

## INIA-FPTA 443:

# SISTEMA DE CALIFICACIÓN DE INTEGRIDAD DE DATOS PARA TRAZABILIDAD DE ARROZ

Nicolás Giménez<sup>1</sup>, Gustavo Barboza Martignone<sup>1</sup>

<sup>1</sup> AI Deep Economics; [ngimenez@aideepeconomics.com](mailto:ngimenez@aideepeconomics.com)

Fecha:

V1. 07/08/2025

V2. 09/01/2026 Actualizado y Revisado. G.B.M

## 1. Marco Conceptual

El presente documento establece un Sistema de Calificación Multidimensional diseñado para evaluar la calidad e integridad de los datos en sistemas de trazabilidad de arroz. La metodología propuesta se fundamenta en dos perspectivas complementarias que aseguran tanto el cumplimiento regulatorio como la robustez técnica del sistema.

### 1.1. Fundamentos Metodológicos

La evaluación de calidad de datos en cadenas agroalimentarias requiere un enfoque holístico que considere múltiples dimensiones. Siguiendo los principios establecidos por ISO 14040 para análisis de ciclo de vida y los criterios ALCOA+, es decir, atribuibles, legibles, contemporáneos, originales y precisos (accurate en inglés), utilizados en industrias reguladas (FDA, 2018), se propone un sistema que evalúa simultáneamente aspectos de trazabilidad del producto y de ingeniería de sistemas. Esta dualidad permite garantizar tanto la conformidad con estándares internacionales como la confiabilidad operativa del sistema (Olsen & Borit, 2018).

## 2. Sistema de Calificación Propuesto

El modelo desarrollado integra cinco dimensiones críticas de evaluación, cada una ponderada según su impacto en la integridad global del sistema de trazabilidad. La selección de estas dimensiones se basa en el análisis comparativo de frameworks existentes en la industria, incluyendo el Global Food Safety Initiative (GFSI, 2020) y el sistema de trazabilidad implementado por IBM Food Trust (Kamath, 2018).

### 2.1. Modelo Híbrido de Evaluación

La fórmula de cálculo propuesta pondera cada dimensión según su criticidad para la trazabilidad agroalimentaria:

$$INPUTSCORE = (V \times 0.25) + (I \times 0.25) + (T \times 0.20) + (C \times 0.15) + (S \times 0.15)$$

Donde V representa Veracidad; I, Integridad; T, Trazabilidad; C, Cumplimiento LCA y S, Seguridad. Esta ponderación refleja la importancia relativa de cada componente según lo establecido en ISO 22005 para sistemas de trazabilidad en la cadena alimentaria.

## 2.2. Las Cinco Dimensiones de Evaluación

### 2.2.1. Veracidad (V) - Peso: 25%

La veracidad evalúa la confiabilidad de la fuente del dato, considerando el nivel de automatización y validación en el punto de captura. Esta dimensión es crítica para establecer la credibilidad base del sistema (Bosona & Gebresenbet, 2013).

**Tabla 1:** Matriz de veracidad

| Sco<br>re | Criterio                       | Ejemplo en Sistema                  |
|-----------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 10        | IoT con blockchain/inmutable   | Sensores GPS automáticos en chacras |
| 9         | IoT con firma digital          | Balanza digital con certificado     |
| 8         | Sistema automatizado con logs  | API de molino con auditoría         |
| 7         | Entrada digital con validación | Web con campos obligatorios         |
| 6         | Entrada digital sin validación | WhatsApp con formato libre          |
| 5         | Papel digitalizado con firma   | Remito escaneado firmado            |
| 4         | Papel digitalizado sin firma   | Remito escaneado simple             |
| 3         | Excel/CSV compartido           | Planilla compartida editable        |
| 2         | Dato verbal transcrito         | Información por teléfono            |
| 1         | Estimación/aproximación        | Dato inferido                       |
| 0         | N/A                            | No aplica evaluación                |

### 2.2.2. Integridad (I) - Peso: 25%

La integridad mide la completitud y consistencia del conjunto de datos, evaluando tanto la presencia de campos críticos como la coherencia entre registros relacionados. Este criterio se alinea con los requisitos de "información documentada" establecidos en ISO 9001

**Tabla 2:** Matriz de integridad.

| Sco<br>re | Criterio                      | Indicadores                                  |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------------------|
| 10        | Dataset completo con metadata | 100% campos LCA críticos + metadata completa |
| 8-9       | Dataset casi completo         | >90% campos, timestamps, geolocalización     |
| 6-7       | Dataset parcial validado      | >70% campos, validaciones básicas            |
| 4-5       | Dataset incompleto            | 50-70% campos                                |
| 2-3       | Dataset mínimo                | <50% campos                                  |
| 1         | Datos fragmentados            | Información dispersa                         |
| 0         | N/A                           | No aplica evaluación                         |

### 2.2.3. Trazabilidad (T) - Peso: 20%

Esta dimensión evalúa la capacidad del sistema para mantener vínculos verificables entre las diferentes etapas de la cadena productiva, un requisito fundamental según ISO 22005 (ISO, 2007).

**Tabla 3:** Matriz de Trazabilidad

| Sco<br>re | Criterio                           | Características                   |
|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 10        | Trazabilidad automática end-to-end | QR + blockchain + GPS             |
| 8-9       | Trazabilidad digital completa      | QR + base de datos + logs         |
| 6-7       | Trazabilidad semi-automática       | Mix digital/manual con IDs únicos |
| 4-5       | Trazabilidad documentada manual    | Papel con códigos de lote         |
| 2-3       | Trazabilidad parcial               | Algunos puntos sin registro       |
| 1         | Sin sistema formal                 | Memoria institucional             |
| 0         | N/A                                | No aplica evaluación              |

### 2.2.4. Cumplimiento LCA (C) - Peso: 15%

El cumplimiento con estándares de Análisis de Ciclo de Vida según ISO 14040 e ISO 14044

determina la utilidad de los datos para certificaciones ambientales y estudios de sostenibilidad (Finkbeiner et al., 2006).

**Tabla 4:** Matriz de Cumplimiento de LCA

| <b>Score</b> | <b>Criterio</b>             | <b>Requisitos LCA</b>         |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 10           | Certificado ISO 14040       | Datos auditados externamente  |
| 8-9          | Alineado ISO sin certificar | Cumple todos los requisitos   |
| 6-7          | Parcialmente alineado       | Cumple requisitos principales |
| 4-5          | Datos básicos LCA           | Información mínima para LCA   |
| 2-3          | Datos insuficientes         | Faltan elementos críticos     |
| 1            | No apto para LCA            | Datos no utilizables          |
| 0            | N/A                         | No aplica evaluación          |

#### 2.2.5. Seguridad (S) - Peso: 15%

La seguridad evalúa las medidas de protección implementadas para garantizar la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos, siguiendo los principios de ISO 27001 (ISO, 2013).

**Tabla 5:** Matriz de seguridad

| <b>Score</b> | <b>Criterio</b>        | <b>Medidas de Seguridad</b>   |
|--------------|------------------------|-------------------------------|
| 10           | Inmutable + encriptado | Blockchain + encriptación E2E |
| 8-9          | Encriptado con backup  | HTTPS + backup automático     |
| 6-7          | Acceso controlado      | Login + permisos              |
| 4-5          | Protección básica      | Password simple               |
| 2-3          | Sin protección digital | Papel en archivo              |
| 1            | Vulnerable             | Acceso público sin control    |
| 0            | N/A                    | No aplica evaluación          |

### **3. Aplicación del Sistema en la Trazabilidad de Arroz**

La implementación práctica del sistema de calificación requiere la evaluación sistemática de cada nodo en la cadena de trazabilidad. Siguiendo las mejores prácticas identificadas en sistemas similares como el Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO, 2020), se establece un protocolo de evaluación por componentes.

#### **3.1. Nodos de Evaluación en el Sistema**

El sistema de trazabilidad de arroz comprende cuatro subsistemas principales, cada uno con componentes específicos que requieren evaluación independiente. Esta segmentación permite identificar puntos críticos de control y oportunidades de mejora focalizadas (Moe, 1998).

##### **3.1.1. Gestión de Chacras**

Los componentes de gestión de chacras incluyen la Base de Datos GIS para evaluación de integridad geoespacial, la Página Web de Productores para calificación de completitud de datos históricos, y los Middlewares de Molinos para evaluación de automatización en transferencia de datos.

##### **3.1.2. Sistemas de Molinos**

La evaluación de los sistemas de molinos considera las bases de datos individuales según su nivel tecnológico y los middlewares productivos según su capacidad de automatización en la captura de pesadas y otros datos críticos de proceso.

##### **3.1.3. Sistema de Remitos**

El sistema de remitos electrónicos con código QR se evalúa según su capacidad de trazabilidad y seguridad, mientras que la base de datos de lotes se califica por integridad y completitud de registros según los estándares establecidos por GS1 (2019).

##### **3.1.4. Visor de Trazabilidad**

El backend generador y la base de datos de trazabilidad se evalúan considerando la robustez de los algoritmos de consolidación y la integridad global del sistema respectivamente.

#### **3.2. Clasificación de Niveles de Confianza**

Basándose en la experiencia de sistemas de certificación establecidos como BRC Global Standards (2018), se definen cinco niveles de confianza que determinan la aptitud de los datos para diferentes usos, como se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 6:** Nivel de confianza.

| Nivel de Confianza | Rango de Score | Aptitud para Uso                | Cumplimiento LCA      | Estado de Trazabilidad              |
|--------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Excelente          | 9.0 - 10.0     | Certificaciones internacionales | Cumplimiento completo | Trazabilidad end-to-end verificable |
| Alto               | 7.0 - 8.9      | Análisis comerciales confiables | Cumplimiento parcial  | Trazabilidad digital robusta        |
| Medio              | 5.0 - 6.9      | Gestión interna                 | Información básica    | Trazabilidad manual documentada     |
| Bajo               | 3.0 - 4.9      | Limitaciones significativas     | Requiere validación   | Trazabilidad parcial                |
| Crítico            | 0.0 - 2.9      | No confiable para decisiones    | No apto para LCA      | Requiere mejoras urgentes           |

### 3.3. Ejemplo Práctico de Evaluación

Para ilustrar la aplicación práctica del sistema, se presentan dos casos representativos que demuestran la versatilidad del modelo para evaluar diferentes niveles tecnológicos.

#### 3.3.1. Caso: Chacra con Sistema GPS Automático

##### Evaluación por Dimensiones:

- Veracidad: 10/10 (Sensor GPS automático con coordenadas precisas)
- Integridad: 9/10 (Todos los campos LCA completados, metadata completa)
- Trazabilidad: 8/10 (QR vinculado a base de datos con logs)
- Cumplimiento LCA: 7/10 (Alineado con ISO 14040 sin certificación externa)
- Seguridad: 8/10 (HTTPS con backup automático)

**Score Global:**  $(10 \times 0.25) + (9 \times 0.25) + (8 \times 0.20) + (7 \times 0.15) + (8 \times 0.15) = 8.65$

**Clasificación:** Nivel Alto - Datos confiables para análisis comerciales y estudios LCA preliminares.

#### 3.3.2. Caso: Remito Manual en Papel

##### Evaluación por Dimensiones:

- Veracidad: 5/10 (Papel digitalizado con firma)
- Integridad: 4/10 (Campos básicos, sin metadata)
- Trazabilidad: 4/10 (Código de lote manual)
- Cumplimiento LCA: 3/10 (Datos insuficientes)
- Seguridad: 3/10 (Papel en archivo físico)

**Score Global:**  $(5 \times 0.25) + (4 \times 0.25) + (4 \times 0.20) + (3 \times 0.15) + (3 \times 0.15) = 4.05$

**Clasificación:** Nivel Bajo - Requiere digitalización y mejoras en captura de datos.

#### **4. Implementación y Monitoreo**

La implementación exitosa del sistema requiere un protocolo estructurado de evaluación y mejora continua, siguiendo los principios del ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) establecidos en ISO 9001.

El protocolo establece que cada nodo del sistema será evaluado semestralmente por expertos del equipo técnico, actualizando los puntajes “scores” según la evolución de la calidad de entrada de datos. Esta frecuencia permite detectar tendencias y aplicar correcciones oportunas sin generar sobrecarga administrativa.

##### **4.2. Reportes Gerenciales**

Los reportes ejecutivos incluirán visualizaciones de “scores” por nodo, análisis de tendencias temporales, identificación de cuellos de botella en calidad de datos, y recomendaciones priorizadas para mejoras tecnológicas. Estos reportes seguirán el formato establecido por el Global Reporting Initiative (GRI, 2021) para garantizar la comparabilidad internacional.

##### **4.3. Escalabilidad Futura**

El diseño del sistema contempla la evolución tecnológica permitiendo valores superiores a 10 para tecnologías emergentes, la incorporación de nuevas dimensiones según cambios regulatorios, y la adaptación de pesos según modificaciones en el ecosistema productivo, comercial o tecnológico del sector arrocero.

#### **5. Conclusiones**

El Sistema de Calificación Multi-Dimensional propuesto proporciona una evaluación objetiva y cuantificable de la calidad de datos en sistemas de trazabilidad de arroz, permitiendo identificar fortalezas y debilidades específicas en cada punto de la cadena productiva. La metodología desarrollada es compatible con estándares internacionales de LCA y proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse a diferentes niveles tecnológicos de productores y molinos, desde operaciones tradicionales hasta sistemas altamente automatizados.

La implementación de este sistema permitirá a la empresa ofrecer diferentes niveles de certificación y trazabilidad según las necesidades específicas de cada cliente, desde gestión interna hasta certificaciones internacionales. Además, el modelo propuesto facilita la identificación de oportunidades de mejora y la priorización de inversiones tecnológicas basadas en impacto medible en la calidad de datos.

El enfoque modular y escalable del sistema garantiza su relevancia a largo plazo, permitiendo la incorporación de nuevas tecnologías como blockchain e IoT sin requerir

rediseños fundamentales de la metodología de evaluación. Esta característica es crítica en un contexto de rápida evolución tecnológica y crecientes exigencias regulatorias en materia de trazabilidad y sostenibilidad agroalimentaria.

## **Bibliografía**

- Bosona, T., & Gebresenbet, G. (2013). Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain. *Food Control*, 33(1), 32-48.
- BRC Global Standards. (2018). *Global Standard for Food Safety Issue 8*. British Retail Consortium.
- FDA. (2018). *Data Integrity and Compliance With Drug CGMP: Questions and Answers Guidance for Industry*. U.S. Food and Drug Administration.
- Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R., Christiansen, K., & Klüppel, H. J. (2006). The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 80-85.
- Global Food Safety Initiative. (2020). *GFSI Benchmarking Requirements Version 2020*. The Consumer Goods Forum.
- Global Reporting Initiative. (2021). *GRI Standards 2021*. GRI.
- GS1. (2019). *GS1 Global Traceability Standard*. GS1 AISBL.
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 22005 Traceability in the feed and food chain — General principles and basic requirements for system design and implementation*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2013). *ISO/IEC 27001 Information technology — Security techniques — Information security management systems — Requirements*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001 Quality management systems — Requirements*. ISO.
- Kamath, R. (2018). Food traceability on blockchain: Walmart's pork and mango pilots with IBM. *The Journal of the British Blockchain Association*, 1(1), 3712.
- Moe, T. (1998). Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology*, 9(5), 211-214.
- Olsen, P., & Borit, M. (2018). The components of a food traceability system. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 143-149.



Roundtable on Sustainable Palm Oil. (2020). *RSPO Supply Chain Certification Standard 2020*. RSPO.