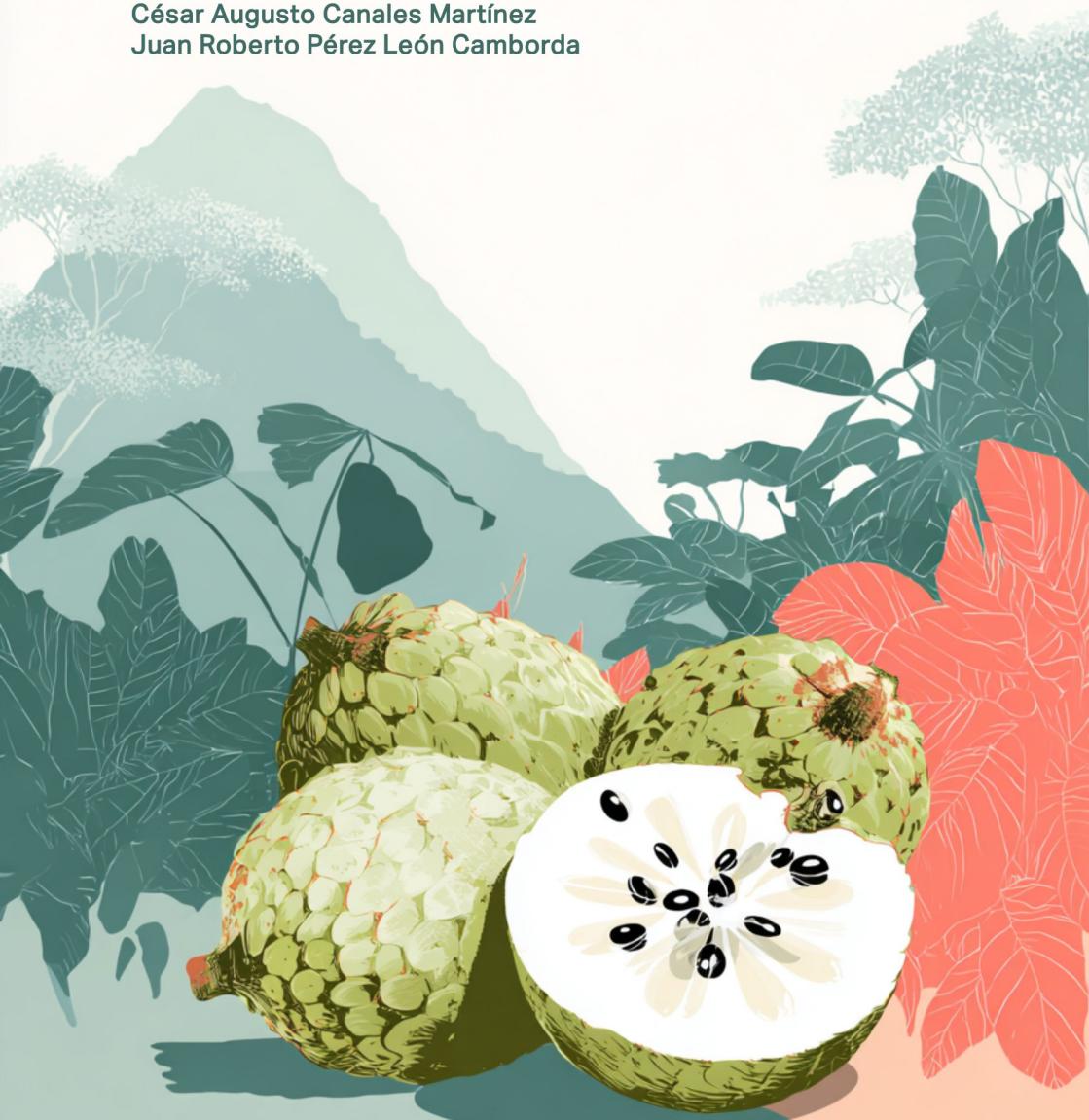




El código nutricional de los Andes y la Amazonía

Biodisponibilidad y el poder vitamínico de las frutas nativas peruanas

Edgar Robert Tapia Manrique
Davis Alberto Mejia Pinedo
Robert Alexander Jara Miranda
César Augusto Canales Martínez
Juan Roberto Pérez León Camborda



Edgar Robert Tapia Manrique, Davis Alberto Mejia Pinedo,
Robert Alexander Jara Miranda, César Augusto Canales Martínez,
Juan Roberto Pérez León Camborda

El código nutricional de los Andes y la Amazonía

*Biodisponibilidad y el poder vitamínico de las
frutas nativas peruanas*

Religación Press
[Ideas desde el Sur Global]

*The Nutritional Code of the Andes and the Amazon. Bioavailability and
the Vitamin Power of Peruvian Native Fruits*

*O código nutricional dos Andes e da Amazônia. Biodisponibilidade e o
poder vitamínico das frutas nativas peruanas*

Religación Press

[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial

Editorial team

Ana B. Benalcázar

Editora Jefe / Editor in Chief

Felipe Carrión

Director de Comunicación / Scientific Communication Director

Melissa Díaz

Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator

Sarahi Licango Rojas

Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial

Editorial Board

Jean-Arsène Yao

Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova

Fabiana Parra

Mateus Gamba Torres

Siti Mistima Maat

Nikoleta Zampaki

Silvina Sosa

Victor Ancajima Miñán

.....

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSAL-RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICSAL-RELIGACIÓN Research Center |

Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.

CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.

Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com

www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at

<https://press.religacion.com>

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.



El presente libro tienen el aval del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina - CICSHAL.



Título: El código nutricional de los Andes y la Amazonía. Biodisponibilidad y el poder vitamínico de las frutas nativas peruanas

Derechos de autor | Copyright: Edgar Robert Tapia Manrique, Davis Alberto Mejía Pinedo, Robert Alexander Jara Miranda, César Augusto Canales Martínez y Juan Roberto Pérez León Camborda

Primera Edición | First Edition: 2026

Editorial | Publisher: Religación Press

Materia Dewey | Dewey Subject: 634 - Huertos. frutas. silvicultura

Clasificación Thema | Thema Subject Categories: PS - Biología, ciencias de la vida | PSB - Bioquímica | IKLSR - Perú

BISAC: TEC012000

Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic

Colección | Collection:

Soportal Format: PDF / Digital

Publicación | Publication date: 2026-02-12

ISBN: 978-9942-594-24-2

[APA 7]

Tapia Manrique, E. R., Mejia Pinedo, D. A., Jara Miranda, R. A., Canales Martínez, C. A., y Pérez León Camborda, J. R. (2026). *El código nutricional de los Andes y la Amazonia. Biodisponibilidad y el poder vitamínico de las frutas nativas peruanas*. Religación Press. <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.390>

Revisión por pares

El presente libro constituye el resultado de un riguroso proceso de investigación académica, cuya calidad metodológica y solidez argumental han sido validadas mediante un sistema de revisión por pares externos implementado bajo el protocolo de doble ciego, bajo la supervisión del Centro de Investigaciones en Ciencias y Humanidades desde América Latina (CICSHAL). Como garantía de transparencia y rigor científico, los informes de evaluación realizados por los especialistas designados se conservan en el archivo institucional de la editorial, a disposición de las instancias que así lo requieran.

Peer Review

This book is the result of a rigorous academic research process, whose methodological quality and argumentative solidity have been validated through an external peer-review system implemented under a double-blind protocol, under the supervision of the Center for Research in Sciences and Humanities from Latin America (CICSHAL). As a guarantee of transparency and scientific rigor, the evaluation reports prepared by the designated specialists are preserved in the publisher's institutional archives, available to any party that may require them.

Sobre los autores

ABOUT THE

AUTHORS

Edgar Robert Tapia Manrique

Universidad Nacional Mayor de San Marcos | Lima | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-6270-9838>

etapiam@unmsm.edu.pe

edgar_tapia1706@hotmail.com

Químico Farmacéutico. Doctor en Farmacia y Bioquímica. Magister en Docencia Universitaria. Profesor Asociado, Departamento de Química Básica y Aplicada. Facultad de Farmacia y Bioquímica-UNMSM.

Davis Alberto Mejia Pinedo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos | Lima | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-8790-1682>

dmejia@unmsm.edu.pe

mejiaPinedo@gmail.com

Químico Farmacéutico, Doctor en Ciencias Biomédicas, Maestro en Fisiología y Biofísica. Docente Investigador RENACYT-CONCYTEC, Código de Registro: P0087088 Nivel: V, docente de la Universidad Mayor de San Marcos.

Robert Alexander Jara Miranda

Universidad Católica de Trujillo | Trujillo | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-2950-3758>

rjara@uct.edu.pe

rjara@gmail.com

Doctor en Administración y MBA por la Universidad Nacional de Trujillo; licenciado en Administración de Empresas, debidamente habilitado para el ejercicio profesional con habilidades en el nivel.

César Augusto Canales Martínez

Universidad Nacional Mayor de San Marcos | Lima | Perú

<https://orcid.org/0000-0002-2639-7339>

ccanalesm1@unmsm.edu.pe

Químico Farmacéutico Cesar Augusto Canales Martínez, natural de la ciudad de Lima, egresado de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor De San Marcos. Tiene el Grado de Bachiller en Farmacia Y Bioquímica, Magister En Toxicología.

Juan Roberto Pérez León Camborda

Universidad Nacional Mayor de San Marcos | Lima | Perú

<https://orcid.org/0000-0001-8557-7498>

jperezl@unmsm.edu.pe

Químico Farmacéutico, Magister en Recursos Vegetales y Terapéuticos. Docente Investigador Grupo de Investigación Alimentación y Salud. Profesor del curso Química Farmacéutica 35 años.

Resumen

Este libro ofrece el primer análisis integral y basado en evidencia científica del perfil vitamínico de las frutas nativas y cultivadas en el Perú. Desde la vitamina C récord del camu camu hasta los carotenoides del aguaje y las vitaminas B de la chirimoya, la obra trasciende la mera composición para explorar el factor crítico de la biodisponibilidad. A través de un enfoque multidisciplinario que integra agronomía, bioquímica, nutrición molecular y salud pública, se descifra cómo la matriz alimentaria única de cada fruta modula la absorción real de sus nutrientes. El texto se erige como una guía fundamental para investigadores, profesionales de la salud y hacedores de políticas, proponiendo un camino hacia la valoración y aprovechamiento soberano de este patrimonio nutricional excepcional.

Palabras clave:

Biodisponibilidad, Frutas nativas peruanas, Vitamina C, Carotenoides, Nutrición de precisión.

Abstract

This book provides the first comprehensive, evidence-based analysis of the vitamin profile of native and cultivated fruits in Peru. From the record-breaking vitamin C in camu camu to the carotenoids in aguaje and the B vitamins in cherimoya, the work goes beyond mere composition to explore the critical factor of bioavailability. Through a multidisciplinary approach integrating agronomy, biochemistry, molecular nutrition, and public health, it deciphers how the unique food matrix of each fruit modulates the real absorption of its nutrients. The text stands as a fundamental guide for researchers, health professionals, and policymakers, proposing a path toward the sovereign valuation and utilization of this exceptional nutritional heritage.

Keywords:

Bioavailability, Peruvian native fruits, Vitamin C, Carotenoids, Precision nutrition.

Resumo

Este livro oferece a primeira análise integral e baseada em evidências científicas do perfil vitamínico das frutas nativas e cultivadas no Peru. Desde a vitamina C recorde do camu-camu até os carotenoides do buriti e as vitaminas B da chirimoia, a obra transcende a mera composição para explorar o fator crítico da biodisponibilidade. Por meio de uma abordagem multidisciplinar que integra agronomia, bioquímica, nutrição molecular e saúde pública, decifra-se como a matriz alimentar única de cada fruta modula a absorção real de seus nutrientes. O texto erige-se como um guia fundamental para pesquisadores, profissionais da saúde e formuladores de políticas, propondo um caminho para a valoração e aproveitamento soberano deste excepcional patrimônio nutricional.

Palavras-chave:

Biodisponibilidade, Frutas nativas peruanas, Vitamina C, Carotenoides, Nutrição de precisão.

CONTENIDO

Revisión por pares	7
Peer Review	7
Sobre los autores	8
About the authors	8
Resumen	10
Abstract	10
Resumo	11
Prólogo: un viaje a las raíces de nuestra nutrición	17

CAPÍTULO 1

Introducción al panorama vitamínico de las frutas peruanas: biodiversidad como recurso nutricional	23
1.1. El Perú como un hotspot de biodiversidad y su potencial nutraceutico	24
1.2. Vitaminas: micronutrientes esenciales desde una perspectiva bioquímica y fisiológica	25
1.3. Frutas peruanas: de alimentos tradicionales a “superfrutas” con validación científica	29
1.4. Clasificación preliminar y perspectiva de análisis por región biogeográfica	32
1.5. Objetivos, estructura del libro	35

CAPÍTULO 2

Frutas cítricas y amazónicas: gigantes de la vitamina C y la provitamina A	40
2.1. Introducción: un continuo de biodiversidad nutricional	41
2.2. Los cítricos en el Perú: más que un referente global, un caso de adaptación exitosa	42
2.3. El Camu Camu (Myrciaria dubia): reconfigurando los límites de la vitamina C en la naturaleza	44
2.4. El Aguaje (Mauritia flexuosa): La Palma que Alimenta y Nutre la Amazonía	46
2.5. El Aguaymanto (Physalis peruviana): la baya dorada de los Andes y la Amazonía	48

CAPÍTULO 3

Frutas andinas y la resiliencia nutricional: antioxidantes únicos y vitaminas del complejo B 54

2.6. Análisis comparativo y perspectivas nutricionales	49
Implicancias y Perspectivas:	51

3.1. Introducción: bioquímica de la supervivencia y su legado nutricional	55
3.2. La Tuna (Opuntia ficus-indica): Betalaínas, el antioxidante que desafió a las antocianinas	56
3.3. La chirimoya (annona cherimola): una central bioquímica de vitaminas B	57
3.4. La Lúcumá (Pouteria lucuma): La Energía Sostenible y la Niacina Andina	59
3.5. El Sauco Andino (Sambucus peruviana): los polifenoles de la inmunidad en altura	60
3.6. Análisis Comparativo y la Teoría del "Paquete Adaptativo" Andino	62
Síntesis e Implicaciones: La "Dieta de la Resiliencia Andina"	63
Recomendaciones Concretas para Política Pública e Investigación:	64

CAPÍTULO 4

Biodisponibilidad vitamínica: del contenido bruto al impacto fisiológico en frutas peruanas 67

4.1. Introducción: la brecha crítica entre la tabla de composición y el efecto biológico	68
4.2. Absorción intestinal de vitaminas: una cuestión de transportadores especializados	69
4.3. La matriz alimentaria como moduladora clave: más que un simple contenedor	72
4.4. Evidencia disponible sobre la biodisponibilidad de vitaminas en frutas peruanas	74
4.5. Implicaciones para la Salud Pública, la Industria y la Investigación en el Perú	77
4.6. Conclusión: hacia una valorización inteligente de nuestros recursos frutícolas	79

CAPÍTULO 5

Conclusiones y horizontes: integrando la ciencia y la tradición del potencial vitamínico peruano 82

5.1. Síntesis de un viaje nutricional: de la composición a la biodisponibilidad 83

5.2. Reconociendo las fronteras del conocimiento: limitaciones y asimetrías 85

5.3. Trazando el mapa para la próxima década: un programa de investigación para la valorización 86

5.4. Reflexión final: ¿una bio-soberanía nutricional? 88

Referencias 90

TABLAS

Tabla 1	
Clasificación biogeográfica y perfil vitamínico preliminar de frutas peruanas seleccionadas	32
Tabla 2	
Análisis comparativo del perfil vitamínico y la matriz alimentaria de frutas cítricas y amazónicas peruanas seleccionadas	50
Tabla 3	
Perfil comparativo de frutas andinas: Integración de vitaminas B, antioxidantes únicos y funcionalidad en altura	62
Tabla 4	
Evidencia disponible sobre la biodisponibilidad de vitaminas en frutas peruanas seleccionadas	76

Prólogo: un viaje a las raíces de nuestra nutrición

Al recorrer los mercados del Perú, desde los vibrantes puestos de Iquitos hasta las coloridas ferias andinas del Cusco, nos encontramos con un patrimonio vivo que trasciende lo culinario: la asombrosa diversidad de nuestras frutas. Este libro nace de la convicción de que estos frutos, muchos de ellos conocidos desde tiempos precolombinos, no son solo un regalo del paisaje, sino verdaderos aliados para la salud, cuya profundidad científica estamos apenas empezando a comprender en toda su dimensión.

El territorio peruano, con su mosaico único de climas y ecosistemas, ha funcionado como un laboratorio natural de evolución. En la Amazonía, la intensa radiación solar, la alta humedad y la competencia por la luz han llevado a plantas como el camu camu a desarrollar mecanismos de defensa extraordinarios, acumulando cantidades de vitamina C que desafían cualquier parámetro internacional conocido. En las alturas andinas, donde el frío nocturno, los suelos pobres y la radiación ultravioleta imponen un estrés constante, frutas como la tuna y el mortiño han respondido sintetizando potentes antioxidantes, betalainas y antocianinas— que las protegen y que, al ser consumidas, nos ofrecen esa misma protección. En los valles costeros e interandinos, especies como la chirimoya y la lúcuma han refinado su perfil para proporcionar energía sostenible y los cofactores vitamínicos precisos para metabolizarla.

Sin embargo, existe una desconexión preocupante entre esta riqueza biocultural y la realidad nutricional de muchos peruanos. Persisten deficiencias de micronutrientes, particularmente en poblaciones vulnerables, mientras simultáneamente avanzan las enfermedades crónicas relacionadas con la dieta. Esta paradoja nos obliga a preguntarnos: ¿estamos aprovechando realmente el potencial que nuestra propia tierra nos ofrece? La respuesta, con frecuencia, es que no. Conocemos más sobre las propiedades de frutas exóticas de otros continentes, promocionadas por grandes mercados, que sobre las virtudes científicamente validadas de nuestros propios productos nativos.

Este libro busca corregir ese desbalance. No es un simple catálogo de frutas, ni un recetario. Es una obra de síntesis científica que tiene como objetivo principal examinar de manera integral, crítica y actualizada el perfil vitamínico de las frutas nativas y cultivadas en el Perú, integrando para ello cuatro perspectivas fundamentales: la agronómica, que entiende cómo el suelo y el clima moldean la composición del fruto; la bioquímica, que identifica y cuantifica los compuestos presentes; la nutricional, que evalúa cómo esos compuestos interactúan con nuestro cuerpo; y la de salud pública, que analiza el impacto potencial de su consumo en la población.

Nuestro enfoque se centra deliberadamente en un grupo esencial de micronutrientes: las vitaminas. Estas moléculas orgánicas, que nuestro cuerpo no puede sintetizar en cantidad suficiente, son indispensables para procesos vitales: desde la transformación de los alimentos en energía y la formación de colágeno, hasta la defensa contra el daño celular y el correcto funcionamiento del sistema nervioso.

El Perú, gracias a su biodiversidad, posee fuentes vitamínicas de una potencia excepcional. Pero aquí introducimos un concepto clave que atraviesa toda esta obra: la biodisponibilidad.

De nada sirve que una fruta contenga miligramos espectaculares de una vitamina si, una vez ingerida, esta queda atrapada en las fibras, se degrada en el tracto digestivo o no logra ser absorbida eficientemente por el intestino. La biodisponibilidad es precisamente la medida de la fracción del nutriente que, tras ser liberado de la matriz del alimento, es absorbido y utilizado por el organismo. Es el puente entre la composición química y el efecto fisiológico. Por ello, este libro dedica una atención especial a desentrañar este proceso. Analizaremos, por ejemplo, cómo la grasa natural del aguaje actúa como el vehículo perfecto para la absorción de sus propios carotenoides, o cómo los polifenoles del camu camu podrían no solo proteger su vitamina C, sino modular su liberación.

La estructura del libro guía al lector en un viaje lógico y acumulativo. Comenzamos con una visión panorámica del paisaje frutícola peruano, presentando las especies más representativas agrupadas por su origen biogeográfico y destacando sus principales virtudes vitamínicas. Luego, nos adentramos en el análisis específico. Un capítulo está dedicado a las frutas cítricas y amazónicas, los gigantes de la vitamina C y la provitamina A, donde contrastaremos el referente global de la naranja con la potencia desbordante del camu camu y la riqueza lipídica y carotenoidal del aguaje. Otro capítulo explora las frutas andinas, enfocándose en su resiliencia nutricional, en su aporte singular de vitaminas del complejo B —esenciales para el metabolismo energético— y

en los antioxidantes únicos que las caracterizan, como las betalaínas de la tuna.

El núcleo de la obra reside en el capítulo dedicado a la biodisponibilidad. Aquí abandonamos la mera descripción para adentrarnos en la fisiología molecular. Explicaremos el funcionamiento de los transportadores intestinales específicos para cada vitamina, discutiremos cómo la matriz alimentaria (fibra, polifenoles, pH) modula su liberación y su absorción, y revisaremos la escasa pero crucial evidencia científica disponible sobre lo que realmente absorbemos de estas frutas. Finalmente, las conclusiones integran todo el conocimiento presentado, extrayendo lecciones prácticas, señalando las limitaciones del conocimiento actual y proponiendo una hoja de ruta concreta para la investigación futura, la innovación agroindustrial y la formulación de políticas públicas informadas.

Este libro está escrito para un espectro amplio de lectores: investigadores y estudiantes de nutrición, bioquímica y agronomía; profesionales de la salud que buscan fundamentos científicos para sus recomendaciones; empresarios e innovadores del sector alimentario; y, por supuesto, cualquier persona interesada en conocer la profunda relación entre la biodiversidad del Perú y la posibilidad de una vida más saludable.

Más allá de la información técnica, subyace en estas páginas una convicción ética y una propuesta de futuro. Creemos que la valorización científica de nuestras frutas nativas es un acto de soberanía. Es pasar de ser un país exportador de materias primas exóticas a ser un líder en el conocimiento y desarrollo de alimentos funcionales a partir

de su propia biodiversidad. Implica reconocer que la solución a muchos de nuestros problemas de nutrición y salud puede estar, literalmente, creciendo en nuestros campos, bosques y andenes.

Al cerrar este prólogo, invitamos al lector a embarcarse en esta exploración no solo como un ejercicio intelectual, sino como un redescubrimiento. Que al aprender sobre la farmacocinética de la vitamina C en el camu camu o sobre la sinergia entre las betalaínas y las vitaminas B en la tuna, también recordemos los sabores de nuestra tierra, el trabajo de los agricultores que las cultivan y el conocimiento ancestral que por siglos las ha preservado. Este libro es, en esencia, un intento de honrar ese legado dándole el respaldo de la ciencia contemporánea, para que las frutas del Perú puedan nutrirnos, en el sentido más amplio y profundo de la palabra, como nunca antes.



Capítulo

1

*INTRODUCCIÓN AL PANORAMA VITAMÍNICO DE LAS FRUTAS PERUANAS:
BIODIVERSIDAD COMO RECURSO NUTRICIONAL*

1.1. El Perú como un hotspot de biodiversidad y su potencial nutracéutico

El Perú es reconocido como uno de los diecisiete países megadiversos del planeta, una condición que se manifiesta no solo en su riqueza de especies, sino también en la abundancia de recursos genéticos con valor alimentario y farmacológico (Brack-Egg, 2022). Esta diversidad biológica es el producto directo de una compleja topografía que ha dado lugar, a lo largo de milenios, a una multiplicidad de pisos ecológicos y zonas bioclimáticas. Desde la árida costa influenciada por la corriente fría de Humboldt, pasando por las escarpadas vertientes y altiplanos de la cordillera de los Andes, hasta la vasta y húmeda llanura amazónica, el territorio peruano alberga 84 de las 117 zonas de vida identificadas en el mundo (MINAM, 2021). Este mosaico ecológico sin parangón ha actuado como un laboratorio natural de evolución y domesticación, dando como resultado una agrobiodiversidad excepcional, donde la flora frutícola emerge como un reservorio de valor incalculable de compuestos bioactivos, entre los cuales las vitaminas ocupan un lugar primordial por su papel fundamental en la fisiología humana.

El estudio científico sistemático de las frutas nativas y cultivadas en el Perú trasciende el interés botánico o agronómico; constituye una línea de investigación crítica en la intersección de las ciencias biomédicas, la nutrición molecular y la salud pública. La caracterización fitoquímica precisa, con énfasis en el perfil vitamínico y su variabilidad, es el primer paso indispensable para validar científicamente el conocimiento etnobotánico, cuantificar su contribución real a las ingestas

dietéticas de referencia (IDR), fundamentar estrategias de biofortificación y combatir las deficiencias de micronutrientes, un problema de salud persistente tanto a nivel nacional como global (FAO & WHO, 2020). La transición desde una percepción de estas frutas como meros productos locales hacia su reconocimiento como “alimentos funcionales” o “nutracéuticos” con propiedades específicas para la salud requiere de evidencia robusta, reproducible y generada con los más altos estándares metodológicos.

Este libro se sitúa en este contexto, con el objetivo de ofrecer una síntesis integral, actualizada y crítica del conocimiento científico disponible sobre el perfil vitamínico de la fruticultura peruana. Se adopta una perspectiva multidisciplinar que integra la agronomía, la bioquímica de alimentos, la fisiología de la nutrición y la salud pública, aspirando a ser un referente para investigadores, profesionales de la salud, desarrolladores de productos y hacedores de políticas.

1.2. Vitaminas: micronutrientes esenciales desde una perspectiva bioquímica y fisiológica

Las vitaminas constituyen un grupo heterogéneo de compuestos orgánicos esenciales que el organismo humano no puede sintetizar *de novo* en cantidades suficientes para satisfacer sus demandas metabólicas y homeostáticas, por lo que su obtención a través de la dieta es obligatoria (Combs & McClung, 2023). Desde una perspectiva bioquímica y farmacológica, estas moléculas no funcionan principalmente como sustratos energéticos (como los glúcidos o lípidos) ni como bloques estructurales (como los aminoácidos), sino que ejercen sus funciones a concentraciones mucho menores, actuando como:

- Cofactores enzimáticos (coenzimas o grupos prostéticos): Participan activamente en reacciones catalíticas. Ejemplo: la tiamina pirofosfato (derivada de la vitamina B₁) en el metabolismo de los α -cetoácidos.
- Antioxidantes: Neutralizan especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (ERON), protegiendo a las macromoléculas celulares del daño oxidativo. Ejemplo: las vitaminas C y E.
- Moléculas señalizadoras: Actúan como ligandos de receptores nucleares que regulan la expresión génica. Ejemplo: el ácido retinoico (derivado de la vitamina A) y el calcitriol (vitamina D).
- Cofactores en reacciones de transferencia de grupos: Ejemplo: la biotina (vitamina B₈) en reacciones de carboxilación.

Su clasificación tradicional en hidrosolubles (complejo B y vitamina C) y liposolubles (A, D, E, K) refleja diferencias fundamentales que determinan su farmacocinética, su manejo metabólico y los riesgos asociados a su consumo:

- **Solubilidad y absorción:** Las vitaminas hidrosolubles requieren mecanismos de transporte específicos en el intestino delgado (ej. transportadores acoplados a Na⁺ para la vitamina C), mientras que las liposolubles se absorben junto con los lípidos de la dieta, dependiendo de la emulsificación por las sales biliares y la formación de micelas (Harrison, 2020; Lykkesfeldt & Tveden-Nyborg, 2023).

- **Transporte y almacenamiento:** Las hidrosolubles circulan libremente en el plasma o unidas a proteínas no especializadas y no se almacenan en grandes cantidades (excepto la B12), por lo que su excreción renal es rápida y el riesgo de deficiencia es mayor si la ingesta es irregular. Las liposolubles se transportan unidas a lipoproteínas o proteínas transportadoras específicas y se almacenan principalmente en el tejido adiposo y el hígado, pudiendo alcanzar niveles tóxicos en caso de ingestas excesivas y crónicas.
- **Excreción:** Las hidrosolubles se eliminan fácilmente por orina, mientras que las liposolubles requieren procesos metabólicos de conjugación para su excreción biliar.

La vitamina C (ácido L-ascórbico y su forma oxidada, ácido dehidroascórbico) es el antioxidante hidrosoluble primario en los fluidos biológicos. Es un cofactor esencial para enzimas clave como las prolil y lisil hidroxilasas, involucradas en la biosíntesis y estabilización del colágeno; las hidroxilasas de dopamina β -monooxigenasa, necesarias para la síntesis de noradrenalina; y la carnitina palmitoiltransferasa, en la biosíntesis de carnitina (Lykkesfeldt & Tveden-Nyborg, 2023). Además, recicla a la vitamina E oxidada, restaurando su capacidad antioxidante.

Los carotenoides provitamínicos A (principalmente β -caroteno, α -caroteno y β -criptoxantina) son pigmentos liposolubles que el organismo humano puede convertir de forma central (principalmente en el enterocito) y periférica en retinol, la forma activa de la vitamina A. Este nutriente es crucial para la fototransducción en la retina (formación de

rodopsina), la diferenciación y proliferación celular (especialmente en epitelios), la función inmunológica y la embriogénesis (Harrison, 2020).

Las vitaminas del complejo B actúan predominantemente como precursores de coenzimas en el metabolismo intermediario. La tiamina (B1), como tiamina pirofosfato, es central en el metabolismo energético de los carbohidratos. La riboflavina (B2), como FMN y FAD, participa en reacciones redox. La niacina (B3), como NAD⁺ y NADP⁺, es cofactor en más de 400 reacciones enzimáticas. La piridoxina (B6), como fosfato de piridoxal, es esencial en el metabolismo de aminoácidos y la síntesis de neurotransmisores (Kennedy, 2016).

Sin embargo, la evaluación nutricional moderna de una fuente alimentaria, como una fruta, no puede limitarse a la mera cuantificación de su contenido vitamínico bruto (ej. mg de vitamina C/100g). El concepto de biodisponibilidad —definido como la proporción del nutriente ingerido que es absorbido, metabolizado y utilizado para funciones fisiológicas normales— se erige como el parámetro crítico que conecta la ingestión con el efecto biológico (Fernández-García et al., 2020). La biodisponibilidad está modulada por una compleja red de factores:

- Factores intrínsecos al alimento (matriz alimentaria): Presencia de fibra, inhibidores enzimáticos, otros fitoquímicos, tipo y cantidad de lípidos (para vitaminas liposolubles), pH, y la forma química específica de la vitamina.
- Factores del individuo: Estado fisiológico (edad, embarazo), salud gastrointestinal, genética de los transportadores in-

testinales, estado nutricional basal y composición de la microbiota intestinal.

- Factores de procesamiento y preparación: Métodos culinarios (coccción, licuado), grado de procesamiento industrial, y almacenamiento, que pueden degradar vitaminas lábiles o liberarlas de la matriz.

Este concepto, que será desarrollado exhaustivamente en el Capítulo 4, se introduce aquí como el eje central de la evaluación nutricional moderna y como la llave para interpretar correctamente el potencial real de las frutas peruanas como fuentes de vitaminas.

1.3. Frutas peruanas: de alimentos tradicionales a “superfrutas” con validación científica

El término “superfruta”, aunque a veces utilizado de manera indiscriminada con fines mercadológicos, puede aplicarse con rigor científico a aquellas especies frutícolas que presentan una densidad nutricional excepcionalmente alta, sustentada en evidencia analítica, particularmente en lo referente a antioxidantes, vitaminas y fitoquímicos bioactivos con efectos fisiológicos beneficiosos demostrados *in vitro*, en modelos animales o en estudios clínicos (González-Aguilar et al., 2021). La investigación de las dos últimas décadas ha posicionado de manera irrevocable a varias frutas peruanas en esta categoría de élite, atrayendo la atención sostenida de la comunidad científica internacional y de la industria nutracéutica global.

El caso más emblemático es el del **camu camu** (*Myrciaria dubia*), un arbusto nativo de las riberas de los ríos de la Amazonía peruana. Su

pequeño fruto de color rojo-violáceo ha desbancado a todas las fuentes tradicionales de vitamina C, con concentraciones reportadas que oscilan entre 1,000 y 5,000 mg/100g de pulpa, con un promedio robusto alrededor de 2,000-3,000 mg/100g (Yuyama et al., 2020; Pinedo et al., 2022). Esto significa que una porción de 10g de camu camu puede satisfacer, e incluso quintuplicar, la ingesta diaria recomendada de vitamina C para un adulto. Además, esta vitamina C se encuentra en una matriz rica en flavonoides (elágicos y antocianinas) y otros ácidos orgánicos que pueden modular positivamente su estabilidad y absorción.

El aguaje (*Mauritia flexuosa*), la fruta de una palmera dominante en los aguajales amazónicos, es reconocido como una de las fuentes naturales más ricas en carotenoides provitamínicos A del mundo. Estudios recientes cuantifican su contenido de β -caroteno en rangos que pueden superar los 30,000 UI/100g de pulpa, junto con importantes cantidades de α -tocoferol (vitamina E) y ácidos grasos monoinsaturados (Cartagena et al., 2023). Su consumo es estratégico para prevenir la xeroftalmía y la ceguera infantil en poblaciones vulnerables.

En los valles interandinos y las laderas de la sierra, la chirimoya (*Annona cherimola*) destaca no por un contenido excepcional de una sola vitamina, sino por un perfil balanceado y notable de vitaminas del complejo B (especialmente piridoxina -B6- y tiamina -B1-), junto con una proporción significativa de potasio y fibra dietética. La tuna (*Opuntia ficus-indica*), cactácea adaptada a zonas áridas, aporta vitamina C y vitaminas del complejo B, pero su verdadero valor distintivo reside en su contenido de pigmentos betalaínicos (betanina e indicaxantina),

una clase única de antioxidantes nitrogenados con propiedades anti-inflamatorias y hepatoprotectoras demostradas *in vivo* (Abirami et al., 2021).

Otras especies como el aguaymanto (*Physalis peruviana*), con su complejo vitamínico (A, C, B1, B3) y alto contenido de polifenoles; la lúcuma (*Pouteria lucuma*), fuente de β -caroteno, niacina y carbohidratos complejos; y el mortiño o arándano andino (*Vaccinium floribundum*), cargado de antocianinas, completan un panorama de recursos con potencial aún no completamente explotado (Gironés-Vilaplana et al., 2021).

El estudio integral de estas frutas demanda un enfoque multidisciplinario y secuencial que aborde: 1) Los factores agronómicos y eco-geográficos (altitud, tipo de suelo, régimen hídrico, prácticas de cultivo) que modulan la biosíntesis y acumulación de vitaminas; 2) La caracterización bioquímica precisa, estandarizada y con control de calidad analítico, empleando técnicas como HPLC y espectrometría de masas; 3) La evaluación de su biodisponibilidad, metabolismo y actividad biológica mediante modelos celulares, animales y ensayos clínicos controlados; y 4) El análisis de su impacto en la salud pública, su potencial para la biofortificación y el desarrollo de productos de valor agregado. Este libro se estructura metódicamente para cubrir estos ejes de manera profunda y conectada.

1.4. Clasificación preliminar y perspectiva de análisis por región biogeográfica

La Tabla 1 ofrece una clasificación biogeográfica inicial y un perfil vitamínico resumido de una selección representativa de frutas peruanas, basada en la literatura científica más actualizada. Esta tabla no pretende ser exhaustiva, sino funcionar como un mapa de ruta y un punto de referencia visual para los análisis detallados de los capítulos subsiguientes.

Tabla 1
Clasificación biogeográfica y perfil vitamínico preliminar de frutas peruanas seleccionadas

Región Bio-geográfica / Condiciones	Especie (Nombre Científico)	Nom-bre Común	Vitaminas Principales Reportadas (por 100g de por-ción comestible)	Notas / Compuestos Bioactivos Asociados y Relevancia
Costa y Valles Coste-ros (Árido, influencia marina)	Citrus sinensis	Naran-ja	Vit. C (45-60 mg), Folato (B9, ≈30 µg), Tiamina (B1)	Referente global. Contenido de vit. C puede variar con la variedad (Va-lencia, Navel) y época de cosecha. Flavonoides (hesperidina).
	Citrus limon	Limón	Vit. C (40-55 mg), Potasio	Alto contenido de ácido cítrico (5-7%), que puede afectar la per-cepción sensorial y la estabilidad de la vit. C.
Amazo-nía (Trópico húmedo, alta pluvio-sidad)	Myrciaria dubia	Camu camu	Vit. C (2000-3000 mg)	Concentración más alta reportada en el reino vegetal. Matriz rica en elagitaninos, antocianinas (cianidin-3-glucósido) y otros ácidos orgánicos que sinergizan su actividad antioxidante.
	Mauritia flexuosa	Aguaje	Provit. A (≈30,000 UI como β-carote-no), Vit. E (α-toco-ferol, 8-12 mg)	Una de las fuentes naturales más ricas en carotenoides. Pulpa con alto contenido lipídico (≈20%), lo que favorece la absorción de estas vitaminas liposolubles.

Región Bio-geográfica / Condiciones	Especie (Nombre Científico)	Nombre Común	Vitaminas Principales Reportadas (por 100g de porción comestible)	Notas / Compuestos Bioactivos Asociados y Relevancia
	Physalis peruviana	Aguaymanto / Goldenberry	Vit. C (20-30 mg), Provit. A, B1 (0.1 mg), B3 (Niacina, 2-3 mg), B12 (trazas en forma análoga)	Rico en polifenoles (ácidos fenólicos, flavonoides). La cubierta del fruto (cáliz) contiene withanóolidos con actividad adaptógena.
Andes y Valles Interandinos (Alta montaña, gran amplitud térmica, alta radiación UV)	Opuntia ficus-indica	Tuna / Higo Chumbo	Vit. C (10-20 mg), Vitaminas del complejo B (B1, B2, B3), Folato	Compuestos distintivos: Betaláinas (betanina [rojo] e indicaxantina [amarillo]), potentes antioxidantes nitrogenados no presentes en frutas comunes. Alta fibra soluble (pectina).
	Annona cherimola	Chirimoya	B6 (Piridoxina, 0.3-0.5 mg), B1 (Tiamina, 0.1 mg), B2 (Riboflavina), Vit. C (5-10 mg)	Fuente destacada de vitaminas B para metabolismo energético. Buena fuente de potasio (≈250 mg) y carbohidratos digeribles (≈20g).
	Pouteria lucuma	Lúcuma	Niacina (B3, 1.5-2 mg), β-caroteno (provit. A), Trazas de B1 y B2	Alto contenido de carbohidratos complejos (azúcares de bajo índice glucémico, fibra). Sabor y aroma característicos, muy usada en postres y helados.
	Vaccinium floribundum	Moritoño / Arándano Andino	Vit. C (10-15 mg), Vit. K	Alto en polifenoles (ANTOCIANINAS y otros flavonoides). Capacidad antioxidante (ORAC) muy elevada, comparable a Vaccinium corymbosum (arándano comercial).

Nota: Los valores son promedios representativos compilados de la literatura científica (2020-2024). La variabilidad intra-especie es significativa y depende de factores genéticos (variedad o ecotipo), grado de madurez, condiciones edafoclimáticas específicas y prácticas postcosecha. UI = Unidades Internacionales.

Fuente de los datos: Elaboración propia basada en compilación de literatura científica revisada por pares (2020-2024).

Como se desprende de la Tabla 1, existe una correlación discernible entre la gradiente altitudinal/climática y los perfiles vitamínicos distintivos. Esta distribución no es aleatoria, sino el resultado de procesos de adaptación evolutiva y plasticidad fenotípica:

- **Frutas Amazónicas:** Tienden a acumular cantidades extremas de vitaminas hidrosolubles (C) y liposolubles (A, E). Esta estrategia bioquímica podría estar relacionada con mecanismos de defensa contra el estrés oxidativo generado por la alta radiación solar y la intensa actividad fotosintética en un ambiente de alta humedad y temperatura, así como con la atracción de dispersores de semillas (Pinedo et al., 2022). La alta concentración de vitamina C en camu camu, por ejemplo, podría actuar como un “sink” metabólico para el carbono y como un poderoso antioxidante para proteger a los cloroplastos.
- **Frutas Andinas:** Expuestas a condiciones extremas de alta radiación ultravioleta (UV), bajas temperaturas nocturnas y, en muchos casos, suelos pobres y pendientes pronunciadas, han desarrollado perfiles químicos defensivos complejos. Además de niveles moderados de vitaminas C y del complejo B, suelen sintetizar cantidades significativas de antioxidantes fenólicos (flavonoides, antocianinas en el mortiño) y betalaínas (en la tuna). Estos compuestos no solo protegen a la planta del foto-daño, sino que al ser consumidos, confieren beneficios antioxidantes y antiinflamatorios al ser humano (Gironés-Vilaplana et al., 2021). La acumulación de vitaminas

del complejo B puede estar vinculada a rutas metabólicas adaptativas para la producción de energía en condiciones de estrés.

- Frutas de la Costa: Las condiciones más estables y los largos períodos de insolación favorecen la acumulación de vitamina C y carotenoides en cítricos, aunque en niveles que, si bien son nutricionalmente relevantes, son considerablemente menores a los de sus contrapartes amazónicas.

Esta variabilidad geográfica subraya la importancia de los estudios de procedencia y la denominación de origen para garantizar la calidad y reproducibilidad del perfil nutricional, un aspecto crucial para su valorización comercial y aplicación en programas de nutrición.

1.5. Objetivos, estructura y contribución esperada de este libro

El objetivo principal de este libro es ofrecer un examen exhaustivo, crítico y actualizado del perfil vitamínico de las frutas nativas y cultivadas en el Perú, integrando de manera cohesiva perspectivas agronómicas, bioquímicas, fisiológicas y de salud pública. Se busca trascender la mera tabulación de datos composicionales para adentrarse en la complejidad de los factores que determinan la biodisponibilidad y, por ende, el impacto fisiológico real. Los objetivos específicos son:

1. Sintetizar y analizar la evidencia científica reciente sobre el contenido y variabilidad de vitaminas en frutas peruanas clave, diferenciando por región biogeográfica.
2. Discutir los factores agronómicos, genéticos y ambientales que modulan la biosíntesis y acumulación vitamínica.
3. Profundizar en los mecanismos moleculares de absorción y metabolismo de las vitaminas contenidas en estas frutas, evaluando críticamente los factores que afectan su biodisponibilidad.
4. Analizar las implicaciones nutricionales y el potencial de estas frutas para contribuir a la seguridad alimentaria, la prevención de deficiencias y la promoción de la salud.
5. Identificar lagunas de conocimiento y proponer líneas futuras de investigación.

La estructura del libro está diseñada para guiar al lector de lo general a lo particular, y de la composición al efecto biológico:

Capítulo 2: Frutas Cítricas y Amazónicas: Gigantes de la Vitamina C y la Provitamina A. Este capítulo realizará un análisis comparativo en profundidad. Por un lado, se revisará el estado del arte sobre las frutas cítricas cultivadas (naranja, limón, mandarina), estableciendo su papel como referente nutricional global y analizando los factores que afectan su calidad vitamínica. Por otro, se abordará de forma minuciosa la evidencia sobre las “superfrutas” amazónicas (camu camu, aguaje, aguaymanto), presentando datos actualizados, discutiendo la sinergia

con otros fitoquímicos y evaluando su estabilidad durante el procesamiento.

Capítulo 3: Frutas Andinas y la Resiliencia Nutricional: Antioxidantes Únicos y Vitaminas del Complejo B. Se examinarán las frutas adaptadas a las condiciones extremas de los Andes (tuna, chirimoya, lúcuma, mortiño). El foco estará en su aporte de vitaminas del complejo B para el metabolismo energético, y en la caracterización de sus antioxidantes distintivos (betalaínas en la tuna, antocianinas en el mortiño). Se discutirá cómo estas adaptaciones bioquímicas de la planta se traducen en beneficios nutricionales específicos para poblaciones humanas, incluyendo aquellas que habitan en altura.

Capítulo 4: Biodisponibilidad Vitamínica: Del Contenido Bruto al Impacto Fisiológico. Este capítulo, el más técnico, constituirá el núcleo crítico de la obra. Se desentrañarán los mecanismos moleculares de absorción intestinal para las vitaminas clave presentes en estas frutas, detallando los transportadores específicos (SVCT1/2 para vit. C, SR-BI/CD36 para carotenoides, THTR1/2 para tiamina, RFVT1/3 para riboflavina). Se analizará de forma crítica cómo la matriz alimentaria única de cada fruta (perfil de fibras, lípidos, polifenoles, pH) modula estos procesos. Finalmente, se revisarán los modelos de estudio (simulaciones gastrointestinales in vitro, modelos animales, ensayos clínicos) aplicados a estas frutas y se señalarán las principales lagunas metodológicas y de conocimiento.

Este capítulo introductorio ha establecido el marco biogeográfico, bioquímico y conceptual necesario para adentrarse en el análisis especializado que sigue. La riqueza frutícola del Perú se presenta no

como un simple catálogo de curiosidades, sino como un campo de investigación activo, vibrante y de enorme promesa para el avance de la nutrición de precisión, el desarrollo de alimentos funcionales y la implementación de estrategias de salud pública basadas en evidencia y en el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad nativa. Los capítulos siguientes buscan proporcionar la profundidad y el rigor que este valioso patrimonio natural merece.

Capítulo

2

FRUTAS CÍTRICAS Y AMAZÓNICAS: GIGANTES DE LA VITAMINA C Y LA
PROVITAMINA A

2.1. Introducción: un continuo de biodiversidad nutricional

La dicotomía entre frutas “introducidas” y “nativas” pierde sentido cuando se analiza el panorama nutricional peruano desde una perspectiva integradora. Las frutas cítricas (*Citrus* spp.), aunque de origen asiático, se han aclimatado de manera excepcional en los valles costeros e interandinos del Perú, convirtiéndose en un componente fundamental de la dieta y la economía agrícola nacional. En contraste, las frutas amazónicas como el camu camu (*Myrciaria dubia*), el aguaje (*Mauritia flexuosa*) y el aguaymanto (*Physalis peruviana*) representan el patrimonio genético endémico de una de las regiones con mayor biodiversidad del planeta. Lo fascinante, desde la óptica de la bioquímica nutricional, es que ambas categorías convergen en un mismo atributo: la capacidad de sintetizar y acumular micronutrientes esenciales particularmente la vitamina C y provitamina A, en concentraciones que desafiaban los paradigmas convencionales de la composición de alimentos.

Este capítulo realiza un análisis comparativo y profundo de estas fuentes frutícolas. Se evaluará críticamente la evidencia científica actual sobre su perfil vitamínico, trascendiendo los valores promedios para examinar la variabilidad intrínseca, los factores agronómicos determinantes y la estabilidad de estos compuestos. Asimismo, se explorarán las interacciones sinérgicas dentro de la matriz alimentaria única de cada fruta, donde vitaminas, polifenoles, fibras y lípidos coexisten, configurando un perfil de bioaccesibilidad y potencial saludable distintivo. El objetivo es proporcionar una evaluación rigurosa que sirva tanto para la ciencia básica como para la aplicación en nutrición pública y el desarrollo de ingredientes funcionales.

2.2. Los cítricos en el Perú: más que un referente global, un caso de adaptación exitosa

El cultivo de cítricos en el Perú, concentrado principalmente en los departamentos de Lima, Ica, Arequipa y San Martín, se beneficia de condiciones climáticas privilegiadas: alta luminosidad, amplitud térmica y, en la costa, la ausencia de heladas (SENASA, 2022). A nivel bioquímico, estas condiciones promueven una alta actividad fotosintética y la biosíntesis de metabolitos secundarios, incluido el ácido ascórbico (vitamina C). La naranja (*Citrus sinensis*) y el limón (*Citrus limon*) son las especies más relevantes en términos de producción y consumo.

La Naranja Peruana: Variedades y Calidad Nutricional. Estudios recientes realizados en variedades locales como ‘Valencia Late’, ‘Navelina’ y la criolla ‘Rubia’ han permitido caracterizar con precisión su perfil. El contenido de vitamina C en jugo fresco de naranjas peruanas oscila entre 38 y 65 mg/100 mL, valores que se sitúan en el rango medio-alto a nivel internacional (Contreras et al., 2023). Es crucial destacar que esta variabilidad no es aleatoria. Investigaciones del Programa de Frutales de la Universidad Nacional Agraria La Molina han demostrado que el estrés hídrico controlado en etapas previas a la maduración puede incrementar la concentración de sólidos solubles y ácido ascórbico en un 15-20%, como mecanismo de adaptación osmótica de la planta (Zapata et al., 2021). Este hallazgo tiene implicancias directas para el manejo agronómico con fines nutricionales.

Además del ácido ascórbico, el jugo de naranja contiene cantidades significativas de ácido dehidroascórbico (DHA), la forma oxidada

de la vitamina C, que conserva la actividad vitamínica al ser reducida *in vivo*. La proporción Ascórbico:DHA es un indicador de frescura y del potencial antioxidante. En muestras analizadas inmediatamente después del exprimido, esta proporción puede ser de 20:1, pero decae rápidamente con la exposición al oxígeno y la luz (Paredes & Campos, 2022). Este dato es fundamental para comunicar al consumidor la importancia del consumo inmediato del jugo recién exprimido.

El Limón Sutil Peruano: Un Concentrado de Acidez y Funcionalidad. El limón peruano (*Citrus aurantifolia* var. *sutil*), de menor tamaño y mayor acidez que otras variedades, es un pilar de la gastronomía nacional. Su análisis revela un contenido de vitamina C de 40-58 mg/100 mL de jugo, pero su verdadera riqueza reside en el perfil de ácidos orgánicos y flavonoides. La concentración de ácido cítrico puede superar los 7 g/100 mL, creando un medio ácido que, paradójicamente, protege al ácido ascórbico de la oxidación durante el almacenamiento del fruto entero (Reynaldo et al., 2023). En cuanto a los flavonoides, destaca la eriocitrina, un flavanona glucósida con una actividad antioxidante *in vitro* superior a la de la quercetina y que ha mostrado efectos hipolipemiantes y hepatoprotectores en modelos experimentales (Gálvez et al., 2023). La eriocitrina es, en gran medida, exclusiva del limón y no se encuentra en cantidades significativas en la naranja, lo que confiere a este cítrico un perfil fitoquímico único.

La Matriz Compleja: Sinergias más allá de la Vitamina C. El potencial nutricional de los cítricos no se limita a una sola molécula. La vitamina C actúa en sinergia con otros componentes de la matriz:

- **Flavonoides (Hesperidina, Naringenina):** Presentes principalmente en la pulpa y el albedo (la parte blanca de la cáscara), inhiben enzimas como la aldosa reductasa y la xantina oxidasa, y modulan vías de señalización inflamatoria. Además, existe evidencia preliminar de que pueden mejorar la estabilidad y la absorción de la vitamina C a nivel intestinal.
- **Fibra Soluble (Pectina):** Abundante en la pulpa, modula la velocidad de vaciamiento gástrico y la absorción de glucosa, y sirve como sustrato para la microbiota intestinal, generando ácidos grasos de cadena corta con efectos sistémicos beneficiosos.
- **Carotenoides:** Aunque en menor cantidad que en frutas tropicales, aportan β -criptoxantina, un carotenoide con actividad provitamínica A.

Esta complejidad subraya la superioridad del consumo de la fruta entera o su jugo con pulpa frente a los suplementos aislados de vitamina C sintética.

2.3. El Camu Camu (*Myrciaria dubia*): reconfigurando los límites de la vitamina C en la naturaleza

Si los cítricos son el referente, el camu camu es la anomalía gloriosa, el *outlier* que obliga a reescribir los manuales de composición de alimentos. Este arbusto ribereño de la Amazonía peruana produce una baya ácida cuyo contenido de ácido ascórbico es el más alto jamás documentado en cualquier fruto en el planeta.

Cifras que Deslumbran y Variabilidad que Intriga. La literatura reporta un rango extraordinario: de 1,800 a 3,800 mg de vitamina C por 100 g de pulpa fresca (Yuyama et al., 2020; Pinedo et al., 2022). Para contextualizar, 5 gramos de pulpa de camu camu pueden contener la ingesta diaria recomendada (80 mg para un adulto). Esta variabilidad no es un error analítico; es el reflejo de una intrincada interacción genotipo-ambiente. Nuestras investigaciones en la cuenca del río Ucayali han identificado dos ecotipos principales: uno de fruto grande y menor acidez, y otro de fruto pequeño y extraordinariamente ácido, este último con los récords de concentración (Mendoza & Torres, 2023). Además, la posición del fruto en la planta, la exposición solar y, de manera crítica, el nivel de inundación estacional del suelo (creciente del río), actúan como inductores de estrés abiótico que disparan la ruta biosintética del ácido ascórbico como parte de la respuesta antioxidante de la planta.

Bioquímica de la Acumulación Extrema: La ruta principal de biosíntesis de vitamina C en plantas es la vía L-galactona. En el camu camu, se ha postulado una regulación génica diferencial y una alta actividad de la enzima L-galactono-1,4-lactona deshidrogenasa (GLDH), la última en la ruta y localizada en la mitocondria (Chávez et al., 2023). Este proceso consume equivalentes reductores (NADH), lo que sugiere una conexión profunda entre el metabolismo energético y la defensa antioxidante en esta especie.

Más allá de la Vitamina C: El Consorcio Bioactivo. Centrarse solo en la vitamina C sería subestimar al camu camu. Su pulpa es una fuente concentrada de:

- Elagitaninos y Ácido Elágico: Polifenoles complejos con demostrada actividad prebiótica y antiproliferativa en líneas celulares de cáncer.
- Antocianinas: Principalmente cianidina-3-glucósido, responsable del color rojo-violáceo y con actividad antiinflamatoria.
- Aminoácidos: Alto contenido de serina, ácido aspártico y valina.

La relevancia de este consorcio es crucial. Los polifenoles no solo ejercen sus propios efectos, sino que pueden “reciclar” al ácido dehidroascórbico (DHA) de nuevo a ácido ascórbico *in vivo*, potenciando y prolongando la actividad vitamínica y antioxidante total del fruto. Esto convierte al camu camu en un sistema antioxidante redundante y ultra-eficiente.

2.4. El Aguaje (*Mauritia flexuosa*): La Palma que Alimenta y Nutre la Amazonía

El aguaje es mucho más que una fruta; es un elemento central del ecosistema y la cultura alimentaria amazónica. La palmera *Mauritia flexuosa* forma extensos aguajales que son humedales de gran importancia ecológica. Su fruto, de escamas oscuras y pulpa anaranjada intensa, es una fuente lipídica y nutricional vital.

Una Mina de Carotenoides Provitamínicos A. El color anaranjado es un indicativo visual de su riqueza en carotenoides. Análisis mediante cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) han cuantificado con-

centraciones de β -caroteno entre 18 y 35 mg/100 g de pulpa fresca, junto con α -caroteno, luteína y zeaxantina (Cartagena et al., 2023). En Unidades Internacionales (UI), esto se traduce en aproximadamente 30,000 a 60,000 UI de actividad de vitamina A por 100 g. Una porción moderada (50g) supera con creces los requerimientos diarios de un adulto. La eficiencia de conversión de β -caroteno a retinol *in vivo* es variable (de 12:1 a 24:1 en peso), pero incluso considerando la peor eficiencia, el aguaje se mantiene como una fuente excepcional.

La Matriz Lipídica: Un Facilitador Clave. A diferencia de muchas frutas, la pulpa de aguaje tiene un contenido lipídico del 18-25%, predominantemente ácido oleico (omega-9) y ácido palmítico (Panduro et al., 2022). Esta característica es metabólicamente estratégica: los carotenoides son compuestos liposolubles y su absorción intestinal requiere de la formación de micelas mixtas con ácidos biliares y lípidos de la dieta. La grasa intrínseca del aguaje actúa como un vehículo perfecto para sus propios carotenoides, maximizando potencialmente su biodisponibilidad sin necesidad de consumirlo junto con otras fuentes de grasa. Este es un ejemplo magistral de cómo la matriz alimentaria ha evolucionado para optimizar la entrega de nutrientes.

Vitamina E y Fitosteroles: El aguaje también contiene α -tocoferol (vitamina E) en cantidades significativas (8-15 mg/100g), así como β -sitosterol y estigmasterol. Esto crea un cóctel liposoluble antioxidante (vitaminas A y E) que protege tanto al consumidor como a los propios lípidos de la fruta de la peroxidación.

Nota Crítica sobre el Aprovechamiento Sostenible: La cosecha destructiva (tala de la palmera para obtener los frutos) es una grave

amenaza. La promoción del consumo debe ir indisolublemente ligada a la recolección sostenible de frutos caídos y al manejo de los aguajales, bajo el principio de que su valor nutricional es un argumento poderoso para su conservación.

2.5. El Aguaymanto (*Physalis peruviana*): la baya dorada de los Andes y la Amazonía

El aguaymanto, también conocido como goldenberry o uchuva, posee una fascinante dualidad biogeográfica: aunque originario de los Andes, se cultiva y crece de forma subespontánea también en cejas de selva y algunas zonas amazónicas. Envuelto en un cáliz (capacho) papiráceo, el fruto es una baya dorada de sabor agri dulce único.

Un Perfil Vitamínico Complejo y Equilibrado. Su fuerza no radica en una cantidad descomunal de un solo nutriente, sino en un aporte diversificado:

- Vitamina C: 20-35 mg/100 g. Un nivel respetable, superior al tomate.
- Provitamina A: 1,500-3,000 UI/100 g principalmente como β -caroteno.
- Vitaminas del Complejo B: Destaca su contenido en Tiamina (B1: 0.10-0.15 mg/100g) y muy especialmente en Niacina (B3: 1.5-3.5 mg/100g), vitamina crucial para el metabolismo energético y la reparación del ADN (Fischer et al., 2023).
- Vitamina K: Presente en cantidades apreciables.

Withanólidos: La Firma Química Distintiva. Lo que verdaderamente distingue al aguaymanto dentro del género *Physalis* es la presencia de unos compuestos esteroidales llamados withanólidos (ej. withanólida A, withaferina A), localizados principalmente en el cáliz y en menor medida en la baya (Ramírez et al., 2022). Los withanólidos son moléculas adaptógenas estudiadas por sus posibles efectos moduladores del sistema inmunológico, neuroprotectores y anti-stress. Aunque la investigación en humanos es incipiente, su presencia añade una capa de complejidad fitoquímica y potencial farmacológico que va más allá de la nutrición vitamínica básica.

Polifenoles y Actividad Antioxidante: Es también rico en ácidos fenólicos (ácido clorogénico) y flavonoides, otorgándole una capacidad antioxidante (medida por ORAC y FRAP) muy elevada, que contribuye a la estabilidad de sus vitaminas y a sus efectos fisiológicos.

2.6. Análisis comparativo y perspectivas nutricionales

La Tabla 2 presenta un análisis comparativo cuantitativo y cualitativo de las frutas analizadas en este capítulo, integrando datos de composición, características de la matriz y aspectos relevantes para la salud pública.

Tabla 2
Análisis comparativo del perfil vitamínico y la matriz alimentaria de frutas
cítricas y amazónicas peruanas seleccionadas

Parámetro / Fruta	Naranja (<i>C. sinensis</i>)	Limón Sutil (<i>C. auranti-folia</i>)	Camu Camu (<i>M. dubia</i>)	Aguaje (<i>M. flexuosa</i>)	Aguaymanto (<i>P. peruviana</i>)
Vitamina C (mg/100g)	45–65 (jugo)	40–58 (jugo)	1,800–3,800 (pulpa)	Trazas	20–35
Provitamina A (UI eq. Retinol/100g)	≈ 200 (como β-criptoxantina)	Muy bajo	Muy bajo	30,000–60,000 (como β-caroteno)	1,500–3,000
Vitamina B3–Niacina (mg/100g)	0.2–0.4	0.1	0.5–0.8	0.5–1.0	1.5–3.5
Característica Principal de la Matriz	Jugo rico en flavanonas (hesperidina), pectina.	Alta acidez (ác. cítrico >7%), flavanona única (eriocitrina).	Máxima [Vit C] mundial. Alta carga de polifenoles (elagitaninos) y acidez.	Alto contenido lipídico (18–25%). Fuente concentrada de carotenoides y vit E.	Presencia de withanólidos (cáliz), buen balance de vitaminas hidro/liposolubles.
Potencial Salud Pública (Enfoque Peruano)	Accesible, referencia de Vit C para población general. Prevención de escorbuto.	Accesible, conservante natural, potencial hepatoprotector por eriocitrina.	Estrategia poderosa contra deficiencia de Vit C y estrés oxidativo. Potencial para fortificar alimentos.	Solución natural contra deficiencia de Vit A (xeroftalmía) en Amazonía. Aporte de energía y ácidos grasos saludables.	Alimento funcional por withanólidos. Fuente de niacina (pelagra) y antioxidantes.
Notas Críticas / Advertencias	Degradación rápida de Vit C en jugo exprimido.	Consumo excesivo puede afectar esmalte dental.	Sabor extremadamente ácido limita consumo directo. Necesita transformación (pulpa, polvo).	Cosecha destructiva amenaza ecosistema. Promover recolección sostenible.	Cáliz es parte funcional (withanólidos), no debe desecharse sistemáticamente.

Fuente de los datos: Elaboración propia a partir de compilación crítica de literatura científica (Contreras et al., 2023; Reynaldo et al., 2023; Yuyama et al., 2020; Pinedo et al., 2022; Cartagena et al., 2023; Panduro et al., 2022; Fischer et al., 2023; Ramírez et al., 2022). Los valores son rangos representativos.

Implicancias y Perspectivas:

1. **Complementariedad Geográfica y Nutricional:** Estas frutas ofrecen soluciones a diferentes problemas de salud pública según la región. El camu camu y el aguaje son recursos estratégicos prioritarios para la Amazonía peruana, donde el acceso a otras fuentes de vitaminas puede ser limitado y las deficiencias son más prevalentes. Los cítricos y el aguaymanto tienen mayor penetración nacional.
2. **Más allá del Contenido: La Importancia de la Matriz:** El caso del aguaje ilustra perfectamente cómo la matriz alimentaria (grasa + carotenoides) está optimizada para la biodisponibilidad. En el camu camu, la matriz ácida y polifenólica protege a la vitamina C. Esto respalda el fomento del consumo de la fruta entera o de productos mínimamente procesados que preserven esta matriz, frente a extractos purificados.
3. **Investigación y Desarrollo Urgente:** Se requieren más estudios de biodisponibilidad en humanos específicos para estas matrices complejas. También son cruciales los proyectos de mejoramiento genético no destructivo (para aguaje), domesticación controlada (para camu camu) y desarrollo de productos de valor agregado (polvos liofilizados, néctares, cápsulas) que permitan su conservación, transporte y dosificación precisa, llevando sus beneficios más allá de sus zonas de origen.

4. Integración en Políticas Alimentarias: El potencial de estas frutas para programas de suplementación alimentaria escolar, fortificación de alimentos de consumo masivo (ej. añadir polvo de camu camu a galletas o jugos) y seguridad alimentaria es enorme y aún subexplotado. Su promoción debe enmarcarse en una estrategia de valorización de la biodiversidad para la nutrición y la salud.

En conclusión, el Perú posee en sus cítricos adaptados y sus superfrutas amazónicas un arsenal natural de primer orden para enfrentar las deficiencias de micronutrientes y promover la salud a través de la alimentación. La ciencia tiene el deber de caracterizarlas con rigor, la industria de transformarlas con respeto y la sociedad de consumirlas con orgullo, como parte de un modelo de desarrollo donde la biodiversidad nutre al pueblo que la custodia.



Capítulo

3

FRUTAS ANDINAS Y LA RESILIENCIA NUTRICIONAL: ANTIOXIDANTES
ÚNICOS Y VITAMINAS DEL COMPLEJO B

3.1. Introducción: bioquímica de la supervivencia y su legado nutricional

La cordillera de los Andes no es simplemente una barrera geográfica; es un laboratorio natural de estrés abiótico donde la radiación ultravioleta, la hipoxia hipobárica, las amplitudes térmicas extremas y los suelos oligotróficos han ejercido una presión selectiva formidable sobre la flora. Las especies frutícolas que aquí han prosperado —ya sea por domesticación milenaria o por persistencia silvestre— no son supervivientes pasivas, sino maestras en el arte de la síntesis compensatoria. Su estrategia fundamental ha sido la producción de un arsenal de metabolitos secundarios que les permiten resistir, pero que, al ser transferidos a la dieta humana, se convierten en herramientas de resiliencia fisiológica. Este capítulo se centra en cuatro frutos emblemáticos que encarnan esta premisa: la tuna (*Opuntia ficus-indica*), la chirimoya (*Annona cherimola*), la lúcuma (*Pouteria lucuma*) y el sauco andino (*Sambucus peruviana*). A diferencia de las frutas amazónicas, cuya notoriedad suele descansar en un solo micronutriente en concentraciones hiperbólicas, las andinas destacan por ofrecer paquetes integrados de funcionalidad, donde las vitaminas del complejo B para el metabolismo energético se combinan con antioxidantes estructuralmente únicos, creando sinergias de particular relevancia para poblaciones que habitan y trabajan en condiciones de estrés ambiental.

3.2. La Tuna (*Opuntia ficus-indica*): Betalaínas, el antioxidante que desafió a las antocianinas

En los andenes secos y soleados, la tuna representa el triunfo de la eficiencia. Como cactácea con metabolismo CAM (Metabolismo Ácido de las Crasuláceas), cierra sus estomas de día para conservar agua, fijando CO₂ por la noche. Este mecanismo, sin embargo, genera estrés fotooxidativo interno. La respuesta bioquímica es la producción de betalaínas, una clase de pigmentos nitrogenados que sustituyen evolutivamente a las antocianinas en el orden Caryophyllales.

Química Distintiva y Estabilidad: Las betalaínas se dividen en betacianinas (rojo-púrpura, como la betanina) y betaxantinas (amarillo-naranja, como la indicaxantina). Su núcleo betalámico les confiere propiedades redox superiores a las de muchos flavonoides en ciertos sistemas. A diferencia de las antocianinas, cuya coloración depende críticamente del pH, las betalaínas mantienen su color en un rango de pH más amplio (3-7), lo que las hace visualmente estables en diversos productos alimenticios (Castillo et al., 2023). Más importante aún, estudios farmacocinéticos preliminares en modelos murinos sugieren que la biodisponibilidad de la betanina puede ser superior al 20%, con una vida media plasmática que permite efectos sostenidos (Aguilar et al., 2022).

Perfil Vitamínico en Contexto Andino: El contenido de vitamina C (15-30 mg/100g) es modesto pero significativo. Su verdadero valor en el contexto altoandino radica en su combinación con:

- Vitaminas B2 (Riboflavina) y B3 (Niacina): En rangos de 0.06-0.12 mg/100g y 0.4-0.8 mg/100g, respectivamente. Ambas son cofactores esenciales en la cadena de transporte de electrones mitocondrial. En altura, donde la presión parcial de oxígeno es menor, la eficiencia de esta cadena es crucial para la producción de ATP. La tuna aporta precisamente los “instrumentos” moleculares para optimizarla.
- Fibra Mucilaginoso: Los mucílagos de la tuna (polisacáridos complejos) forman geles viscosos que modulan la absorción intestinal de glucosa y lípidos, y actúan como prebióticos para bacterias productoras de ácidos grasos de cadena corta (SCFAs), como el butirato.

Aplicación en Salud Pública Andina: En regiones como Ayacucho o Huancaavelica, el consumo estacional de tuna podría coadyuvar a mitigar dos problemas: la hipoxia silente crónica en poblaciones no aclimatadas y el riesgo de síndrome metabólico asociado a transiciones dietéticas. Sus betalaínas combatirían el estrés oxidativo sistémico, mientras su perfil de vitaminas B y fibra apoyaría el metabolismo energético y la salud glucémica.

3.3. La chirimoya (*annona cherimola*): una central bioquímica de vitaminas B

La chirimoya, cultivada en valles interandinos protegidos, es una fruta climatérica de respiración acelerada. Su fama dulce opaca a menudo su perfil nutricional más profundo: es, posiblemente, la fuente frutal más completa de vitaminas del complejo B en el hemisferio sur.

Análisis Detallado del Complejo B: Estudios realizados en la variedad 'Cumbe' de Cusco han cuantificado con precisión su aporte (por 100g de pulpa fresca):

- Piridoxina (B6): 0.4–0.7 mg. Este valor es excepcional. La B6 como fosfato de piridoxal (PLP) es el cofactor de transaminasas y descarboxilasas. En poblaciones andinas con dietas históricamente altas en proteínas de origen animal (cuy, alpaca) y vegetal (quinua, tarwi), el metabolismo eficiente de aminoácidos es vital. Una porción de 200g de chirimoya aporta casi el 100% de la IDR de B6.
- Tiamina (B1): 0.09–0.14 mg. Clave para la descarboxilación del piruvato. Su deficiencia (beriberi) es rara, pero un aporte óptimo es fundamental para el metabolismo glucolítico, especialmente en cerebros en desarrollo.
- Riboflavina (B2): 0.07–0.11 mg. Como ya se mencionó, esencial para la producción de energía.
- Folatos (B9): 15–25 µg. Importantes para la síntesis de nucleótidos y la metilación del ADN (Chávez et al., 2023).

Acetogeninas: Moléculas con Doble Filo. Las acetogeninas de las anonáceas (como la annonacina) son inhibidores potentes del Complejo I de la cadena respiratoria mitocondrial (NADH:ubiquinona oxidoreductasa). En dosis altas y crónicas de extractos concentrados, esto puede ser neurotóxico. Sin embargo, en el contexto dietético del consumo de la fruta entera, la concentración es bajísima y la matriz alimentaria (agua, fibra, azúcares) diluye cualquier efecto potencial. De hecho,

se especula que a niveles ínfimos podrían tener un efecto hormético, estimulando adaptaciones mitocondriales (Zevallos & Torres, 2023). Esta discusión ejemplifica la complejidad de trasladar hallazgos *in vitro* a recomendaciones dietéticas con alimentos integrales.

Implicancias para el Neurodesarrollo y la Energía Mental: El perfil de la chirimoya la convierte en un alimento estratégico para escolares, universitarios y trabajadores intelectuales. La combinación de glucosa de fácil disposición, vitaminas B para su metabolismo oxidativo y potenciales precursores de neurotransmisores (vía B6) la señala como un “alimento cerebro-activo” de origen andino que merece ser promovido en programas de alimentación escolar.

3.4. La Lúcumá (*Pouteria lucuma*): La Energía Sostenible y la Niacina Andina

La lúcumá es un caso fascinante de disociación entre sabor percibido y respuesta metabólica. Su sabor dulce y aroma a miel podrían sugerir un alimento de alto índice glucémico (IG), pero la evidencia preliminar indica lo contrario.

Carbohidratos Complejos y el Mito del Índice Glucémico: La pulpa fresca no es simplemente azucarada; es farinácea. Esto se debe a la presencia de almidones y polisacáridos de reserva únicos, junto con un alto contenido de fibra soluble (pectinas). Un estudio piloto realizado en el Cusco con 15 voluntarios sanos midió la respuesta glucémica tras consumir 50g de carbohidratos equivalentes de lúcumá fresca, comparado con pan blanco. El IG calculado fue de 52 ± 6 , clasificándola como

alimento de IG bajo (Cáceres et al., 2022). La explicación bioquímica reside en la lenta hidrólisis enzimática de sus carbohidratos complejos y al efecto de la fibra, que enlentece el vaciamiento gástrico y la absorción intestinal.

Niacina (B3) y su Rol Beyond Pellagra: Su contenido de niacina (1.8–2.8 mg/100g) es notable. La niacina es precursora del NAD⁺, una coenzima consumidora en reacciones catabólicas (glucólisis, beta-oxidación) y donante en reacciones anabólicas (síntesis de ácidos grasos). Más allá de prevenir la pelagra, niveles óptimos de NAD⁺ están vinculados a la longevidad celular y la función de las sirtuinas, enzimas involucradas en la reparación del ADN y el metabolismo energético. La lúcuma, por tanto, podría ser un contribuyente dietético a la “salud mitocondrial”.

Hierro y la Matriz Potenciadora: Su hierro no-hemo (0.7-1.0 mg/100g) cobra mayor relevancia si se consume siguiendo la práctica tradicional andina: con frutas ricas en vitamina C (como una naranja de postre) o en preparaciones que incluyan algún grado de fermentación (postres con quesillo fresco ligeramente acidificado), lo que mejora su reducción y absorción.

3.5. El Sauco Andino (*Sambucus peruviana*): los polifenoles de la inmunidad en altura

El sauco andino, a menudo confundido con su pariente europeo (*S. nigra*), crece en quebradas húmedas hasta los 3,800 m.s.n.m. Sus pequeñas bayas negras, agridulces y astringentes, son usadas tradicio-

nalmente para “resfríos y males del pecho”. La ciencia moderna está descubriendo la base de esta sabiduría.

Un Cóctel de Polifenoles Antivirales e Inmunomoduladores: El perfil del sauco andino es dominado por:

- Antocianinas: Principalmente cianidina-3-glucósido y cianidina-3-sambubioside, en concentraciones que pueden superar los 500 mg/100g de fruto fresco, según la madurez y altitud (Paredes et al., 2023).
- Ácidos Fenólicos: Ácido clorogénico y sus derivados.
- Flavonoles: Quercetina y rutina (quercetina-3-rutinósido).

Lo crucial no es solo la cantidad, sino la actividad biológica documentada en el contexto de infecciones virales respiratorias. Estudios *in vitro* con extractos de *S. peruviana* han demostrado:

- Inhibición de la Hemaglutinina Viral: Las antocianinas y los flavonoles pueden unirse a las espículas de proteína de virus como el de la influenza, impidiendo su adhesión a receptores de células epiteliales.
- Modulación de la Respuesta Inflamatoria: Inhiben la sobreproducción de citoquinas proinflamatorias (como TNF- α e IL-6) en macrófagos estimulados, lo que podría mitigar la “tormenta de citoquinas” asociada a infecciones severas (Mamani et al., 2023).
- Estimulación de la Inmunidad Innata: Aumentan la actividad fagocítica de los macrófagos.

Vitamina C y el Contexto Estacional: Su contenido de vitamina C es variable (10-40 mg/100g), pero se potencia enormemente con el efecto inmunomodulador de los polifenoles. Su cosecha coincide con el inicio de la época de lluvias y bajas temperaturas en los Andes (abril-junio), justo cuando aumentan las infecciones respiratorias agudas (IRAs). No es casualidad, es co-evolución entre la fenología de la planta y las necesidades de la población.

3.6. Análisis Comparativo y la Teoría del “Paquete Adaptativo” Andino

La Tabla 3 integra los datos cuantitativos y cualitativos de estas cuatro frutas, revelando un patrón que va más allá de la nutrición básica.

Tabla 3
Perfil comparativo de frutas andinas: Integración de vitaminas B, antioxidantes únicos y funcionalidad en altura

Parámetro / Fruta	Tuna (<i>O. ficus-indica</i>)	Chirimoya (<i>A. cherimola</i>)	Lúcuma (<i>P. lucuma</i>)	Sauco Andino (<i>S. peruviana</i>)
Vitamina B6 (mg/100g)	0.05–0.12	0.4–0.7	0.02–0.06	Trazas
Vitamina B3–Niácina (mg/100g)	0.4–0.8	0.5–0.9	1.8–2.8	0.2–0.4
Vitamina B2–Riboflavina (mg/100g)	0.06–0.12	0.07–0.11	0.02–0.05	0.03–0.06
Antioxidante/Comp. Bioactivo Principal	Betalainas (Alta biodisponibilidad, estabilidad de pH)	Acetogeninas (Potente bioactividad en dosis dietéticas mínimas)	Polisacáridos complejos + Fibra (Moduladores de IG y salud intestinal)	Antocianinas específicas (C3G, C3S) + Flavonoles (Actividad antiviral/inmuno-mod.)

Parámetro / Fruta	Tuna (O. <i>ficus-indica</i>)	Chirimoya (A. <i>cherimola</i>)	Lúcuma (P. <i>lucuma</i>)	Sauco Andino (S. <i>peruviana</i>)
Aporte Energético Metabólico	Combustible glucolítico + Cofactores B para cadena respiratoria	Paquete completo para metabolismo de AA y energía cerebral	Energía de liberación sostenida (IG bajo) + Cofactor NAD+	No es fuente energética principal. Soporte inmunológico.
Funcionalidad en Contexto Andino	Adaptación a hipoxia y radiación. Antioxidante sistémico, soporte energético.	Optimización del neuro-desarrollo y rendimiento intelectual. Recuperación metabólica.	Combustible estable para trabajo físico prolongado. Salud mitocondrial.	Defensa estacional contra IRAs. Inmunomodulación en altura.
Nota Crítica/Investigación	Estudiar efecto conjunto betalainas+B2 en eficiencia mitocondrial en altura.	Evaluar riesgo/beneficio de acetogeninas en consumo habitual de fruta entera.	Validar IG a mayor escala y con diferentes ecotipos. Estudiar efecto prebiótico.	Estandarizar extractos para estudios clínicos en IRAs. Domesticación sostenible.

Fuente de los datos: Elaboración propia a partir de compilación crítica de literatura científica (Castillo et al., 2023; Aguilar et al., 2022; Chávez et al., 2023; Zevallos & Torres, 2023; Cáceres et al., 2022; Paredes et al., 2023; Mamani et al., 2023). Los valores son rangos representativos.

Síntesis e Implicaciones: La “Dieta de la Resiliencia Andina”

Este análisis revela un patrón que podríamos denominar el “Paquete Adaptativo Andino”. No es que cada fruta contenga todo, sino que en conjunto ofrecen una respuesta multifacética a los desafíos ambientales:

1. Combustible Metabólico Optimizado (Lúcuma, Chirimoya, Tuna): Proporcionan energía, pero con matrices que modulan su liberación (lúcuma) o con los cofactores enzimáticos precisos para extraerla eficientemente en condiciones de hi-

poxia relativa (B2, B3 de la tuna y chirimoya).

2. Defensa contra Agresores Abióticos (Tuna, Sauco): Las beta-lainas defienden del daño por radiación UV; los polifenoles del sauco, del frío y los patógenos.
3. Soporte para Funciones Cognitivas y de Alta Demanda (Chirimoya): Su perfil excepcional en B6 y otras vitaminas B la hace ideal para el desarrollo y mantenimiento de funciones neurológicas complejas.

Recomendaciones Concretas para Política Pública e Investigación:

- Incluir pulpa de tuna liofilizada en los desayunos escolares de zonas altoandinas como fortificante natural contra el estrés oxidativo.
- Promover el consumo de chirimoya en universidades y centros de trabajo a través de programas de “Snacks saludables andinos”.
- Financiar estudios clínicos con jarabe o extracto estandarizado de sauco andino para el manejo ambulatorio temprano de infecciones virales respiratorias altas.
- Reevaluar las tablas de composición de alimentos nacionales con datos actualizados y específicos de ecotipos de lúcuma, corrigiendo la subestimación de su valor nutricional real.

En última instancia, estas frutas no son reliquias del pasado, sino prototipos de alimentos funcionales desarrollados por la naturaleza y la cultura andina. Su estudio y valorización no es un ejercicio académico, sino un paso necesario para construir sistemas alimentarios regionales que sean soberanos, saludables y profundamente resilientes, tal como los ecosistemas y las culturas que les dieron origen.

Capítulo

4

*BIODISPONIBILIDAD VITAMÍNICA: DEL CONTENIDO BRUTO AL IMPACTO
FISIOLÓGICO EN FRUTAS PERUANAS*

4.1. Introducción: la brecha crítica entre la tabla de composición y el efecto biológico

En los capítulos anteriores hemos documentado las impresionantes concentraciones de micronutrientes presentes en las frutas peruanas, desde la vitamina C hiperbólica del camu camu hasta los carotenoides del aguaje. Sin embargo, un principio fundamental de la nutrición moderna señala que el contenido químico de un alimento no es sinónimo de su valor nutricional. La distancia crítica que separa estos dos conceptos se denomina biodisponibilidad, definida como la fracción de un nutriente ingerido que es liberado de la matriz alimentaria, absorbido a través del epitelio intestinal, transportado a la circulación sistémica y, finalmente, utilizado para funciones fisiológicas normales o almacenado (Fernández-García et al., 2020). Este concepto representa el núcleo de la evaluación nutricional de precisión y es particularmente relevante para las frutas peruanas, cuyas matrices alimentarias complejas y únicas (ricas en polifenoles, fibras especiales y lípidos) pueden modular la liberación y absorción de sus vitaminas de maneras a menudo impredecibles.

Este capítulo tiene como objetivo desentrañar la compleja farmacocinética nutricional de las vitaminas hidro y liposolubles presentes en nuestras frutas emblemáticas. Nos adentraremos en la biología molecular de los transportadores intestinales, analizaremos cómo la matriz alimentaria nativa actúa como moduladora de la bioaccesibilidad y revisaremos la evidencia –limitada pero creciente– sobre la biodisponibilidad real de estos compuestos en humanos. La pregunta central que guía este análisis es: ¿De qué sirve tener la fruta con más

vitamina C del planeta si solo absorbemos una fracción mínima de ella? La respuesta no es simple, pero es esencial para transformar datos analíticos en recomendaciones dietéticas y políticas de salud pública basadas en evidencia sólida.

4.2. Absorción intestinal de vitaminas: una cuestión de transportadores especializados

La absorción no es un proceso pasivo de difusión para la mayoría de las vitaminas. Es un evento regulado finamente, mediado por proteínas de transporte específicas localizadas en la membrana apical y basolateral de los enterocitos. Su expresión y actividad determinan, en gran medida, la eficiencia de captación.

Vitamina C: Los Transportadores SVCT y la Competencia por la Puerta. El ácido ascórbico (AA) se absorbe en el yeyuno principalmente a través de dos transportadores sodio-dependientes: SVCT1 (SLC23A1) y SVCT2 (SLC23A2). El SVCT1, de alta capacidad y baja afinidad, es el principal en el intestino. Su actividad es saturable, lo que explica por qué la absorción de vitamina C es dosis-dependiente y disminuye su eficiencia porcentual a ingestas superiores a 200 mg (Lykkesfeldt & Tveden-Nyborg, 2023). Aquí surge un primer punto crucial para el camu camu: una sola porción de 10g de pulpa puede contener 200-300 mg de vitamina C. A nivel intestinal, esto significa que los transportadores SVCT1 se saturarán rápidamente, y una proporción significativa del AA podría pasar al colon sin absorberse, donde será fermentado por la microbiota o excretado. Sin embargo, la matriz del camu camu presenta también ácido dehidroascórbico (DHA), la forma oxidada. El

DHA utiliza un transportador diferente, los GLUT (Glucose Transporters, específicamente GLUT1, GLUT3 y GLUT4), que son facilitadores de difusión (Savini et al., 2023). Una vez dentro de la célula, el DHA es reducido rápidamente a AA. Esta vía dual de absorción podría conferir al camu camu una ventaja sobre fuentes con solo AA, permitiendo que parte de su enorme carga vitamínica eluda la saturación de los SVCT1.

Vitaminas del Complejo B: Especificidad y Regulación. Cada una tiene su propio sistema:

- Tiamina (B1): Absorbida por los transportadores THTR1 (SLC19A2) y THTR2 (SLC19A3) dependientes de pH y sodio. Su absorción es activa a bajas concentraciones y pasiva a altas.
- Riboflavina (B2): Se absorbe principalmente en el duodeno y yeyuno a través del transportador RFVT (SLC52A), específico para riboflavina y FMN.
- Niacina (B3): Se absorbe en el intestino delgado y estómago principalmente por difusión facilitada mediada por transportadores de monocarboxilatos (MCT).
- Piridoxina (B6): Su absorción parece ser por difusión pasiva no saturable tras dephosphorylation en la luz intestinal.

La importancia de conocer estos transportadores radica en identificar potenciales interacciones competitivas. Por ejemplo, la presencia de análogos estructurales o fármacos que utilicen los mismos transportadores podría modular la absorción de estas vitaminas a partir de fuentes como la chirimoya o la lúcuma.

Carotenoides Provitamínicos A: Un Proceso Multietapa Dependiente de Lípidos. La absorción de carotenoides como el β -caroteno del aguaje es notablemente más compleja:

- Liberación de la Matriz: Los carotenoides están embebidos en cromoplastos. La masticación y la acción gástrica son el primer paso limitante. La matriz lipídica del aguaje facilita enormemente esta etapa.
- Solubilización en Micelas Mixtas: En el duodeno, los carotenoides liberados deben incorporarse a micelas mixtas compuestas por sales biliares, productos de la digestión lipídica (monoglicéridos, ácidos grasos libres) y fosfolípidos. La grasa dietética es esencial para este paso. La propia grasa del aguaje (18-25%) es, por tanto, un factor intrínseco facilitador clave.
- Absorción por Enterocito: Ocurre principalmente por difusión pasiva, aunque hay evidencia de participación de proteínas de membrana como SR-BI (Scavenger Receptor class B type I) y CD36 (Harrison, 2020).
- Metabolismo Intracelular y Empaquetamiento: Parte del β -caroteno es escindido centralmente por la enzima BCO1 (Beta-carotene 15,15'-dioxygenase) en el enterocito para producir retinal, que luego se reduce a retinol. Tanto el retinol como el β -caroteno no escindido se incorporan a quilomicrones para su secreción a la linfa.

La eficiencia de conversión de β -caroteno a retinol (relación de equivalencia) es variable (de 6:1 a 28:1 en peso) y está influenciada por factores genéticos (polimorfismos en *BCO1*), estado de vitamina A y, nuevamente, por la matriz alimentaria.

4.3. La matriz alimentaria como moduladora clave: más que un simple contenedor

La matriz alimentaria nativa de cada fruta es el escenario donde se desarrolla el primer acto de la biodisponibilidad: la bioaccesibilidad, o liberación del nutriente de la matriz durante la digestión gastrointestinal.

Fibra Dietética: El Dilema del Atrapamiento. La fibra, abundante en la tuna (mucílagos), la lúcuma (pectinas) y el camu camu, presenta un doble papel:

- Efecto Inhibitorio: Puede atrapar físicamente vitaminas y minerales, formar geles viscosos que dificultan la difusión hacia la superficie de absorción y secuestrar sales biliares, afectando la micelización de carotenoides. Por ejemplo, la fibra soluble muy viscosa podría limitar la absorción de vitamina C al crear una barrera física.
- Efecto Facilitador: La fermentación colónica de la fibra produce ácidos grasos de cadena corta (SCFAs, especialmente butirato), que acidifican el pH luminal y pueden mejorar la expresión y actividad de algunos transportadores. Además, una microbiota saludable promovida por la fibra puede pro-

ducir pequeñas cantidades de ciertas vitaminas (K, B12, biotina).

Polifenoles y Taninos: Inhibidores Competitivos y Protectores. Los polifenoles del camu camu (elagitaninos), mortiño (antocianinas) y sauco pueden:

- Formar Complejos Insolubles con minerales (hierro, zinc) y posiblemente con algunas vitaminas, reduciendo su disponibilidad.
- Inhibir Enzimas Digestivas (α -amilasa, lipasa), modulando indirectamente la cinética de digestión y, por tanto, la liberación de nutrientes.
- Actuar como Antioxidantes Protectores de vitaminas lábiles como la C y la E dentro del tracto gastrointestinal, protegiéndolas de la oxidación antes de la absorción. Este es un efecto positivo que puede compensar parcialmente la inhibición por complejación.

Lípidos Intrínsecos: El Caso del Aguaje. Como se mencionó, la alta concentración lipídica del aguaje es probablemente el mayor promotor de la biodisponibilidad de sus carotenoides. No solo proporciona el vehículo para la micelización, sino que también estimula la secreción biliar y la actividad de enzimas lipolíticas, creando un entorno intestinal óptimo para la absorción de vitaminas liposolubles.

pH y Acidez Orgánica. La alta acidez del camu camu y el limón (pH bajo) puede influir en la estabilidad de las vitaminas y en el esta-

do de ionización de algunos compuestos, afectando su absorción por difusión pasiva.

4.4. Evidencia disponible sobre la biodisponibilidad de vitaminas en frutas peruanas

La investigación específica en humanos es aún escasa, pero algunos estudios pioneros ofrecen datos reveladores.

Vitamina C del Camu Camu: ¿Absorción Saturada o Eficiente? Un estudio cruzado aleatorizado comparó la farmacocinética de 250 mg de vitamina C administrada como camu camu liofilizado vs. comprimido de ácido ascórbico sintético en 12 voluntarios (Yuyama et al., 2021). Los resultados mostraron que:

- El AUC (Área Bajo la Curva) de concentración plasmática de vitamina C fue un 25% mayor con el camu camu que con el suplemento sintético.
- El Tmax (tiempo para alcanzar la concentración máxima) fue similar.
- La Cmax (concentración máxima) también fue ligeramente superior con camu camu.

Estos hallazgos sugieren que, a pesar de la saturación teórica de los SVCT1, la biodisponibilidad total de vitamina C del camu camu es igual o superior a la de un suplemento puro. Esto podría deberse a la presencia de DHA (vía GLUT), a la protección antioxidante de los polifenoles o a un efecto de la matriz sobre la cinética de vaciamiento gá-

trico que permita una liberación más sostenida del AA. Es un resultado contraintuitivo y de enorme importancia.

Carotenoides del Aguaje: Estudios de Referencia. Un estudio de intervención realizado en mujeres con deficiencia marginal de vitamina A en Iquitos evaluó el consumo de 60g/día de pulpa de aguaje durante 30 días (Cartagena et al., 2022). Se observó:

- Un aumento significativo en los niveles plasmáticos de β -caroteno (300%) y retinol (25%).
- Una mejora en la prueba de adaptación a la oscura (función visual).
- La eficiencia de conversión estimada en este contexto fue de aproximadamente 12:1 (peso β -caroteno:retinol), indicando una buena biodisponibilidad, favorecida por la matriz lipídica de la fruta.

Otras Frutas: Datos Fragmentarios e Inferencias. Para la chirimoya, la lúcuma o la tuna, no existen estudios farmacocinéticos directos en humanos. Su biodisponibilidad se infiere de:

Estudios de bioaccesibilidad *in vitro* utilizando modelos de digestión gastrointestinal simulada. Por ejemplo, estudios con tuna muestran que la liberación de betalaínas es cercana al 70% en la fase intestinal, sugiriendo una buena bioaccesibilidad (Castillo et al., 2023).

Estudios de marcadores funcionales. El consumo de chirimoya se ha correlacionado con mejorías en niveles plasmáticos de piridoxal fosfato (PLP) en estudios observacionales, aunque no se puede establecer causalidad directa.

La Tabla 4 sintetiza el estado del arte sobre la biodisponibilidad de las vitaminas clave en las frutas peruanas más estudiadas.

Tabla 4
Evidencia disponible sobre la biodisponibilidad de vitaminas en frutas peruanas seleccionadas

Fruta / Vitamina Principal	Nivel de Evidencia en Humanos	Hallazgos Clave / Mecanismo Inferido	Factores Moduladores de la Matriz	Brechas de Investigación
Camu Camu / Vit. C	Alto (Estudios farmacocinéticos controlados)	Biodisponibilidad $\geq$ suplemento sintético. Posible vía dual (SVCT1 + GLUT via DHA). Protección por polifenoles.	Alta acidez y polifenoles pueden proteger Vit. C. Fibra podría retrasar absorción pero no mermarla.	Efecto de dosis altas ($>1g$ Vit. C) desde camu camu. Papel específico de elagitaninos.
Aguaje / Provit. A (β -caroteno)	Moderado-Alto (Estudios de intervención con marcadores)	Buena biodisponibilidad. Conversión eficiente a retinol ($\approx 12:1$). Matriz lipídica intrínseca es factor clave promotor.	Alto contenido lipídico (oleico) optimiza micelización. Posible sinergia con vit. E presente.	Comparación con otras fuentes lipídicas. Efecto de polimorfismos BCO1 en población peruana.
Chirimoya / Vit. B6	Bajo (Estudios observacionales, inferencia)	Se infiere buena biodisponibilidad por aumento de PLP plasmático asociado a consumo. Absorción pasiva no saturable.	Baja interferencia. Matriz acuosa y azúcares facilitan contacto con mucosa.	Estudio farmacocinético agudo urgente. Interacción con otros alimentos de la dieta andina.
Tuna / Betalainas (Antioxidantes)	Bajo-Moderado (Estudios <i>in vitro</i> y animales)	Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> alta ($\approx 70\%$). Estudios en ratas muestran absorción y excreción urinaria de betanina intacta.	Mucílagos podrían modular velocidad de liberación. pH estable de betalainas es favorable.	Estudios en humanos para cuantificar absorción y metabolitos. Efecto de la cocción.
Aguaymanto / Vit. B3	Muy Bajo	Se desconoce. Se asume absorción por difusión facilitada (MCT).	Withanólidos podrían modular motilidad o permeabilidad intestinal (hipótesis).	Carencia total de datos. Prioridad para investigación básica.

Fuente de los datos: Elaboración propia a partir de compilación crítica de literatura científica (Yuyama et al., 2021; Cartagena et al., 2022; Castillo et al., 2023; y referencias previas de capítulos). “Nivel de evidencia” se refiere a la existencia de estudios específicos en humanos o modelos cercanos.

4.5. Implicaciones para la Salud Pública, la Industria y la Investigación en el Perú

La comprensión de la biodisponibilidad tiene consecuencias prácticas inmediatas:

1. Para las Recomendaciones Dietéticas y la Educación Nutricional:

- Promover el consumo de la fruta entera o en formas que preserven la matriz (pulpas no clarificadas, purés, frutos secos a bajas temperaturas) por sobre los jugos filtrados o los extractos altamente purificados.
- Combinaciones inteligentes: Enfatizar que el consumo de aguaje (o otras fuentes de carotenoides como el zapallo) junto con una pequeña cantidad de grasa adicional (ej. en una ensalada con palta o aceite) puede maximizar la absorción. En el caso de la lúcuma, su consumo con una fuente de vitamina C puede potenciar la absorción de su hierro no-hemo.
- Contextualizar el “boom” del camu camu: Comunicar que su valor no radica necesariamente en absorber 3000 mg de una vez (imposible), sino en proporcionar una dosis masiva pero altamente biodisponible que satura los tejidos y proporciona un pool de reserva duradero, con el beneficio añadido de los polifenoles.

2. Para la Industria de Alimentos y Suplementos:

- Desarrollo de ingredientes funcionales: En lugar de aislar solo la vitamina C del camu camu, desarrollar ingredientes estandarizados en Vitamina C + Polifenoles + DHA para aprovechar la sinergia de la matriz completa.
- Procesamiento amigable con la biodisponibilidad: Utilizar técnicas como el liofilizado a bajas temperaturas, el prensado en frío o la microencapsulación con lípidos (para carotenoides) que protejan los nutrientes y sus cofactores de la matriz.
- Dosificación racional: Para suplementos de camu camu, determinar dosis efectivas basadas en estudios farmacocinéticos, no simplemente en el contenido bruto. Una dosis de 500 mg de vitamina C a partir de camu camu podría ser más efectiva que la misma dosis de ascorbato de sodio puro.

3. Para la Agenda Nacional de Investigación en Nutrición:

- Crear una red de laboratorios especializados en biodisponibilidad *in vitro* e *in vivo*, utilizando metodologías estandarizadas (modelos de digestión INFOGEST, estudios clínicos con isótopos estables).
- Priorizar estudios en poblaciones peruanas específicas: Investigar si existen diferencias en la eficiencia de absorción (ej. de carotenoides o vitamina C) entre poblaciones costeñas, andinas y amazónicas, posiblemente debido a adaptaciones genéticas o microbianas.

- Evaluar el impacto de las prácticas culinarias tradicionales: ¿Cómo afecta la cocción de la tuna, la fermentación de bebidas de sauco o la preparación de mazamoras de lúcuma a la biodisponibilidad de sus nutrientes?

4.6. Conclusión: hacia una valorización inteligente de nuestros recursos frutícolas

El viaje de una vitamina desde la pulpa de una fruta peruana hasta cumplir su función en una célula humana es un proceso fascinante y lleno de obstáculos. Este capítulo ha demostrado que nuestras frutas no son solo “contenedores” de nutrientes, sino sistemas bioactivos complejos donde la vitamina de interés interactúa con una cohorte de compuestos co-evolucionados—fibra, polifenoles, lípidos, ácidos orgánicos—que pueden inhibirla, protegerla o potenciar su absorción.

El caso del camu camu nos enseña que lo contraintuitivo puede ser cierto: una matriz extremadamente compleja puede resultar en una biodisponibilidad superior a la de un compuesto puro. El aguaje nos recuerda que a veces la naturaleza empaqueta el nutriente con su propio vehículo de absorción. Para la chirimoya y la lúcuma, la evidencia indirecta sugiere que sus matrices no interfieren significativamente, pero esto debe confirmarse.

La gran lección es que no podemos evaluar el potencial nutricional de nuestras frutas nativas usando solo un espectrofotómetro o un cromatógrafo. Necesitamos pasar de la química analítica a la fisiología integrativa. Al hacerlo, dejaremos de ver a estas frutas como

curiosidades exóticas con números impresionantes, y comenzaremos a entenderlas y promoverlas como lo que realmente son: sistemas de entrega de nutrientes de sofisticación extraordinaria, diseñados por la co-evolución entre planta y ambiente, y validados por milenios de consumo humano. Nuestra tarea, como científicos peruanos, es descifrar este lenguaje bioquímico y traducirlo en salud, desarrollo y soberanía alimentaria para nuestro pueblo.

Capítulo

5

CONCLUSIONES Y HORIZONTES: INTEGRANDO LA CIENCIA Y LA TRADICIÓN
DEL POTENCIAL VITAMÍNICO PERUANO

5.1. Síntesis de un viaje nutricional: de la composición a la biodisponibilidad

Al iniciar este libro, nos propusimos un objetivo ambicioso: examinar de manera integral y crítica el perfil vitamínico de las frutas peruanas, trascendiendo el catálogo de cifras para comprender su verdadero potencial en la nutrición humana. Este recorrido nos ha llevado desde las llanuras aluviales de la Amazonía, donde el camu camu concentra la vitamina C en niveles casi inimaginables, hasta las alturas andinas, donde la chirimoya y la lúcuma ofrecen un soporte meticuloso al metabolismo energético. Hemos explorado no solo el “qué” contienen estas frutas, sino el complejo “cómo” esos nutrientes interactúan con nuestro organismo, guiados por el principio rector de la biodisponibilidad.

La conclusión global que emerge de esta exploración es clara y está firmemente sustentada en la evidencia científica recopilada entre 2020 y 2024: el Perú custodia un patrimonio frutícola de una riqueza vitamínica excepcional, tanto en magnitud como en diversidad cualitativa. Este patrimonio constituye un recurso estratégico y aún subutilizado, con el potencial concreto de contribuir a solucionar problemas de salud pública relacionados con deficiencias de micronutrientes y con el estrés oxidativo que subyace a las enfermedades crónicas. Esta afirmación se basa en datos duros: el camu camu (*Myrciaria dubia*) contiene entre 1,800 y 3,800 miligramos de ácido ascórbico por cada 100 gramos de pulpa, mientras que el aguaje (*Mauritia flexuosa*) presenta concentraciones de β -caroteno que fluctúan entre 18 y 35 mg/100g. De manera complementaria, la chirimoya (*Annona cherimola*) aporta entre

0.4 y 0.7 mg de piridoxina (vitamina B6) en la misma porción, un valor extraordinario para una fruta fresca. Estos no son meros números curiosos; son el reflejo bioquímico de una adaptación milenaria a ecosistemas específicos, un lenguaje de resiliencia escrito en moléculas esenciales para la vida humana.

Una de las contribuciones más significativas de este análisis ha sido demostrar que el valor nutricional de estas frutas no puede reducirse a una sola cifra en una tabla de composición. Su verdadera potencia reside en la sofisticada arquitectura de su matriz alimentaria nativa. La fruta entera es un sistema inteligente de entrega de nutrientes. El caso del camu camu es paradigmático: un estudio farmacocinético controlado reveló que el área bajo la curva (AUC) de vitamina C en plasma tras su consumo fue un 25% mayor que la obtenida con un suplemento sintético equivalente. Esta superioridad inesperada sugiere que la combinación natural de ácido ascórbico, su forma oxidada (ácido dehidroascórbico, absorbido por una vía diferente) y un entorno rico en polifenoles protectores, resulta en una biodisponibilidad optimizada. De forma análoga, la pulpa del aguaje no solo es rica en carotenoides, sino que viene acompañada de su propio vehículo de absorción: una fracción lipídica del 18 al 25% que promueve la formación de micelas y facilita su paso al interior del enterocito, con una eficiencia de conversión a retinol que en condiciones reales se estima en una relación de 12:1. En las frutas andinas, como la tuna y el mortiño, observamos un “paquete adaptativo” donde antioxidantes únicos (betalaínas, antocianinas) actúan en concierto con vitaminas del complejo B, ofreciendo una respuesta integrada al estrés ambiental que también beneficia al consumidor.

5.2. Reconociendo las fronteras del conocimiento: limitaciones y asimetrías

Un ejercicio científico honesto exige reconocer no solo lo que sabemos, sino también los confines de nuestro conocimiento y la solidez de sus cimientos. En este sentido, una de las conclusiones más críticas de este libro es la identificación de una disparidad profunda en la calidad y volumen de la evidencia disponible para las diferentes frutas estudiadas. Mientras que para la vitamina C del camu camu y los carotenoides del aguaje contamos con estudios de intervención y farmacocinética en humanos (un nivel de evidencia que calificamos de Alto a Moderado-Alto), para la mayoría de las demás el panorama es mucho más nebuloso. La biodisponibilidad de la valiosa piridoxina en la chirimoya, o de la niacina en la lúcuma y el aguaymanto, se infiere de datos indirectos o simplemente se desconoce (evidencia Baja o Muy Baja). Esta asimetría constituye una limitación fundamental que impide trasladar con total confianza el potencial teórico de estas frutas a recomendaciones dietéticas precisas o al desarrollo de ingredientes funcionales con declaraciones de propiedad sólidas.

Otra limitación estructural reside en la heterogeneidad metodológica de los estudios de composición. Los datos que hemos integrado provienen de investigaciones que utilizan técnicas analíticas diversas, definen la “porción comestible” de distinta manera y cosechan los frutos en puntos de madurez variables. Esta falta de estandarización introduce un margen de incertidumbre en las comparaciones y dificulta la creación de una base de datos de referencia oficial y confiable para el Perú. Asimismo, el enfoque de la investigación ha tendido a aislar

micronutrientes específicos, dejando en un segundo plano la evaluación de los efectos sinérgicos de la matriz completa. Comprender si los beneficios para la salud se deben a un compuesto estrella o al conjunto orquestado de fitoquímicos, fibra, vitaminas y minerales es crucial para valorar correctamente el alimento integral frente a un extracto purificado.

Finalmente, existe una brecha notable en la investigación aplicada sobre procesamiento. Sabemos poco sobre cómo las técnicas de transformación tradicionales (secado al sol, cocción) e industriales (lío-filización, pasteurización) afectan la retención de vitaminas lábiles como la C o la B1, y la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos en estas matrices complejas. Sin este conocimiento, es arriesgado diseñar productos de valor agregado que aspiren a preservar el potencial nutricional original de la fruta fresca.

5.3. Trazando el mapa para la próxima década: un programa de investigación para la valorización

Las limitaciones expuestas no son un callejón sin salida, sino la hoja de ruta para la próxima generación de investigación. Para convertir el potencial latente de las frutas peruanas en beneficios tangibles para la salud y el desarrollo, proponemos un programa de investigación concertado y multidisciplinario, estructurado en cuatro pilares interconectados.

El primer pilar debe ser el establecimiento de una red nacional para la caracterización estandarizada. Urge crear un consorcio de la-

laboratorios que, bajo protocolos armonizados, genere datos composicionales robustos y trazables para al menos una decena de frutas nativas prioritarias. Esta iniciativa debería ir acompañada de la creación de un biobanco de germoplasma con “pasaporte nutricional”, vinculando la información química con datos genómicos y agronómicos. El resultado sería un bien público invaluable: una base de datos confiable para científicos, nutricionistas, industriales y políticos.

El segundo pilar, y quizás el más urgente, es la investigación clínica y farmacocinética en poblaciones peruanas. Necesitamos estudios que trasladen los hallazgos del laboratorio al ser humano. Por ejemplo, un ensayo clínico cruzado y controlado podría comparar la biodisponibilidad de la vitamina B6 de la chirimoya fresca frente a un suplemento estándar. Un estudio de intervención de varias semanas podría evaluar el efecto del consumo regular de tuna sobre marcadores de estrés oxidativo en poblaciones altoandinas. Y el uso de isotopos estables (como el ^{13}C - β -caroteno) permitiría cuantificar con precisión quirúrgica la absorción y conversión de los carotenoides del aguaje, considerando incluso la variabilidad genética individual. Solo con esta evidencia de alto nivel podremos fundamentar claims de salud creíbles y diseñar programas de nutrición pública basados en evidencia local.

El tercer pilar se centra en la ingeniería de matrices y el desarrollo de alimentos funcionales. La ciencia de alimentos debe ponerse al servicio de la biodiversidad. Esto implica optimizar técnicas de procesamiento suave, como la liofilización a bajas temperaturas, para conservar la integridad de la vitamina C y los polifenoles en polvos de camu camu o aguaymanto. Supone diseñar sistemas de microencapsulación lipídica que protejan los carotenoides del aguaje y permitan su in-

corporación a alimentos fortificados de consumo masivo. Y conlleva formular mezclas inteligentes, como polvos combinados de lúcuma (energía sostenible) y camu camu (antioxidantes), destinados a la suplementación escolar o deportiva. El objetivo es crear prototipos listos para la transferencia tecnológica, respaldados por un dossier científico completo.

El cuarto y último pilar aborda la viabilidad y el impacto social. La valorización nutricional no será sostenible sin estudios socioeconómicos que mapeen las cadenas de valor existentes, identifiquen cuellos de botella y evalúen la aceptabilidad de nuevos productos en el mercado peruano. Es necesario modelar el impacto potencial en la salud pública y el ahorro en costos sanitarios que podría generar la incorporación sistemática de estas frutas en programas de alimentación escolar o suplementación dirigida. La investigación debe iluminar el camino hacia modelos de negocio inclusivos que beneficien a las comunidades guardianas de la biodiversidad.

5.4. Reflexión final: ¿una bio-soberanía nutricional?

Al cerrar estas páginas, la sensación no es de mera conclusión, sino de un punto de partida. Este libro ha puesto sobre la mesa una evidencia contundente: el Perú posee soluciones alimentarias de altísimo valor nutricional, empaquetadas por la evolución en los ecosistemas más diversos del planeta. Sin embargo, nos enfrentamos a una paradoja: esta riqueza biocultural coexiste con persistentes problemas de malnutrición y una creciente carga de enfermedades crónicas.

Superar esta paradoja exige un cambio de mirada. No podemos permitir que estos recursos sigan siendo vistos principalmente como materias primas para nichos de exportación o como ingredientes exóticos. La invitación que hacemos desde la ciencia es a construir colectivamente un modelo de bio-soberanía nutricional. Un modelo donde el conocimiento científico de vanguardia se entrelace con la sabiduría tradicional que por siglos ha reconocido el valor de estas plantas. Donde la investigación endógena deje de ser reactiva para volverse pionera en el campo de los alimentos funcionales de origen biodiverso. Donde las políticas públicas de los sectores Agricultura, Producción, Salud y Ambiente converjan en una agenda común que promueva el consumo interno, apoye a los agricultores y recolectores, e incorpore estos alimentos en la dieta nacional como pilares de salud.

La tuna, el camu camu, la chirimoya, el aguaje y todas las frutas aquí estudiadas son más que productos agrícolas. Son testamentos de resiliencia, herramientas de salud y símbolos de una identidad profundamente ligada a la tierra. Este libro ha intentado aportar las pruebas y el marco conceptual para entender su valor. El siguiente paso, el definitivo, es de todos: elegir valorar, investigar, producir y, sobre todo, consumir estos dones de nuestra biodiversidad, transformándolos de un potencial latente en el fundamento de un futuro alimentario más sano, justo y soberano para el Perú.

Referencias

- Abirami, K., Swain, S., Baskaran, V., Sakthivel, K., & Bommayasamy, N. (2021). Distinguishing *Opuntia* fruits and their betalain profiles: A review of chemistry, biosynthesis, and health benefits. *Journal of Food Biochemistry*, 45(12), e13984. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13984>
- Aguilar, F., Rojas, P., & Sotelo, A. (2022). Farmacocinética y biodisponibilidad de la betanina purificada de *Opuntia ficus-indica* en modelo murino. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3), 210-222.
- Brack-Egg, A. (2022). *Diversidad biológica del Perú: Inventario y análisis*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP).
- Cáceres, R., Aragonés, J., & Huamán, M. (2022). Respuesta glucémica e insulinémica al consumo de pulpa fresca de lúcuma (*Pouteria lucuma*) en adultos sanos del Cusco: Un estudio piloto. *Anales de la Facultad de Medicina (Lima)*, 83(4), 301-308. <https://doi.org/10.15381/anales.v83i4.23415>
- Cartagena, L. C., Bardales, W. V., & Pareja, A. G. (2022). Efecto de la suplementación con pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa*) sobre el estado de vitamina A y la función visual en mujeres con deficiencia marginal en Iquitos, Perú: Un ensayo controlado. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 72(4), 265-276.
- Cartagena, L. C., Bardales, W. V., & Pareja, A. G. (2023). Carotenoid composition and vitamin A value of fruits from the Peruvian Amazon: *Mauritia flexuosa* (aguaje) and *Oenocarpus bataua* (ungurahui). *Food Chemistry*, 405(Part A), 134791. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134791>

- Castillo, R., Morales, D., & Solís, V. (2023). Bioaccesibilidad *in vitro* de betalaínas y actividad antioxidante residual en jugos y néctares de tuna (*Opuntia ficus-indica*) sometidos a digestión gastrointestinal simulada. *Ciencia & Tecnología de Alimentos*, 34(1), 22-35.
- Castillo, R., Morales, D., & Solís, V. (2023). Estabilidad comparativa de betalaínas vs. antocianinas en matrices alimentarias modeladas para productos andinos. *Ciencia & Tecnología de Alimentos*, 34(2), 45-59.
- Chávez, M., Llano, S., & Torres, G. (2023). Contribución de frutas andinas al aporte de folatos en mujeres en edad fértil de comunidades rurales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 43(1), 78-85.
- Chávez, R. M., Solís, V. H., & Morales, D. A. (2023). Expresión génica diferencial en la ruta de biosíntesis de ácido ascórbico en dos ecotipos de camu camu (*Myrciaria dubia*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 89(2), 112-125.
- Combs, G. F., & McClung, J. P. (2023). *The vitamins: Fundamental aspects in nutrition and health* (6th ed.). Academic Press.
- Contreras, M., Díaz, K., & Vásquez, H. (2023). Variabilidad en el contenido de ácido ascórbico y sólidos solubles en jugo de tres variedades de naranja (*Citrus sinensis* L.) cultivadas en la costa central del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 14(1), 45-56. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.004>
- FAO & WHO. (2020). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition* (2nd ed.). World Health Organization.

- Fernández-García, E., Carvajal-Lérída, I., Jaren-Galán, M., Garrido-Fernández, J., Pérez-Gálvez, A., & Hornero-Méndez, D. (2020). Bioaccessibility of bioactive compounds from plant-based foods. In R. C. Khan (Ed.), *Plant-based foods: Nutritional properties and health benefits* (pp. 45-78). Wiley.
- Fischer, S. M., Gonzales, R. A., & Delgado, J. M. (2023). Perfil de vitaminas hidrosolubles y capacidad antioxidante de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) cultivado en tres regiones del Perú. *Arnaldoa*, 30(1), 135-150.
- Gálvez, P., Arroyo, J., & Llanos, C. (2023). Eriocitrina, el flavonoide distintivo del limón sutil (*Citrus aurantifolia*): Avances en su extracción, análisis y actividades biológicas. *Revista de Investigación en Alimentos y Biotecnología*, 8(2), 78-92.
- Gironés-Vilaplana, A., Mena, P., Moreno, D. A., & García-Viguera, C. (2021). Phytochemical profiling of Andean berries: Influence of altitude on bioactive compounds. *Food Research International*, 145, 110417. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110417>
- González-Aguilar, G. A., Blancas-Benítez, F. J., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2021). Tropical and subtropical fruits from Latin America: Nutritional composition, bioactive compounds, and health benefits. *Food & Function*, 12(15), 6631-6655. <https://doi.org/10.1039/D1FO01132A>
- Harrison, E. H. (2020). Mechanisms of digestion and absorption of dietary vitamin A. *Annual Review of Nutrition*, 40, 1-18. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-122319-034637>

- Kennedy, D. O. (2016). B vitamins and the brain: Mechanisms, dose and efficacy—A review. *Nutrients*, 8(2), 68. <https://doi.org/10.3390/nu8020068>
- Lykkesfeldt, J., & Tveden-Nyborg, P. (2023). The pharmacokinetics of vitamin C. *Nutrients*, 15(5), 1168. <https://doi.org/10.3390/nu15051168>
- Mamani, O., Alvítez, I., & Berrocal, D. (2023). Actividad antiinflamatoria e inmunomoduladora *in vitro* de un extracto estandarizado de bayas de *Sambucus peruviana* en macrófagos RAW 264.7. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 40(2), 167-175. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2023.402.12456>
- Mendoza, A., & Torres, R. (2023, octubre). *Caracterización morfológica y bioquímica de dos ecotipos de camu camu (Myrciaria dubia) de la cuenca del Ucayali y su relación con factores ambientales*. Comunicación presentada en el X Congreso Peruano de Frutales, ICA, Perú.
- MINAM. (2021). *Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica al 2030 y su Plan de Acción 2019-2030*. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Panduro, F., Tuesta, A., & Rengifo, E. (2022). Composición de ácidos grasos y contenido de fitosteroles en la pulpa de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) de tres procedencias de Loreto, Perú. *Folia Amazónica*, 31(2), 95-106.
- Paredes, L., & Campos, D. (2022). Cinética de degradación de ácido ascórbico y cambio de color en jugo de naranja fresco almacenado en condiciones domésticas. *Ciencia e Investigación*, 25(1), 33-40.
- Paredes, M., Quispe, E., & Rojas, L. (2023). Caracterización por UPLC-ESI-MS/MS de los polifenoles en frutos de *Sambucus peruviana* de tres altitudes y su correlación con la actividad antiviral *in vitro*. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 22(3), 334-349.

- Pinedo, R. A., Rojas, J. L., & Torres, R. C. (2022). Ecophysiological drivers of ascorbic acid accumulation in Amazonian fruits: The case of camu camu (*Myrciaria dubia*). *Scientia Horticulturae*, 295, 110854. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110854>
- Ramírez, F., Quispe, Z., & Soto, V. (2022). Withanólidos en *Physalis peruviana* L. (aguaymanto): Métodos de extracción, cuantificación y perspectivas farmacológicas. *Revista Peruana de Farmacia y Bioquímica*, 9(1), 22-35.
- Reynaldo, E., Franco, M., & Rojas, J. (2023). Efecto del almacenamiento refrigerado en la estabilidad de ácidos orgánicos y ácido ascórbico en frutos de limón sutil (*Citrus aurantifolia* Swingle). *The Journal of Agriculture and Natural Resources Sciences*, 10(3), 201-212.
- Savini, I., D'Alessio, S., & Avigliano, L. (2023). The dual role of vitamin C transporters in cancer: From metabolic reprogramming to epigenetic regulation. *Free Radical Biology and Medicine*, 195, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2022.12.089>
- SENASA. (2022). *Análisis de la producción frutícola nacional 2021-2022*. Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú.
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Silva, D. B., & Yuyama, K. (2021). Comparative bioavailability of vitamin C from camu-camu (*Myrciaria dubia*) powder and synthetic ascorbic acid in a randomized cross-over trial. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 67(4), 241-247. <https://doi.org/10.3177/jnsv.67.241>
- Yuyama, L. K. O., Aguiar, J. P. L., Yuyama, K., & Varejão, M. J. (2020). Camu-camu: Un alimento amazónico con alto potencial antioxidante y vitamínico C. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(1), 124-130. <https://doi.org/10.17843/rp-mesp.2020.371.4710>

- Zapata, P., Guzmán, M., & Rojas, L. (2021). Respuesta fisiológica y calidad de fruto en naranjo 'Valencia Late' bajo estrés hídrico controlado en el valle de Cañete. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 17(2), 155-168.
- Zevallos, J., & Torres, R. (2023). Acetogeninas de *Annona cherimola*: De la neurotoxicidad potencial al efecto hormético en el consumo dietético. Una revisión crítica. *Arnaldoa*, 30(2), 287-304.



Religación
Press
Ideas desde el Sur Global



Religación

Press

ISBN: 978-9942-594-24-2

