, a pesar de su relevancia económica en la región del Eje Cafetero. Las líneas de investigación predominantes se orientan hacia temas globalmente relevantes, como enfermedades infecciosas o sostenibilidad ambiental, pero rara vez se traducen en soluciones tecnológicas específicas para la producción, transformación o comercialización del café. Esta desconexión estructural entre las agendas académicas y las necesidades del sector cafetero limita la generación de innovación local y restringe la capacidad del sistema universitario regional para incidir en la sofisticación de la cadena de valor del café.

Por ejemplo, en la UTP, la presencia de clústeres consolidados en inteligencia artificial, energía y ciencias médicas contrasta con una débil articulación con el sector cafetero. Su línea en agricultura se enfoca en ecología del suelo amazónico, sin aplicaciones directas en la cadena del café. La Universidad de Caldas, si bien presenta un perfil interdisciplinar que incluye agroindustria, centra sus investigaciones en compuestos funcionales más que en procesos tecnológicos específicos de tostado, transformación o control de calidad del café. Por su parte, la Universidad del Quindío incorpora clústeres en ciencias de los materiales y agroindustria, pero sin una línea enfocada estratégicamente en el café como producto clave de su entorno. Esta situación revela una orientación institucional dispersa, con baja concentración de capacidades técnicas y científicas en los eslabones críticos de mayor valor agregado del café.

La comparación con las universidades alemanas evidencia brechas profundas. Mientras las instituciones del Eje Cafetero presentan índices de capacidad universitaria entre 0.072 y 0.408, universidades como la TU München, la Universidad de Rostock y Rhein-Waal UAS en alianza con la empresa Probat, alcanzan valores entre 0.880 y 0.970. Esta diferencia se explica por su fuerte inversión en talento humano especializado, redes de colaboración internacional, infraestructura tecnológica y una orientación decidida hacia la transferencia de conocimiento y el emprendimiento en la etapa de tostado. La ausencia de estas condiciones en las universidades regionales colombianas genera una dependencia estructural de tecnologías externas, limitando la posibilidad de construir soluciones locales adaptadas a los contextos del territorio. De esta manera, el sector cafetero nacional pierde oportunidades para incrementar su productividad y sostenibilidad, y reduce su competitividad en los mercados internacionales, incluso en aquellos segmentos de cafés diferenciados donde el valor agregado es clave.

El análisis resalta la necesidad de una política regional articulada que promueva la integración académica interinstitucional con énfasis en cerrar brechas tecnológicas críticas, como lo plantea [11], mediante mecanismos de colaboración entre universidades, empresas y gobiernos locales. Asimismo, se vuelve urgente invertir en I+D dentro del sector cafetero, fortaleciendo una lógica de innovación abierta desde la academia, tal como lo argumenta Albuquerque [30], donde el conocimiento aplicado surge de procesos de aprendizaje colectivo entre actores locales. Bajo esta perspectiva, el índice propuesto no solo opera como herramienta diagnóstica, sino también como insumo estratégico para el diseño de políticas públicas orientadas al desarrollo regional basado en conocimiento. La reorientación de las capacidades universitarias hacia sectores tradicionales como el café, a través de alianzas estratégicas, cofinanciación y redes globales, se convierte en una condición necesaria para avanzar hacia una economía cafetera más competitiva, innovadora y sostenible.

VII. Conclusiones

En conclusión, la aplicación del índice de capacidad universitaria en la etapa de tostado de café revela no solo una fragmentación del sistema regional de innovación en el Eje Cafetero, sino también una brecha estructural cuando se contrasta con referentes internacionales como Alemania. A pesar de contar con capacidades científicas destacables, las universidades colombianas operan de manera aislada y con una débil articulación hacia las necesidades tecnológicas del sector cafetero, lo que limita su potencial transformador. Esta situación refuerza lo planteado por Albuquerque [30], quien señala que la innovación no surge de esfuerzos individuales, sino de procesos de aprendizaje colectivo y localizado entre universidades, empresas y otros actores del territorio. En ausencia de estas dinámicas, la región no solo pierde oportunidades de desarrollo, sino que consolida su dependencia de tecnologías externas.

Los resultados comparativos evidencian que universidades alemanas como TU München, Rostock y Rhein-Waal han logrado consolidar ecosistemas de innovación robustos, con altos niveles de especialización, transferencia tecnológica y colaboración universidad-empresa, alcanzando índices superiores a 0.880. Frente a ello, las universidades del Eje Cafetero presentan niveles significativamente más bajos, con puntuaciones entre 0.072 y 0.408, lo que pone de manifiesto la urgencia de políticas que reduzcan estas brechas. Tal como advierte [11], una política regional articulada y orientada a la integración institucional y la transferencia de conocimiento es esencial para fortalecer la competitividad en sectores estratégicos.

Por tanto, el índice propuesto no debe entenderse únicamente como un instrumento de diagnóstico, sino como una herramienta estratégica para orientar la formulación de políticas públicas en educación superior e innovación productiva. El desafío para el Eje Cafetero es dejar atrás un modelo basado en esfuerzos fragmentados o aislados, y avanzar hacia la consolidación de un verdadero ecosistema de innovación regional, donde la ciencia y el conocimiento universitario se traduzcan en soluciones concretas, tecnologías adaptadas al contexto y mayor valor agregado para el sector cafetero.

Para finalizar algunas de las implicaciones estratégicas entre las partes pueden impulsar:

- Fomentar alianzas con Fraunhofer o TU München podría ser un camino efectivo para la transferencia tecnológica al Eje Cafetero.
- Incrementar inversión en laboratorios de sensorística y análisis en línea permitiría reducir brechas en proyectos de tostado.
- Programas de movilidad académica y proyectos conjuntos con universidades alemanas permitirían cerrar la brecha de innovación estructural.

References

[1] Parra-Peña, Rafael Isidro, and Rafael Puyana. "Análisis de la productividad del sector agropecuario en Colombia y su impacto en temas como: encadenamientos productivos, sostenibilidad e internacionalización, en el marco del programa Colombia más competitiva." (2021).

[2] Taborda, María Luisa Nieto. "Estudio de tendencias del desarrollo regional: Ciencia, tecnología e innovación en Risaralda."

[3] Herbert, L., Arias, J., Toro, A., Martínez, A., Murzi, H. (2022). Information Management for The Projection of Productive Capacities Articulated to Export Scenarios. In: Tareq Ahram and Redha Taiar (eds) Human Interaction & Emerging Technologies (IHIET-AI 2022): Artificial Intelligence & Future Applications . AHFE (2022) International Conference. AHFE Open Access, vol 23. AHFE International, USA. http://doi.org/10.54941/ahfe100925

[4] C. A. Hidalgo and R. Hausmann, "The building blocks of economic complexity," Proc. Natl. Acad. Sci., vol. 106, no. 26, pp. 10570–10575, Jun. 2009, doi: 10.1073/pnas.0900943106.

[5] R. Hausmann and C. A. Hidalgo, "The network structure of economic output," J. Econ. Growth, vol. 16, no. 4, pp. 309–342, Dec. 2011, doi: 10.1007/s10887-011-9071-4.

[6] D. Winch, "Intellectual History and the History of Economics," in A Companion to Intellectual History, John Wiley & Sons, Ltd, 2015, pp. 170–183. doi: 10.1002/9781118508091.ch13.

[7] Morris, Lloyd, Olga Salazar, and Juan Garmendia. "Caracterización de las técnicas en operaciones para el fortalecimiento de los procesos logísticos del Clúster de Cafés Especiales de Risaralda." (2023).

[8] P.-K. Wong, Y.-P. Ho, and A. Singh, Contribution of universities to national innovation systems in Asia: technology commercialization and academic entrepreneurship. Edward Elgar Publishing, 2011.

[9] P. J. Sher and P. Y. Yang, "The effects of innovative capabilities and R&D clustering on firm performance: the evidence of Taiwan's semiconductor industry," Technovation, vol. 25, no. 1, pp. 33–43, Jan. 2005, doi: 10.1016/S0166-4972(03)00068-3.

[10] Hausmann, Ricardo, et al. "Global trends in innovation patterns: A complexity approach." World Intellectual Property Organization (WIPO) Economic Research Working Paper Series 80 (2024).

[11] Morgulis-Yakushev, Sergey, and Örjan Sölvell. "Enhancing dynamism in clusters: A model for evaluating cluster organizations' bridge-building activities across cluster gaps." [12] Competitiveness Review: An International Business Journal 27.2 (2017): 98-112.

[12] Carbajal, Lila Margarita Bada, and Luis Arturo Rivas Tovar. "Tipologías y modelos de cadenas productivas en las Mipymes." Lebret 1 (2009): 173-198.

[13] M. Meyer, T. Siniläinen, and J. Utecht, "Towards hybrid Triple Helix indicators: A study of university-related patents and a survey of academic inventors in: Scientometrics Volume 58 Issue 2 (2004)," Oct. 2003, doi: https://doi.org/10.1023/a:1026240727851.

[14] "Understanding Technology Development - Lall - 1993 - Development and Change - Wiley Online Library." Accessed: Jan. 15, 2025. [Online]. Available: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1467-7660.1993.tb00502.x

[15] J. B. Powers, "Commercializing Academic Research: Resource Effects on Performance of University Technology Transfer," J. High. Educ., vol. 74, no. 1, pp. 26–50, 2003.

[16] Kochetkov, Dmitry Mikhaylovich, Viola Anatolyevna Larionova, and Darko Bozha Vukovic. "Entrepreneurial capacity of universities and its impact on regional economic growth." (2017): 477-488.

[17] Temel, Serdal. "27. The journey of intellectual property rights." Handbook of Innovation and Intellectual Property Rights: Evolving Scholarship and Reflections (2024): 469.

[18] Rossi, Federica, and Ainurul Rosli. "Indicators of university–industry knowledge transfer performance and their implications for universities: evidence from the United Kingdom." Studies in Higher Education 40.10 (2015): 1970-1991.

[19] Mati, Yazid. "Input resources indicators in use for accreditation purpose of higher education institutions." Performance Measurement and Metrics 19.3 (2018): 176-185.

[20] Mazdeh, Mohammad Mahdavi, et al. "Recognition of state universities entrepreneurship indicators and ranking the universities in aspect of entrepreneurship." Journal of 6.1 (2013).

[21] International Coffee Organization (ICO), "Coffee trade statistics – Germany," *ICO Reports*, 2023. [Online]. Available: https://www.ico.org/trade-statistics-e.asp

[22] R. Zimmermann et al., "On-line process monitoring of coffee roasting by resonance-enhanced multiphoton ionization time-of-flight mass spectrometry (REMPI-TOFMS)," J. Mass Spectrom., vol. 48, no. 3, pp. 333–339, 2013. [Online]. Available: https://doi.org/10.1002/jms.3299

[23] Probat GmbH, "Probat receives university award for project on quality control in roasting process," Comunicaffe International, 2024. [Online]. Available: https://www.comunicaffe.com/probat-receives-university-award-for-project-on-quality-control-in-roasting-process

[24] Leibniz-LSB, "Understanding coffee taste: The role of genetics in perception," Innovations Report, 2025. [Online]. Available: https://www.innovations-report.com/education/studies-and-analyses/understanding-coffee-taste-the-role-of-genetics-in-perception

[25] S. Morgulis-Yakushev and Ö. Sölvell, “Enhancing dynamism in clusters: A model for evaluating cluster organizations’ bridge-building activities across cluster gaps,” *Competitiveness Review: An International Business Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 98–112, 2017. [Online]. Available: https://doi.org/10.1108/CR-06-2016-0038

[26] R. Zimmermann et al., “Real-time prediction of roast degree and antioxidative potential of coffee during roasting,” J. Agric. Food Chem., vol. 68, no. 10, pp. 2950–2959, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06502

[27] Photonion GmbH, “Collaborative development of REMPI systems with University of Rostock,” ProQuest Dissertations & Theses Global, 2020. [Online]. Available: https://www.proquest.com/docview/2404408314

[28] Fraunhofer IVV, “Modeling coffee extraction: Application-specific sensor systems,” Fraunhofer Institute for Process Engineering and Packaging IVV, 2023. [Online]. Available: https://www.ivv.fraunhofer.de/en/product-performance/food-sensory/modeling-coffee-extraction.html

[29] A. Arce and D. Schlegel, “Quantum Entrepreneurship Lab: A Framework for Deep Tech Transfer,” arXiv preprint arXiv:2505.06298, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2505.06298

Alburquerque, Francisco. Desarrollo económico local y descentralización en América Latina: Un enfoque territorial. Santiago de Chile: CEPAL, 2004.

Apéndice I

Indicadores de medición y sus categorías

Indicador	Concepto
Indicadores Económicos	1.1. Gasto en Investigación y desarrollo como un porcentaje del PIB.
	1.1.1. Exportaciones de alta tecnologías
	1.2. Políticas de CTI en el país
	1.3. Complejidad económica del producto o servicio a desarrollar.
Indicadores de Agilidad Jurídica	2.1. Cantidad de trámites para proteger
	2.2. Tiempo de protección de propiedad intelectual
Indicadores de Producción Científica y Tecnológica	3.1. Capacidad de Creación de conocimiento
	3.1.1. Cantidad de artículos científicos generados y su impacto en la comunidad científica.
	3.1.2. Cantidad de proyectos de Investigación ligados a una red de investigación.
	3.1.3. Cantidad de grupos de investigación
	3.2. Capacidad de Transferencia Tecnológica
	3.2.1. Cantidad de Patentes
	3.2.2. Cantidad de diseños industriales
	3.2.3. % de Patentes asignadas
	3.2.4. Software Open/Close Sources
	3.2.5. Cantidad de Oficina de Transferencia de Tecnología
	3.2.6. Ingresos por patentes
	3.3. Infraestructura tecnológica
	3.3.1. Laboratorio y Centros de Investigación
	3.3.2. Equipamiento Avanzado
Indicadores de Recursos humanos de Impacto Científico	4.1. Cantidad de investigadores por millón de personas
	4.2. Beca de movilidad otorgadas a postgrados
	4.3. Profesores con nivel de PhD
	4.4. Profesores ligados a redes de investigación
	4.5. Programas de Doctorado
Indicadores de Emprendimiento	5.1. Cantidad de Incubadoras
	5.2. Cantidad de StartUps o Spin-Off Universitarias
	5.3. Tiempo de vida de los emprendimientos
	5.4. Programas de emprendimiento tecnológico abiertos en las facultades de ingeniería y ciencias.

Apéndice II

Indicadores con sus referencias individuales

ID	Indicador	Concepto	Referencia	Database
1	Indicadores Económicos	World Bank CEPAL BID		
1.1	Gasto en Investigación y desarrollo como un porcentaje del PIB.	Los gastos en investigación y desarrollo son gastos corrientes y de capital (público y privado) en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos, incluso los conocimientos sobre la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso de los conocimientos para nuevas aplicaciones. El área de investigación y desarrollo abarca la investigación básica, la investigación	-1 (1a)	Unesco UIS Link
1.1.1	Exportaciones de alta tecnologías	Las exportaciones de alta tecnología son productos con una alta intensidad de investigación y desarrollo (I+D), tales como aeroespacial, computadoras, productos farmacéuticos, instrumentos científicos y maquinaria eléctrica. Los datos están en dólares estadounidenses corrientes.	(1.1.a) (1.1.b) (1.1.c)	World Bank WITS link

1.2	Políticas de CTI en el país	Las políticas son todas aquellos esfuerzos para estimular la CTI dentro de una región determinada, brindando de esta manera beneficios aquellos que hacen ciencia, tecnología e innovación.	1.2.a 1.2.b 1.2.c 4.1.b	Sitios webs gubernamentales
1.3	Complejidad económica del producto o servicio a desarrollar.	La complejidad económica mide la capacidad productiva de un país o región basada en el conocimiento necesario para producir bienes y servicios sofisticados. Se medirá la distancia, la oportunidad de ganancia y la ventaja Comparativa Revelada ¿Pueden las universidades producir tecnologías que eleven la complejidad económica del país o región?	(1.3a) (1.3b)	link
2	Indicadores de Agilidad Jurídica	Propiedad intelectual Mixto: cualitativo y cuantitativo Pasos para una patente o propiedad Días.		
2.1	Cantidad de trámites para proteger		2.1, 2.2	
2.2	Tiempo de protección de propiedad intelectual		2.1, 2,2	

3	Indicadores de Producción Científica y Tecnológica	SCIMAGO		
3.1	Capacidad de Creación de conocimiento			
3.1.1	Cantidad de artículos científicos generados y su impacto en la comunidad científica.	Este indicador mide el **número total de artículos científicos publicados** por investigadores de una institución, país o región en un periodo de tiempo específico. Los artículos científicos son publicaciones revisadas por pares que presentan los resultados de investigaciones originales en revistas académicas. Este indicador es clave para evaluar la **producción científica** y la **contribución al conocimiento global** en	3.1.1	

3.1.2	Cantidad de proyectos de Investigación ligados a una red de investigación.	Este indicador mide el **número de proyectos de investigación** que están asociados a **redes de investigación colaborativa,** ya sea a nivel nacional o internacional. Las redes de investigación son agrupaciones de instituciones o investigadores que colaboran para desarrollar	3.1.2	

- (1)Walsh, P. P., Murphy, E., & Horan, D. (2020). The role of science, technology and innovation in the UN 2030 agenda. *Technological Forecasting and Social Change, 154*(119957), 119957. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.119957
- 1a. OCDE (2018) Manual de Frascati 2015. OCDE. Available at: https://www.oecd.org/es/publications/manual-de-frascati-2015_9789264310681-es.html
- 1.1.a Hatzichronoglou, T. (1997) 'Revision of the High-Technology Sector and Product Classification', OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 1997/02, p. 26. Available at: http://dx.doi.org/10.1787/134337307632
- 1.1.b Ambos, B. *et al.* (2021) 'The nature of innovation in global value chains', *Journal of World Business*, 56(4). Available at: https://doi.org/10.1016/j.jwb.2021.101221
- 1.1.c Feenstra, R. C., Lipsey, R. E., Deng, H., Ma, A. C., & Mo, H. (2005). World trade flows: 1962–2000. NBER Working Paper No. W11040.
- 1.2a Freeman, C. (1995). *The 'National System of Innovation' in historical perspective. Cambridge Journal of Economics.* DOI: 10.1093/oxfordjournals.cje.a035309
- 1.2b Lundvall, B. Å. (1992). National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. DOI: 10.1016/B978-0-08-044636-3.50015-8
- 1.2.c Becker, B. (2015) 'Public R&D Policies and Private R&D Investment: A Survey of the Empirical Evidence', *Journal of Economic Surveys*, 29(5), pp. 917–942. Available at: https://doi.org/10.1111/joes.12074
- (1.4)The Growth Lab at Harvard University. The Atlas of Economic Complexity. http://www.atlas.cid.harvard.edu.
- (1.3a) Hausmann, R. and Hidalgo, C.A. (2011) 'The network structure of economic output', *Journal of Economic Growth*, 16(4), pp. 309–342. Available at: https://doi.org/10.1007/s10887-011-9071-4
- (1.3b) Hausmann, R., Hidalgo, C. A., et al. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity.*

DOI: 10.7551/mitpress/9645.001.0001
- 1.4 Bessonov, I.D. (2015) 'Effect of Intellectual Property Policy on the Speed of Technological Advancement', SIAM Journal on Financial Mathematics, 6(1), pp. 467–486. Available at: http://epubs.siam.org/doi/10.1137/140967635
- 2.1 Bessonov, I.D. (2015) 'Effect of Intellectual Property Policy on the Speed of Technological Advancement', SIAM Journal on Financial Mathematics, 6(1), pp. 467–486. Available at: http://epubs.siam.org/doi/10.1137/140967635
- 2.2 Lemper, T.A. (2012) 'The critical role of timing in managing intellectual property', *Business Horizons*, 55(4), pp. 339–347. Available at: https://doi.org/10.1016/j.bushor.2012.03.002
- 3 Moed, H. F. (2006). *Citation analysis in research evaluation* (Vol. 9). Springer Science & Business Media.
- 3.1 Katz, J.S. and Martin, B.R. (1997) 'What is research collaboration?', *Research Policy*, 26(1), pp. 1–18. Available at: https://doi.org/10.1016/S0048-7333(96)00917-1
- 3.2Powers (2003)
- 3.2.5 Lerner, J., & Tirole, J. (2005). Open source software as an enabler of innovation: An economic perspective. *Journal of Economic Perspectives*, 19(2), 99–120. https://doi.org/10.1257/0895330054048652
- 3.2.6a Siegel, D. S., Waldman, D., Atwater, L. E., & Link, A. N. (2004). University technology transfer: Do incentives, management, and location matter? *Research Policy*, 33(2), 303–319. https://doi.org/10.1016/j.respol.2003.09.012

- 3.2.6b Markman, G. D., Phan, P. H., Balkin, D. B., & Gianiodis, P. T. (2005). The effectiveness of technology transfer offices in the United States. *Journal of Business Venturing*, 20(2), 241–263. https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2003.12.003
- 3.3a Sagong, D. *et al.* (2023) 'The three pointers of research and development (R&D) for growth-boosting sustainable innovation system', *Technovation*, 122(June 2022). Available at: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102581
- 3.3b Fabre, R. *et al.* (2021) 'Evaluating the scientific impact of research infrastructures: The role of current research information systems', *Quantitative Science Studies*, 2(1), pp. 42–64. Available at: https://doi.org/10.1162/qss_a_00111
- 4.1a https://www.oecd.org/en/data/datasets/research-and-development-statistics.html
- 4.1b https://uis.unesco.org/sites/default/files/documents/unesco-science-report-towards-2030-part1.pdf
- 4.2a Mayra M. Tirado. Individual and organizational effects of international mobility policy: Effects of Mexico's Scholarship Program in nanotechnology. *Research Evaluation*, Volume 32, Issue 4, October 2023, Pages 658–669, https://doi.org/10.1093/reseval/rvad031
- 4.2b UK Research and Innovation (2023) *Global mobility of research and innovation personnel: evidence report (HTML)*. London. Available at:

https://www.ukri.org/publications/global-mobility-of-research-and-innovation-personnel-evidence-report/global-mobility-of-research-and-innovation-personnel-evidence-report-html/?utm_source=chatgpt.com
- 5.1 Mian, A. (2022). Hatching start-ups for sustainable growth: A bibliometric review on business incubators. *Review of Managerial Science*. https://doi.org/10.1007/s11846-022-00525-9
- 5.2 Pauwels, C., Clarysse, B., Wright, M., & Van Hove, J. (2016). Business incubators and accelerators: A co-citation analysis-based research agenda. *Journal of Technology Transfer*, 41(1), 182–202. https://doi.org/10.1007/s10961-018-9651-y
- 5.2a Rasmussen, E., Mosey, S., & Wright, M. (2018). The development, growth, and performance of university spin-offs: A critical review. *Journal of Technology Transfer*, 43(5), 1252–1275. https://doi.org/10.1007/s10961-018-09714-9
- 5.2b Phan, P. H., Siegel, D. S., & Wright, M. (2005). Rethinking university spin-off: A critical literature review and a research agenda. *Research Policy*, 34(7), 781–803. https://doi.org/10.1007/s10961-017-9647-z
- 5.3a Albort-Morant, G., & Henseler, J. (2022). Business Incubators, Accelerators, and Performance of Technology-Based Startups.

Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 8(1), 46. https://doi.org/10.3390/joitmc8010046
- 5.3b Schwarz, M. (2022). Critical Factors and Performance Measurement of Business Incubators: A Systematic Review.

Sustainability, 14(8), 4610. https://doi.org/10.3390/su14084610
- 5.4a Clarysse, B., Tartari, V., & Salter, A. (2011). Academic entrepreneurship: Founding and governance determinants in academic spin-offs. *Journal of Technology Transfer*, 36(3), 331–349. https://doi.org/10.1007/s10961-020-09798-2
- 5.4b Guerrero, M., & Urbano, D. (2012). Evolving missions and university entrepreneurship: Academic spin-offs and graduate start-ups. *Journal of Technology Transfer*, 37(5), 642–679. https://doi.org/10.1007/s10961-017-9619-3

Categoría	Indicador	Descripción Breve
Capacidad de Creación de Conocimiento	Cantidad de artículos científicos generados y su impacto	Número de publicaciones científicas y su relevancia en la comunidad académica (citas, impacto, contribuciones al sector cafetero).
	Cantidad de proyectos de investigación ligados a una red de investigación	Total de proyectos vinculados a redes de colaboración científica, lo que fortalece la visibilidad y alcance del conocimiento.
	Cantidad de grupos de investigación	Número de grupos reconocidos oficialmente, activos y trabajando en temas clave para el sector cafetero.
Capacidad de Transferencia Tecnológica	Cantidad de patentes	Total de invenciones registradas por la universidad con potencial de uso práctico en la industria cafetera.
	Cantidad de diseños industriales	Número de soluciones estéticas o funcionales registradas como propiedad intelectual (empaques, herramientas, etc.).
	Número de patentes asignadas	Cantidad de patentes que ya han sido otorgadas legalmente a la institución.
	Software Open/Close Sources	Cantidad de desarrollos de software producidos por la universidad, ya sean de código abierto o cerrado, útiles para el sector productivo.
	Cantidad de oficinas de transferencia de tecnología (OTT)	Número de unidades institucionales activas en procesos de protección y comercialización del conocimiento.
	Ingresos por patentes	Dinero recibido por la universidad por concepto de licencias o explotación comercial de patentes.
Infraestructura Tecnológica	Laboratorios	Cantidad de espacios físicos equipados para pruebas, ensayos y prototipos científicos.
	Centros de investigación	Institutos internos que coordinan investigaciones en áreas estratégicas como biotecnología, economía o sostenibilidad cafetera.

Categoría	Indicador	Descripción Breve
	Equipamiento avanzado	Disponibilidad de herramientas tecnológicas sofisticadas que permiten investigaciones de alto nivel (por ejemplo, sensores, equipos de análisis, etc.).

Tabla: Indicadores de Recursos Humanos de Impacto Científico

Indicador	Descripción Breve
Cantidad de investigadores en ingeniería	Número total de docentes o investigadores activos en el área de ingeniería, que participan en proyectos de investigación o desarrollo relacionados al café.
Becas de movilidad otorgadas a posgrados	Número de apoyos económicos entregados a estudiantes de maestría y doctorado para realizar estancias académicas o científicas en otras instituciones.
Profesores con nivel de PhD	Total de docentes en ingeniería que cuentan con título de doctorado, lo cual fortalece la capacidad investigativa y académica de la universidad.
Profesores ligados a redes de investigación	Número de profesores vinculados a redes académicas o científicas nacionales e internacionales, lo que promueve colaboración y transferencia de conocimiento.
Programas de Doctorado	Cantidad de programas doctorales activos en el área de ingeniería, especialmente aquellos con enfoque en tecnología, agroindustria o sostenibilidad.

Tabla: Indicadores de Emprendimiento

Indicador	Descripción Breve
Cantidad de incubadoras	Número de centros o programas universitarios que brindan acompañamiento, asesoría y recursos para el desarrollo de ideas emprendedoras con potencial tecnológico.
Cantidad de StartUps o SpinOff universitarias	Total de nuevas empresas creadas desde la universidad, especialmente las que aplican innovación tecnológica en el ámbito agroindustrial o caficultor.
Tiempo de vida de los emprendimientos	Mide la duración promedio de los emprendimientos creados en la universidad, lo cual permite evaluar su sostenibilidad e impacto en el tiempo.

Indicador	Descripción Breve
Programas de emprendimiento tecnológico abiertos en facultades	Número y calidad de programas o asignaturas ofrecidas por las facultades de ingeniería y ciencias que fomentan el desarrollo de ideas de negocio con base tecnológica.

https://sehablacafe.com/hablemos/anatomia-de-la-fruta-y-semilla-del-cafe/

En el contexto del café, estos términos describen las diferentes capas de la cereza de café y el grano. Piel externa o exocarpio es la capa más externa de la cereza. Pulpa o mesocarpio es la capa carnosa que sigue a la piel. Debajo de la pulpa se encuentra el mucílago, una capa pegajosa. El pergamino o endocarpio es la capa dura que protege al grano. Finalmente, la piel plateada o perisperma es una fina membrana que cubre el grano de café. El grano es la semilla del café, que se encuentra dentro de todas estas capas.
Explicación detallada:
Piel externa (Exocarpio):
Es la capa más externa de la cereza del café, similar a la piel de una fruta. Su color varía de verde a rojo o amarillo dependiendo de la madurez de la cereza.
Pulpa (Mesocarpio):
Es la capa carnosa y dulce que se encuentra debajo de la piel. Contribuye al sabor del café y es importante en los procesos de beneficio.
Mucílago (Mesocarpio):
Una capa gelatinosa y pegajosa que recubre el pergamino y el grano. Contiene azúcares y pectinas, y es crucial en el proceso de beneficiado húmedo y honey.
Pergamino (Endocarpio):
Es una capa dura y similar al papel que protege el grano. Se elimina en el proceso de trilla para obtener el café verde.
Piel plateada (Perisperma):
Una fina membrana que cubre directamente el grano. Se desprende durante el tostado.
Grano:
La semilla del cafeto, que se encuentra dentro de todas las capas mencionadas. Es la parte que se tuesta y se consume.

EXOCARPIO (PIEL)

El exocarpio, también conocido como cáscara, piel o epicarpio, es la capa más externa del fruto del café. Está formado por una capa de célula parénquima.
Su color cambia dependiendo de la madurez del fruto. Al inicio del desarrollo del fruto es verde debido a la presencia de cloroplastos.

El color después de la maduración dependiendo de la variedad del café, es rojo o amarillo. El color rojo proviene de los pigmentos de antocianina, mientras que el color amarillo se atribuye a la luteolina.

MESOCARPIO (MUCÍLAGO, PULPA)

También conocido como mucílago, es la pulpa del fruto del café.
En la fruta de café verde, el mesocarpio es rígido, conforme la fruta va madurando las enzimas pectolíticas rompen las cadenas pécticas, dando como resultado un hidrogel insoluble muy rico en azúcares y pectinas.

En el beneficio húmedo, el mucílago se elimina mediante fermentación controlada. En el beneficio honey, el mucílago se deja adherido al grano durante el secado. Y en el beneficio seco, el mucílago, junto con el exocarpio, se deja intacto durante el secado.

Los estudios han demostrado que la proporción mucílago/agua del mesocarpio aumenta a medida que aumenta la altitud.

ENDOCARPIO (PERGAMINO)

Es la capa más interna del pericarpio y es la capa que recubre y protege el grano, tiene un color amarillo pálido y es de consistencia dura y frágil cuando se ha secado. Está formado de 3 a 7 capas de células de esclerenquima.
El grano del café al estar recubierta con esta capa protectora, se le suele llamar café en pergamino y en algunos países es la forma en que se comercializa el café.

El capa de pergamino debe ser removida antes de tostar el café.

PERISPERMA (PELÍCULA PLATEADA)

La perisperma también conocido como película plateada, es la capa más externa que envuelve la semilla. Algunos restos de la piel plateada permanecen adherida al grano y se desprenden total o parcialmente durante el proceso tostado del café.

ENDOSPERMO (SEMILLA)

Cada cereza de café contiene en su interior, dos semillas llamadas endospermo que suelen tener una consistencia dura y de color verdoso o amarillento. En algunas ocasiones se puede dar el caso donde se desarrolla una sola semilla (Peaberry) o tres.

El contenido químico del endospermo es de suma importancia ya que es el precursor del sabor y aroma del café tostado.

Los compuestos químicos encontrados en el endospermo pueden clasificarse como solubles o insolubles en agua. Los compuestos solubles en agua son cafeína, trigonelina, ácido nicotínico (niacina), al menos 18 ácidos clorogénicos, mono, di y oligosacáridos, algunas proteínas y minerales y ácidos carboxílicos.

Los componentes insolubles en agua incluyen celulosa, polisacáridos, lignina y hemicululosa, así como algunas proteínas, minerales y lípidos.

El endospermo del café suele ser llamado café verde y es la forma en la que se suele comercializar. El café verde es el que pasa por el proceso de tostado donde se desarrollan todos sus sabores.

EMBRIÓN

Se encuentra sobre la cara convexa del endospermo. El embrión está compuesto por un hipocótilo (eje embrionario) y dos cotiledones y tiene una longitud de 3-4 mm.
Las semillas de café germinan a través de la germinación epigea, en la cual el hipocótilo se alarga y empuja la semilla hacia arriba por encima del suelo. Los cotiledones originales permanecen bajo tierra; sin embargo, se formarán nuevos cotiledones.