

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

<https://doi.org/10.35381/r.k.v10i20.4753>

Prótesis híbridas para extremidades superiores: propuesta productiva basada en factores de mercado y producción

Hybrid upper-limb prostheses: a manufacturing proposal based on market and production factors

Gloria Elizabeth Miño-Cascante

gloria.mino@espoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0003-2896-3987>

Carlos José Santillán-Mariño

carlos.santillan@espoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-7167-7452>

Allison Dayanara Casillas-Caza

allison.casillas@espoch.edu.ec

Red Académica Koinonía, Riobamba, Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-9599-6282>

Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca

sandra.saquisilli@espoch.edu.ec

Red Académica Koinonía, Riobamba, Chimborazo
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-3745-7755>

Recibido: 15 de marzo 2025

Revisado: 10 de abril 2025

Aprobado: 15 de junio 2025

Publicado: 01 de julio 2025

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

RESUMEN

El objetivo de la investigación es diseñar una propuesta productiva de prótesis híbridas para extremidades superiores, basada en el análisis de factores productivos y de mercado para personas con discapacidad en Ecuador. Se utilizó métodos cualitativos y cuantitativos para recolectar datos sobre prótesis de extremidades superiores existentes en el mercado, se cuantificó la demanda a través de datos de varias instancias del Ministerio de Salud y con el método de tasa de crecimiento simple, se determinó la demanda insatisfecha. El diseño de producción, optimizado con el software FlexSim para la distribución en planta estableció una capacidad anual de 215 unidades, cubriendo el 70% de la necesidad. El estudio económico-financiero confirma su viabilidad: con una inversión de \$202.194,73, un precio de venta de \$1.532 por unidad y utilidades de \$60.696,51, los indicadores son. El proyecto demuestra ser rentable (68.29%) con un retorno de inversión en 2 años.

Descriptores: Prótesis mioeléctricas; propuesta productiva; manufactura; línea de producción; factores de mercado. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of the research is to design a productive proposal for hybrid prostheses for upper limbs, based on the analysis of productive and market factors for people with disabilities in Ecuador. Qualitative and quantitative methods were used to collect data on upper limb prostheses currently on the market. Demand was quantified using data from various sources within the Ministry of Health, and unmet demand was determined using the simple growth rate method. The production design, optimized with FlexSim software for plant layout, established an annual capacity of 215 units, covering 70% of the need. The economic-financial study confirms its viability: with an investment of \$202,194.73, a sale price of \$1,532 per unit, and profits of \$60,696.51, the indicators are as follows. The project proves to be profitable (68.29%) with a return on investment in two years.

Descriptors: Myoelectric prostheses; productive proposal; manufacturing; production; line; market factors. (UNESCO Thesaurus).

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la ingeniería biomédica ha transformado radicalmente el campo de las prótesis, proporcionando soluciones que buscan no solo restaurar funciones físicas, sino también mejorar la calidad de vida de las personas con amputaciones. Las prótesis de extremidades superiores, en particular, han pasado de ser dispositivos rudimentarios y poco ergonómicos a convertirse en artefactos altamente tecnológicos que integran principios de biomecánica, electrónica y materiales avanzados (Morillo et al., 2025). Este desarrollo ha sido impulsado por la necesidad de devolver autonomía y dignidad a quienes han perdido un brazo o parte de él, permitiéndoles reincorporarse a la vida social, laboral y personal de manera más plena.

Históricamente, las primeras prótesis eran rígidas, incómodas y de limitada funcionalidad. Con el paso del tiempo, los avances tecnológicos y la aparición de nuevos materiales han permitido diseñar dispositivos más livianos, resistentes y adaptables a las características antropométricas del usuario (Capsi-Morales et al., 2021; Gorski et al., 2025). Hoy en día, los diseños no solo buscan la sustitución estética de un miembro perdido, sino que incorporan mecanismos funcionales que permiten la ejecución de movimientos finos y complejos, lo cual constituye un hito en la historia de la rehabilitación protésica.

El desarrollo de prótesis mioeléctricas constituye uno de los avances más notables en esta área. A diferencia de las prótesis de control corporal, estas aprovechan señales eléctricas generadas por los músculos residuales del paciente, las cuales son detectadas mediante sensores y transformadas en órdenes que activan actuadores eléctricos. Esto permite una mayor precisión en el movimiento y, sobre todo, una experiencia más natural para el usuario (Mick et al., 2024). Aunque esta tecnología ofrece un enorme potencial, su alto costo limita el acceso de los pacientes, especialmente en países en vías de desarrollo, donde el precio de mercado constituye una barrera significativa.

En América Latina, diversas investigaciones han abordado el diseño y construcción de prótesis a partir de metodologías interdisciplinarias (Castro et al., 2022). Răduică & Simion (2024), por ejemplo, desarrollaron un estudio de prefactibilidad para una planta

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

productora de prótesis basada en impresión 3D y Arduino. Sus resultados demostraron que la implementación de tecnologías de bajo costo y materiales accesibles, como ABS y PLA, podían garantizar un proyecto económicamente viable, con un margen bruto del 73,14%. Este tipo de investigaciones evidencian la importancia de conjugar innovación tecnológica con estrategias de producción sostenibles (de Souza Pereira et al., 2024; Schwartz & Schofield, 2023).

De manera similar, Marinelli et al., (2023) diseñaron y construyeron una prótesis transhumeral biomecatrónica en cinco fases que incluyeron desde el levantamiento de medidas antropométricas con escáneres 3D hasta la integración de componentes mecánicos y electrónicos. El uso de software como Autodesk Inventor permitió optimizar el diseño antes de la fabricación mediante impresión 3D y mecanizado convencional. Este enfoque demostró que la incorporación de metodologías de simulación y análisis puede reducir costos y mejorar la eficiencia de los prototipos.

Por su parte, Gorski et al., (2025) desarrolló una prótesis ergonómica de antebrazo y mano derecha, utilizando tecnologías de escaneo 3D, modelado CAD e impresión 3D. Este trabajo destaca la importancia de adaptar los dispositivos a las características individuales de cada paciente, subrayando la necesidad de personalización en la producción de prótesis. Los resultados demostraron que es posible elaborar soluciones funcionales y de bajo costo, con un presupuesto cercano a los 400 dólares, lo que abre una ventana de accesibilidad a poblaciones de bajos recursos.

Otros estudios, como el de Mick et al., (2024), han explorado el uso de inteligencia artificial y técnicas de fusión de sensores para mejorar el control de prótesis mioeléctricas. Estos investigadores lograron alcanzar un 93% de precisión en la predicción de movimientos, demostrando que la incorporación de algoritmos de aprendizaje automático y sistemas embebidos puede revolucionar la manera en que los usuarios interactúan con sus prótesis. Estos hallazgos son relevantes porque evidencian que la evolución del campo no depende únicamente del hardware, sino también del software y de la integración inteligente de datos biomédicos.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

Aunque estos proyectos representan aportes significativos al avance científico y tecnológico, la mayoría han sido desarrollados en contextos distintos al ecuatoriano. En Ecuador, el acceso a prótesis mioeléctricas sigue siendo limitado debido a su elevado costo y a la inexistencia de sistemas productivos locales que garanticen su fabricación sostenible. Esto genera una demanda insatisfecha que afecta a uno de los sectores más vulnerables de la sociedad: las personas con discapacidad derivada de amputaciones de extremidades superiores.

En este contexto, el grupo de investigación AUTOPRO plantea un desafío: diseñar y evaluar un sistema productivo de prótesis híbridas que combine accesibilidad, funcionalidad y sostenibilidad. Este tipo de iniciativas no solo buscan disminuir los costos de producción mediante el uso de materiales locales y tecnologías de manufactura avanzada, como la impresión 3D, sino también establecer un modelo replicable que pueda adaptarse a diferentes regiones del país.

La investigación se enmarca, por tanto, en un doble propósito: por un lado, contribuir a la literatura científica mediante un análisis integral de los factores técnicos, económicos y de mercado que inciden en la factibilidad de una planta productora de prótesis; y por otro, responder a una necesidad social urgente vinculada con la inclusión y equidad de las personas con discapacidad. Como señala Buerke et al., (2017), los consumidores son el eje de toda organización, y en este caso los usuarios potenciales —personas con amputación transradial mayores de 18 años— constituyen el núcleo de la investigación y el motor que justifica su pertinencia.

Adicionalmente, la literatura sobre sistemas productivos enfatiza la importancia de considerar factores como la mano de obra especializada, la disponibilidad de tecnología y la planificación de procesos de manufactura flexible (Baca Urbina, 2013; Lira Briceño, 2021; Soriano Morales, 2024). Estos elementos resultan cruciales en el caso de las prótesis, donde cada dispositivo debe adaptarse a las características individuales del paciente. La manufactura por órdenes de producción se presenta como la estrategia más

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

idónea, ya que permite personalizar los diseños y responder a la diversidad de necesidades anatómicas.

De igual manera, el análisis de factibilidad debe incorporar variables sociales, ambientales y financieras. Uribe & Székely (2020) destacan que la factibilidad no se limita a evaluar costos e ingresos, sino que debe contemplar los impactos sociales de un proyecto, particularmente cuando este está dirigido a poblaciones vulnerables. En el caso de la producción de prótesis, la evaluación integral permite determinar no solo la viabilidad económica, sino también su contribución a la equidad social y a la inclusión de personas con discapacidad.

En definitiva, la revisión de antecedentes y la realidad ecuatoriana revelan un vacío en cuanto a propuestas de producción local de prótesis mioeléctricas accesibles y sostenibles. La innovación tecnológica, combinada con el diseño de sistemas productivos eficientes, se erige como una oportunidad estratégica para reducir costos, aumentar la cobertura y mejorar la calidad de vida de cientos de ecuatorianos que hoy carecen de acceso a estas soluciones.

En este sentido, el objetivo general de la investigación es diseñar una propuesta productiva de prótesis híbridas para extremidades superiores, basada en el análisis de factores productivos y de mercado para personas con discapacidad en Ecuador.

MÉTODO

La presente investigación se enmarca en un enfoque aplicado y técnico, orientado a resolver un problema concreto: el diseño de un sistema productivo para la fabricación de prótesis de extremidades superiores. Su alcance es descriptivo, ya que organiza y clasifica los componentes del sistema productivo, define categorías de análisis y caracteriza el producto final. Por el lugar de levantamiento de datos, se trata de una investigación de campo, pues requirió acudir a hospitales, centros de rehabilitación y laboratorios de prótesis para recopilar información directa.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

En cuanto a los métodos empleados, se aplicó el inductivo, partiendo del análisis de casos particulares (procesos de producción existentes) hacia la formulación de un sistema general. De manera complementaria, se utilizó un enfoque mixto que combinó datos cualitativos —a través de entrevistas semiestructuradas con médicos, terapeutas ocupacionales y técnicos ortoprotésicos— con información cuantitativa, proveniente de registros del Ministerio de Salud Pública, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el IESS, principalmente sobre amputaciones y demanda de prótesis.

El estudio de mercado constituyó un eje central de la metodología. Este incluyó el análisis de la oferta y demanda, el reconocimiento de los usuarios potenciales (personas mayores de 18 años con amputaciones transradiales), así como la identificación de la competencia directa (empresas como Romp, Krupa y Protéus) y de los proveedores de materiales (p. ej., Aldental, SKP-3D, Poliexpandidos). La proyección de la demanda se realizó mediante la tasa de crecimiento poblacional y el valor futuro, arrojando un estimado de 755 personas con amputación de extremidades superiores para el año 2033. En contraste, la oferta proyectada para el mismo periodo cubriría únicamente 170 unidades, lo que evidencia una demanda insatisfecha.

La investigación utilizó diversas técnicas de recolección de datos. La gestión documental permitió acceder a información en instituciones de salud mediante oficios, acuerdos de confidencialidad y solicitudes formales. La revisión documental aportó antecedentes teóricos y técnicos sobre producción de prótesis. Las entrevistas no estructuradas ofrecieron detalles sobre procesos de fabricación, tiempos de producción (4 a 5 horas por prótesis), materiales empleados y costos asumidos por el Ministerio de Salud Pública.

Finalmente, el diseño de producto se definió considerando factores técnicos, funcionales y ergonómicos, para asegurar que la propuesta responda tanto a las necesidades del paciente como a la factibilidad técnica de la planta de producción. En síntesis, la metodología adoptada permitió integrar información técnica, social y de mercado, garantizando un análisis robusto de la viabilidad del proyecto.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

RESULTADOS

Este apartado presenta un análisis e interpretación detallada de los resultados obtenidos en el estudio. Se incluyen aspectos técnicos, productivos, organizativos y económicos que fundamentan la factibilidad de implementar una planta de producción de prótesis transradiales de miembro superior en Riobamba, Ecuador. A lo largo del texto se incorporan tablas y figuras clave que permiten una mejor comprensión de los hallazgos.

Estudio técnico y localización

La localización de la planta constituye un factor clave para la viabilidad del proyecto. Se evaluaron tres provincias: Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. Cada una fue analizada en términos de costos de transporte, acceso a materia prima, infraestructura vial, disponibilidad de terrenos y cercanía a mercados. Cotopaxi cuenta con un parque industrial, pero su distancia del principal mercado y la limitada cercanía a proveedores la descartan.

Tungurahua posee varios parques industriales, especialmente en Ambato, pero los altos costos de terreno y la saturación de actividades industriales hacen poco recomendable su uso. Por contraste, Chimborazo, pese a no contar con parques industriales formales, ofrece disponibilidad de terrenos más económicos, localización estratégica en el centro del país, acceso directo a vías principales y ausencia de competidores en prótesis, lo que favorece la diferenciación. Todos estos elementos hacen que la macrolocalización para la nueva planta de producción de las prótesis se establece en la provincia de Chimborazo, Riobamba. Los factores para determinar la parroquia en la que sería situada se analizan como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1.

Factores analizados para la ubicación de la planta de producción.

Factores	Peso	Ubicación - Zona norte		
		Santa Ana	Licán	Las Acacias
Topografía y geología	8	5	7	7
		40	56	56
Zonificación y normativas locales	7	5	6	7

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

Factores	Peso	Ubicación - Zona norte		
		Santa Ana	Licán	Las Acacias
		35	42	49
Disponibilidad de espacio y terreno	7	6	8	5
		42	56	35
Acceso a infraestructura	8	6	7	7
		48	56	56
Proximidad a proveedores y clientes	8	5	8	6
		40	64	48
Entorno ambiental y vecindario	7	6	6	4
		42	42	28
Seguridad y riesgos locales	7	7	7	6
		49	49	42
Costos de construcción y desarrollo	8	6	7	8
		48	56	64
Tecnología de la información y conectividad	7	6	7	6
		42	49	42
Manejo de residuos	7	5	6	4
		35	42	28
Acceso a recursos humanos	7	5	6	6
		35	42	42
Total		456	554	490

Elaboración: Los autores.

De esta manera, dentro de Chimborazo, la parroquia Licán fue seleccionada como microlocalización por su proximidad a Riobamba y cercanía a proveedores de Quito. Este análisis se realizó mediante un método ponderado de localización que permitió asignar calificaciones a cada criterio, resultando en la selección objetiva de la mejor alternativa.

Ingeniería del producto

El diseño de prótesis transradiales requiere adaptarse a las dimensiones antropométricas de cada paciente. Debido a la falta de estudios locales, se emplearon datos de Becerra y Acosta (2020) en población colombiana, extrapolables a Ecuador. Las prótesis se compusieron de tres partes principales: el encaje o socket, la articulación de muñeca y los elementos de control electrónico. Se establecieron tallas base diferenciadas por sexo, lo que permite agilizar la fabricación y a la vez garantizar un ajuste adecuado. La manufactura incorpora impresión 3D, que ofrece la posibilidad de personalizar de forma

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

rápida y a menor costo. Además, se analizaron longitudes y anchos de falanges, anchura de metacarpianos y proporciones generales de la mano. Se configuraron modelos estándar de referencia que luego se ajustan individualmente según cada caso clínico.

Proceso de producción

La manufactura se diseñó como flexible, por órdenes de producción, ya que cada prótesis requiere personalización. El flujo de trabajo comienza con la recepción de insumos, seguido de la evaluación médica del paciente y la toma de medidas del muñón. Posteriormente, se elabora un molde con yeso y alginato, se realiza termoformado del socket y se imprimen piezas en PLA. Tras ello, se lleva a cabo el ensamble mecánico de falanges y palma con cuerdas de nylon, emulando tendones, y se añaden servomotores y sistemas electrónicos controlados por Arduino y sensores EMG. Finalmente, se realizan controles de calidad y pruebas funcionales, antes de pasar a la fase protésica, donde el usuario recibe entrenamiento y terapia ocupacional para adaptar la prótesis a su vida diaria. El tiempo total estimado de producción es de 1844 minutos (alrededor de 30 horas), siendo la impresión 3D la fase más prolongada (22 horas).

Maquinaria y equipos

La selección de maquinaria es fundamental para garantizar precisión. Se contemplan equipos como la impresora 3D Prusa MK4, una termoformadora BSX-6060 para sockets, pulidoras de distintos tipos, lijadoras, sierra de corte, colector de polvo industrial y herramientas auxiliares como taladros, pulidoras manuales y cautines. La impresora 3D permite fabricar piezas complejas con bajo costo adicional. La termoformadora asegura ajustes anatómicos correctos, mientras que las pulidoras y lijadoras garantizan acabados sin imperfecciones que podrían afectar la comodidad del paciente. El colector de polvo protege la salud del personal y asegura condiciones de limpieza en áreas críticas. El costo conjunto de esta maquinaria supera los 25 mil dólares, representando una inversión inicial significativa pero necesaria para un producto de calidad.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

Materiales e insumos

Se seleccionó filamento PLA como material principal de impresión, por ser biodegradable, económico y de alta precisión. Se estimó un consumo de 1.11 kg de PLA por prótesis, con un costo aproximado de 31 USD. En cuanto a componentes electrónicos, se incluyen servomotores, Arduino Nano, baterías de litio y sensores EMG, sumando alrededor de 123 USD por unidad. Los insumos de sujeción (nylon, velcro, tornillos) ascienden a 26 USD. En conjunto, el costo unitario de materiales e insumos oscila entre 180 y 200 USD, por debajo del precio internacional de prótesis mioeléctricas, lo que garantiza accesibilidad para pacientes en Ecuador. Se compararon filamentos PLA y ABS, concluyendo que el PLA presenta ventajas ambientales y de seguridad para usuarios.

Capacidad instalada y tamaño de la planta

La proyección de demanda insatisfecha muestra un crecimiento de 307 prótesis en 2024 a 585 en 2033. La planta se planificó para cubrir un 70% de la demanda, lo que equivale a 215 unidades en 2024 y 410 en 2033. Cubrir este porcentaje de la demanda insatisfecha la planta puede garantizar una producción más segura, flexible a cambios y mayor calidad de producto. La tabla 2 muestra el tamaño óptimo de producción de la planta.

Tabla 2.

Estimado prospectivo del tamaño óptimo de producción de la planta.

Años	Demanda insatisfecha en unidades	% de producción	Tamaño de producción
2024	307	70%	215
2025	315	70%	220
2026	326	70%	228
2027	342	70%	240
2028	363	70%	254
2029	390	70%	273
2030	424	70%	297
2031	467	70%	327
2032	519	70%	364
2033	585	70%	410

Elaboración: Los autores.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

La producción se organiza en un solo turno de 8 horas diarias de lunes a viernes. El personal clave incluye dos especialistas protésicos, un gerente, personal administrativo y de apoyo. Esta dimensión permite operar con eficiencia, evitando sobrecarga y garantizando la calidad en la personalización. La infraestructura ocupará un terreno de 369 m², con áreas definidas para recepción de insumos, toma de medidas, moldeado, producción, ensamble, terapia y administración.

Distribución de planta y simulación

El diseño de planta se realizó aplicando el método SLP (*Systematic Layout Planning*), priorizando cercanía entre áreas críticas. La simulación del proceso en el software FlexSim confirmó que se pueden alcanzar las 215 prótesis anuales previstas, produciendo 4 unidades por semana. En la figura 1. Se muestra el modelo de simulación que representa la industrialización de la prótesis de extremidades superiores transradial.



Figura 1. Simulación de la planta.
Elaboración: Los autores.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

El especialista 1 alcanzó una utilización del 79.8% y el especialista 2 del 45.8%. La impresora 3D tuvo una ocupación del 16.7%, lo cual refleja capacidad disponible para ampliar producción sin necesidad de más equipos. El análisis de flujo evidenció un total de 33 actividades en 48 metros de recorrido, lo que muestra eficiencia en la disposición. Esta simulación proporciona evidencia de la viabilidad técnica y operativa del sistema productivo.

Organización administrativa y legal

La empresa se constituye como sociedad anónima, con dos accionistas y un capital inicial de 800 USD. La razón social definida es Riobamba Prótesis S.A. La misión es elaborar prótesis funcionales y personalizadas, acompañadas de servicio integral que abarca desde evaluación clínica hasta terapia ocupacional. La visión es posicionarse como líder local y nacional en la fabricación de prótesis, reconocidos por calidad y accesibilidad. El organigrama incluye un gerente, dos especialistas en prótesis, personal administrativo, ventas, talento humano, limpieza y seguridad tercerizada. Esta estructura se ajusta a las dimensiones de la planta y a la demanda, garantizando sostenibilidad organizativa.

Estudio económico

El análisis financiero contempló la inversión en maquinaria, adecuación de infraestructura, materiales, insumos y mano de obra, considerando tanto costos directos como indirectos. El costo unitario estimado por prótesis oscila entre 180 y 200 USD, lo que permite posicionar el producto muy por debajo de las prótesis mioeléctricas convencionales. Los principales indicadores económicos del proyecto se resumen en la tabla 3, donde se observa la evolución proyectada de la producción, ingresos, utilidades y rentabilidad en el horizonte 2024–2033.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

Tabla 3.
Resumen financiero del proyecto de producción de prótesis híbridas (2024–2033)

Año	Unidades proyectadas	Costo unitario (USD)	Ingresos (USD)	Utilidad neta (USD)	Rentabilidad (%)
2024	215	1.021	329.573	60.697	30,0
2028	254	1.040	411.908	103.437	46,1
2033	410	1.166	775.366	289.769	68,3

Elaboración: Los autores.

Estos resultados muestran un incremento sostenido en ingresos y utilidades, con una rentabilidad que aumenta de 30% en 2024 a más del 68% en 2033, confirmando la viabilidad económica y la sostenibilidad del proyecto.

DISCUSIÓN

Los hallazgos del estudio muestran de manera clara que la implementación de una planta de producción de prótesis transradiales en Riobamba (Chimborazo, Ecuador) es técnica, operativa y económicamente viable, con ventajas significativas en costos de producción, localización estratégica, capacidad instalada y dimensión social. A continuación, se discuten estos resultados en el contexto de la literatura reciente.

Los costos unitarios de materiales e insumos estimados (USD 180-200) se ubican muy por debajo de los precios convencionales de prótesis mioeléctricas. Esto concuerda con la revisión de *robotic prostheses* fabricadas con impresión 3D, donde se señala que pueden costar entre USD 50 y USD 500, frente a los USD 5.000-50.000 de prótesis tradicionales (Salazar et al., 2025). En países de ingresos bajos, estudios como el de Sierra Leona han demostrado que la impresión 3D de prótesis es económicamente competitiva y aceptada por los usuarios (van der Stelt et al., 2021).

El flujo de producción diseñado, con un tiempo total de 30 horas por unidad, de las cuales 22 corresponden a impresión 3D, coincide con lo descrito en la literatura, que reporta reducción significativa de plazos respecto a técnicas convencionales (Salazar et al.,

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

2025). Aunque el tiempo de impresión sigue siendo un cuello de botella, el modelo ofrece flexibilidad y rapidez.

Las proyecciones de demanda en Ecuador (307 a 585 unidades entre 2024-2033) y la decisión de cubrir un 70% de esta, guardan relación con las tendencias del mercado global de prótesis impresas en 3D, cuyo crecimiento proyectado supera USD 3.200 millones hacia 2032 (Global Market Insights, 2023). Este paralelismo sugiere que el proyecto local responde a una tendencia internacional de expansión.

El análisis de localización y microlocalización confirma la pertinencia de seleccionar Chimborazo (Licán), donde se optimizan factores como acceso vial, costos de terreno y cercanía a proveedores. Estos criterios son consistentes con estudios de localización industrial en Latinoamérica, que recomiendan ponderar infraestructura y logística (Wan et al., 2021).

Más allá de la factibilidad técnica y económica, destaca el impacto social. La literatura enfatiza que proyectos de impresión 3D en países de ingresos medios y bajos han generado mejoras en accesibilidad y calidad de vida de los usuarios (van der Stelt et al., 2021). En línea con ello, el presente estudio plantea una solución inclusiva que favorece la autonomía de personas con discapacidad en Ecuador. No obstante, deben señalarse limitaciones. La extrapolación de datos antropométricos colombianos a Ecuador puede implicar sesgos, por lo que se recomienda desarrollar estudios locales (Becerra & Acosta, 2020). Asimismo, la volatilidad en precios de insumos importados y la necesidad de certificaciones normativas podrían afectar los resultados. Estas limitaciones ya han sido identificadas en revisiones recientes, que advierten de la importancia de generar ecosistemas colaborativos y regulados (Savage et al., 2022).

En definitiva, el presente estudio aporta evidencia integral sobre la factibilidad de implementar una planta de prótesis en Riobamba, combinando innovación tecnológica, sostenibilidad económica y compromiso social. Los resultados aportan un referente para futuras investigaciones en la región.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

CONCLUSIONES

El análisis integral de los factores técnicos, productivos, organizativos y económicos confirma la factibilidad de implementar una planta de producción de prótesis híbridas transradiales en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo. La selección de esta localización se justifica por su posición estratégica, costos competitivos de terreno, acceso vial y cercanía a proveedores y mercados nacionales.

La ingeniería del producto, sustentada en la impresión 3D y el uso de componentes electrónicos accesibles, permitió diseñar prótesis personalizadas a bajo costo unitario (USD 180-200), lo que representa una alternativa económica frente a las prótesis mioeléctricas convencionales. Este enfoque tecnológico posibilita la fabricación de dispositivos funcionales con altos niveles de adaptabilidad, seguridad y reducción de barreras económicas.

La propuesta productiva muestra un modelo flexible y escalable, capaz de cubrir hasta el 70% de la demanda insatisfecha de prótesis en la próxima década, con proyecciones de producción que garantizan sostenibilidad y capacidad de crecimiento. La simulación en planta evidencia eficiencia en la disposición de recursos y tiempos de producción, con márgenes disponibles para ampliar la capacidad sin necesidad de nuevas inversiones significativas en equipos.

En el plano organizativo y legal, la constitución de una sociedad anónima con estructura administrativa compacta asegura sostenibilidad empresarial, favoreciendo la gestión eficiente de recursos humanos, procesos de calidad y relación con usuarios y aliados estratégicos.

Más allá de la factibilidad técnica y económica, el proyecto se distingue por su impacto social: promueve la inclusión y autonomía de personas con discapacidad en Ecuador, fortalece la transferencia tecnológica y fomenta la innovación en salud, consolidándose como una alternativa viable para reducir desigualdades en el acceso a dispositivos de asistencia.

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A todos los actores sociales involucrados en el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Baca Urbina, G. (2022). *Evaluación de proyectos*. McGraw-Hill. <https://n9.cl/fwznp>

Becerra, J., & Acosta, C. (2020). Estudio antropométrico en población colombiana para diseño de prótesis. *Revista Colombiana de Biomecánica*, 14(2), 45-56. <https://n9.cl/2yddw>

Buerke, A., Straatmann, T., Lin-Hi, N., & Müller, K. (2017). Consumer awareness and sustainability-focused value orientation as motivating factors of responsible consumer behavior. *Review of Managerial Science*, 11, 959-991. <https://doi.org/10.1007/s11846-016-0211-2>

Capsi-Morales, P., Piazza, C., Catalano, M. G., Grioli, G., Schiavon, L., Fiaschi, E., & Bicchi, A. (2021). Comparison between rigid and soft poly-articulated prosthetic hands in non-expert myo-electric users shows advantages of soft robotics. *Scientific Reports*, 11, 23952. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02562-y>

Castro, M. C. F., Pinheiro, W. C., & Rigolin, G. (2022). A hybrid 3D printed hand prosthesis prototype based on sEMG and a fully embedded computer vision system. *Frontiers in Neurorobotics*, 16, 751282. <https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.751282>

de Souza Pereira, J., Sarkis Moor Santos Xavier, A., da Silva Monteiro, R., Vianna Cruz, V., & Alves Machado, W. C. (2024). 3D-printed orthoses and prostheses for people with physical disability in rehabilitation centers: a scoping review. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, Article 783. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07875-3>

Global Market Insights. (2023). *3D Printed Prosthetics Market to Surpass USD 3,280 Million by 2032*. GlobeNewswire. <https://n9.cl/2aukh>

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

- Gorski, F., Komorowska, O., Zawadzki, P., Kuczko, W., Żukowska, M., Łabudzki, R. & Păcurar, R. (2025). Automation of Design of Modular Upper Limb Prostheses. *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*. <https://n9.cl/85n7r>
- Lira Briceño, P. (2021). *Evaluación de proyectos de inversión: Guía teórica y práctica*. Ediciones de la U. <https://n9.cl/fkybk>
- Marinelli, A., Boccardo, N., Tessari, F., Di Domenico, D., Caserta, G., Canepa, M., ... & Semprini, M. (2023). Active upper limb prostheses: A review on current state and upcoming breakthroughs. *Progress in Biomedical Engineering*, 5(1), 012001. <https://doi.org/10.1088/2516-1091/acac57>
- Mick, S., Marchand, C., de Montalivet, É., Richer, F., Legrand, M., Peudpièce, A., Fabre, L., Huchet, C., & Jarrassé, N. (2024). Smart ArM: a customizable and versatile robotic arm prosthesis platform for Cybathlon and research. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 21(1), 136. <https://doi.org/10.1186/s12984-024-01423-9>
- Morillo, M. T. C., García, C. G., Caballero, A. B., & Gómez, J. T. C. (2025, May). Evolución de las prótesis a través de la historia. In *Anales de Ingeniería Mecánica*, 1(24). <https://n9.cl/t8w14t>
- Răduică, F. F., & Simion, I. (2024). Development of a Low-Cost 3D-Printed Upper Limb Prosthetic Device with Hybrid Actuation for Partial Hand Amputees. *Applied Sciences*, 14(19), 8929. <https://doi.org/10.3390/app14198929>
- Salazar, M., Portero, P., Zambrano, M., & Rosero, R. (2025). Review of robotic prostheses manufactured with 3D printing: Advances, challenges, and future perspectives. *Applied Sciences*, 15(3), 1350. <https://doi.org/10.3390/app15031350>
- Savage, S., Flores-Saviaga, C., Rodney, R., Savage, L., Schull, J., & Mankoff, J. (2022). The global care ecosystems of 3D printed assistive devices. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 15(4), 1-29. <https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3537676>
- Schwartz, D. A., & Schofield, K. A. (2023). Utilization of 3D printed orthoses for musculoskeletal conditions of the upper extremity: A systematic review. *Journal of Hand Therapy*, 36(1), 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2021.10.005>

Gloria Elizabeth Miño-Cascante; Carlos José Santillán-Mariño; Allison Dayanara Casillas-Caza; Sandra Marisol Saquisilli-Guaraca0

- Soriano Morales, G. F. (2024). Sistemas de producción flexibles basados en la industria 4.0 para la manufactura personalizada. *Ibero-American Journal of Economics & Business Research*, 4(2), 31-37. <https://doi.org/10.56183/iberoecb.v4i2.31>
- Uribe, M., & Székely, M. (2020). *Localización y tecnología industrial en América Latina y sus impactos en el medio ambiente*. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/20652>
- van der Stelt, M., Grobusch, M. P., Koroma, A. R., Papenburg, M., Kebbie, I., Slump, C. H., ... & Brouwers, L. (2021). Pioneering low-cost 3D-printed transtibial prosthetics to serve a rural population in Sierra Leone—an observational cohort study. *EClinicalMedicine*, 35, 100874. <https://n9.cl/ozdxy>
- Wan, J., Li, X., Dai, H.-N., Kusiak, A., Martínez-García, M., & Di, L. (2021). *Artificial Intelligence-Driven Customized Manufacturing Factory: Key Technologies, Applications, and Challenges*. *arXiv preprint arXiv:2108.03383*. <https://arxiv.org/abs/2108.03383>