



EDITORIAL
UNIÓN CIENTÍFICA



Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola

Método científico, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados en el ámbito agrícola

Autores

- Jissela Morayma Gaibor Garofalo
- Cristhian Renato Lema Mancero
- Mauricio David Gaibor Garofalo



EDITORIAL UNIÓN CIENTÍFICA

Editorial Unión Científica, EUC

Primera publicación Editorial Unión Científica, EUC

Copyright del texto © 2026 de los autores

<https://libros.editorialunioncientifica.com/>

info@editorialuc.com

WhatsApp +593 98 334 4363

Licencia no comercial



EDITOR JEFE: Carlos Luis Vásquez Freytez. Editorial Unión Científica, EUC.

ORCID EDITOR JEFE: <https://orcid.org/0000-0002-8214-3632>

CORRECCIÓN ESTILO: Gabriela Otilia Jácome Benavides. Fundación Río Verde Ecuador Emprende. Ecuador.

Extensión: xxvi + 181 páginas.

CIUDAD: Ambato

INSTITUCIÓN: Editorial Unión Científica, EUC.

DIRECCIÓN: José Ignacio Canelo Morales. Intersección Sixto María Durán. Ambato, Tungurahua. Ecuador.

PROCESO DE REVISIÓN: La obra completa fue sometida a evaluación externa mediante un proceso de revisión por pares doble ciego. El manuscrito completo fue evaluado por dos revisores externos e independientes, quienes emitieron sus respectivos dictámenes y observaciones sobre la obra.

Dictamen del revisor 1: 3 de octubre de 2026.

Dictamen del revisor 2: 5 de octubre de 2026.

Aceptación editorial del volumen: 7 de octubre de 2026.

Fecha de publicación: 22 de octubre de 2026.

ISBN: 978-9907-9552-5-5.

DOI de la obra: <https://doi.org/10.63804/euc.8>

PRIMERA VERSIÓN DISPONIBLE EN LÍNEA: octubre de 2026.

Clasificación Dewey Decimal (DDC):

630.2 Miscelánea y principios científicos de la agricultura.

Clasificación THEMA:

T Tecnología, ingeniería, agricultura.

TV Agricultura y explotaciones agropecuarias.

TVB Ciencia agrícola.

Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola. Método científico, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados en el ámbito agrícola

Fundamentals of agricultural engineering research. The scientific method, methodological design, data analysis, and communication of results in the agricultural field

AUTORES Y AFILIACIÓN

Jissela Morayma Gaibor Garofalo

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Amazonas, Lago Agrio 210205, Ecuador.

Universidad Americana de Europa (UNADE), Cancún 77500, Quintana Roo, México.

<https://orcid.org/0009-0002-8686-8646>

ROR: <https://ror.org/02qztda51>

Cristhian Renato Lema Mancero

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Amazonas, Lago Agrio 210205, Ecuador.

<https://orcid.org/0009-0002-7866-9989>

ROR: <https://ror.org/02qztda51>

Mauricio David Gaibor Garofalo

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda 020102, Ecuador.

<https://orcid.org/0009-0007-3735-3888>

ROR: <https://ror.org/005cg117>

COMITÉ CIENTÍFICO

[Cristian Vacacela Gómez](#), PhD. INFN-Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati, Italia.

[Óscar Alí Corona Salazar](#), PhD. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra, PUCMM. Campus Santiago. República Dominicana.

[Miguel Israel Bennasar García](#), PhD. Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña, ISFODASU. República Dominicana.

[Helen Goitia Semeco](#), PhD. Universidad Nacional de La Plata, UNLP. Argentina.

[Diana Carolina Coello Fiallos](#), PhD. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Ecuador.

[Daniel Arias Toro](#), PhD. Universidad Técnica de Babahoyo, UTB. Ecuador.

[Ruth Mariela Álvarez Escalona](#), PhD. Universidad Experimental del Táchira, UNET. Venezuela.

[Paúl Miño Armijos](#), Universidad Católica de Cuenca, UCACUE. Ecuador.

[María Raquel González Legendre](#), MSc. CEO Ciencia por la verdad. Ecuador.

PRESENTACIÓN DE LA OBRA

Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola. Método científico, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados en el ámbito agrícola

¿Cómo puede la investigación científica contribuir a comprender y resolver los problemas técnicos, productivos y ambientales que enfrenta la ingeniería agrícola? ¿De qué manera una adecuada formulación del problema, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados permiten transformar observaciones del ámbito agrícola en conocimiento científico útil, verificable y aplicable?

En el trabajo agrícola, una anomalía visible suele exigir una respuesta inmediata: cambia el crecimiento de un cultivo, disminuye un caudal o falla un equipo. Investigar comienza cuando esa urgencia se convierte en una pregunta que puede examinarse. Este libro sigue ese tránsito y muestra qué decisiones permiten pasar de la observación inicial a un proyecto comunicable y sujeto a revisión.

Los capítulos forman una secuencia, aunque también pueden consultarse durante la preparación de un proyecto. Las preguntas orientadoras ayudan a reconocer la decisión central de cada etapa; las tablas permiten comprobarla y las actividades la trasladan a situaciones de suelo, agua, maquinaria, producción y poscosecha. Un caso de riego mantiene la continuidad entre capítulos. Sus registros numéricos son simulados: sirven para practicar el razonamiento metodológico, no para describir una finca.

La obra ofrece criterios de trabajo, no autorizaciones institucionales ni soluciones técnicas universales. Las exigencias éticas, estadísticas y operativas de cada estudio deberán resolverse en su contexto. Aquí interesa que el lector pueda explicar por qué eligió una pregunta, cómo obtuvo la evidencia y hasta dónde alcanza la conclusión.

Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola. Método científico, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados en el ámbito agrícola

RESUMEN

Una investigación agrícola comienza con una incertidumbre concreta, pero su respuesta rara vez depende de una sola dimensión. En ella pueden coincidir procesos biofísicos, equipos, decisiones de manejo y restricciones del territorio. Este libro desarrolla una ruta para estudiar esas relaciones sin reducirlas a una receta. Los dos primeros capítulos examinan cómo se construye conocimiento científico y cómo una preocupación se delimita hasta producir preguntas, objetivos, hipótesis cuando corresponden y una justificación viable. El tercero convierte esas decisiones en un diseño: precisa alcance, variables o categorías, unidades y criterios de selección. El cuarto sigue el recorrido del dato desde el instrumento y la prueba piloto hasta la depuración, análisis descriptivo y su representación visual. El capítulo final integra protocolo, responsabilidades, cronograma, salvaguardas éticas, informe y comunicación para públicos distintos. Un caso continuado sobre variación hidráulica y prácticas de operación permite comprobar la relación entre las etapas; sus registros son simulados y se emplean únicamente con fines didácticos. Las tablas, figuras y actividades funcionan como controles de decisión, no como formularios que sustituyan el razonamiento. Cada capítulo relaciona el aprendizaje conceptual con decisiones que el lector deberá justificar en su propio contexto. El recorrido permite reconocer tres límites recurrentes: un instrumento preciso no resuelve una pregunta ambigua, una base ordenada conserva los sesgos del diseño que la produjo y una presentación convincente no amplía el alcance de la evidencia. Como resultado, el lector puede organizar una carpeta de proyecto trazable y adaptarla a condiciones reales sin confundir el ejemplo con un protocolo listo para ejecutar.

Palabras clave: análisis cualitativo; análisis cuantitativo; ingeniería agrícola; investigación agrícola; método científico.

ABSTRACT

Agricultural research often begins with a specific uncertainty whose explanation involves more than one dimension: biophysical processes, equipment, management decisions, and territorial constraints may all be relevant. This book presents a route for examining those relationships without treating research as a fixed recipe. The first two chapters discuss the construction of scientific knowledge and the delimitation of a practical concern into research questions, objectives, hypotheses when appropriate, and a feasible justification. The third chapter translates those decisions into methodological scope, variables or categories, units, and selection criteria. The fourth follows the data pathway from instruments and pilot testing to cleaning, descriptive analysis, and visual representation. The final chapter integrates the protocol, responsibilities, schedule, ethical safeguards, report, and communication for different audiences. A continuous case concerning hydraulic variation and operating practices makes it possible to check the links between stages; its numerical records are simulated and used only for teaching. Tables, figures, and activities serve as decision controls rather than templates that replace reasoning. The progression highlights three recurring limits: a precise instrument cannot resolve an ambiguous question, an orderly database retains biases introduced by the design, and a persuasive presentation does not extend the reach of the evidence. The resulting project package is traceable and can be adapted to actual conditions without mistaking the teaching example for a ready-to-use protocol.

Keywords: agricultural engineering; agricultural research; qualitative analysis; quantitative analysis; scientific method.

ÍNDICE GENERAL

Prólogo.....	xxi
Declaraciones editoriales y de transparencia	xxv
Contribución y autoría	xxv
Agradecimiento.....	xxv
Financiamiento.....	xxv
Declaración ética	xxv
Uso de inteligencia artificial	xxv
Disponibilidad de datos	xxvi
Declaración de conflictos de interés	xxvi
Descargo de responsabilidad	xxvi
Capítulo 1. Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola	1
Investigar antes de intervenir.....	1
Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico.....	2
Observación, pregunta, explicación y contraste.....	4
Conocimiento científico, conocimiento local y participación	5
La ingeniería agrícola como campo de investigación sistémica	6
Ciencia, método y metodología	7
Un ciclo de investigación abierto a revisión	10
Métodos teóricos y métodos empíricos	10
Etapas del proceso de investigación.....	12
Enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto	13
Un mismo fenómeno, preguntas diferentes	16
Punto de partida del caso integrador: una variación aún no explicada	17
Decisiones que debilitan el razonamiento científico	17
De la observación a una ruta justificable	18
Desarrollo del caso didáctico de riego.....	19
Situación y contexto de observación.....	20
Hechos descritos e interpretaciones	20
Actores y dimensiones del sistema	20
Preguntas y evidencia pertinente	21
Enfoque y punto de integración.....	21
Viabilidad y alcance de las afirmaciones	21
Ejercicios de aplicación y criterios de revisión.....	22
Capítulo 2. Construcción del problema de investigación	25
De la preocupación al problema investigable	25
Idea, tema y problema: tres niveles diferentes	26
Situación problemática y problema de investigación	27
Antecedentes, vacío y aporte esperado	28

Escalas y actores en los problemas de ingeniería agrícola	29
Delimitación conceptual, espacial, temporal y operacional	30
Preguntas de investigación	32
Hipótesis: cuándo formularlas y cuándo no	33
Objetivo general y objetivos específicos	35
Justificación, relevancia y viabilidad	37
Ruta para construir y revisar el problema	39
Tres situaciones y varias preguntas posibles.....	40
Del indicio al problema en el caso de riego	41
Formulaciones que desvían el proyecto	44
La arquitectura que recibe el diseño.....	45
Restricciones de viabilidad	45
Ejercicios de delimitación y coherencia	47
Capítulo 3. Diseño metodológico de investigación en ingeniería agrícola.....	51
De la pregunta a las reglas de producción de evidencia	51
El diseño como lógica de producción de evidencia.....	52
Alcance descriptivo, relacional, explicativo y comprensivo	53
Diseño experimental y no experimental.....	54
Escalas físicas, temporales y operativas del diseño agrícola	56
Variables, categorías e indicadores	57
De la definición conceptual a la operacional	58
Unidad de estudio, unidad experimental y unidad de observación.....	60
Población, marco muestral y muestra	62
Muestreo probabilístico y no probabilístico.....	63
Tamaño de muestra, precisión y alcance de inferencia	65
Construcción de la matriz metodológica	67
Diseños contrastados en situaciones agrícolas.....	68
Diseño provisional del caso de riego.....	69
Decisiones de diseño que producen inferencias engañosas	73
Del problema formulado al plan de observación	74
Tipos de muestreo	75
Ejercicios de diseño, unidades y muestreo	77
Capítulo 4. Obtención y análisis de datos en ingeniería agrícola	81
Cuando el diseño entra en el campo.....	81
Del registro al dato analizable	82
Técnica, instrumento, procedimiento y protocolo	83
Error, incertidumbre y variabilidad	84
Condiciones cambiantes de la medición agrícola.....	85
Preparación de instrumentos y prueba piloto.....	86
Captura, identificación y trazabilidad.....	87
Control de calidad durante el trabajo de campo.....	89
Estructuración, respaldo y documentación.....	91

Depuración sin fabricación de datos.....	92
Exploración y análisis descriptivo cuantitativo.....	93
Organización y análisis de evidencia cualitativa.....	94
Tablas y gráficos científicos.....	96
Una cadena auditable desde el instrumento hasta el resultado.....	97
Tres cadenas de datos en contextos agrícolas.....	98
Datos demostrativos del sistema de riego.....	98
Prácticas que degradan o distorsionan los datos.....	104
De registros aislados a evidencia auditable.....	105
Paquete de obtención y análisis para el caso de riego.....	106
Ejercicios de captura, depuración y comunicación.....	108
Capítulo 5. Proyecto y comunicación de la investigación.....	111
Integrar para ejecutar y comunicar.....	111
Protocolo, proyecto e informe final.....	111
Planificación, seguimiento y control de cambios.....	113
Comunicación científica y comunicación para la decisión.....	114
Públicos, territorio y responsabilidad en la ingeniería agrícola.....	115
Estructura funcional del protocolo.....	115
Cronograma, responsables, recursos y contingencias.....	118
Ética, integridad y apertura proporcionada.....	120
Del protocolo al informe final.....	121
Escritura académica, citación y referencias.....	122
Presentación oral y comunicación responsable.....	124
Del protocolo aprobado al cierre del proyecto.....	126
Integración en proyectos agrícolas contrastados.....	127
Protocolo básico del caso de riego.....	128
Un cronograma condicionado por el sistema real.....	130
Productos para audiencias distintas.....	132
Prácticas que fragmentan o debilitan el proyecto.....	132
Integración, ejecución y responsabilidad comunicativa.....	134
Desviaciones de ejecución.....	135
Ejercicios de integración y cierre.....	137
Conclusiones.....	141
Glosario.....	143
Referencias.....	149
Anexos.....	155
Anexo A. Ficha para delimitar un problema de investigación agrícola.....	155
Anexo B. Hoja de decisiones del diseño metodológico.....	161
Anexo C. Protocolo operativo de trabajo de campo.....	167
Anexo D. Guía para construir y auditar la base de datos.....	173
Anexo E. Plan de cierre y comunicación de resultados.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación funcional de los enfoques de investigación.	14
Tabla 2. Correspondencia entre afirmación, evidencia y alcance.	19
Tabla 3. Matriz preliminar de coherencia del caso didáctico.	43
Tabla 4. Restricciones de viabilidad y respuesta metodológica.	46
Tabla 5. Operacionalización del componente cuantitativo del caso de riego.	70
Tabla 6. Unidades y selección preliminar en los componentes del caso de riego.	72
Tabla 7. Elección del muestreo según marco y heterogeneidad.	75
Tabla 8. Diccionario abreviado de datos para el caso didáctico de riego.	88
Tabla 9. Fragmento simulado de la base de mediciones hidráulicas.	99
Tabla 10. Selección de recursos para presentar resultados del caso de riego.	100
Tabla 11. Decisiones de depuración y conservación del dato original.	106
Tabla 12. Componentes funcionales de un protocolo de investigación agrícola.	116
Tabla 13. Plan básico de comunicación de resultados.	125
Tabla 14. Cronograma relativo para el protocolo didáctico de riego.	131
Tabla 15. Desviaciones de ejecución y consecuencias para el informe.	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. De la percepción a una afirmación contrastable.	2
Figura 2. Niveles de decisión metodológica.....	9
Figura 3. Integración de evidencia hidráulica y prácticas de operación.....	16
Figura 4. Reducción de ambigüedad mediante delimitación.	31
Figura 5. Coherencia entre pregunta, objetivos y evidencia.....	37
Figura 6. Decisiones frente a restricciones de viabilidad.	39
Figura 7. Jerarquía espacial y repetición temporal del riego.	61
Figura 8. Submuestras y replicación en escalas diferentes.	64
Figura 9. Selección dentro de estratos espaciales.	67
Figura 10. Perfil espacial del caudal en dos jornadas simuladas.	101
Figura 11. Presión y caudal en seis registros simulados.....	102
Figura 12. Diferencias de caudal entre jornadas por posición.....	103
Figura 13. Distribución acumulada del caudal simulado.....	104
Figura 14. Dependencias entre permisos, piloto, campo y análisis.	120
Figura 15. Trazabilidad entre protocolo, cambios e informe.	134

Prólogo

La investigación científica constituye uno de los pilares importantes para el desarrollo de la ingeniería agrícola contemporánea. Los desafíos relacionados con la producción de alimentos, gestión eficiente del agua y del suelo, mecanización, transformación de productos agrícolas, sostenibilidad de los sistemas productivos e incorporación de nuevas tecnologías requieren profesionales capaces de aplicar conocimientos técnicos y de formular preguntas pertinentes, obtener evidencias confiables, analizar información de manera sistemática y comunicar responsablemente sus resultados.

En este contexto, *Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola. Método científico, diseño metodológico, análisis de datos y comunicación de resultados en el ámbito agrícola* ha sido desarrollado como una obra académica orientada a acompañar al lector en la comprensión y aplicación de los principios de la investigación científica dentro del contexto de la ingeniería agrícola. Su propósito no es presentar el método científico como una sucesión rígida de etapas, sino proporcionar criterios que permitan tomar decisiones metodológicas específicas en relación con la naturaleza del problema, características del sistema estudiado y, sobre todo, del tipo de evidencia necesaria para responder las preguntas de investigación.

Investigar en ingeniería agrícola supone enfrentarse a sistemas particularmente complejos. En ellos interactúan componentes biofísicos, tecnológicos, espaciales, temporales y humanos. Las propiedades del suelo, disponibilidad y distribución del agua, condiciones climáticas, funcionamiento de equipos y estructuras, prácticas de manejo y las decisiones de quienes participan en los sistemas productivos pueden intervenir simultáneamente en un mismo fenómeno. Por esta razón, una explicación técnicamente coherente exige reconocer dicha complejidad, delimitarla de manera razonada y establecer con claridad el alcance de las conclusiones que pueden derivarse de los datos disponibles.

La formación en investigación adquiere, por tanto, una dimensión que trasciende el dominio de técnicas específicas. Medir una variable, aplicar una encuesta, utilizar un sensor, desarrollar un experimento o procesar estadísticamente una base de datos

son acciones importantes; sin embargo, adquieren verdadero sentido científico únicamente cuando forman parte de una arquitectura metodológica coherente.

Desde esta perspectiva, la obra propone comprender la investigación como un proceso de decisiones conectadas y susceptibles de revisión. La observación inicial conduce a la identificación de una incertidumbre; esta se transforma progresivamente en un problema investigable, del cual surgen preguntas y objetivos que orientan el diseño metodológico. Posteriormente, la obtención, organización y análisis de los datos permiten construir resultados cuya interpretación debe mantenerse dentro de los límites definidos por el propio estudio. Finalmente, la comunicación científica hace posible que esos resultados sean evaluados, discutidos, utilizados y, cuando corresponda, reproducidos o contrastados por otros investigadores.

En la práctica científica, las decisiones se revisan de manera permanente. Una prueba piloto puede revelar deficiencias en un instrumento; el reconocimiento del terreno puede modificar la delimitación inicial del problema; una restricción de acceso puede exigir cambios en el diseño; y el análisis preliminar de los datos puede poner en evidencia variables o relaciones inicialmente no consideradas. Lejos de constituir necesariamente una debilidad, estas revisiones forman parte del proceso científico cuando se documentan adecuadamente y se evalúan sus consecuencias metodológicas.

La obra concede también especial importancia al pluralismo metodológico. Los problemas de la ingeniería agrícola no pueden resolverse mediante una única estrategia de investigación. Algunas preguntas requieren mediciones cuantitativas y análisis estadísticos; otras demandan comprender prácticas, decisiones, experiencias o procesos situados; y determinadas investigaciones necesitan integrar ambas perspectivas. En consecuencia, los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto se presentan como alternativas cuya pertinencia depende de aquello que se desea conocer y de las condiciones en las que puede obtenerse la evidencia.

Igualmente, resulta importante considerar el conocimiento generado por productores, técnicos y comunidades vinculadas con los sistemas agrícolas. La

experiencia acumulada en el manejo de cultivos, fuentes de agua, maquinaria, infraestructura y procesos productivos puede contribuir significativamente a identificar problemas, interpretar resultados y reconocer condiciones que no siempre son visibles mediante observaciones instrumentales aisladas. Integrar estas fuentes de conocimiento exige, sin embargo, establecer procedimientos explícitos de registro, análisis y contrastación que permitan conservar el rigor científico y reconocer adecuadamente los diferentes aportes.

La estructura del libro responde a esta lógica progresiva. El primer capítulo introduce los fundamentos de la investigación en ingeniería agrícola y examina la relación entre conocimiento científico, método, metodología y evidencia. El segundo aborda la construcción del problema de investigación, desde la identificación de una situación problemática hasta la formulación de preguntas, objetivos, hipótesis cuando resulten pertinentes y criterios de viabilidad. El tercer capítulo desarrolla el diseño metodológico, considerando alcances, variables, categorías, unidades de análisis, población, muestra y estrategias de selección. El cuarto se concentra en la obtención, organización, depuración y análisis de datos, así como en los principios necesarios para preservar su trazabilidad y calidad. Finalmente, el quinto integra estos componentes en la planificación del proyecto, la elaboración del informe y la comunicación responsable de los resultados.

Un elemento articulador de la propuesta es el uso de situaciones vinculadas con el ámbito agrícola y, especialmente, de un caso didáctico relacionado con un sistema de riego. Este recurso permite observar cómo las decisiones tomadas en una etapa repercuten sobre las siguientes y cómo una misma situación puede analizarse desde perspectivas descriptivas, relacionales, explicativas o interpretativas. Los datos empleados en estos ejemplos cumplen una función pedagógica y no pretenden representar directamente condiciones de una unidad productiva determinada.

Las tablas, figuras, actividades y anexos que acompañan el contenido han sido concebidos como instrumentos para promover el razonamiento metodológico. Su finalidad no consiste en proporcionar formularios rígidos que deban reproducirse de manera automática, sino en ofrecer criterios de comprobación y herramientas que puedan adaptarse a diferentes problemas de investigación. De este modo, se procura

que el lector desarrolle progresivamente la capacidad de justificar por qué selecciona determinados métodos, qué evidencia necesita, cómo debe obtenerla y hasta dónde puede extender legítimamente sus conclusiones.

En este sentido, la formación investigativa debe entenderse también como una formación en responsabilidad científica. La calidad de una investigación depende tanto de la adecuada aplicación de métodos y técnicas como de la transparencia con la que se documentan las decisiones, se reconocen las limitaciones, se conservan los datos y se comunican los resultados. La ética, integridad, trazabilidad y la posibilidad de revisión constituyen componentes inseparables del trabajo científico y adquieren especial relevancia cuando los resultados pueden orientar decisiones técnicas que afectan sistemas productivos, recursos naturales y comunidades.

Se espera que las páginas siguientes constituyan una guía para aprender a formular, diseñar, ejecutar, analizar y comunicar investigaciones con rigor, pero también una invitación permanente a cuestionar las propias decisiones metodológicas. La investigación científica adquiere su mayor valor cuando sus procedimientos pueden explicarse, sus resultados pueden examinarse y sus conclusiones reconocen con precisión aquello que la evidencia permite afirmar. Desde esa perspectiva, formar investigadores en ingeniería agrícola significa, ante todo, formar profesionales capaces de convertir la incertidumbre en preguntas científicamente abordables y las evidencias en conocimiento útil, crítico y responsable.

Ing. Carlos Luis Vásquez Freytez, PhD

Editor en Jefe

Declaraciones editoriales y de transparencia

Contribución y autoría

J.M.G.G.: Conceptualización, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito.

C.R.L.M.: Curación de datos, software, validación, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito.

M.D.G.G.: Análisis formal, supervisión, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición del manuscrito.

Todos los autores participaron en la elaboración del manuscrito, revisaron críticamente su contenido y aprobaron la versión final para su publicación.

Agradecimiento

Jissela Gaibor Garofalo expresa su agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por el apoyo institucional brindado durante el desarrollo de su tesis doctoral, realizada en el marco del programa de Doctorado en Proyectos de la Universidad Americana de Europa (UNADE).

Financiamiento

Esta obra recibió financiamiento de la Pontificia Universidad Católica de Ecuador a través de los procesos de investigación año 2026.

Declaración ética

Este estudio no involucró experimentación directa ni intervención clínica con seres humanos ni con animales por parte de los autores, por lo que no se requirió la aprobación específica de un comité de ética institucional para su ejecución.

Uso de inteligencia artificial

En concordancia con los principios de transparencia, responsabilidad y rendición de cuentas promovidos por el Committee on Publication Ethics (COPE), se declara el uso de herramientas de inteligencia artificial como apoyo técnico en la elaboración de

determinados recursos de esta obra. OpenAI Codex fue utilizado para asistir en la generación y representación gráfica de recursos visuales, incluidos diagramas metodológicos y gráficos contruidos a partir de datos simulados, así como en la preparación de archivos editables y sus correspondientes formatos de salida. Todos los contenidos y recursos producidos con asistencia de inteligencia artificial fueron revisados, verificados y, cuando fue necesario, modificados por los autores antes de su incorporación definitiva a la obra. Las herramientas de inteligencia artificial no fueron consideradas autoras ni sustituyeron la responsabilidad intelectual, metodológica o editorial de los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, pertinencia, interpretación y presentación del contenido publicado.

Disponibilidad de datos

Los datos empleados en esta investigación son de naturaleza sintética y fueron considerados exclusivamente con fines académicos y didácticos. Estos datos no corresponden a observaciones empíricas ni contienen información procedente de sujetos reales. Los conjuntos de datos utilizados están disponibles previa solicitud razonable al autor de correspondencia.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés financieros, profesionales o personales que pudieran haber influido de manera inapropiada en el desarrollo de la investigación o en la preparación de esta obra.

Descargo de responsabilidad

Los libros y capítulos de libros publicados en la Editorial Unión Científica representan únicamente las opiniones de los autores. La Editorial Unión Científica, su equipo editorial y sus revisores no se hacen responsables del contenido, las interpretaciones o las consecuencias derivadas de la aplicación de los métodos o conclusiones incluidos en los trabajos. Todas las publicaciones se rigen por las políticas éticas de la editorial.

Capítulo 1. Fundamentos de investigación en ingeniería agrícola

Investigar antes de intervenir

En una parcela sembrada con la misma variedad, algunos sectores muestran un desarrollo menor pese a que el manejo se considera uniforme. La diferencia está a la vista; la causa, no: podría intervenir la distribución del agua, pero también la profundidad del suelo, pendiente, nutrición, compactación, el estado sanitario o, incluso, un registro incompleto del manejo [1]. Recomendar una corrección en ese momento sería adelantarse a la evidencia.

La investigación comienza al precisar qué se ha observado y qué continúa siendo una interpretación; habrá que decidir qué propiedades se comparan, en qué unidades, durante qué periodo y bajo cuáles condiciones, pues solo entonces la impresión inicial se convierte en una pregunta delimitada capaz de orientar observaciones que diferencien explicaciones contrapuestas.

No existe una secuencia única para resolver ese trabajo. Los métodos científicos comparten el uso de razonamiento y evidencia empírica, pero sus operaciones cambian con la pregunta, el tipo de estudio y el desarrollo del campo [2]. En unas investigaciones será necesario medir y comparar; en otras, reconstruir decisiones o examinar documentos. La exigencia común consiste en mostrar cómo se pasa de los registros a la afirmación y en admitir que esa relación pueda revisarse.

Esta precaución resulta especialmente importante en ingeniería agrícola. En un sistema de riego coinciden propiedades hidráulicas, mantenimiento, reglas de distribución, prácticas de los usuarios y restricciones de la unidad productiva. Medir presión y caudal responde una parte del problema; explicar el desempeño del sistema puede exigir además información sobre operación y contexto [3].

La incertidumbre concreta orienta la ruta. Si interesa describir diferencias entre posiciones, se necesitan registros comparables. Si la pregunta se refiere a las decisiones de mantenimiento, habrá que documentar prácticas y condiciones de operación. Para atribuir un efecto a una intervención se requiere una comparación que permita descartar alternativas razonables. Método, diseño y técnica dejan así de

ser etiquetas: nombran decisiones distintas dentro de una relación que debe mantenerse desde la pregunta hasta la interpretación. La Figura 1 permite distinguir percepción, medición e inferencia y situar el control de alternativas.

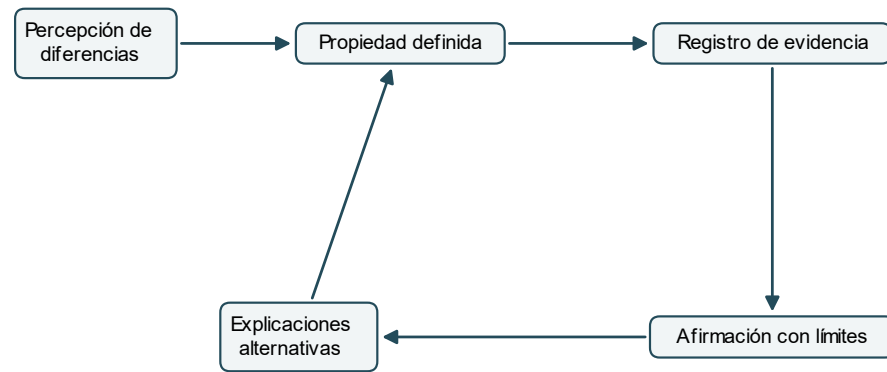


Figura 1. De la percepción a una afirmación contrastable.

La secuencia mostrada en la Figura 1 separa una diferencia visible de la propiedad que se necesita registrar. El paso de evidencia a afirmación exige comprobar escala y procedimiento; las alternativas introducen un retorno de revisión, porque una coincidencia no elimina otras explicaciones. Así, la observación de plantas desiguales en un mismo cultivo justifica una pregunta sobre el sistema, pero no demuestra una causa hidráulica.

Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico

Mucho antes de que exista un protocolo, productores, técnicos y comunidades ya han reconocido cambios estacionales, respuestas de los cultivos y fallas recurrentes de los equipos. Ese conocimiento acumulado orienta el trabajo y, con frecuencia, señala problemas que no aparecen en publicaciones o bases de datos. La investigación puede nacer allí, en una observación sostenida por quienes conviven con el sistema productivo.

La diferencia con el conocimiento científico no consiste en oponer verdad y error; cambia la forma de justificar la afirmación. Una explicación científica precisa qué sostiene, identifica la procedencia de la evidencia, expone el razonamiento que conecta los datos con la conclusión y acepta una posibilidad incómoda pero

necesaria: que una nueva observación obligue a revisar la medición, el diseño o la propia explicación [4].

Provisional no significa arbitrario. Una afirmación puede ser sólida sin presentarse como definitiva cuando sus conceptos están definidos, los procedimientos pueden examinarse y la conclusión respeta el alcance de los datos. La crítica y la posibilidad de corregir son parte de la confianza científica. En cambio, muestras inadecuadas, análisis guiados por el resultado deseado o reportes selectivos vuelven frágil una conclusión, aunque el texto que la comunica parezca convincente [5].

En el campo, esa transparencia se construye con decisiones concretas: anotar dónde y cuándo se midió, identificar el instrumento, conservar unidades, diferenciar un faltante de un cero y registrar las transformaciones. Ninguna de ellas garantiza que la explicación sea correcta. Sí permiten que otra persona reconstruya el camino y detecte dónde pudo introducirse el error.

El vocabulario tampoco decide la condición de una afirmación. Una recomendación llena de términos técnicos puede depender únicamente de la costumbre, mientras una observación expresada en lenguaje cotidiano puede convertirse en evidencia después de delimitarse y contrastarse. Interesa qué se afirma, cómo se obtuvo la información y qué procedimiento permitiría cuestionarla. Por eso la experiencia de un productor, el diagnóstico de un técnico y la interpretación de un investigador se valoran por su pertinencia, no por la autoridad atribuida a quien habla.

Tres preguntas ayudan a examinar el razonamiento: ¿qué observaciones sostienen la afirmación?, ¿cómo conducen a la conclusión? y ¿qué explicación alternativa produciría un patrón semejante? Un menor crecimiento que coincide con caudal reducido es un indicio. Para interpretarlo habrá que considerar también suelo, nutrición, sanidad, momento de medición y posición hidráulica. Contrastar implica buscar condiciones bajo las cuales la explicación inicial podría no sostenerse.

A veces la decisión técnica no puede esperar. Ante una falla que amenaza la seguridad o la pérdida del cultivo, quizá se actúe con evidencia incompleta. Conviene entonces nombrar la diferencia: se toma una medida precautoria, no se declara demostrada una causa. Registrar la incertidumbre, la razón de intervenir y lo observado después

preserva esa distinción y permite aprender de la acción sin convertirla retrospectivamente en experimento.

Observación, pregunta, explicación y contraste

La observación científica es intencional y está guiada por una pregunta, aunque la pregunta pueda cambiar conforme se conoce mejor el fenómeno. Mirar una parcela y advertir que “unas plantas crecen menos” constituye un punto de partida; investigar requiere definir crecimiento, identificar sectores, delimitar el periodo de observación y examinar qué condiciones pueden relacionarse con la diferencia y cuáles admiten medición o documentación. La observación se vuelve científicamente productiva cuando deja de ser una impresión general y se integra en una estructura de indagación [6].

Las preguntas cumplen funciones distintas. Algunas buscan describir la distribución de un fenómeno: ¿qué variación espacial presenta la humedad del suelo en la parcela? Otras comparan condiciones: ¿difiere el crecimiento entre sectores con distinta uniformidad de riego? También pueden explorar significados y decisiones: ¿cómo explican los usuarios sus prácticas de mantenimiento? Una pregunta causal exige controles y evidencias diferentes de una pregunta descriptiva o interpretativa. Esta distinción establece un criterio metodológico: el método no se elige por costumbre ni por prestigio, sino por su correspondencia con el problema y por las condiciones reales de obtención de la evidencia.

Una explicación científica organiza relaciones entre hechos, conceptos y supuestos. Puede proponer un mecanismo, identificar una regularidad, interpretar un proceso o estimar el efecto de una intervención. En todos los casos debe exponerse a algún tipo de contraste: mediciones, observaciones sistemáticas, documentos, testimonios, comparación de casos, modelos o experimentos, según la naturaleza de la pregunta. La pluralidad de evidencias no significa que cualquier dato sirva para cualquier conclusión. El criterio central es la pertinencia: la evidencia debe guardar una relación justificable con la afirmación que se desea sostener.

Observar exige además decidir la escala. Una diferencia visible entre sectores pertenece a la parcela; una lectura de presión corresponde a un punto y a un

momento; una declaración de un operador describe su experiencia y el contexto desde el que interpreta. Reunir estos registros sin conservar sus escalas genera una falsa unidad. El investigador debe poder indicar qué entidad representa cada dato y hasta dónde puede extenderse la inferencia. Una medición precisa en un emisor no caracteriza por sí sola la subunidad, y varias percepciones coincidentes no cuantifican automáticamente la magnitud de una variación hidráulica [7].

La calidad de la pregunta puede examinarse por las decisiones que activa. Si no permite identificar qué debe observarse, en qué unidades, durante qué periodo y mediante qué comparación, todavía funciona como inquietud general. Si incorpora una causa como hecho consumado, impide contrastarla. Entre ambos extremos, una pregunta productiva delimita el fenómeno sin anticipar la respuesta. La expresión “el sistema riega mal” se convierte en una demanda de evidencia al preguntar “¿cómo varían la presión y el caudal entre posiciones de una subunidad durante una jornada de operación?”. La segunda formulación identifica propiedades, unidades, comparación y contexto temporal, sin atribuir una causa a la variación.

Conocimiento científico, conocimiento local y participación

Los sistemas agrícolas no pueden comprenderse únicamente desde información descontextualizada. Quienes gestionan una finca poseen conocimiento sobre secuencias de cultivo, comportamiento de fuentes de agua, respuestas ante eventos extremos, fallas de equipos y restricciones operativas que quizá no aparecen en una base de datos. Incorporar ese conocimiento puede mejorar la definición del problema y la interpretación de resultados, pero requiere establecer cómo, cuándo y con qué capacidad de decisión participan los actores locales [8].

La investigación participativa no constituye una categoría uniforme ni es superior por definición a un estudio controlado. Neef y Neubert [8] muestran que la participación en proyectos agrícolas adopta formas e intensidades distintas según el tipo de investigación, sus objetivos, los actores y las fases del proceso. Su propuesta busca optimizar la participación para un contexto específico, no maximizarla como un fin independiente. Una consulta a productores durante la definición del problema, un ensayo manejado conjuntamente en finca y una red de investigación dirigida por

agricultores implican distribuciones diferentes de conocimiento, responsabilidad y poder de decisión.

Jackson-Smith y Veisi [9] distinguen combinaciones de objetivos, métodos y contextos en la investigación participativa en fincas; esta diferenciación ayuda a evitar que actividades tan distintas como una demostración, un comité asesor o un experimento codiseñado reciban la misma etiqueta sin examinar sus consecuencias metodológicas. Para quien se forma en ingeniería agrícola, la lección no consiste en elegir entre conocimiento científico y conocimiento local como si fueran dominios incompatibles. El trabajo consiste en decidir qué aporta cada fuente de conocimiento, cómo se registra y qué controles son necesarios para que su integración responda a la pregunta de investigación [10].

La ingeniería agrícola como campo de investigación sistémica

La ingeniería agrícola vincula principios científicos con el diseño, evaluación y gestión de soluciones para la producción y el medio rural. Sus problemas suelen cruzar escalas: una medición obtenida en un emisor de riego puede relacionarse con el desempeño de una subunidad, la productividad de una parcela, el consumo energético del sistema y las decisiones de quien lo opera. Cambiar de escala sin explicitarlo produce inferencias débiles [11]. Un resultado válido para un componente no se transfiere automáticamente al sistema completo, del mismo modo que la percepción de varios usuarios no sustituye una medición hidráulica cuando la pregunta exige estimar uniformidad.

Investigar en este campo requiere reconocer al menos cuatro dimensiones. La dimensión biofísica comprende suelo, agua, clima, plantas y otros componentes vivos; la tecnológica reúne máquinas, sensores, estructuras, procesos y sistemas de información; la espacial y temporal considera que las condiciones varían entre sitios, ciclos y momentos de medición; la dimensión humana incorpora prácticas, decisiones, conocimientos, seguridad, organización y posibilidades de adopción. No todos los estudios deben abordar las cuatro con la misma profundidad, pero la delimitación del problema debe justificar cuáles se incluyen y cuáles quedan fuera.

La combinación pertinente de dimensiones depende del propósito. Si se busca estimar la uniformidad de aplicación de agua, el estudio puede concentrarse en variables hidráulicas y espaciales bajo un protocolo de medición definido. Si la pregunta es por qué una tecnología de riego se utiliza de forma distinta a la prevista, las mediciones del equipo se relacionan con información sobre operación, mantenimiento y decisiones de los usuarios. En proyectos participativos, incluso la distribución de autoridad para definir objetivos, seleccionar participantes o interpretar resultados modifica la naturaleza de la investigación [8], [9].

Esta diversidad explica por qué la formación metodológica no debe reducirse al experimento. La experimentación es indispensable cuando se pretende evaluar efectos bajo condiciones controladas, pero otros problemas requieren observación sistemática, modelación, análisis documental, entrevistas, estudios de caso o combinaciones de métodos. Figueroa-Rodríguez y Sangerman-Jarquín [2] sostienen que los métodos científicos comparten razonamiento y evidencia empírica, aunque difieren en sus operaciones y en la manera de obtener evidencia. La unidad de la ciencia se encuentra menos en una secuencia rígida que en compromisos como la claridad conceptual, la contrastación, la crítica y la correspondencia entre pregunta, evidencia y conclusión.

Ciencia, método y metodología

La ciencia puede entenderse a la vez como una práctica organizada de indagación, un conjunto revisable de conocimientos y una actividad desarrollada por comunidades que establecen criterios para argumentar, comprobar y comunicar. Estas tres dimensiones se necesitan mutuamente. Los resultados acumulados orientan nuevas preguntas; las prácticas permiten producir y revisar evidencia; las comunidades evalúan procedimientos y conclusiones. Separarlas conduce a imágenes incompletas, como imaginar que la ciencia es solo información terminada o que basta aplicar una técnica para generar conocimiento.

El método designa una ruta razonada para abordar una pregunta. Incluye operaciones intelectuales y prácticas: delimitar, comparar, deducir, inducir, medir, interpretar, modelar o experimentar, entre otras. Una técnica es un procedimiento

más específico, como aforar un caudal, aplicar una entrevista semiestructurada o determinar humedad gravimétrica. El diseño organiza las decisiones que permiten responder la pregunta y controlar amenazas a la validez. La metodología examina la coherencia entre los supuestos del estudio, la pregunta, el diseño, los métodos y las técnicas. Confundir estos niveles lleva a respuestas inadecuadas; indicar el uso de “una encuesta”, por ejemplo, nombra una herramienta general, pero no explica qué se quiere conocer, a quién se consulta, cómo se selecciona a los participantes ni cómo se analizan las respuestas.

La representación escolar del método científico como una cadena fija (observación, problema, hipótesis, experimento, análisis y conclusión) tiene utilidad introductoria, pero no describe todas las formas de producción científica. Algunas investigaciones comienzan con un modelo teórico; otras, con una anomalía detectada en datos existentes, una necesidad tecnológica, un problema planteado por productores o una exploración cualitativa. Tampoco toda pregunta formula una hipótesis ni toda hipótesis se contrasta mediante experimento. La revisión histórica realizada por Figueroa-Rodríguez y Sangerman-Jarquín [2] y la defensa del pluralismo de Ashton [12] coinciden en rechazar tanto la existencia de una única receta universal como la idea opuesta de que cualquier procedimiento produce ciencia.

El pluralismo metodológico es disciplinado porque las alternativas deben justificarse. Elegir una ruta distinta al experimento no elimina la obligación de definir conceptos, documentar evidencias, examinar explicaciones rivales y declarar límites. Ashton [12] distingue, entre otros propósitos, la búsqueda de explicaciones y la investigación operacional orientada a mejorar el funcionamiento de procedimientos o sistemas. Esta diferencia es especialmente útil en ingeniería agrícola: explicar los mecanismos que producen una respuesta del suelo no es idéntico a optimizar un programa de riego, aunque ambos trabajos puedan compartir mediciones, modelos y análisis.

Un sensor de humedad puede describir una serie temporal, aportar registros a una comparación de tratamientos o alimentar un modelo; el mismo instrumento no vuelve equivalentes esas investigaciones. La metodología examina qué relación une el concepto con sus indicadores, qué unidades representa cada lectura y qué controles exige la conclusión. Si el objetivo es comparar tratamientos, la precisión del

sensor no compensa una asignación o replicación inadecuada; si es describir un punto, esa lectura tampoco caracteriza automáticamente toda la parcela. Revisar esas correspondencias permite distinguir calidad instrumental de validez de la inferencia.

También conviene distinguir método de protocolo. El método ofrece la lógica general de una operación, como medir, comparar o interpretar; el protocolo especifica su ejecución en condiciones concretas. Una medición de caudal necesita duración, recipiente, estabilización, unidad, responsable y regla ante interrupciones. Sin esa especificación, el nombre del método no garantiza comparabilidad. Por ejemplo, dos registros de volumen recogido solo representan caudales comparables cuando conservan el tiempo de recolección y las condiciones de operación; comparar directamente los volúmenes de intervalos distintos introduce una diferencia producida por el procedimiento. La Figura 2 permite separar niveles que suelen confundirse cuando se nombra solo un instrumento.

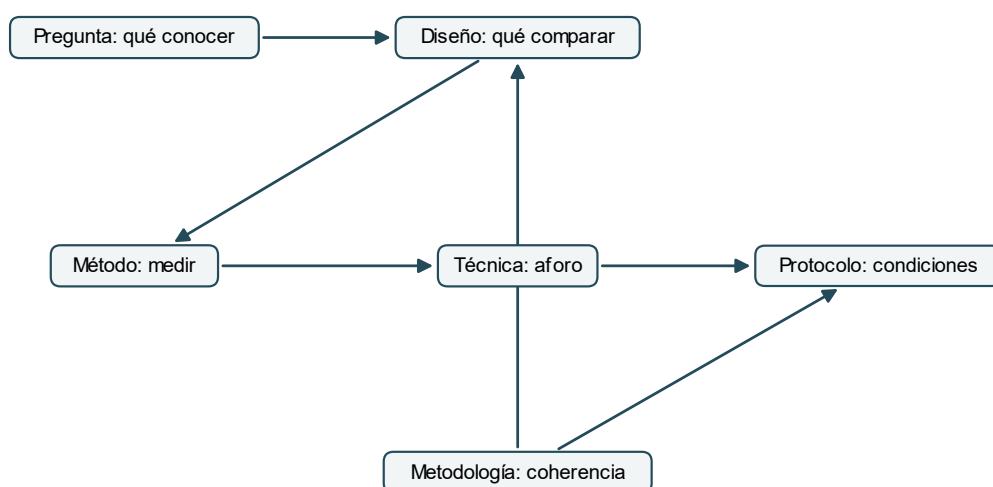


Figura 2. Niveles de decisión metodológica.

El protocolo concreta una operación, mientras el diseño decide qué comparación responde al problema. Las flechas expresan relaciones de justificación y concreción, no categorías excluyentes. Un manómetro pertenece al instrumental de una medición; su calidad no define por sí sola las unidades, los momentos o las conclusiones que autoriza el estudio.

Un ciclo de investigación abierto a revisión

Para fines formativos, el proceso puede representarse como un ciclo de decisiones conectadas. Una situación inicial conduce a la delimitación del problema; el problema orienta la búsqueda de antecedentes y la formulación de preguntas; las preguntas determinan qué conceptos, variables o categorías deben definirse; estas definiciones guían el diseño y la obtención de evidencia; el análisis permite construir una respuesta cuyo alcance debe compararse con la pregunta original. Los resultados pueden resolver una parte del problema, cuestionar los supuestos iniciales o abrir nuevas preguntas. La comunicación y la revisión no son pasos decorativos al final del recorrido, sino condiciones para que el conocimiento pueda examinarse y utilizarse.

La secuencia no siempre avanza en línea recta. Durante una visita de reconocimiento puede descubrirse que la unidad de estudio fue definida de manera demasiado amplia; una prueba piloto puede revelar que el instrumento no registra la variación relevante; el análisis preliminar puede mostrar que una variable omitida modifica la interpretación. Volver a una decisión anterior es legítimo si el cambio se documenta y no se oculta para presentar el estudio como si hubiera seguido un plan perfecto. La transparencia sobre estas modificaciones protege la credibilidad de la investigación y facilita que otras personas comprendan cómo se obtuvo el resultado.

La reproducibilidad computacional permite obtener de nuevo un resultado a partir de los datos y procedimientos documentados; la repetición de un estudio con datos nuevos plantea una comprobación diferente. En un experimento, protocolos, datos, código y condiciones de ejecución permiten examinar cómo se produjo el resultado. En una investigación cualitativa, la transparencia comprende el registro de selección, producción y análisis de información, sin exigir que una nueva interacción genere relatos idénticos. Munafò et al. [5] proponen intervenir en métodos, reporte, evaluación e incentivos, porque la solidez del conocimiento depende del sistema completo de producción científica. Documentar las decisiones durante la investigación preserva información que una reconstrucción de memoria puede omitir.

Métodos teóricos y métodos empíricos

Los métodos teóricos permiten construir, relacionar y examinar ideas. El análisis separa un sistema en componentes relevantes; la síntesis vuelve a reunirlos para comprender relaciones; la inducción identifica regularidades a partir de casos; la deducción deriva consecuencias de principios o supuestos; la modelación representa selectivamente un fenómeno para describirlo, explicarlo o anticipar su comportamiento. Estas operaciones no ocurren únicamente al inicio. Analizar antecedentes, deducir indicadores, sintetizar resultados y revisar un modelo forman parte de distintos momentos del estudio.

Los métodos empíricos producen información mediante interacción organizada con el fenómeno: observación, medición, experimentación, encuesta, entrevista, revisión de registros o prueba técnica. “Empírico” no significa improvisado ni exclusivamente cuantitativo. Una entrevista genera evidencia cuando responde a una pregunta definida, sigue un procedimiento y conserva contexto suficiente para examinar la interpretación. Una medición instrumental tampoco es neutral por sí misma; depende de calibración, posición, momento, resolución y reglas de registro.

Teoría y evidencia no forman rutas independientes. Un concepto define qué diferencia merece observarse, mientras que los datos pueden revelar que la definición es insuficiente. En riego, la idea de uniformidad orienta la selección de puntos y el cálculo; las mediciones permiten valorar si esa representación captura el desempeño relevante. En estudios participativos, el conocimiento local puede cuestionar una delimitación técnica y conducir a una pregunta más ajustada al funcionamiento real del sistema [8].

La elección entre métodos debe atender a la consecuencia de una posible respuesta. Si se necesita decidir si dos configuraciones producen diferencias bajo condiciones controladas, una comparación experimental puede ser pertinente; si se busca localizar variación dentro de un sistema en funcionamiento, la observación y la medición espacial responden mejor; si el problema consiste en comprender por qué una práctica prescrita no se ejecuta, es necesario producir evidencia sobre decisiones

y restricciones. Combinar métodos aumenta el trabajo de coordinación y solo se justifica cuando cada componente responde una parte necesaria de la pregunta.

Los límites de cada método deben anticiparse. Una entrevista reconstruye experiencias y criterios, pero está expuesta a memoria, deseabilidad y contexto de interacción. Un sensor registra con alta frecuencia, aunque puede derivar o quedar mal ubicado. Un modelo permite explorar escenarios, pero hereda los supuestos y datos con que fue construido. Reconocer estas limitaciones no invalida el método; permite establecer controles y moderar la conclusión. La fortaleza proviene de la correspondencia entre propósito, procedimiento y alcance, no de atribuir infalibilidad a una técnica.

Etapas del proceso de investigación

Para aprender a organizar un proyecto conviene distinguir etapas, siempre que no se confundan con una receta inflexible. El proceso comienza con una situación que merece examen y una revisión inicial de antecedentes. Luego se delimita el problema, se formulan preguntas y objetivos, se selecciona el enfoque y se diseña la estrategia. La fase empírica prepara instrumentos, obtiene y organiza datos; el análisis produce resultados; la interpretación relaciona esos resultados con la pregunta, la literatura y las limitaciones; la comunicación permite evaluación y uso.

Cada etapa entrega algo verificable a la siguiente. La formulación produce una pregunta delimitada; el diseño, una relación explícita entre objetivos, unidades y evidencia; la obtención, registros trazables; el análisis, resultados reproducibles; la comunicación, un argumento que no excede esos resultados. Si un producto falta, la dificultad reaparece más adelante: una pregunta vaga genera variables arbitrarias, y datos sin identificadores impiden reconstruir el muestreo.

La revisión atraviesa todo el ciclo. Una prueba piloto puede exigir modificar un instrumento; una restricción de acceso puede reducir el marco; una inconsistencia en los registros puede obligar a volver al protocolo. El cambio es legítimo cuando se documenta y se evalúa su consecuencia. Presentar el proceso como una línea perfecta ocultaría la forma real en que se corrige el conocimiento.

Las etapas también funcionan como controles de entrada y salida. No conviene pasar al diseño mientras la pregunta admite respuestas incompatibles, ni iniciar el campo si las unidades no pueden identificarse de manera estable. De igual forma, el análisis no debería comenzar sin separar datos brutos de transformaciones, y la comunicación no puede cerrarse antes de comparar las conclusiones con el alcance definido. Estos umbrales evitan que una debilidad temprana se disimule mediante sofisticación posterior.

En proyectos reales varias tareas se superponen. La gestión de permisos puede avanzar mientras se afinan instrumentos, y la estructura de datos puede prepararse antes del piloto. La superposición es razonable cuando se respetan las dependencias: un formulario puede bosquejarse, pero no cerrarse antes de operacionalizar variables; un cronograma puede estimarse, pero debe revisarse después de conocer acceso y tamaño. Pensar en productos verificables, no solo en actividades, permite reconocer si una etapa está suficientemente madura para sostener la siguiente.

Enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto

El enfoque cuantitativo trabaja con variables expresadas mediante valores o categorías susceptibles de recuento, comparación y análisis estadístico. Resulta pertinente cuando la pregunta busca estimar magnitudes, describir distribuciones, contrastar grupos o examinar relaciones definidas. Su rigor depende de la validez de las mediciones, la selección de unidades y la correspondencia entre modelo e inferencia, no de la cantidad de números.

El enfoque cualitativo estudia significados, prácticas, decisiones, procesos y experiencias conservando su contexto. Puede utilizar entrevistas, observación, documentos y materiales producidos por participantes. No se limita a recopilar opiniones: requiere selección justificada, registro sistemático, análisis interpretativo, atención a casos discordantes y reflexividad sobre el papel de quien investiga.

El enfoque mixto integra componentes cuantitativos y cualitativos porque una pregunta necesita relacionar magnitudes con procesos o explicaciones situadas. La presencia de una encuesta y una entrevista no basta para declarar integración. Debe explicarse en qué momento se conectan las muestras, los instrumentos, los

resultados o las interpretaciones y qué añade esa relación. En el caso de riego, las mediciones hidráulicas pueden describir variación, mientras los registros y relatos de operación ayudan a situar eventos de mantenimiento; ninguno sustituye al otro.

La Tabla 1 compara la función de la evidencia, la selección y el análisis en los tres enfoques. Permite examinar qué aporta cada ruta a una pregunta agrícola y qué límites conserva la interpretación.

Tabla 1. Comparación funcional de los enfoques de investigación.

Criterio	Cuantitativo	Cualitativo	Mixto
Pregunta frecuente	magnitud, distribución, diferencia o relación	significado, práctica, experiencia o proceso	relación entre patrones medidos y procesos situados
Evidencia	mediciones, recuentos y variables codificadas	relatos, observaciones, documentos y materiales contextuales	conjuntos de evidencia conectados mediante un plan de integración
Selección	busca estimación, comparación o variación definida	busca casos informativos y diversidad pertinente	coordina estrategias distintas según la función de cada componente
Análisis	descriptivo o inferencial según diseño	codificación, comparación e interpretación contextual	análisis de cada componente y posterior integración
Límite frecuente	reducir el fenómeno a indicadores insuficientes	generalizar fuera de los casos y contextos estudiados	yuxtaponer resultados sin explicar cómo se relacionan

El marco conceptual recoge el pluralismo metodológico de Figueroa-Rodríguez y Sangerman-Jarquín [2], y Ashton [12] y los criterios de participación de Neef y Neubert [8]. La comparación es una organización didáctica del capítulo, no una tabla reproducida de esas publicaciones.

La comparación muestra que el enfoque se elige por la función de la evidencia. Una pregunta sobre el caudal medio necesita mediciones; una pregunta sobre criterios de mantenimiento requiere información contextual; una pregunta que busque comprender cómo esos criterios coinciden con patrones hidráulicos puede justificar integración. La decisión conserva límites: el componente cualitativo no demuestra el comportamiento de toda una población y una asociación numérica no explica por sí sola el mecanismo observado.

La decisión también debe considerar el estado del conocimiento y los recursos disponibles. Cuando no se conocen todavía las dimensiones relevantes de una práctica, una exploración cualitativa puede preceder a la construcción de un instrumento cuantitativo. Cuando existen variables bien definidas y se requiere estimar magnitudes, el componente cuantitativo puede ocupar el centro. Un diseño mixto demanda tiempo para producir, analizar y relacionar dos conjuntos de evidencia; escogerlo por la promesa abstracta de ser “más completo” conduce a componentes débiles o simplemente yuxtapuestos.

La integración puede ocurrir en momentos distintos. Las entrevistas pueden ayudar a definir qué medir, la selección de participantes puede depender de patrones cuantitativos, o los resultados de ambos componentes pueden reunirse mediante una matriz que examine convergencias y discrepancias. Cada opción responde una finalidad diferente. Si las mediciones muestran un patrón que los operadores no reconocen, la discrepancia no debe borrarse; puede indicar una escala temporal distinta, problemas de registro o una interpretación que requiere nueva evidencia. Integrar consiste en razonar con la relación entre fuentes, no en forzar una única historia.

La Figura 3 permite mostrar el punto de integración que distingue un enfoque mixto de dos componentes yuxtapuestos.

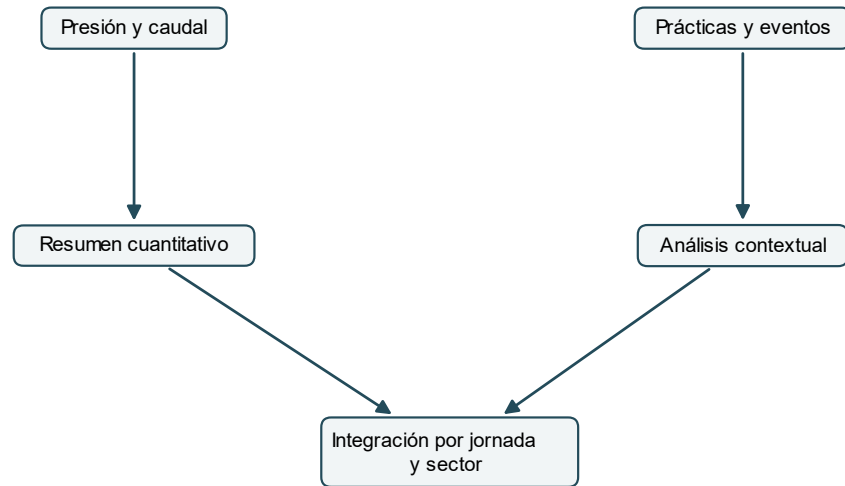


Figura 3. Integración de evidencia hidráulica y prácticas de operación.

La integración necesita una clave espacial y temporal compartida. Comparar una medición de una jornada con un relato sin referencia de periodo puede producir una concordancia aparente. El esquema conserva también discrepancias entre fuentes: una interpretación conjunta examina esas diferencias y mantiene los límites de cada componente, sin convertir un relato en medición ni una asociación en causalidad.

Un mismo fenómeno, preguntas diferentes

Una situación sobre erosión puede originar preguntas distintas. “¿Qué proporción de la superficie presenta signos visibles?” es descriptiva; “¿cómo difiere la pérdida de suelo entre dos coberturas asignadas?” puede ser evaluativa y experimental; “¿cómo deciden los productores conservar o retirar residuos?” es interpretativa. El tema no determina el método: la formulación define la evidencia necesaria.

En poscosecha, registrar temperatura y porcentaje de daño permite describir un patrón, pero afirmar que la temperatura causó las pérdidas exige controlar otras condiciones y establecer temporalidad. Las observaciones sobre manipulación pueden revelar procesos no representados por los sensores. Combinar ambas fuentes solo aporta valor si el diseño define su vínculo por lote, lugar y momento.

El uso de sensores ofrece otro contraste. Miles de registros pueden describir variación temporal, aunque una frecuencia alta no corrige mala ubicación, deriva o interrupciones. La pregunta, el control instrumental y la unidad de análisis siguen

siendo necesarios. El volumen de datos modifica la gestión, no elimina la metodología.

Punto de partida del caso integrador: una variación aún no explicada

En una unidad agrícola se percibe que algunos sectores reciben agua de manera diferente. La observación procede de cambios visibles en el cultivo y de comentarios de operadores, pero todavía no permite afirmar que exista baja uniformidad ni identificar su causa. Puede intervenir la presión, la obstrucción, la pendiente, el tiempo de operación, la selección de emisores o un factor ajeno al riego.

La primera tarea consiste en separar lo observado de lo inferido. Se observan diferencias aparentes y existen percepciones sobre la distribución; se infiere, de manera provisional, que el desempeño hidráulico merece examinarse. La ficha inicial registra sitio, periodo, actores, antecedentes disponibles, dimensiones posibles y restricciones de acceso. También distingue preguntas descriptivas, como la variación de presión y caudal, de preguntas interpretativas sobre operación y mantenimiento.

La situación admite una pregunta inicial: “¿Qué variación presentan la presión y el caudal en el sistema de riego y cómo se relaciona esa variación con las prácticas documentadas de operación y mantenimiento?”. Su carácter inicial exige distinguir una relación por examinar de una explicación demostrada. La pregunta no fija una hipótesis causal, una muestra ni un cálculo de eficiencia: una sospecha sobre el funcionamiento del sistema no proporciona por sí misma la evidencia necesaria para esas decisiones.

Decisiones que debilitan el razonamiento científico

Una investigación comienza a desviarse cuando los nombres de técnicas sustituyen el razonamiento metodológico. Indicar el uso de una encuesta o la instalación de un sensor no explica la pregunta, las unidades, la selección, el procedimiento ni el análisis. El problema se agrava si el método científico se trata como una receta universal o si el enfoque se elige por comodidad personal. Las secuencias formativas ayudan a ordenar decisiones, pero deben admitir rutas diferentes y revisiones

documentadas; la pregunta y la evidencia necesaria siguen siendo el criterio de elección.

La misma rigidez conduce a formular hipótesis en estudios que no las necesitan o a reducir toda investigación agrícola al experimento. Una hipótesis es útil cuando anticipa una relación contrastable sustentada en antecedentes; no constituye un requisito automático para estudios exploratorios, descriptivos o cualitativos. La experimentación responde ciertas preguntas causales, mientras que observación, medición, modelación, entrevistas e investigación participativa cumplen otras funciones. La calidad no aumenta por acumular métodos ni registros: miles de datos obtenidos mediante selección sesgada o medición deficiente conservan ese sesgo.

La integración del conocimiento local exige un cuidado equivalente. Reconocer experiencia situada no obliga a aceptar toda explicación sin contraste, y denominar participativo a un proyecto no informa cuánto poder de decisión tuvieron los actores. Consultar, colaborar y codirigir distribuyen responsabilidades diferentes; el informe debe indicar quién intervino, en qué fase y con qué capacidad. Finalmente, los cambios de pregunta, instrumento o procedimiento no deben ocultarse para simular una trayectoria perfecta. Registrar su motivo y sus consecuencias permite evaluar cómo evolucionó el estudio y qué límites introdujo la modificación.

De la observación a una ruta justificable

Una afirmación científica debe dejar a la vista su recorrido: qué se observó, bajo qué reglas, cómo se interpretó y qué objeciones podrían modificarla. Que el resultado sea revisable no lo vuelve arbitrario. La confianza procede de conceptos definidos, procedimientos pertinentes y decisiones expuestas a crítica.

Tampoco hay una sola ruta para construir ese recorrido. Una pregunta puede requerir mediciones, documentos, testimonios, comparaciones o una combinación de fuentes. El piloto y los primeros registros quizá obliguen a volver atrás. Los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto ordenan posibilidades distintas; su pertinencia se decide en relación con la pregunta y con las condiciones reales del estudio.

En ingeniería agrícola, esa decisión incluye escalas biofísicas, tecnológicas, espaciales, temporales y humanas. Delimitar consiste en seleccionar las necesarias y declarar las que quedan fuera. Así, una observación deja de ser una impresión general: se separan hechos e interpretaciones, se formulan preguntas alternativas y se identifica qué parte de la incertidumbre requiere medición o información contextual.

Desarrollo del caso didáctico de riego

La Tabla 2 relaciona tipos de afirmación con evidencia y límites. Su función es comprobar si una descripción, una asociación o una explicación causal está respaldada por el procedimiento que produce los datos.

Tabla 2. Correspondencia entre afirmación, evidencia y alcance.

Afirmación	Evidencia pertinente	Control necesario	Límite de interpretación
La presión varía entre posiciones	Lecturas identificadas por punto y jornada	Instrumento, estabilización y unidad constantes	Describe los puntos registrados
Los operadores adoptan criterios distintos	Relatos y registros contextualizados	Preguntas claras y comparación de casos	No estima frecuencias poblacionales automáticamente
Dos propiedades presentan un patrón conjunto	Mediciones enlazadas de ambas propiedades	Escala, momento y factores alternativos	La asociación no demuestra causalidad
Una intervención modifica una respuesta	Comparación diseñada para estimar el efecto	Asignación, replicación y control de confusión	Depende de la validez del diseño y del contexto
Un resultado puede reconstruirse	Datos, procedimiento y transformaciones documentados	Versión y verificación del cálculo	Reconstruir el cálculo no elimina el sesgo de origen

La misma cifra puede sostener una descripción y resultar insuficiente para una afirmación causal. Por eso, la revisión comienza por el verbo utilizado y continúa hasta las unidades, el procedimiento y los controles. Documentar una lectura de presión permite reconstruir su procedencia, pero no atribuirle efectos sobre el rendimiento de un cultivo. La matriz hace visible ese cambio de exigencia y orienta la interpretación del caso de riego.

La ficha organiza la situación expuesta en el capítulo y distingue el problema percibido de las afirmaciones que requieren evidencia. Es un ejemplo conceptual construido con fines educativos: sus preguntas y decisiones ilustran el razonamiento metodológico, mientras que la descripción del escenario no constituye un registro de campo ni un resultado de una finca real.

Situación y contexto de observación

El escenario consiste en una unidad productiva con un sistema de riego en operación. La situación descrita reúne diferencias aparentes en el desarrollo del cultivo y comentarios de operadores sobre una distribución desigual del agua. La escala inicial es el sistema de riego y sus sectores; la referencia temporal corresponde a jornadas de operación dentro de un ciclo productivo. El ejemplo no identifica predio, cultivo ni fechas específicas, porque su finalidad es comparar decisiones investigativas sin atribuir observaciones a un sitio inexistente.

Hechos descritos e interpretaciones

La descripción disponible establece que algunos sectores parecen recibir agua de manera diferente. Esa percepción no equivale a una medición de caudal ni a un cálculo de uniformidad. La interpretación inicial es que existe una variación hidráulica susceptible de examen, pero también son posibles diferencias de suelo, topografía, estado de emisores o condiciones de operación. La ficha conserva estas alternativas y evita convertir la expresión “riego desigual” en un diagnóstico de ineficiencia.

Actores y dimensiones del sistema

Los operadores aportan información sobre apertura y cierre de sectores, limpieza, interrupciones y criterios de mantenimiento; los responsables de la unidad

productiva conocen restricciones de acceso y organización; el equipo investigador define procedimientos de registro y límites de interpretación. La dimensión tecnológica comprende equipos y emisores; la biofísica, agua, suelo y cultivo; la espacial y temporal, posiciones dentro del sistema y jornadas; la humana, prácticas y decisiones. La colaboración en el registro no implica por sí misma codirección del estudio: la participación se caracteriza por las decisiones efectivamente compartidas [8], [9].

Preguntas y evidencia pertinente

La pregunta descriptiva es: “¿Cómo varían la presión y el caudal entre posiciones del sistema durante las jornadas de operación?”. Su respuesta requiere mediciones con identificadores de posición y momento, unidades consistentes y condiciones instrumentales documentadas. La pregunta interpretativa es: “¿Qué criterios utilizan los operadores para decidir la limpieza y el mantenimiento?”. Requiere relatos, observaciones y registros contextualizados. La pregunta relacional es: “¿Cómo coinciden los patrones hidráulicos con los eventos y prácticas documentados?”. Exige conectar ambas fuentes mediante referencias espaciales y temporales compatibles, sin atribuir causalidad a la coincidencia.

Enfoque y punto de integración

El enfoque mixto se justifica en este ejemplo porque la pregunta reúne variación medida y prácticas situadas. El componente cuantitativo describe presión y caudal; el cualitativo examina decisiones y restricciones de operación. El punto de integración es la correspondencia entre cada jornada, el sector registrado y los eventos de mantenimiento documentados. Una discrepancia entre medición y relato se conserva como resultado que exige interpretación, en lugar de eliminarse para producir concordancia artificial. Si el propósito se limita a describir caudal, un componente cualitativo separado no constituye una exigencia automática.

Viabilidad y alcance de las afirmaciones

La aplicación de esta ficha a un predio depende del acceso autorizado, la seguridad, la disponibilidad de instrumentos adecuados y la posibilidad de identificar unidades y

momentos. Esas condiciones son criterios para valorar la viabilidad, no resultados de campo. Con la información del ejemplo solo se justifican preguntas y fuentes de evidencia; no se determina tamaño de muestra, no se cuantifica uniformidad y no se estima eficiencia del uso del agua. Tampoco se atribuyen al mantenimiento efectos sobre el rendimiento o el consumo hídrico. La distinción entre una percepción, una medición y una inferencia conserva la incertidumbre que justifica investigar.

Ejercicios de aplicación y criterios de revisión

Los diez ejercicios siguientes son ejercicios dirigidos al estudiante. Para resolverlas, seleccione una situación agrícola y presente respuestas justificadas mediante argumentos, preguntas o esquemas, según la consigna. La ficha desarrollada ofrece un modelo de razonamiento y permite contrastar las respuestas sin exigir que todos los proyectos adopten el mismo enfoque. Los criterios que acompañan los ejercicios orientan la revisión de sus productos.

Ejercicio 1. Distinga observación, interpretación y recomendación en una situación agrícola de su entorno.

Muestra breve: Observación: dos sectores presentan plantas de distinto tamaño. Interpretación: podría variar el suministro de agua. Recomendación provisional: verificar caudal y condiciones del suelo antes de modificar el riego.

Ejercicio 2. Formule preguntas descriptiva, comparativa, relacional e interpretativa para un mismo problema.

Muestra breve: Para el riego, una pregunta descriptiva sería “¿Cómo varía el caudal entre posiciones?”; una interpretativa, “¿Cómo deciden los operadores cuándo limpiar los filtros?”. Complete las otras dos y distinga sus evidencias.

Ejercicio 3. Identifique dos métodos teóricos y dos empíricos necesarios para responder una de esas preguntas.

Muestra breve: Para examinar diferencias de caudal, el análisis separa componentes del sistema y la síntesis relaciona sus resultados; la medición de volumen y tiempo y la observación de la operación aportan registros empíricos.

Ejercicio 4. Explique por qué una técnica conocida no basta para definir un diseño.

Muestra breve: Una entrevista informa sobre decisiones de mantenimiento, pero no define por sí sola a quién entrevistar, qué experiencias comparar ni cómo interpretar respuestas discordantes.

Ejercicio 5. Compare qué aportaría cada enfoque al estudio de pérdidas poscosecha.

Muestra breve: En almacenamiento, el enfoque cuantitativo estima la proporción de producto descartado; el cualitativo examina criterios de clasificación. Un estudio mixto relaciona ambos resultados conservando sus unidades y límites.

Ejercicio 6. Proponga un caso en el que volver a una etapa anterior mejore el proyecto y defina cómo documentaría el cambio.

Muestra breve: Si el piloto revela que un sensor no funciona en el intervalo previsto, se revisa la variable operacional y se registra fecha, motivo, versión anterior y efecto sobre la pregunta.

Ejercicio 7. Analice una afirmación causal sobre agricultura e identifique qué evidencia exigiría.

Muestra breve: La frase “limpiar el filtro aumenta el rendimiento” exige distinguir el efecto de la limpieza de diferencias de suelo, cultivo y manejo. Indique qué comparación y qué mediciones permitirían evaluar esa afirmación.

Ejercicio 8. Diseñe una participación de productores que especifique fase, capacidad de decisión y forma de reconocimiento.

Muestra breve: Durante la delimitación, los productores identifican periodos críticos y acuerdan horarios de acceso; el protocolo registra sus aportes y cómo se reconocerán en los productos autorizados.

Ejercicio 9. Audite la ubicación de un sensor y explique cómo un error espacial afectaría la inferencia.

Muestra breve: Un sensor ubicado solo junto a una entrada de agua puede describir ese punto. Su registro no permite representar toda la parcela sin justificar la selección y comprobar la variación espacial.

Ejercicio 10. Elabore una ficha para una situación agrícola de su entorno siguiendo el ejemplo desarrollado: distinga hechos e interpretaciones, formule preguntas alternativas y precise la evidencia necesaria y los límites de cada respuesta.

Muestra breve: Hecho: se observan plantas desiguales en dos sectores. Pregunta: ¿Cómo varía el caudal en esos sectores? Evidencia: mediciones comparables por posición y jornada. Límite: esa información no demuestra diferencias de rendimiento.

La revisión de las respuestas comprueba que cada afirmación diferencia observación e interpretación, que la pregunta identifica una incertidumbre investigable y que el método propuesto produce evidencia pertinente. En las actividades sobre participación y sensores se examinan, respectivamente, la capacidad de decisión de los actores y la escala representada por el registro. Una respuesta resulta insuficiente si solo nombra una técnica, supone una causa sin contraste o extiende una conclusión más allá de las unidades consideradas. Estos criterios permiten evaluar el razonamiento, aunque las situaciones y las soluciones concretas difieran entre estudiantes.

Capítulo 2. Construcción del problema de investigación

De la preocupación al problema investigable

“El riego funciona mal” puede describir una preocupación compartida y justificar una inspección, pero todavía deja abiertas demasiadas rutas. ¿Se quiere medir la distribución del caudal, estimar humedad, comparar rendimientos, reconstruir las decisiones de mantenimiento o calcular costos? Mientras esas alternativas permanezcan juntas, cualquier instrumento parece pertinente y ningún resultado responde con claridad qué se quería conocer.

La ambigüedad se vuelve visible en una parcela con sectores de menor crecimiento, encharcamiento junto a ciertos emisores y señales de déficit en otros. Esos indicios pertenecen a la situación problemática; el problema científico aparece después de separar lo observado de sus posibles explicaciones, consultar antecedentes y decidir qué componente se estudiará, dónde, durante qué periodo y sobre cuáles unidades. La formulación reduce posibilidades, pero no debe borrar factores relevantes antes de examinarlos.

Ese recorte influye en todo lo que sigue. La manera de representar un problema de recursos naturales condiciona las preguntas que se admiten y las soluciones que llegan a considerarse; por eso deben declararse escalas, supuestos y perspectivas [13]. Formular no es adornar una inquietud con vocabulario académico. Es asumir una posición sobre aquello que contará como evidencia y sobre los límites de la respuesta.

Parte de esa decisión ocurre fuera del escritorio. Productores, operadores y técnicos pueden advertir restricciones de acceso, manejo o costo que los registros no muestran. En investigación agrícola adaptativa, reconocer temprano esas necesidades y discutir los objetivos con los usuarios ayuda a descartar alternativas técnicamente atractivas pero impracticables en el contexto local [14]. Sus explicaciones siguen sujetas a contraste; su aporte consiste en mejorar la pregunta y las condiciones bajo las cuales podrá estudiarse.

El capítulo avanza desde la inquietud inicial hasta una matriz preliminar de coherencia. En ese recorrido diferencia situación y problema, examina tipos de

preguntas, ubica el papel de las hipótesis y enlaza objetivos, justificación y viabilidad. El caso de riego mantiene la continuidad del ejercicio, siempre como construcción didáctica: ninguna formulación del capítulo informa resultados de una finca real.

Idea, tema y problema: tres niveles diferentes

Una observación de campo, una conversación o una falla técnica pueden abrir una investigación. “El cultivo varía dentro de la parcela” cumple esa función inicial: dirige la atención hacia un fenómeno, pero todavía admite muchas explicaciones y varias formas de estudiarlo. En este momento importa conservar el indicio y explicar por qué merece examen.

Al ubicarlo en el tema “desempeño hidráulico y manejo del riego por goteo” se define un territorio conceptual. Esa decisión orienta la búsqueda de antecedentes y permite reconocer métodos y debates. Todavía no produce una pregunta. Dentro del mismo tema, un estudio podría evaluar uniformidad de aplicación, otro reconstruir decisiones de mantenimiento y un tercero relacionar distribución del agua con rendimiento.

El problema aparece cuando los antecedentes y la situación observada permiten nombrar una incertidumbre delimitada. No toda dificultad práctica la contiene. Una bomba averiada requiere diagnóstico y reparación; se vuelve objeto de investigación si se busca establecer, mediante evidencia sistemática, qué condiciones de operación se relacionan con fallas recurrentes en cierto tipo de sistema [15].

Idea, tema y problema cumplen tareas diferentes: la idea abre alternativas, el tema organiza la conversación académica y el problema selecciona el vacío que guiará la evidencia. Elegir el instrumento antes de completar ese recorrido invierte la lógica. Se comienza a medir sin saber qué respuesta deberá sostener la medición.

Pasar de un nivel a otro no significa añadir tecnicismos. Significa descartar rutas con razones. Uniformidad hidráulica, productividad, costos, adopción y gobernanza pueden formar parte de una misma preocupación; investigarlas todas en un proyecto formativo probablemente impediría tratar cualquiera con suficiente profundidad. El

recorte conserva las relaciones necesarias y deja explícitas las que no serán estudiadas.

Una prueba útil consiste en preguntar qué cambiaría si se conociera la respuesta. Si no modifica una interpretación, una decisión o el diseño de una intervención, quizá todavía se esté nombrando un tema. En el sistema de riego, saber si la variación se concentra por posición hidráulica orienta controles distintos de los que corresponderían a cambios entre jornadas. La pregunta se vuelve operativa cuando sus respuestas posibles conducen a decisiones metodológicas reconocibles.

Situación problemática y problema de investigación

La situación problemática describe un estado de la realidad que genera preocupación, contradicción o necesidad. Incluye síntomas observables, actores afectados y consecuencias posibles. En el ejemplo de riego, la variación del crecimiento, las zonas secas y el aumento del tiempo de bombeo forman parte de la situación. Todavía caben explicaciones distintas: obstrucción de emisores, diferencias de presión, variabilidad del suelo, programación inadecuada o una interacción entre estas condiciones.

El problema de investigación selecciona una parte de esa situación y la convierte en una relación cognoscible. Debe evitar dos extremos. Si es demasiado amplio (“ineficiencia del agua en la agricultura”) no orienta un estudio ejecutable. Si es excesivamente estrecho antes de revisar antecedentes (“efecto de una obstrucción específica en el emisor número 12”) puede excluir factores decisivos o carecer de interés más allá de una reparación puntual. La formulación adecuada mantiene una tensión productiva entre relevancia y precisión [16].

En este contexto, es importante distinguir la selección del problema, su encuadre y su resolución [13]. El encuadre integra perspectivas, conocimiento disponible y vacíos, y permite reconocer que la representación del problema influye en las soluciones posteriores. Aplicado a la ingeniería agrícola, esto implica preguntar si el sistema debe estudiarse como conjunto hidráulico, como práctica de manejo, como decisión económica o como combinación de dimensiones. No todo proyecto puede

abarcarse el sistema completo; sí debe declararse el recorte adoptado y las consecuencias de dejar otros componentes fuera.

Antecedentes, vacío y aporte esperado

Los antecedentes cumplen una función argumentativa. No se reúnen para demostrar que se ha leído mucho, sino para establecer qué se sabe, con qué métodos se obtuvo ese conocimiento, bajo qué condiciones es válido y qué incertidumbre permanece. Una revisión inicial puede mostrar que existen procedimientos consolidados para medir uniformidad, pero que no se ha documentado el comportamiento de un sistema bajo determinadas condiciones de operación; también puede revelar abundantes mediciones técnicas y escasa información sobre las decisiones cotidianas de mantenimiento [17].

Un vacío de conocimiento no significa necesariamente que nadie haya estudiado el tema. Puede consistir en una población poco examinada, un contexto ambiental diferente, resultados contradictorios, una relación no contrastada, una limitación metodológica persistente o una necesidad de integrar tipos de evidencia que se han tratado por separado. Tampoco basta afirmar que “no existen estudios en la localidad”. La ausencia geográfica solo justifica una investigación cuando hay razones para esperar que el contexto pueda modificar el fenómeno o cuando la decisión local requiere evidencia propia.

El aporte esperado es la respuesta razonable a ese vacío. Puede ser descriptivo, explicativo, evaluativo, metodológico o interpretativo. Debe formularse con prudencia: un estudio de alcance local puede aportar un diagnóstico transferible con cautela, pero no “resolver definitivamente” el uso ineficiente del agua. Delimitar el aporte protege al proyecto de promesas desproporcionadas y prepara una conclusión cuyo alcance coincida con el diseño.

La búsqueda de antecedentes debe comparar condiciones, no solo resultados. Interesa saber qué población o sistema se estudió, cómo se definieron las variables, qué diseño se utilizó, durante qué periodo se observó y qué limitaciones reconocieron los autores. Dos artículos que informan valores distintos pueden ser compatibles si trabajaron con escalas, tecnologías o momentos diferentes. La matriz

de antecedentes debe hacer visibles esas diferencias antes de declarar una controversia o trasladar un procedimiento al nuevo contexto.

También es necesario separar el vacío científico de la carencia operativa. Que una finca no posea registros recientes puede justificar un diagnóstico local, pero no demuestra que la literatura desconozca el fenómeno. A la inversa, un procedimiento técnicamente conocido puede requerir investigación cuando se ignora su comportamiento bajo restricciones ambientales o sociales relevantes. Redactar ambos niveles por separado evita inflar la novedad académica y permite explicar con honestidad por qué la evidencia local sigue siendo necesaria.

Escalas y actores en los problemas de ingeniería agrícola

Los problemas de ingeniería agrícola se construyen en sistemas abiertos. El comportamiento de una infraestructura depende de condiciones ambientales, propiedades de materiales, organismos vivos, decisiones humanas y cambios a lo largo del tiempo. Por eso, la delimitación no consiste solo en indicar una finca o un cultivo; requiere decidir qué escala del sistema corresponde a la pregunta [18].

En riego, por ejemplo, pueden distinguirse el emisor, la línea lateral, la subunidad, la parcela y la unidad productiva. Una pregunta sobre variación de caudal necesita unidades y mediciones diferentes de otra sobre acceso al agua entre productores. También cambia la escala temporal: una evaluación durante una jornada describe condiciones inmediatas, mientras que un estudio de desempeño durante un ciclo productivo puede incorporar mantenimiento, programación y variación climática. Mezclar escalas sin justificar la inferencia conduce a conclusiones débiles, como atribuir el rendimiento anual a una única medición hidráulica.

La participación de actores también debe responder al problema. DeLong et al. [14] muestran que el conocimiento experiencial de agricultores puede ayudar a evaluar la factibilidad técnica y económica y a orientar objetivos de investigación pertinentes. Neef y Neubert [8], por su parte, advierten que la participación adopta diferentes intensidades según los objetivos, los actores y las fases del proyecto. Una consulta para reconocer prácticas no equivale a un diseño codirigido; ambas opciones pueden

ser válidas si se explica qué decisiones comparten los participantes y cómo se utilizará la información.

Estas consideraciones permiten evitar una falsa oposición entre rigor técnico y pertinencia social. Medir presión y caudal con procedimientos consistentes responde a una dimensión del problema. Comprender por qué no se ejecuta el mantenimiento previsto responde a otra. Si la pregunta combina ambas dimensiones, el diseño posterior deberá articular evidencia cuantitativa y cualitativa. Si se limita a una, habrá que declarar que las conclusiones no explican la totalidad del sistema.

Delimitación conceptual, espacial, temporal y operacional

Delimitar es establecer fronteras justificadas. Una delimitación útil responde, al menos, a cinco preguntas: qué fenómeno se estudiará, dónde, cuándo, en quién o en qué se observará y qué dimensión quedará fuera. Estas decisiones son provisionales durante la exploración inicial y se precisan conforme avanza la revisión de antecedentes.

La delimitación conceptual define el significado de los términos centrales. “Eficiencia”, “uniformidad” y “productividad” no son sinónimos. Si el interés se concentra en la variación del volumen aplicado entre puntos, el concepto central será la uniformidad de aplicación; si se relaciona el producto obtenido con el agua utilizada, se estudia otra propiedad. Elegir el término correcto evita que la pregunta prometa medir algo distinto de lo que el instrumento registrará.

La delimitación espacial identifica el sitio y la escala: una subunidad, varias parcelas, una comunidad o una cuenca. La delimitación temporal fija el periodo relevante y reconoce si las mediciones representan una jornada, una fase fenológica o un ciclo completo. La delimitación poblacional o de unidades señala sobre qué elementos se obtendrá evidencia: emisores, plantas, lotes, operadores o documentos de manejo. La delimitación operacional anticipa las condiciones mínimas de acceso, medición y comparación sin desarrollar todavía todo el método.

Una formulación provisional podría ser: “Se desconoce cómo varía la uniformidad de aplicación de agua entre las subunidades de un sistema de riego por goteo durante

la fase seleccionada del ciclo del cultivo y qué condiciones observables de operación y mantenimiento coinciden con esa variación”. Esta frase identifica un vacío y dos dimensiones relacionadas, pero aún debe convertirse en preguntas concretas y revisarse frente a los recursos disponibles.

Las delimitaciones se condicionan entre sí. Ampliar el periodo puede permitir representar mejor la variación temporal, pero aumentar costos o provocar pérdida de unidades; reducir el espacio facilita un registro más intenso, aunque limita la transferencia de resultados. Incluir rendimiento junto con desempeño hidráulico añade otra escala, un rezago temporal y posibles factores de confusión. La decisión no se resuelve buscando el estudio más grande, sino el recorte que produzca una respuesta defendible dentro de los recursos y del momento agrícola disponible.

Delimitar exige declarar exclusiones con sus consecuencias. Si el suelo se conserva como contexto y no se muestrea, las diferencias hidráulicas no podrán presentarse como explicación completa del crecimiento. Si las jornadas seleccionadas no cubren todo el ciclo, la conclusión se restringirá a las condiciones observadas. Estas exclusiones no son defectos ocultos; forman parte del contrato intelectual del estudio y deben aparecer desde el problema hasta las conclusiones.

La Figura 4 permite hacer visible el recorte intelectual sin anticipar una respuesta.

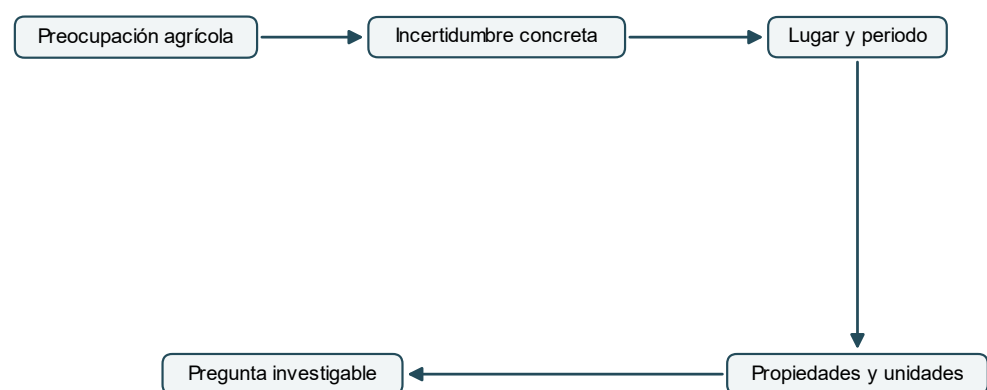


Figura 4. Reducción de ambigüedad mediante delimitación.

Cada recorte elimina una ambigüedad diferente. Identificar lugar y periodo no reemplaza la definición de la propiedad, y nombrar unidades no resuelve qué

incertidumbre se examina. La pregunta resultante conserva el objeto y sus límites; agregar una causa como hecho demostrado interrumpe el razonamiento porque elimina justamente lo que requiere contraste.

Preguntas de investigación

La pregunta traduce el problema en una demanda de conocimiento. Debe ser comprensible, delimitada, respondible con evidencia y congruente con el alcance pretendido. Barroga y Matanguihan [19] señalan que las preguntas ayudan a precisar el tema, el propósito y los límites del estudio, y que su forma condiciona el diseño. Por esa razón, modificar una pregunta no es un cambio meramente verbal: puede alterar unidades, técnicas, análisis y criterios de validez.

En estudios cuantitativos son frecuentes las preguntas descriptivas, comparativas y relacionales. Una pregunta descriptiva podría ser: “¿Qué variación presenta el caudal de los emisores entre las subunidades seleccionadas?”. Una comparativa preguntaría: “¿Qué diferencias de uniformidad se observan entre subunidades con distinta frecuencia de mantenimiento?”. Una relacional plantearía: “¿Qué relación existe entre la presión registrada y el caudal de los emisores en los puntos evaluados?”. El verbo debe reflejar el alcance: identificar una asociación no equivale a demostrar causalidad.

Las preguntas cualitativas pueden buscar comprender experiencias, decisiones, procesos o significados. En el caso de riego: “¿Cómo explican los operadores las decisiones de mantenimiento adoptadas durante el ciclo productivo?”. Conviene que sean abiertas sin resultar ilimitadas. Una pregunta central puede acompañarse de subpreguntas sobre criterios, restricciones y cambios en las prácticas, siempre que estas contribuyan a responderla y no formen una lista de asuntos independientes.

Una pregunta mixta articula componentes que requieren datos diferentes: “¿Cómo se relacionan la variación medida en la aplicación de agua y las prácticas de operación descritas por los responsables del sistema?”. La integración debe ser necesaria para comprender el problema. Añadir entrevistas a un estudio cuantitativo no lo convierte automáticamente en mixto; es necesario explicar dónde se conectarán ambos tipos de evidencia y qué comprensión adicional producirá esa conexión.

La conocida pauta FINER (factible, interesante, novedosa, ética y relevante) ayuda a examinar una pregunta antes de comprometer el diseño [19]. En investigación agrícola, la factibilidad comprende acceso al sitio, disponibilidad de instrumentos, duración del ciclo, seguridad y capacidad de análisis. La novedad no exige un descubrimiento sin precedentes: puede residir en contrastar una relación en condiciones justificadamente distintas o en integrar evidencia que permita decidir mejor.

Además de FINER, la pregunta debe superar una prueba de trazabilidad. Cada término central necesita una definición posible; cada relación, unidades donde pueda observarse; y cada alcance, un análisis compatible. La pregunta “¿cómo mejorar el riego?” no indica qué significa mejorar ni qué evidencia permitiría reconocerlo. En cambio, preguntar por la variación de presión y caudal entre posiciones y jornadas identifica propiedades, dominios de comparación y un marco temporal que luego podrán operacionalizarse.

Las subpreguntas cumplen una función de descomposición, no de acumulación. Una subpregunta es necesaria cuando produce una parte sin la cual la respuesta central quedaría incompleta. Si introduce otra población, otro fenómeno y otra inferencia, probablemente pertenece a un estudio distinto. En el caso mixto de riego, describir el patrón hidráulico y documentar las prácticas son componentes necesarios para examinar su relación; agregar productividad, costos y aceptación de una tecnología abriría nuevas cadenas de evidencia que deben justificarse de manera independiente.

La redacción final puede auditarse anticipando respuestas posibles. Una pregunta demasiado abierta admite cualquier resultado y no orienta decisiones; una pregunta cerrada sobre una causa no sustentada dirige todo el proyecto a confirmarla. Una buena formulación permite respuestas alternativas que puedan distinguirse con la evidencia prevista. Este equilibrio evita tanto la vaguedad como el sesgo de confirmación.

Hipótesis: cuándo formularlas y cuándo no

Una hipótesis de investigación es una proposición anticipada, sustentada en antecedentes, acerca de una relación o diferencia que puede contrastarse con

evidencia. No es una adivinanza ni una conclusión escrita antes de medir. Su formulación ayuda a definir qué observaciones podrían apoyar o cuestionar la expectativa planteada. Barroga y Matanguihan [19] destacan que las hipótesis deben derivarse del conocimiento disponible, ser comprobables y mantener correspondencia con la pregunta.

No toda investigación necesita hipótesis. Resultan pertinentes en estudios cuantitativos que anticipan relaciones o diferencias. Un estudio exploratorio con antecedentes insuficientes puede limitarse a preguntas; una investigación cualitativa orientada a comprender cómo se toman decisiones suele trabajar con preguntas abiertas y supuestos explícitos, no con hipótesis estadísticas. Forzar una hipótesis en esos casos restringe prematuramente lo que puede encontrarse.

Para el ejemplo, una hipótesis de investigación podría expresar: “Las subunidades con mayor variación de presión presentan menor uniformidad de caudal que aquellas con menor variación de presión”. La hipótesis nula correspondiente plantearía ausencia de diferencia o relación según el análisis previsto. Aun así, la redacción solo es válida si los antecedentes justifican la expectativa y si presión y uniformidad se definirán mediante indicadores medibles. Afirmar que “el mal mantenimiento causa bajo rendimiento” sería inadecuado si el diseño únicamente observa asociaciones y no controla explicaciones alternativas.

Una buena hipótesis identifica unidades o grupos, variables y relación esperada, pero no incorpora resultados inventados. También debe formularse antes de conocer los resultados utilizados para contrastarla. Si durante el estudio aparece una explicación nueva, puede registrarse como hallazgo exploratorio y someterse a evaluación posterior, en lugar de presentarla retrospectivamente como predicción original.

La posibilidad de contraste requiere anticipar qué patrón sería compatible con la hipótesis y cuál obligaría a cuestionarla. No se trata de fijar de antemano un resultado numérico arbitrario, sino de evitar proposiciones capaces de acomodarse a cualquier observación. “El mantenimiento influye de alguna manera” no establece dirección, condiciones ni evidencia discriminante. Una formulación más precisa identifica la

propiedad observada, el dominio de comparación y el alcance de la relación, sin prometer causalidad cuando el diseño será observacional.

También conviene separar hipótesis sustantiva e hipótesis estadística. La primera expresa una expectativa sobre el fenómeno; la segunda la traduce a parámetros y reglas de contraste dentro de un análisis. Rechazar o no rechazar una hipótesis estadística no demuestra por sí solo el mecanismo sustantivo. Magnitud, incertidumbre, calidad de medición y explicaciones alternativas siguen siendo necesarias para interpretar el resultado.

Objetivo general y objetivos específicos

El objetivo general declara el logro cognoscitivo principal del estudio. Debe responder a la pregunta central mediante un verbo compatible con su alcance: describir, comparar, analizar, determinar una relación, evaluar o comprender. Verbos como “conocer” o “estudiar” suelen ser demasiado amplios; “demostrar” puede prometer más de lo que el diseño permite.

Los objetivos específicos descomponen el objetivo general en resultados parciales necesarios. No son una lista de actividades administrativas. “Aplicar encuestas”, “revisar bibliografía” o “procesar datos” describen acciones del procedimiento, no conocimientos que el estudio espera producir. En cambio, “caracterizar la variación de presión”, “estimar la uniformidad de caudal” y “describir las prácticas de mantenimiento” expresan productos analíticos que, en conjunto, contribuyen al objetivo general.

La correspondencia puede comprobarse mediante tres preguntas. Primero, ¿cada objetivo específico aporta a responder la pregunta central? Segundo, ¿el conjunto de objetivos cubre el objetivo general sin introducir otro estudio? Tercero, ¿cada objetivo puede vincularse con evidencia y un análisis posible? Si un objetivo propone “evaluar el impacto en la productividad” pero no habrá mediciones de producción ni comparación temporal, debe eliminarse o rediseñarse el proyecto.

El verbo de un objetivo fija una obligación metodológica. “Describir” requiere criterios de caracterización; “comparar”, grupos o condiciones comparables;

“relacionar”, mediciones vinculables en las mismas unidades o dominios; “comprender”, evidencia contextual capaz de reconstruir procesos y significados; “evaluar”, un referente explícito frente al cual emitir el juicio. Elegir un verbo más ambicioso no eleva la calidad del proyecto si el diseño no puede satisfacerlo. Por el contrario, crea una deuda que reaparecerá en las conclusiones.

Los objetivos específicos deben guardar un orden lógico. Primero se producen los componentes de evidencia y después se integran. En el caso de riego, caracterizar presión y caudal precede a estimar un resumen de variación, y documentar prácticas precede a relacionarlas con patrones hidráulicos. Esta secuencia permite convertir los objetivos en productos y controles; también revela dependencias que luego deberán aparecer en el cronograma.

La cantidad de objetivos debe responder al alcance y no a una cuota formal. Un objetivo general puede requerir tres o cuatro objetivos específicos bien conectados; dividir cada actividad en un objetivo genera una lista extensa que fragmenta el proyecto. En sentido contrario, un único objetivo específico que repite el general no ayuda a diseñar. El criterio es funcional: cada objetivo parcial debe producir una pieza reconocible de la respuesta y el conjunto debe permitir cerrar la pregunta sin residuos.

La Figura 5 permite comprobar que cada objetivo contribuye a la pregunta y tiene evidencia identificable.

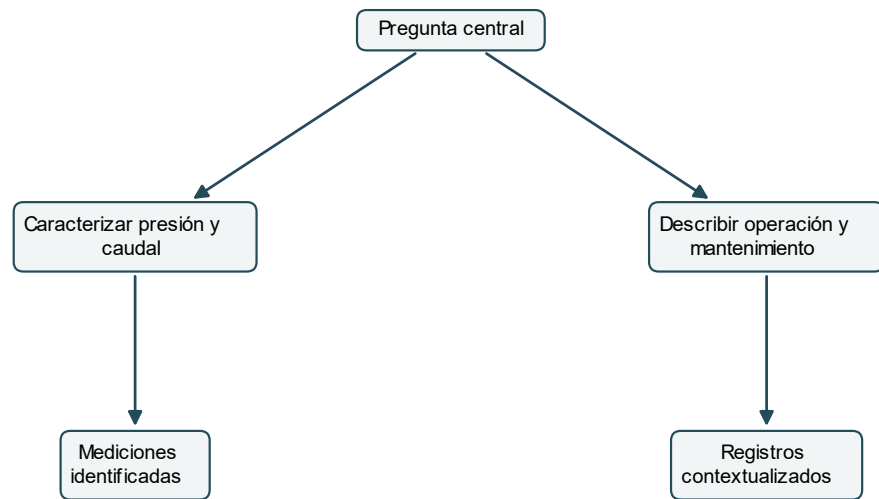


Figura 5. Coherencia entre pregunta, objetivos y evidencia.

Los objetivos descomponen la respuesta y no agregan temas independientes. Caracterizar patrones hidráulicos y documentar prácticas exige evidencias distintas, pero ambas contribuyen a una pregunta compartida. Si un objetivo introduce rendimiento sin registros del cultivo, el vínculo queda roto; la coherencia se recupera ajustando el objetivo o incorporando un diseño que justifique esa nueva exigencia.

Justificación, relevancia y viabilidad

La justificación explica por qué vale la pena producir el conocimiento propuesto. No debe apoyarse en frases universales (“el agua es indispensable”) ni prometer beneficios que el estudio no puede entregar. Una argumentación sólida conecta el problema delimitado con un aporte reconocible y con usuarios potenciales de los resultados.

La relevancia puede examinarse en varias dimensiones. La teórica aclara o contrasta conceptos y relaciones; la metodológica adapta, combina o evalúa procedimientos; la práctica aporta información para decidir; la social considera necesidades y distribución de efectos; la ambiental atiende consecuencias sobre recursos y

ecosistemas. Un proyecto no necesita destacar en todas. Debe desarrollar aquellas que efectivamente se derivan de sus preguntas y diseño.

La viabilidad pregunta si el estudio puede ejecutarse con rigor en sus condiciones reales. Incluye tiempo, presupuesto, acceso al terreno y a participantes, disponibilidad y calibración de instrumentos, tamaño y localización de las unidades, competencias del equipo, gestión de datos, seguridad, permisos y consideraciones éticas. También exige anticipar contingencias: interrupciones del suministro, cambios de cultivo, imposibilidad de medir en ciertas fechas o retiro de participantes.

La relevancia sin viabilidad produce una promesa; la viabilidad sin relevancia produce una actividad ejecutable pero poco útil. Ambas deben evaluarse juntas y, si es necesario, conducir a una reducción razonada del alcance. La colaboración temprana con usuarios ayuda a identificar restricciones que el equipo puede pasar por alto y a formular objetivos compartidos sin renunciar a procedimientos rigurosos y replicables [14].

La viabilidad debe examinarse mediante escenarios, no solo mediante disponibilidad ideal. Conviene identificar qué ocurriría si se pierde una jornada, falla un instrumento, cambia el calendario de riego o una persona decide no participar. Para cada riesgo se distingue prevención, respuesta y efecto sobre el alcance. Si perder una subunidad vuelve imposible la comparación principal, el proyecto necesita una alternativa o debe reconocer que depende de una condición crítica.

La justificación también debe identificar quién podría utilizar el conocimiento y para qué decisión, sin prometer que esa utilización ocurrirá. Un diagnóstico hidráulico puede orientar una inspección o un ensayo posterior; no garantiza ahorro de agua. Una descripción de prácticas puede revelar restricciones para diseñar capacitación; no demuestra que una intervención educativa sea eficaz. Esta precisión vincula aporte y diseño, y protege a los participantes frente a expectativas que el estudio no puede cumplir.

Cuando relevancia y recursos entran en tensión, el ajuste debe preservar el núcleo de la pregunta. Reducir unidades, periodos o variables puede ser válido si se modifica el alcance de inferencia; retirar controles esenciales para mantener una promesa amplia

no lo es. La decisión debe registrar qué se conserva, qué se excluye y qué nueva limitación aparece. Así, la viabilidad deja de ser una declaración optimista y se convierte en una revisión metodológica del proyecto posible.

La Figura 6 permite mostrar la consecuencia metodológica de una restricción, en vez de una declaración general de factibilidad.

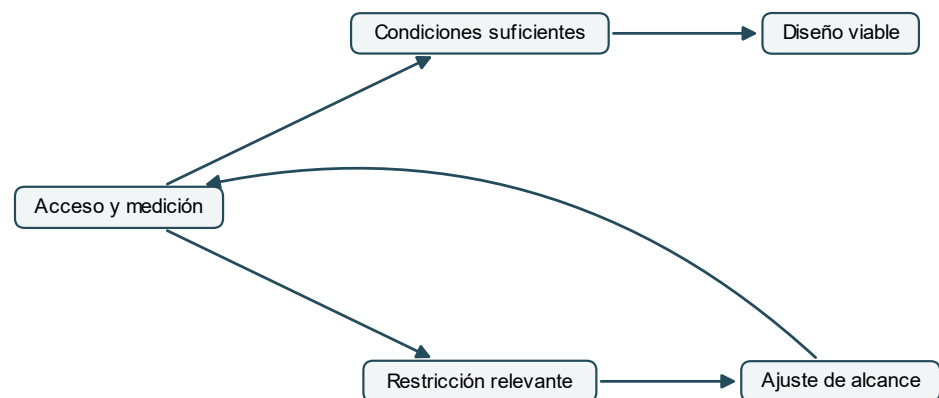


Figura 6. Decisiones frente a restricciones de viabilidad.

Una restricción no desaparece al redactar la justificación. Si impide observar las unidades relevantes, afecta la cobertura y exige ajustar la pregunta; si impide medir una propiedad con validez, afecta la evidencia. El retorno evita mantener una conclusión amplia sobre un sistema cuando el trabajo solo representa una parte accesible.

Ruta para construir y revisar el problema

La construcción del problema reúne decisiones conectadas que se revisan a medida que mejora la información disponible.

El registro inicial describe hechos observables, actores, lugar, momento y consecuencias percibidas, separándolos de las explicaciones todavía no contrastadas. La conversación con actores pertinentes y la revisión de registros

permiten reconocer perspectivas y restricciones técnicas, productivas, económicas y ambientales. Esa lectura del contexto se contrasta con literatura y evidencia local para establecer conceptos, resultados previos, métodos utilizados, controversias y vacíos. Así, los antecedentes ayudan a precisar lo que merece investigarse en lugar de convertirse en una colección de resúmenes ajenos al problema.

Con esa base se define el recorte conceptual, la escala espacial, el periodo y las unidades de estudio, y se declara qué componentes quedan fuera. La formulación expresa la brecha entre lo conocido y lo que se necesita conocer sin presentar como hecho una causa aún no demostrada. La pregunta central y las subpreguntas indispensables traducen esa brecha en una demanda de evidencia; su revisión examina claridad, factibilidad, novedad, ética y relevancia. Los objetivos deben producir la respuesta solicitada por esas preguntas, mientras que las hipótesis se incorporan únicamente cuando el alcance permite y justifica su contraste.

La justificación precisa el aporte y los usuarios posibles, y la evaluación de viabilidad confronta esa contribución con recursos y restricciones reales. Si el recorte exige evidencia que no puede obtenerse, se ajusta el alcance antes de diseñar el método completo. La decisión vuelve entonces a las preguntas y los objetivos: reducir actividades sin revisar lo que se pretende responder deja una formulación aparentemente completa, pero sin condiciones para sostenerla.

El proceso admite retornos. Si la revisión muestra que el fenómeno ya está suficientemente explicado, puede cambiar el vacío. Si no existe acceso a las unidades necesarias, debe reformularse el alcance. Lo importante es conservar la trazabilidad: cada modificación necesita una razón documentada.

Tres situaciones y varias preguntas posibles

Una preocupación puede conducir a preguntas diferentes y, por tanto, a investigaciones distintas.

Conservación del suelo. Situación: después de lluvias intensas se observan surcos y pérdida visible de material en parcelas con diferentes prácticas. Una pregunta descriptiva estimaría la magnitud y distribución de los indicios de erosión. Una

comparativa examinaría diferencias entre prácticas bajo condiciones delimitadas. Una pregunta cualitativa exploraría cómo los productores valoran costos, trabajo y riesgos al decidir si adoptan medidas de conservación. Ninguna de estas preguntas es intercambiable con las otras.

Pérdidas poscosecha. Situación: una asociación registra descartes variables durante el almacenamiento. Preguntar “¿por qué se pierde tanto producto?” mezcla causas posibles y juicios imprecisos. Podría delimitarse como una caracterización de temperatura, humedad y tipos de daño durante un periodo definido; como comparación entre condiciones de almacenamiento; o como análisis de los criterios con los que trabajadores clasifican y manipulan el producto. La elección depende del vacío y de la evidencia accesible.

Riego agrícola. Situación: el desarrollo del cultivo parece desigual y los operadores prolongan algunos turnos. Medir únicamente rendimiento no permitiría saber si la distribución del agua es uniforme; entrevistar solo a los operadores tampoco estimaría el desempeño hidráulico. Una pregunta integrada puede ser pertinente, pero requiere aceptar un diseño más exigente. La delimitación ayuda a escoger entre estudiar una dimensión con profundidad o articular varias de manera coherente.

Del indicio al problema en el caso de riego

En una unidad productiva hipotética, los responsables observan sectores con respuesta desigual del cultivo y señalan que algunas líneas de riego requieren limpieza con mayor frecuencia. No existen mediciones recientes de presión y caudal organizadas por subunidad, y los registros de mantenimiento son incompletos. La preocupación inicial es reducir el uso innecesario de agua, pero aún no se sabe si la variación observada se relaciona con el desempeño hidráulico, con la operación o con condiciones del suelo.

La primera decisión es limitar el estudio al desempeño del sistema y a las prácticas de operación durante un periodo definido. El suelo y la respuesta del cultivo se reconocerán como factores contextuales, pero no se afirmará que el riego causa la variación agronómica mientras no se diseñe evidencia suficiente para esa relación.

Problema provisional: se desconoce cómo varían la presión y el caudal entre las subunidades seleccionadas del sistema de riego y de qué manera las prácticas documentadas de operación y mantenimiento ayudan a interpretar esa variación durante el periodo de evaluación.

Pregunta central: ¿Cómo se relaciona la variación medida del desempeño hidráulico entre las subunidades seleccionadas con las prácticas de operación y mantenimiento documentadas durante el periodo de estudio?

Objetivo general: analizar la variación del desempeño hidráulico entre las subunidades seleccionadas y su relación con las prácticas documentadas de operación y mantenimiento durante el periodo de estudio.

Objetivos específicos:

Los objetivos específicos consisten en caracterizar la presión y el caudal en puntos definidos de las subunidades seleccionadas y estimar la uniformidad de aplicación con el indicador que se establezca en el diseño metodológico. El componente de manejo describe las prácticas de operación y mantenimiento ejecutadas durante el periodo de estudio. La integración de ambas evidencias permite identificar relaciones plausibles y precisar los límites de interpretación, sin convertir la asociación observada en una explicación causal.

Una hipótesis sobre relaciones cuantitativas necesita antecedentes y condiciones de contraste; el componente sobre prácticas puede guiarse por preguntas abiertas. En el ejemplo de riego, esa distinción evita convertir explicaciones de los operadores en variables improvisadas o imponer una hipótesis causal a un diseño que no la contrasta. La Tabla 3 permite detectar preguntas que solicitan evidencia ausente de los objetivos. El control de coherencia se aplica a esas correspondencias y no presupone que una lista de componentes complete, por sí sola, las decisiones del diseño.

Tabla 3. Matriz preliminar de coherencia del caso didáctico.

Objetivo	Formulación resumida	Evidencia que sería necesaria
1. Problema	Se desconoce la variación hidráulica entre subunidades y su relación con prácticas documentadas.	Mediciones hidráulicas, registros y testimonios contextualizados.
2. Pregunta cuantitativa	¿Qué variación presentan presión, caudal y uniformidad?	Mediciones comparables en puntos y momentos definidos.
3. Pregunta cualitativa	¿Cómo se deciden y ejecutan la operación y el mantenimiento?	Entrevistas, observación o registros de prácticas.
4. Integración	¿Cómo ayudan las prácticas a interpretar los patrones medidos?	Conexión explícita entre resultados técnicos y evidencia de manejo.
5. Límite	No se estimará efecto causal sobre el rendimiento del cultivo.	Declaración del alcance y control del lenguaje causal.

Nota: Elaboración a partir de Clark y Stankey [13], DeLong et al. [14] y Barroga y Matanguihan [19].

La matriz muestra que el cuarto objetivo depende de los tres anteriores. También hace visible un límite importante: si no se mide la respuesta productiva con un diseño apropiado, el estudio no puede concluir que la variación hidráulica causó diferencias de rendimiento. Este control previo reduce la tendencia a incorporar en las conclusiones afirmaciones que no fueron respaldadas por el estudio.

La formulación comienza con una situación que pueda describirse mediante observaciones y registros. La lectura de antecedentes y la consulta de perspectivas permiten distinguir lo conocido de la información que falta. Ese vacío orienta una pregunta delimitada; los objetivos precisan la respuesta que se busca y las hipótesis se incorporan cuando el alcance permite contrastarlas. La justificación explica el valor

de esa respuesta y la evaluación de viabilidad comprueba si puede obtenerse con los recursos disponibles. El diseño metodológico convierte estas decisiones en una estrategia de producción de evidencia, con posibilidad de revisar la formulación cuando aparece una incompatibilidad.

Formulaciones que desvían el proyecto

“Riego eficiente” nombra un campo, pero no expresa una incertidumbre investigable. Para convertir el tema en problema se debe indicar qué se desconoce, en qué contexto y respecto de qué unidades, sin escribir una causa todavía no demostrada. Afirmar que la falta de mantenimiento produce baja uniformidad prejuzga el resultado; los indicios se describen y la relación se formula como pregunta o, cuando corresponda, como hipótesis contrastable.

La justificación tampoco puede descansar en la importancia general del agua o de la agricultura. Debe conectar un vacío preciso con un aporte y con usuarios reconocibles. Esa conexión se pierde cuando los objetivos se redactan como tareas: revisar literatura, aplicar instrumentos y tabular datos describen acciones, mientras que caracterizar, comparar o comprender expresan productos de conocimiento. Cada objetivo necesita conducir a una parte de la respuesta y no únicamente a una etapa administrativa [20].

Acumular preguntas independientes amplía silenciosamente unidades, instrumentos y análisis. Una pregunta central con subpreguntas indispensables permite controlar el alcance y decidir si una hipótesis aporta dirección o introduce una obligación artificial. Los estudios descriptivos, exploratorios o cualitativos pueden trabajar sin hipótesis; cuando se formule una, deberá derivarse de antecedentes y ser susceptible de contraste. Incluso entonces, una asociación entre variables no demuestra que una cause la otra, de modo que problema, objetivos y conclusiones deben conservar el lenguaje permitido por el diseño.

La escala, el tiempo y la viabilidad completan la formulación. Una medición puntual no representa por sí sola todo el ciclo, ni una muestra de emisores caracteriza automáticamente la unidad productiva. Esos límites deben declararse desde la pregunta. También deben confrontarse temprano con acceso, duración, equipo,

seguridad y capacidad de análisis. Descubrir al final que falta un recurso esencial obliga a rehacer el proyecto; examinarlo durante la formulación permite reducir el alcance sin romper su coherencia.

La arquitectura que recibe el diseño

Al terminar la formulación deben quedar resueltas varias decisiones que al inicio competían entre sí. Los antecedentes permiten reconocer el vacío; la delimitación establece contexto, periodo y unidades; la pregunta expresa qué respuesta se buscará. Las perspectivas de los actores ayudan a comprobar si ese recorte conserva el problema relevante o solo su versión más fácil de medir.

La hipótesis interviene cuando existe una relación anticipada que el diseño puede contrastar. En otros estudios no hace falta. Los objetivos indican el conocimiento que se producirá, mientras que las actividades pertenecen al procedimiento. La justificación defiende el aporte y la viabilidad lo enfrenta con acceso, ética, tiempo, recursos y capacidades. Si estas piezas piden respuestas diferentes, la formulación aún no está cerrada.

El producto del capítulo es, por tanto, una arquitectura y no un diseño completo. Reconoce escalas y relaciones biofísicas, tecnológicas y humanas, pero selecciona solo las necesarias para la pregunta. El capítulo siguiente convertirá ese recorte explícito en reglas de observación y comparación.

Restricciones de viabilidad

La Tabla 4 organiza decisiones de viabilidad que pueden modificar una pregunta antes del trabajo de campo. En lugar de declarar que el proyecto es factible de manera general, relaciona cada restricción con una comprobación y una consecuencia metodológica.

Tabla 4. Restricciones de viabilidad y respuesta metodológica.

Restricción	Comprobación	Decisión metodológica	Registro necesario
Acceso a sectores del sistema	Autorización y recorrido permitido	Delimitar población accesible	Sectores incluidos y excluidos
Ventana de operación	Horarios y duración efectiva	Ajustar momentos de observación	Periodo representado y límites temporales
Instrumentos disponibles	Rango, resolución y verificación	Elegir propiedades medibles con validez	Identificación y condiciones instrumentales
Participación de operadores	Disponibilidad y consentimiento	Justificar selección de participantes	Criterios de inclusión y protección
Recursos de análisis	Capacidad y herramientas disponibles	Ajustar objetivos al análisis viable	Procedimientos y apoyo requerido

Restringir el acceso cambia la población representada; acortar una ventana de operación limita las condiciones temporales cubiertas. Estos ajustes afectan lo que el estudio puede responder y deben reflejarse en preguntas y objetivos. La viabilidad no se resuelve reduciendo mediciones mientras se mantiene intacta la promesa de generalización: exige revisar conjuntamente alcance, selección y conclusión.

Para aplicar los criterios de formulación, el estudiante elabora una ficha de su propio problema agrícola. El ejemplo de riego y la matriz de coherencia desarrollados en el capítulo sirven para revisar la relación entre sus campos. La ficha describe la situación mediante hechos observables e identifica actores, lugar, periodo y unidades potenciales. Los antecedentes principales y los métodos utilizados en estudios previos permiten precisar el vacío de conocimiento y explicar por qué importa resolverlo.

La delimitación conceptual, espacial, temporal y poblacional encuadra la pregunta central y las subpreguntas indispensables. El objetivo general y los objetivos específicos indican qué respuesta se busca; las hipótesis se añaden solo cuando corresponden al alcance. La justificación distingue el aporte teórico, metodológico, práctico, social o ambiental que puede sostenerse en ese contexto, sin asumir que todas esas contribuciones estarán presentes en el mismo estudio.

La ficha también documenta acceso, tiempo, recursos, capacidades, seguridad y ética. Esas condiciones se confrontan con la evidencia requerida para delimitar las afirmaciones que el estudio no estará en condiciones de sostener. El producto de la actividad conserva así tanto la propuesta como sus límites, en lugar de presentar una aspiración general desconectada de su ejecución.

La revisión de la ficha comprueba que la pregunta y los objetivos soliciten la misma clase de evidencia. En el caso de riego, presión y caudal describen el comportamiento hidráulico, mientras que los registros de operación sitúan las prácticas; ninguno de esos componentes documenta rendimiento o eficiencia del uso del agua. Un objetivo que incorpore esas propiedades requiere otra cadena de evidencia. Detectar esa diferencia permite ajustar el alcance sin presentar una limitación como si fuera un hallazgo.

Ejercicios de delimitación y coherencia

Ejercicio 1. Observe una situación agrícola de su entorno y redacte por separado la idea, el tema y el problema provisional. Explique qué información falta para completar la formulación.

Muestra breve: Idea: descartes durante el almacenamiento. Tema: conservación poscosecha. Problema provisional: se desconoce cómo varían los tipos de daño entre lotes durante un periodo definido; faltan registros de temperatura y criterios de clasificación.

Ejercicio 2. Seleccione una afirmación causal habitual en el campo (por ejemplo, “el suelo compactado reduce el rendimiento”) y transfórmela en una pregunta que no dé la causa por demostrada.

Muestra breve: “¿Qué relación existe entre la compactación medida y el rendimiento registrado en las parcelas seleccionadas?” permite examinar una asociación sin dar por demostrado un efecto causal.

Ejercicio 3. Localice tres antecedentes sobre un mismo problema. Compare contexto, unidades, métodos y limitaciones; después formule un vacío que no se base únicamente en la ausencia de estudios locales.

Muestra breve: Si tres estudios emplean distintas profundidades de muestreo, un vacío posible es desconocer si sus patrones se mantienen bajo un procedimiento comparable. Sustente la comparación con los artículos que lea; no atribuya este ejemplo a fuentes reales.

Ejercicio 4. Redacte una pregunta descriptiva, una comparativa, una relacional y una cualitativa para una situación de pérdidas poscosecha. Señale qué evidencia necesitaría cada una.

Muestra breve: Pregunta descriptiva: “¿Qué tipos de daño presentan los lotes almacenados durante el periodo elegido?”. Requiere una clasificación verificable y un registro de lotes; complete las otras preguntas con sus evidencias respectivas.

Ejercicio 5. Evalúe una de sus preguntas con los criterios de factibilidad, interés, novedad, ética y relevancia. Proponga un ajuste concreto para el criterio más débil.

Muestra breve: Una pregunta sobre todas las fincas de una región puede ser inviable si solo existe acceso a una organización. Un ajuste factible delimita la población accesible y declara el alcance local.

Ejercicio 6. Construya un objetivo general y entre dos y cuatro objetivos específicos. Revise que ninguno sea solo una actividad y que todos contribuyan a responder la pregunta central.

Muestra breve: Objetivo general: describir la variación de caudal en las unidades seleccionadas. Objetivo específico: caracterizar el caudal por posición y jornada. “Comprar un recipiente” es una actividad y no un objetivo de conocimiento.

Ejercicio 7. Decida si su propuesta requiere hipótesis. Justifique la decisión según el alcance y, si corresponde, formule una hipótesis susceptible de contraste.

Muestra breve: Una pregunta sobre cómo los operadores interpretan el mantenimiento puede orientar una indagación cualitativa sin hipótesis estadística. Una relación esperada entre presión y caudal requiere justificar cómo se contrastaría.

Ejercicio 8. Prepare una matriz como la Tabla 3. Marque cualquier objetivo para el que no pueda identificar evidencia accesible.

Muestra breve: Fila inicial: objetivo, caracterizar caudal; evidencia, volumen y tiempo; unidad, emisor; límite, no estimar rendimiento. Añada las filas de su proyecto y marque evidencias que todavía no puede obtener.

Ejercicio 9. Escriba un párrafo de justificación sin utilizar las expresiones “es muy importante”, “beneficiará a todos” ni “no existen estudios”. Fundamente el aporte de manera específica.

Muestra breve: “El registro de caudal por posición permite reconocer qué sectores requieren una evaluación técnica más detallada; el diagnóstico se limita al sistema y periodo observados”. Amplíe el aporte con evidencia de su contexto.

Ejercicio 10. Identifique dos límites de inferencia de su propuesta y explique cómo deberían reflejarse en el título, los objetivos o las conclusiones futuras.

Muestra breve: Si se estudia una sola jornada, el título puede decir “Caracterización del caudal durante una jornada de operación”. Evite anunciar un comportamiento anual o una representación regional.

Capítulo 3. Diseño metodológico de investigación en ingeniería agrícola

De la pregunta a las reglas de producción de evidencia

Veinte lecturas tomadas en emisores de una misma lateral describen veinte puntos; no representan veinte sistemas independientes ni veinte repeticiones de un tratamiento. Esta diferencia, fácil de perder cuando se abre una hoja de cálculo, resume la función del diseño metodológico: establecer cuándo una observación puede utilizarse como evidencia y cuál es el dominio legítimo de la conclusión.

La pregunta y los objetivos construidos en el capítulo anterior todavía no indican dónde observar, cuántas veces hacerlo ni qué comparación permitirá responder; tampoco resuelven cómo separar una diferencia espacial del efecto atribuido a una práctica. Diseñar consiste en coordinar esas decisiones antes de reunir los registros, de modo que alcance, variables o categorías, unidades y selección describan una misma lógica.

El caso de riego muestra por qué una formulación aparentemente precisa puede admitir diseños distintos. Analizar la variación hidráulica y relacionarla con prácticas de mantenimiento podría significar observar el sistema tal como funciona, medir antes y después de una intervención o repetir registros a lo largo del ciclo. Cada opción modifica la respuesta posible. Si no hay manipulación ni asignación de tratamientos, la coincidencia entre mantenimiento y desempeño deberá interpretarse como asociación, no como efecto demostrado.

Por esa razón, etiquetas como “descriptivo”, “experimental” o “aleatorio” resultan insuficientes sin unidades, momentos y procedimientos. Casler [21] presenta el diseño experimental como una serie de decisiones creativas y destaca replicación, aleatorización, bloqueo y tamaño de la unidad experimental. Estos principios adquieren sentido cuando se aplican en la escala donde ocurre el tratamiento; recitarlos no convierte en experimento una observación del sistema.

El espacio y el tiempo añaden dificultades propias del trabajo agrícola. La posición distingue emisores de una misma línea; el suelo y el historial de manejo separan parcelas contiguas; una medición posterior a la limpieza de filtros quizá no represente

la operación habitual. La experimentación en finca incorpora esas restricciones productivas y, al mismo tiempo, permite estudiar el problema donde se toman las decisiones. Lacoste et al. [22] la describen como un proceso integrado en el manejo y orientado a explorar problemas complejos e inciertos.

Sobre esta base, el capítulo diferencia enfoque, alcance y diseño, y después desarrolla operacionalización, unidades, población, muestra y selección. La matriz resultante será todavía provisional. En el capítulo siguiente deberá convertirse en procedimientos e instrumentos capaces de funcionar bajo condiciones de campo.

El diseño como lógica de producción de evidencia

El diseño conecta cuatro momentos que suelen revisarse por separado: pregunta, producción de evidencia, análisis e inferencia. Antes del campo debe anticipar qué se observará, cuántas veces, en cuáles unidades y mediante qué comparación. También debe reconocer dónde puede romperse esa relación: cambios temporales, variación espacial, observaciones dependientes, pérdidas o selección sesgada [23].

Esta función lo diferencia de otros componentes. El enfoque define una lógica general de producción y análisis; el alcance precisa si se busca describir, comparar, relacionar, explicar o comprender; la técnica indica cómo se obtiene información y el instrumento, con qué medio se registra. El diseño organiza las condiciones bajo las cuales esas piezas responderán juntas. Un manómetro puede utilizarse en varios diseños. Poseerlo no decide la pregunta ni la inferencia.

Prepararlo antes de recolectar tampoco obliga a conservar un plan inviable. El piloto puede descubrir un marco desactualizado, una variación temporal inesperada o una pregunta ambigua para los participantes. Corregir el diseño es legítimo cuando se registra el cambio y se examina su efecto. Modificar después, en silencio, exclusiones o comparaciones para favorecer el resultado elimina la referencia con la cual debía evaluarse el estudio.

Conviene revisar el plan mediante preguntas concretas. ¿Los datos responden realmente la pregunta? ¿Las condiciones se medirán con reglas comparables? ¿El estudio puede descartar alternativas suficientes para la atribución que pretende? ¿Las

unidades y su selección sostienen el dominio de la conclusión? La respuesta puede ser fuerte en un aspecto y débil en otro. Precisión instrumental y tamaño de muestra no corrigen, respectivamente, selección sesgada o variable mal definida.

Una amenaza solo resulta útil cuando conduce a una decisión. La topografía puede justificar estratos o bloques; los cambios entre jornadas, repetición temporal y bitácora; la pérdida de unidades, reglas de seguimiento; la influencia del observador, capacitación y comparación. Después del control quizá permanezca una limitación, y también debe declararse. La lista genérica de sesgos no cumple esta tarea porque no indica qué relación está en riesgo.

Alcance descriptivo, relacional, explicativo y comprensivo

El alcance se reconoce por la clase de respuesta buscada. Un estudio descriptivo caracteriza la distribución o comportamiento de un fenómeno: presión, caudal, pérdidas o prácticas. Un estudio comparativo examina diferencias entre condiciones o grupos. Un estudio relacional estima cómo varían conjuntamente dos o más propiedades. Un alcance explicativo intenta establecer por qué ocurre un cambio y exige descartar explicaciones alternativas con mayor rigor. En una investigación comprensiva o interpretativa, el interés puede concentrarse en decisiones, experiencias y procesos situados.

Estas categorías no forman una jerarquía de calidad. Una descripción rigurosa puede ser el aporte necesario cuando se desconoce la magnitud o distribución del fenómeno. El error aparece al declarar un alcance explicativo y utilizar un diseño que solo registra coexistencias. Barroga y Matanguihan [19] muestran que la estructura de las preguntas condiciona el diseño y distinguen preguntas cuantitativas descriptivas, comparativas y relacionales, además de preguntas cualitativas orientadas a explorar o comprender. La selección del alcance debe comenzar allí y mantenerse en objetivos, análisis y conclusiones.

El alcance puede variar entre componentes de un mismo proyecto. El caso de riego describe presión y caudal, explora relaciones entre ambas propiedades y busca comprender prácticas de operación. Ninguna de esas funciones, por separado o reunidas, convierte el estudio observacional en demostración causal. Declarar el

alcance por componente evita que la amplitud de un diseño mixto se interprete como mayor fuerza inferencial.

La decisión requiere identificar qué resultado sería suficiente para cumplir el objetivo. Un alcance descriptivo necesita representar adecuadamente distribución, contexto y variabilidad; uno comparativo requiere condiciones diferenciables y una base legítima de contraste; uno relacional, observaciones vinculadas y alternativas examinadas; uno explicativo, temporalidad y control capaces de atribuir efectos; uno comprensivo, casos y evidencia que permitan reconstruir procesos. Formular estos criterios antes del campo orienta selección, instrumentos y análisis.

Diseño experimental y no experimental

En un experimento, el investigador asigna deliberadamente uno o más tratamientos a unidades experimentales y organiza comparaciones para estimar sus efectos. La asignación aleatoria ayuda a evitar que la elección de las unidades favorezca sistemáticamente un tratamiento; la replicación permite estimar la variación entre unidades tratadas de la misma manera; el bloqueo agrupa unidades relativamente semejantes para controlar una fuente conocida de heterogeneidad [21]. Un experimento no se define por realizarse en laboratorio: puede ejecutarse en campo, invernadero, planta poscosecha o sistema de riego.

Un diseño cuasiexperimental introduce una intervención, pero carece de alguna condición central de la asignación aleatoria o del control. Puede ser necesario cuando las parcelas ya reciben prácticas diferentes o cuando la operación impide reasignarlas. Su utilidad depende de reconocer qué factores quedan confundidos y de utilizar comparaciones temporales, grupos de referencia u otras estrategias justificadas. Llamarlo experimental sin explicar esas restricciones sobrestima la capacidad causal.

En un diseño no experimental u observacional, las condiciones se registran tal como ocurren, sin asignar tratamientos. Puede ser transversal si representa un periodo acotado o longitudinal si sigue cambios a través del tiempo. Estos estudios permiten describir patrones, comparar grupos existentes y analizar relaciones; su interpretación debe considerar variables de confusión y sesgo de selección. El caso

de riego planteado en el capítulo 2 es, en su versión inicial, observacional: documenta desempeño y prácticas existentes. Convertirlo en experimento exigiría definir una intervención, asignarla a unidades comparables y controlar su aplicación.

Los diseños cualitativos organizan la selección de casos o participantes, los contextos de observación, la producción de información y el proceso interpretativo. Su calidad no depende de imitar un muestreo probabilístico, sino de que la selección permita comprender el proceso estudiado, que las decisiones sean transparentes y que las interpretaciones se sostengan en evidencia contextualizada. En un diseño mixto, los componentes cuantitativo y cualitativo deben integrarse en un punto identificable: formulación, selección, recolección, análisis o interpretación.

Entre las etiquetas generales existen decisiones temporales que no pueden omitirse. Un corte transversal compara condiciones observadas en un periodo acotado y es vulnerable a confundir diferencias entre unidades con cambios en el tiempo. Un seguimiento longitudinal conserva la secuencia temporal, pero debe afrontar pérdidas, cambios de instrumento y dependencia entre observaciones. En un experimento, medir antes y después no basta si los cambios externos afectan de manera distinta a los grupos. La estructura temporal forma parte del diseño y no debe reducirse a indicar fechas en el cronograma.

La elección experimental también exige definir qué constituye el tratamiento y verificar su aplicación. Comparar parcelas que ya reciben manejos diferentes puede aportar información, pero las diferencias previas quedan mezcladas con el manejo. Si se asigna un tratamiento, debe registrarse dosis, momento, responsable, desviaciones y posibles contaminaciones entre unidades. Sin fidelidad de aplicación, el contraste nominal entre grupos no representa la comparación que el protocolo prometió.

La decisión entre diseños debe incorporar las consecuencias prácticas y éticas de intervenir. Asignar un manejo potencialmente perjudicial, interrumpir una operación productiva o negar una práctica necesaria a un grupo puede ser inaceptable, aunque mejore el control estadístico. En estos casos puede recurrirse a observación, introducción escalonada u otras comparaciones justificadas, reconociendo la pérdida

de capacidad causal. El diseño más fuerte en abstracto no siempre es el más responsable ni el más viable para el sistema estudiado.

Escalas físicas, temporales y operativas del diseño agrícola

La unidad física visible no siempre coincide con la unidad que sostiene una inferencia. En un ensayo de riego, medir veinte emisores dentro de una única parcela tratada no produce veinte repeticiones independientes del tratamiento. Los emisores son unidades de observación dentro de una sola unidad experimental si el tratamiento se aplicó a toda la parcela. Hurlbert denomina seudorreplicación a la situación en que las observaciones internas se tratan como si fueran repeticiones independientes del tratamiento. El cálculo puede generar un valor estadístico, pero la comparación no adquiere por ello una interpretación válida [24].

La escala de aplicación y la escala de medición deben registrarse por separado. Un tratamiento de labranza puede aplicarse a una parcela, mientras que la compactación se mide en varios puntos y el rendimiento en una franja central. Los puntos mejoran la caracterización de cada parcela, pero no sustituyen parcelas replicadas. Del mismo modo, repetir cinco veces la lectura del mismo sensor permite evaluar estabilidad instrumental, no representa cinco unidades del sistema.

La experimentación agrícola en condiciones productivas introduce decisiones logísticas que forman parte del diseño. El paso de maquinaria puede imponer parcelas grandes; el calendario de riego limita momentos de medición; un productor puede retirar una franja o modificar una práctica ante un riesgo. Lacoste et al. [22] subrayan que la experimentación en finca se integra en operaciones reales y aprovecha la variabilidad como fuente de aprendizaje. Esa cercanía con la práctica no elimina la necesidad de trazabilidad: obliga a registrar con especial cuidado desviaciones, intervenciones no previstas y condiciones ambientales.

La variabilidad espacial merece una atención equivalente. Lawrence et al. [25] muestran, para el muestreo de suelos, que el objetivo (estimar un promedio del campo o representar patrones locales) modifica la población, las unidades, la disposición y el tamaño de la muestra. Las propiedades del suelo pueden variar a escalas diferentes y un recorrido en zigzag elegido “al azar” no constituye

necesariamente una selección aleatoria. Aunque el objeto del caso sea un sistema de riego, la lección es transferible: el patrón de muestreo debe corresponder con el propósito y con la estructura espacial esperada.

Variables, categorías e indicadores

Una variable es una propiedad que puede adoptar valores diferentes entre unidades o momentos. La presión, el caudal, la duración del mantenimiento y el tipo de obstrucción pueden registrarse como variables, pero su naturaleza determina qué operaciones son válidas. Las variables cuantitativas expresan cantidades; pueden ser continuas, como presión, o discretas, como número de limpiezas. Las cualitativas identifican categorías nominales sin orden necesario, o categorías ordinales con una secuencia interpretable.

La clasificación como independiente o dependiente solo tiene sentido respecto de una relación analítica. En un experimento, la variable independiente corresponde al factor manipulado y la dependiente, a la respuesta observada. En un estudio observacional puede hablarse con mayor prudencia de variable explicativa, predictora, de exposición o de resultado, porque la denominación “independiente” puede insinuar un control inexistente. Una misma propiedad cambia de función entre estudios: la humedad del suelo puede ser resultado de una estrategia de riego o variable explicativa del crecimiento vegetal.

Las categorías orientan la organización de evidencia cualitativa. Algunas se proponen a partir del problema y los antecedentes; otras emergen o se refinan durante el análisis. “Criterios para decidir una limpieza”, “restricciones de tiempo” y “señales de falla reconocidas por el operador” podrían iniciar el estudio del manejo. No son variables disfrazadas ni requieren convertirse siempre en números. Deben definirse con suficiente claridad para guiar la producción de información sin cerrar de antemano aquello que los participantes puedan aportar.

Un indicador conecta un concepto con una evidencia observable. Arias Gonzáles [26] organiza la operacionalización cuantitativa mediante definición conceptual, definición operacional, dimensiones, indicadores y escala de medición. Esta propuesta resulta útil como guía, siempre que no se aplique mecánicamente: una

variable simple puede observarse directamente, mientras que un constructo complejo necesita varias dimensiones. En ingeniería agrícola, la presión registrada en kilopascales puede ser una variable directa; “calidad del mantenimiento” exige criterios explícitos y quizá varias fuentes de información.

La selección de variables debe ser parsimoniosa. Registrar una propiedad porque el instrumento la ofrece o porque aparece en otros estudios aumenta comparaciones, costos y riesgo de interpretaciones oportunistas. Cada variable necesita una función reconocible: describir el sistema, responder un objetivo, controlar una amenaza, estratificar la selección o documentar el procedimiento. Si no cumple ninguna, puede reservarse como dato auxiliar claramente identificado o excluirse antes de la captura.

Los indicadores complejos requieren examinar validez de contenido y consecuencias de agregación. Resumir varias dimensiones en un único índice facilita comparar, pero puede ocultar que dos unidades obtuvieron el mismo valor por combinaciones distintas. Antes de agregar conviene justificar ponderaciones, dirección de la escala, tratamiento de faltantes y significado de los puntos de corte. En el caso de riego, el indicador de variación no debe elegirse solo por costumbre: su fórmula, dominio de cálculo y sensibilidad a valores extremos deben corresponder con la pregunta.

La relación entre variable y tiempo merece una definición explícita. Algunas propiedades cambian durante minutos, otras entre jornadas o ciclos. Registrar “humedad del suelo” sin indicar momento respecto del riego, profundidad y ubicación produce valores difíciles de comparar. Una variable temporal puede ser resultado, factor de estratificación o fuente de dependencia; el diseño debe decidir cuál función cumple antes de organizar la base.

De la definición conceptual a la operacional

La definición conceptual precisa qué significa una propiedad dentro del estudio y la diferencia de términos próximos. La definición operacional declara cómo se reconocerá o medirá: instrumento, unidad, procedimiento, momento, cálculo y reglas de registro. Operacionalizar no consiste en copiar una definición de diccionario dentro de una tabla; exige construir una correspondencia defendible entre concepto y observación.

Considérese la “variación del caudal”. Conceptualmente se refiere a las diferencias de descarga entre puntos del sistema bajo condiciones delimitadas. Operacionalmente habrá que indicar qué emisores se medirán, durante cuánto tiempo se recolectará agua, qué recipiente se utilizará, cómo se transformará volumen y tiempo en caudal, qué condiciones de presión se registrarán y qué indicador resumirá la dispersión. Si dos equipos aplican procedimientos distintos, pueden obtener valores no comparables, aunque utilicen el mismo nombre.

La escala de medición también limita el análisis posterior. Las variables nominales permiten distinguir categorías; las ordinales agregan orden; las escalas cuantitativas admiten operaciones de acuerdo con sus propiedades y unidades. No es necesario anticipar en este capítulo cada prueba estadística, pero sí evitar inconsistencias evidentes, como proponer promedios para códigos nominales o definir una variable continua mediante categorías arbitrarias y después tratar esas categorías como mediciones exactas.

La operacionalización debe incluir condiciones de calidad. Un instrumento puede ser preciso y, sin embargo, inadecuado para el rango esperado; una lectura puede depender de la calibración, la posición o el tiempo de estabilización. Registrar unidad, resolución, calibración, responsable y regla para datos faltantes permite separar la propiedad estudiada de errores introducidos por el procedimiento. El capítulo 4 profundizará en instrumentos y control de datos; aquí importa dejar claro qué evidencia necesita cada objetivo.

Una prueba de coherencia consiste en recorrer la operacionalización en ambos sentidos. Desde el objetivo se debe llegar a una propiedad, un indicador, una unidad y un registro; desde cada campo del instrumento se debe poder regresar a una función del diseño. Si una medición no conduce a ningún objetivo, sobra o necesita justificación. Si un objetivo no llega a ningún registro, el proyecto promete una respuesta que no podrá producir.

La definición operacional debe conservar las condiciones bajo las cuales el valor tiene sentido. Presión estabilizada, caudal calculado y evento de mantenimiento pertenecen a niveles y tiempos distintos. Para relacionarlos se requieren

identificadores comunes, ventanas temporales y reglas previas de correspondencia. Sin esa conexión, la base podría contener todas las columnas previstas y aun así impedir la integración anunciada.

La validez de una operación se examina comparando el indicador con el concepto. Un procedimiento puede ser reproducible y medir de manera constante una propiedad diferente de la prevista. Si se define “desempeño del riego” solo mediante presión, se omiten descarga, distribución y condiciones de uso; si se define “mantenimiento” por número de intervenciones, se pierde su tipo, oportunidad y necesidad. Operacionalizar implica aceptar una representación parcial y explicar por qué es suficiente para el objetivo concreto.

Unidad de estudio, unidad experimental y unidad de observación

La unidad de estudio es la entidad sobre la que se busca producir conocimiento [27]. Puede ser una finca, una subunidad de riego, un lote de producto, una máquina, un operador o una organización. La unidad experimental es la menor unidad a la que se asigna independientemente un tratamiento. La unidad de observación es aquella donde se realiza una medición o registro. En algunos diseños coinciden; en otros, una unidad experimental contiene varias unidades de observación.

Esta distinción define el tamaño efectivo de la investigación. Si cuatro tratamientos se aplican a cuatro parcelas, una por tratamiento, medir cien plantas en cada parcela no crea replicación del tratamiento. Las plantas constituyen submuestras; la comparación de tratamientos sigue basada en una sola parcela por condición. La replicación debe ocurrir en la escala de asignación, tal como advierte Casler [21]. Antes de calcular un tamaño muestral, conviene dibujar cómo se organizan las unidades: una finca puede contener bloques y parcelas con plantas observadas; un sistema de riego puede contener subunidades y laterales con emisores seleccionados. Esa organización permite reconocer en qué nivel se asigna una intervención y dónde se registra su respuesta.

También debe diferenciarse una medida repetida de una nueva unidad. Registrar el mismo emisor en varias fechas aporta información temporal y permite estudiar cambios, pero las lecturas pertenecen al mismo elemento y están vinculadas.

Suponer independencia entre ellas infla artificialmente la cantidad de evidencia. La estructura del archivo de datos debe conservar identificadores para cada nivel y momento; de ese modo, el análisis posterior podrá respetar la dependencia.

La jerarquía determina además dónde se producen los errores y las pérdidas. Si falla un sensor que registra toda una subunidad, el problema afecta un nivel distinto del que tendría una lectura ausente en un emisor. Si una parcela abandona un ensayo, se pierde una unidad experimental completa, aunque permanezcan muchas mediciones internas. Registrar el nivel de cada incidencia permite evaluar si disminuyó la precisión, se rompió una comparación o cambió el dominio de inferencia.

El término unidad de análisis debe utilizarse con cautela. Puede referirse al nivel en que se resumen o modelan los datos y no siempre coincide con la unidad de observación. Si los caudales se registran por emisor, sin embargo, se resumen por subunidad y jornada, ambas escalas deben aparecer en el plan. Nombrar una sola unidad sin dibujar la estructura oculta dependencias y favorece errores de denominador. La Figura 7 permite evitar contar puntos y jornadas como sistemas independientes.

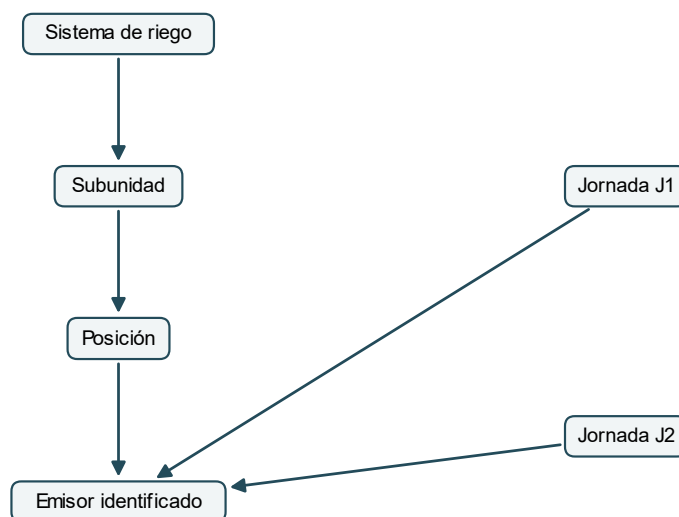


Figura 7. Jerarquía espacial y repetición temporal del riego.

La pertenencia espacial se conserva, aunque un emisor se mida en jornadas diferentes. Por ello, una fila adicional no equivale automáticamente a una unidad independiente: representa un punto y un momento dentro de la jerarquía.

Población, marco muestral y muestra

La población objetivo reúne las unidades sobre las que se desean formular conclusiones. La población accesible comprende aquellas que pueden estudiarse bajo las condiciones reales del proyecto [28]. El marco muestral es la lista, mapa o representación que permite localizar y seleccionar unidades [29]. La muestra es el subconjunto efectivamente observado. Si estos cuatro elementos no coinciden, el alcance de inferencia debe limitarse.

En una evaluación de riego, la población objetivo podría ser el conjunto de emisores activos de las subunidades seleccionadas durante el periodo de estudio. El plano actualizado y la identificación física de líneas formarían parte del marco. Los emisores inaccesibles, reemplazados o fuera de servicio requieren reglas previas; excluirllos después de medir porque producen valores extremos sesgaría la descripción. Si el marco omite sistemáticamente los sectores problemáticos, una selección aleatoria dentro de él no corrige la falta de cobertura.

Un censo observa todas las unidades de la población accesible y puede ser razonable cuando son pocas, como los responsables directos de operar un sistema. Su cobertura completa no elimina errores de medición, no respuesta o definiciones ambiguas. La revisión comienza por el marco: contrastar planos, inventarios y verificación física permite registrar altas y bajas y establecer una fecha de cierre. Una lista desactualizada puede excluir precisamente las unidades con fallas o incluir elementos inexistentes. En poblaciones grandes, una muestra bien diseñada puede resultar más defendible que un registro extenso pero desordenado; la aleatorización distribuye la selección dentro del marco disponible, sin reparar aquello que ese marco deja fuera.

La no respuesta o inaccesibilidad también modifica la muestra efectiva. Sustituir una unidad por la más cercana altera probabilidades y puede concentrar la selección en zonas fáciles. El protocolo debe definir intentos, criterios de reemplazo y forma de

reportar pérdidas. Al final se comparan muestra planificada y observada para ajustar el alcance, no para simular que la cobertura fue completa.

En poblaciones dinámicas, el marco puede cambiar durante el estudio. Emisores se reemplazan, parcelas salen de producción y operadores cambian de función. Debe definirse si la población queda fijada en una fecha o si se actualiza, y cómo se tratarán entradas y salidas. Sin esa regla, el denominador puede variar silenciosamente entre jornadas y volver ambiguas las proporciones o comparaciones.

Muestreo probabilístico y no probabilístico

En el muestreo probabilístico, cada unidad tiene una probabilidad conocida de selección. El muestreo aleatorio simple selecciona unidades desde un marco completo; el sistemático elige un inicio aleatorio y un intervalo, siempre que el patrón no coincida con una periodicidad del terreno; el estratificado divide la población en grupos pertinentes y selecciona dentro de cada uno; el muestreo por conglomerados elige grupos naturales y puede combinarse en varias etapas.

La estratificación resulta útil cuando se conocen fuentes de variación que deben quedar representadas, como subunidad, posición a lo largo de la lateral, tipo de suelo o zona topográfica. No debe confundirse con escoger manualmente puntos “representativos”. Lawrence et al. [25] señalan que la aleatorización y la estratificación sustentan la inferencia basada en el diseño y que las decisiones de población, unidad, cantidad y localización están interrelacionadas. El costo y la accesibilidad importan, pero deben discutirse como restricciones, no ocultarse bajo la palabra “aleatorio”.

El muestreo no probabilístico selecciona unidades por criterios de acceso, propósito, experiencia o desarrollo conceptual. Es apropiado en componentes cualitativos cuando se buscan participantes capaces de informar sobre un proceso específico, casos contrastantes o situaciones que amplíen la comprensión. No permite estimar automáticamente la frecuencia de una opinión en toda una población. Expresiones como “la mayoría de los productores” requieren una base de selección y un denominador adecuados; una entrevista intencional puede revelar mecanismos o perspectivas, no prevalencias poblacionales.

En estudios mixtos pueden coexistir estrategias diferentes sin contradicción. Los emisores podrían seleccionarse probabilísticamente para estimar parámetros del sistema, mientras que los operadores se incluyen por responsabilidad directa o mediante censo. La coherencia se evalúa por componente y por la forma de integración, no porque todas las unidades deban seguir la misma lógica.

La selección intencional necesita criterios positivos, no una referencia genérica a la conveniencia. Puede buscar diversidad de responsabilidades, experiencia con eventos concretos, casos contrastantes o posiciones capaces de informar una decisión. Deben registrarse los criterios, quién los aplicó y cuándo dejó de incorporarse nueva evidencia. Esta transparencia permite juzgar qué perspectivas están representadas y cuáles permanecen fuera.

En el muestreo probabilístico, la probabilidad conocida debe conservarse hasta el análisis. Si algunos estratos se seleccionan con fracciones distintas, los resúmenes globales pueden requerir ponderación; si existen conglomerados, la precisión debe reconocer la semejanza interna. Presentar todos los registros como si procedieran de una selección aleatoria simple elimina información esencial del diseño. La Figura 8 permite distinguir cantidad de lecturas de número de unidades experimentales.



Figura 8. Submuestras y replicación en escalas diferentes.

Los puntos internos caracterizan una parcela, pero no replican el tratamiento aplicado a toda ella. En un experimento comparativo, la replicación depende de unidades a las que se asigna el tratamiento de manera independiente, además de los controles del diseño. El esquema distingue escalas sin proponer un número suficiente de repeticiones ni sustituir la planificación estadística.

Tamaño de muestra, precisión y alcance de inferencia

No existe un número universal que vuelva suficiente una muestra. El tamaño depende del objetivo, la variabilidad esperada, la precisión requerida, el efecto mínimo de interés, el diseño, la cantidad de grupos, la dependencia entre observaciones y las pérdidas previsibles. También requiere información previa: antecedentes comparables, registros históricos o un piloto. Elegir un porcentaje fijo de la población sin justificar estos elementos produce una cifra fácil de calcular, pero no necesariamente útil.

En experimentos, aumentar observaciones dentro de una unidad no compensa la falta de unidades experimentales independientes. La prioridad es replicar en la escala adecuada y distribuir los recursos entre unidades y submuestras. Casler [10] explica que la replicación permite estimar la variación de fondo, mejora la precisión y amplía las condiciones representadas; también señala que el bloqueo puede reducir variación cuando agrupa unidades relativamente homogéneas.

En muestreo espacial, la cantidad no puede separarse de la disposición. Lawrence et al. [25] documentan que los requerimientos cambian entre propiedades, campos y objetivos, y recomiendan declarar el alcance de inferencia y las variables de confusión. Una cuadrícula densa puede servir para mapear un patrón, mientras que una muestra aleatoria estratificada puede ser más apropiada para estimar un promedio por zona. Más puntos no corrigen un patrón de selección que excluye parte de la variabilidad relevante.

La decisión final debe incluir un análisis de sensibilidad o precisión acorde con el diseño, preferiblemente con apoyo estadístico. Cuando no existen estimaciones previas confiables, un piloto puede servir para evaluar logística, variabilidad e instrumentos, pero sus resultados deben usarse con cautela. Reducir el tamaño por

presupuesto es una decisión posible; exige redefinir la precisión, el alcance o la pregunta y documentar el compromiso, no conservar las mismas promesas con menos evidencia.

El cálculo debe diferenciar precisión estadística y suficiencia sustantiva. Una estimación puede tener un intervalo estrecho y seguir siendo poco útil si la variable no representa la decisión relevante; una muestra pequeña puede revelar un mecanismo cualitativo bien documentado sin permitir estimar su frecuencia. En diseños mixtos, cada componente necesita su propia justificación y la integración debe explicar cómo sus alcances diferentes contribuyen a la respuesta común.

La asignación de recursos entre unidades y repeticiones internas requiere comparar fuentes de variación. Cuando la variabilidad principal ocurre entre parcelas, conviene priorizar más parcelas; cuando la lectura es inestable, pueden necesitarse duplicados técnicos. Un piloto ayuda a estimar esta distribución, pero no debe utilizarse para elegir retrospectivamente la configuración que produce el resultado más favorable. La decisión se fija antes de la recolección principal y se acompaña de un margen razonable para pérdidas.

La Figura 9 permite hacer explícita la cobertura por posición sin confundir estrato con tratamiento.

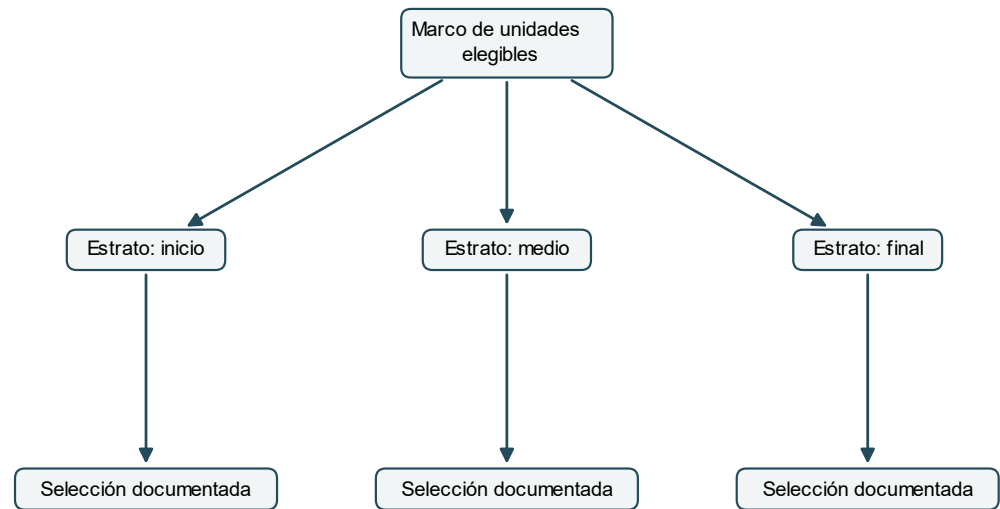


Figura 9. Selección dentro de estratos espaciales.

Las posiciones organizan la selección y no constituyen tratamientos asignados. La regla dentro de cada estrato necesita un marco identificable y debe conservarse en los registros. Cubrir inicio, medio y final no garantiza representación de todas las subunidades ni de todas las jornadas; esas dimensiones requieren decisiones adicionales del diseño.

Construcción de la matriz metodológica

La construcción del diseño parte de recuperar la pregunta y el objetivo para identificar el tipo de respuesta y las afirmaciones que el estudio deberá poder sostener. El enfoque precisa si la evidencia será cuantitativa, cualitativa o mixta; el alcance distingue descripción, comparación, relación, explicación y comprensión. Sobre esa base se decide si habrá intervención y asignación, comparación temporal, observación transversal o seguimiento. Elegir una técnica antes de resolver estas relaciones puede producir registros útiles para otra pregunta, pero insuficientes para la investigación planteada.

Las variables o categorías se incorporan por su función dentro de la pregunta, evitando propiedades que no aporten a los objetivos. La operacionalización vincula

cada concepto con indicadores, unidades, instrumentos, momentos y reglas de cálculo o clasificación. La jerarquía separa unidad de estudio, unidad experimental, unidad de observación, submuestra y medida repetida: explicitarla permite reconocer qué elementos aportan evidencia independiente y cuáles describen una misma unidad desde varios puntos o momentos.

La población y el marco especifican quiénes o qué elementos integran el universo de interés y cuáles pueden localizarse realmente. La selección y el tamaño de muestra se justifican mediante probabilidades o criterios de inclusión, disposición espacial, precisión y restricciones. Antes de ejecutar el plan, la auditoría de inferencias comprueba que cada conclusión prevista pueda derivarse de esas decisiones. La prueba piloto examina su viabilidad y ayuda a detectar ajustes necesarios sin reemplazar la evidencia principal.

El orden funciona como control lógico, aunque algunas decisiones se revisan simultáneamente. La operacionalización puede revelar que una variable es demasiado costosa; el marco puede mostrar que no existe acceso a todos los estratos; el piloto puede obligar a cambiar momentos o instrumentos. Cada ajuste debe regresar a la pregunta y al alcance para evitar que el método termine respondiendo otra investigación.

Diseños contrastados en situaciones agrícolas

Ensayo de conservación del suelo. Si se compara el efecto de dos coberturas, la parcela que recibe cada cobertura es la unidad experimental. Los puntos donde se mide infiltración son unidades de observación. Bloques orientados según pendiente o una condición edáfica conocida pueden reducir heterogeneidad, siempre que los tratamientos se asignen aleatoriamente dentro de cada bloque. Instalar muchas mediciones en una única parcela por cobertura no sustituye la replicación.

Estudio de pérdidas poscosecha. Un diseño observacional podría seleccionar lotes de producto en distintos momentos del almacenamiento y registrar masa, daño visible, temperatura y humedad. Si los mismos lotes se siguen durante varios días, las observaciones son repetidas. Para comprender prácticas de clasificación, podrían seleccionarse intencionalmente trabajadores con responsabilidades distintas. Las

estimaciones cuantitativas y los relatos no compartirían necesariamente la misma muestra, pero sí una pregunta de integración.

Muestreo de suelo. Si se desea estimar una media para toda la parcela, la población y el diseño difieren de los necesarios para elaborar un mapa detallado. La elección entre puntos aleatorios, estratos o cuadrícula depende del objetivo y de la estructura espacial. Lawrence et al. [25] advierten que profundidad, fecha, propiedad y contexto agronómico modifican los requerimientos; por ello, copiar un patrón de otro estudio sin revisar su propósito puede producir una cobertura inadecuada.

Diseño provisional del caso de riego

El caso mantiene la pregunta formulada en el capítulo 2: “¿Cómo se relaciona la variación medida del desempeño hidráulico entre las subunidades seleccionadas con las prácticas de operación y mantenimiento documentadas durante el periodo de estudio?”. Para responderla sin introducir una intervención, se propone un estudio de caso observacional, de alcance comprensivo y con integración de evidencia cuantitativa y cualitativa.

El componente cuantitativo registrará presión y caudal en puntos seleccionados del sistema durante jornadas de operación definidas. El componente cualitativo documentará cómo se deciden y ejecutan las prácticas de operación y mantenimiento mediante registros, observación e información de las personas responsables. Ambos componentes se integrarán al interpretar si los patrones técnicos coinciden con eventos o prácticas documentadas. Esta coincidencia permitirá formular explicaciones plausibles, no demostrar causalidad.

Antes de presentar la matriz, conviene recordar que todas sus decisiones son didácticas y provisionales. El número final de emisores, jornadas y subunidades dependerá del plano real, la variabilidad observada en el piloto, los recursos y el nivel de precisión acordado (Tabla 5).

Tabla 5. Operacionalización del componente cuantitativo del caso de riego.

Variable	Función	Definición operacional preliminar	Indicador o registro	Unidad o escala	Unidad o observación
Presión de operación	Explicativa	Lectura estabilizada en puntos definidos bajo una condición documentada de funcionamiento	Presión por punto y jornada	kPa	Punto de medición en la subunidad
Caudal emisor del	Resultado técnico	Volumen recolectado durante un intervalo controlado, transformado a caudal	Caudal emisor por y jornada	$L \cdot h^{-1}$	Emisor seleccionado
Variación del caudal	Resultado resumido	Dispersión de los caudales dentro de cada dominio definido	Indicador de dispersión seleccionado antes del análisis	% u otra expresión justificada	Subunidad y jornada
Posición hidráulica	Estratificación	Ubicación previamente codificada a lo largo de la lateral	Inicio, tramo medio o final	Nominal	Emisor seleccionado

Variable	Función	Definición operacional preliminar	Indicador o registro	Unidad o escala	Unidad o observación
Evento de mantenimiento	Contextual	Intervención registrada antes o durante el periodo de medición	Tipo, fecha y componente intervenido	Nominal y fecha	Subunidad o componente mantenido

Nota: Elaboración a partir de los criterios de operacionalización de Arias González [26] y de distinción entre unidades de Casler [21]. La fórmula del indicador de dispersión y los controles instrumentales se fijarán en el protocolo antes de recolectar datos.

La matriz evita convertir “desempeño hidráulico” en una medición única sin definición. Presión y caudal se registran en puntos, mientras que la variación resume un conjunto dentro de una subunidad y una jornada; por tanto, no deben confundirse sus niveles en el análisis. También conserva el evento de mantenimiento como condición contextual, porque el diseño observacional no lo asigna. Si más adelante se quisiera evaluar su efecto causal, habría que reformular la pregunta y establecer una intervención con unidades independientes comparables.

El plan de selección separa dos poblaciones: componentes físicos y responsables del manejo. Esta separación se presenta en la Tabla 6 para impedir que una sola palabra, *muestra*, oculte lógicas distintas.

Tabla 6. Unidades y selección preliminar en los componentes del caso de riego.

Componente	Población accesible	Marco	Estrategia preliminar	Alcance de la inferencia
Hidráulico	Emisores activos de las subunidades incluidas	Plano y verificación física actualizada	Estratificación por subunidad y posición; selección aleatoria dentro de cada estrato	Subunidades y periodo efectivamente representados
Temporal	Jornadas de operación dentro del periodo delimitado	Calendario real de riego	Selección de jornadas que represente condiciones previstas, con reglas fijadas antes del registro	Condiciones observadas; no todo el ciclo si queda fuera del marco temporal
Manejo	Personas con responsabilidad directa en operación o mantenimiento	Lista de funciones y responsables	Censo si el grupo es pequeño; selección intencional por función si no lo es	Procesos y perspectivas de los participantes, no prevalencia regional
Documental	Registros de operación y mantenimiento disponibles	Inventario de registros	Inclusión según criterios de periodo, autoría y legibilidad	Prácticas documentadas; las ausencias se tratarán como falta de registro

Nota: La estrategia hidráulica aplica la relación entre objetivo, población, unidades y diseño de muestreo discutida por Lawrence et al. [25]; la integración en condiciones reales toma como referencia a Lacoste et al. [22].

La tabla muestra por qué el alcance debe permanecer local. La selección probabilística de emisores puede sustentar estimaciones dentro del marco físico definido, pero no convierte una finca en muestra de todas las fincas de una región. El censo de operadores describe las perspectivas disponibles en ese sistema, no la frecuencia de prácticas entre productores. La integración gana validez cuando conserva estas fronteras y compara evidencias en el nivel apropiado, en lugar de fundirlas en una conclusión general.

En el caso de riego, la unidad productiva contiene el sistema estudiado. Dentro de ese sistema se identifican subunidades y laterales, y en cada lateral se seleccionan emisores para registrar sus propiedades. Las jornadas indican cuándo se repite la observación de un emisor; son momentos de registro, no un nivel espacial adicional. La figura 7 permite reconocer estas relaciones sin confundir la estructura física con la repetición temporal.

Los niveles no son equivalentes. El emisor es la unidad donde se registra caudal; la subunidad constituye un dominio para resumir el desempeño; la jornada introduce repetición temporal. Si existiera un tratamiento aplicado a toda una subunidad, esa subunidad sería la unidad experimental para ese factor. Dibujar la jerarquía antes de preparar la base de datos ayuda a definir identificadores y evita contar como independientes observaciones que pertenecen al mismo nivel.

Decisiones de diseño que producen inferencias engañosas

Elegir siempre encuestas, bloques completos al azar u otro diseño conocido ignora la pregunta y la escala. Cada decisión debe justificarse por la evidencia que producirá. Esta revisión comienza al distinguir unidad experimental y unidad de observación: muchas mediciones dentro de una parcela mejoran su caracterización, pero no replican un tratamiento aplicado a toda la parcela. La misma cautela se aplica al tiempo, porque medir repetidamente un elemento genera observaciones dependientes y exige conservar su identificador y momento.

La selección informal tampoco se vuelve aleatoria por utilizar esa palabra. Caminar por el campo y escoger puntos que parecen representativos deja intervenir el juicio de quien mide; una selección probabilística necesita marco, mecanismo verificable y

tratamiento coherente en el análisis. Si el marco corresponde a una finca, las conclusiones no representan automáticamente una región. Un caso local puede producir aprendizaje valioso, pero su alcance debe declararse sin ampliar el dominio cubierto.

Registrar todo lo disponible aumenta costos y comparaciones oportunistas. Cada variable o categoría requiere una función en preguntas, objetivos, control o contexto. Copiar una operacionalización de otro proyecto puede conservar el nombre y perder el concepto, porque condiciones físicas, población, rango e instrumento cambian entre sistemas. En evidencia cualitativa, asignar números a categorías facilita ordenar archivos, pero no crea una escala cuantitativa ni autoriza promedios o distancias inexistentes.

El tamaño de muestra no debe obtenerse mediante una fórmula aislada. Variabilidad esperada, precisión, efecto de interés, diseño, pérdidas y recursos modifican la decisión, por lo que se necesitan antecedentes, piloto y, cuando corresponda, asesoría estadística. Añadir plantas, emisores o lecturas dentro de la misma unidad no compensa la ausencia de unidades independientes. La solución responsable puede ser revisar la distribución de recursos o reducir la inferencia prevista, no conservar la promesa inicial mediante un conteo inflado.

Del problema formulado al plan de observación

El plan de observación ya no puede apoyarse en etiquetas sueltas. Debe indicar qué respuesta busca, en qué unidades se producirá la evidencia y mediante cuál comparación. En un experimento, la asignación, la replicación y el control de heterogeneidad sostienen la estimación del efecto. Un estudio observacional trabaja con condiciones existentes y mantiene prudencia causal. Los componentes cualitativos seleccionan casos por razones explícitas; los mixtos explican dónde se relacionan evidencias de naturaleza distinta.

La operacionalización cumple otra función: enlaza conceptos con propiedades observables sin confundir el indicador con aquello que representa. En evidencia cualitativa, las categorías ayudan a examinar procesos y significados sin convertirlos forzosamente en cifras. A la vez, distinguir unidad de estudio, unidad experimental y

unidad de observación evita contar submuestras como réplicas y permite conservar la jerarquía física y temporal en los archivos.

Población, marco y muestra fijan el alcance de la conclusión. Cuando se conocen cobertura y probabilidades, un muestreo probabilístico puede sustentar determinadas generalizaciones; una selección no probabilística permite estudiar casos y procesos bajo criterios declarados. El tamaño necesario dependerá del propósito, la variabilidad, la precisión, la estructura y los recursos. Con estas decisiones justificadas, los instrumentos del capítulo siguiente podrán diseñarse para un estudio concreto y no para una población imaginaria.

Tipos de muestreo

La Tabla 7 compara estrategias de selección frente a situaciones agrícolas concretas. Su utilidad consiste en distinguir la regla de selección, la información requerida y la principal amenaza a la representación, sin convertir el nombre del muestreo en garantía de calidad.

Tabla 7. Elección del muestreo según marco y heterogeneidad.

Estrategia	Condición de uso	Regla documentada	Riesgo que exige revisión
Aleatorio simple	Marco completo de unidades elegibles	Sorteo reproducible de identificadores	Cobertura incompleta del marco
Sistemático	Unidades ordenadas con recorrido viable	Inicio aleatorio e intervalo definido	Periodicidad coincidente con el intervalo
Estratificado	Grupos con diferencias relevantes conocidas	Selección dentro de cada estrato	Estratos mal definidos o ignorados en el análisis
Intencional	Casos informativos para comprender un proceso	Criterios explícitos y diversidad pertinente	Selección solo de casos favorables

Estrategia	Condición de uso	Regla documentada	Riesgo que exige revisión
Censo de unidades elegibles	Población accesible y manejable	Registro de todas las unidades del marco	Confundir población accesible con población objetivo

Una estrategia probabilística necesita un marco que permita aplicar su regla; una selección intencional necesita explicar por qué los casos aportan información pertinente. Ninguna corrige por sí misma mediciones deficientes. En riego, definir estratos por posición puede ordenar la cobertura espacial, pero la interpretación depende también de cuántas subunidades y jornadas representa el diseño y de cómo conserva esa jerarquía.

La actividad de diseño consiste en elaborar una matriz metodológica para el problema formulado por el estudiante. Las matrices del caso de riego ofrecen ejemplos para comprobar si cada objetivo tiene unidades, propiedades, procedimientos y límites definidos. La propuesta recupera la pregunta y los objetivos del capítulo 2, declara enfoque y alcance por componente e identifica el punto de integración cuando el estudio es mixto. También precisa el diseño experimental, cuasiexperimental, observacional o cualitativo y su temporalidad.

Las variables o categorías se presentan con su función analítica y sus definiciones conceptuales y operacionales. Cada indicador se vincula con unidades, escalas, instrumentos y momentos de registro. La jerarquía de unidades explica el tratamiento de submuestras o medidas repetidas [30], mientras que la población objetivo, la población accesible y el marco permiten justificar la selección y el tamaño de muestra.

La matriz identifica fuentes previsibles de confusión, sesgo o pérdida de unidades y examina sus consecuencias. El alcance geográfico, temporal y poblacional de las conclusiones se corresponde con esa cobertura y con el lenguaje de inferencia permitido para cada componente. Así, las limitaciones forman parte del diseño y no se agregan al informe como una advertencia desvinculada del método.

Una matriz de diseño es insuficiente si contiene un indicador sin definición o un número de registros sin jerarquía de unidades. La revisión del ejemplo distingue caudal medido en puntos, resúmenes por subunidad y repetición por jornada; también separa mantenimiento documentado de tratamiento asignado. Al aplicar el ejercicio, el estudiante justifica esas escalas y explica qué controles permiten examinar los riesgos de confusión y pérdida de cobertura. La prueba piloto evalúa la ejecución de ese plan, sin sustituir la evidencia principal ni confirmar anticipadamente una hipótesis.

Ejercicios de diseño, unidades y muestreo

Ejercicio 1. Recupere una pregunta formulada en el capítulo 2 e identifique si su alcance es descriptivo, comparativo, relacional, explicativo o comprensivo. Justifique la elección.

Muestra breve: “¿Cómo varía el caudal por posición?” tiene alcance descriptivo: resume registros del sistema observado. No exige demostrar qué factor produjo la diferencia.

Ejercicio 2. Proponga un diseño observacional y uno experimental para una misma situación agrícola. Compare qué afirmaciones permitiría sostener cada uno.

Muestra breve: El diseño observacional registra diferencias entre prácticas existentes; el experimental asigna una intervención a unidades independientes y define una comparación. Explique cómo cambian las condiciones para atribuir un efecto.

Ejercicio 3. Dibuje la jerarquía de unidades de un ensayo con tres tratamientos de conservación de suelo, cuatro parcelas por tratamiento y cinco puntos de infiltración por parcela. Identifique repeticiones y submuestras.

Muestra breve: En este ensayo, las parcelas son las unidades a las que se asigna el tratamiento: hay cuatro repeticiones por tratamiento. Los cinco puntos dentro de cada parcela son submuestras y no elevan ese número a veinte.

Ejercicio 4. Seleccione dos variables cuantitativas de su proyecto y redacte sus definiciones conceptual y operacional, incluyendo unidad, instrumento, momento y regla de registro.

Muestra breve: Caudal: volumen que entrega un emisor por unidad de tiempo. Registro operacional: recolectar volumen durante un intervalo documentado y calcular $Q = V/t$ con conversión explícita a $L \cdot h^{-1}$; identificar emisor y jornada.

Ejercicio 5. Formule tres categorías iniciales para comprender una práctica agrícola y explique cómo evitaría imponerlas rígidamente durante la producción de información.

Muestra breve: Categoría inicial: “criterios para decidir la limpieza”. Un testimonio que destaque falta de personal puede justificar una categoría nueva o revisar la inicial; documente el cambio y conserve el fragmento original.

Ejercicio 6. Distinga población objetivo, población accesible, marco y muestra en un estudio de pérdidas poscosecha.

Muestra breve: Población objetivo: lotes del sistema de almacenamiento delimitado. Población accesible: lotes con permiso de seguimiento. Marco: inventario actualizado. Muestra: lotes seleccionados mediante el procedimiento justificado.

Ejercicio 7. Compare muestreo aleatorio simple, sistemático y estratificado para una parcela con gradiente topográfico. Señale el riesgo principal de cada opción.

Muestra breve: Un muestreo sistemático puede coincidir con un patrón repetido de manejo. La estratificación por zonas topográficas busca cubrir su heterogeneidad; necesita límites y selección dentro de cada estrato.

Ejercicio 8. Explique por qué veinte mediciones dentro de una única parcela tratada no equivalen a veinte repeticiones del tratamiento.

Muestra breve: Las veinte mediciones describen variación dentro de la parcela. Como el tratamiento se aplicó a una sola parcela, no existen veinte asignaciones independientes del tratamiento.

Ejercicio 9. Diseñe un piloto breve para evaluar logística, variabilidad e instrumentos, sin utilizar sus resultados como confirmación de la hipótesis principal.

Muestra breve: El piloto comprueba si se identifica cada unidad, se estabiliza el instrumento y se guarda el archivo completo. Criterio de revisión: cualquier pérdida de identificación obliga a ajustar el procedimiento antes del campo principal.

Ejercicio 10. Adapte las matrices de operacionalización y selección de unidades de la Tabla 5 y Tabla 6 a su propio problema y escriba tres conclusiones que el diseño sí permitiría formular y tres que excederían su alcance.

Muestra breve: Conclusión admisible: “Los registros describen el caudal de las unidades seleccionadas durante las jornadas evaluadas”. Conclusión excesiva: “El mantenimiento causó el patrón observado en toda la región”. Complete las otras conclusiones y explique la diferencia.

Capítulo 4. Obtención y análisis de datos en ingeniería agrícola

Cuando el diseño entra en el campo

Una lectura de presión puede estar copiada sin errores y, aun así, resultar inútil. Si perdió el identificador del punto, la jornada o la condición de operación, el número ya no representa la observación que el diseño necesitaba. El paso del plan al campo se juega en detalles de este tipo.

También puede fallar una base llena de registros: ocurre cuando dos personas miden caudal con intervalos distintos, un sensor conserva otra unidad, el mismo emisor recibe nombres incompatibles o un faltante se reemplaza por cero. La corrección posterior de la tabla no recupera necesariamente el significado perdido; por eso el control comienza en el protocolo y acompaña la captura, la transferencia, la depuración y el análisis.

En el caso didáctico, presión y caudal se vinculan con emisores, posiciones y subunidades; las prácticas de operación se documentan mediante registros, observación e información de responsables. Fecha, jornada, identificadores jerárquicos y condiciones de funcionamiento permiten relacionar ambos componentes. Sin esas claves, las mediciones hidráulicas y los acontecimientos de manejo quedan como archivos paralelos que ya no responden la pregunta conjunta.

Los riesgos no proceden únicamente del instrumento. La variación biológica y ambiental, la actuación del observador, el momento y la cobertura también afectan la validez. Carletto et al. [31] subrayan que los errores de medición y las limitaciones de cobertura deben atenderse antes y durante la recolección; una corrección estadística tardía no reemplaza esas decisiones. El criterio se aplica tanto a sensores como a encuestas u hojas de campo.

La estructura del archivo forma parte de ese cuidado. Wickham [32] propone que cada variable ocupe una columna, cada observación una fila y cada tipo de unidad observacional una tabla. Esta organización no garantiza datos correctos, pero vuelve visibles ciertas inconsistencias y facilita controles reproducibles.

El capítulo seguirá el trayecto completo, desde instrumentos y piloto hasta análisis descriptivo, evidencia cualitativa y comunicación visual. No abordará inferencia avanzada. La meta es anterior: que cada resultado pueda rastrearse hasta la unidad observada, la regla aplicada y la transformación que lo produjo.

Del registro al dato analizable

“98” es un registro, pero todavía no es un dato utilizable. Podría representar kilopascasles, litros por hora, un porcentaje o un código. Para interpretarlo hay que recuperar la propiedad, la unidad observada, el momento y la regla mediante la cual se obtuvo. Una fotografía, una respuesta o una nota de campo plantean la misma exigencia, aunque utilicen soportes diferentes.

El archivo bruto conserva esa primera inscripción con las transformaciones indispensables para almacenarla. A partir de allí pueden convertirse unidades, calcularse caudales, agruparse categorías o resumirse submuestras. Cada operación produce un dato procesado y debe dejar rastro. Sobrescribir el original impide distinguir entre lo observado y lo corregido; por eso la carpeta separa el archivo fuente, el espacio de trabajo y los productos derivados mediante nombres y versiones comprensibles.

La exactitud es solo una dimensión de calidad. También importan completitud, consistencia, oportunidad, trazabilidad y adecuación al propósito. En datos de sensores, Teh et al. [33] diferencian faltantes, ruido, valores atípicos y lecturas inexactas. Una señal de este tipo abre una revisión; no autoriza a eliminar automáticamente el registro. El valor extremo puede ser una falla, pero también una condición real que el estudio necesita explicar.

La procedencia permite decidir. Debe saberse quién o qué produjo el registro, sobre cuál unidad, con qué versión del instrumento y bajo qué condiciones, pues dos números idénticos no representan necesariamente la misma evidencia: uno puede ser lectura directa y el otro, una estimación; uno puede haberse obtenido antes de una intervención y el otro después. Los metadatos recuperan diferencias que la columna numérica no contiene.

Transformar tampoco es un trámite neutro. Promediar submuestras cambia el nivel de análisis; clasificar una respuesta introduce una regla interpretativa; corregir una digitación reemplaza un valor. Cada paso requiere insumos, criterio, responsable y producto. Si la tabla final no puede reconstruirse desde el archivo bruto, ya no es posible saber si la conclusión procede de una decisión razonada o de una modificación accidental.

Técnica, instrumento, procedimiento y protocolo

La técnica de obtención es la estrategia utilizada para producir información: medición directa, observación, entrevista, encuesta, revisión documental o registro automatizado. El instrumento es el medio concreto: manómetro, recipiente calibrado, balanza, sensor, guía de entrevista, cuestionario o ficha. El procedimiento describe la secuencia de aplicación. El protocolo integra propósito, responsables, unidades, tiempos, controles, seguridad, reglas de registro y manejo de desviaciones.

Confundir estos niveles deja vacíos operativos. Indicar “se medirá el caudal con un recipiente” no precisa el intervalo, la resolución, el modo de estabilizar el sistema, la conversión de unidades ni qué hacer si se interrumpe el suministro. Una guía de entrevista con buenas preguntas tampoco garantiza información comparable si no establece quién entrevista, cómo se solicita consentimiento, qué condiciones de privacidad se ofrecen y cómo se registran las respuestas.

El protocolo debe ser suficientemente específico para que el equipo actúe de manera consistente sin impedir el juicio ante situaciones imprevistas. Las desviaciones (un emisor reemplazado, una parcela inaccesible o una entrevista interrumpida) se registran como acontecimientos metodológicos. Ocultarlas crea una apariencia de orden que debilita la interpretación.

La especificidad necesaria depende del riesgo de variación entre aplicaciones. Una operación sensible al tiempo de estabilización requiere una regla más precisa que una observación contextual libre; una categoría de daño necesita ejemplos y fronteras; una entrevista demanda indicaciones sobre sondeo, privacidad y cierre. El protocolo no busca eliminar toda decisión humana, sino distinguir las decisiones que deben ser uniformes de aquellas que requieren adaptación documentada.

Antes de aprobar un instrumento conviene simular su recorrido completo. Un campo puede ser fácil de llenar y difícil de analizar; un código puede parecer claro en papel y duplicarse al combinar archivos; una fotografía puede ayudar a verificar una lectura y, al mismo tiempo, introducir datos personales. Revisar captura, transferencia, validación, análisis y resguardo evita que una solución local produzca un problema en la etapa siguiente.

Error, incertidumbre y variabilidad

La variabilidad es una propiedad del fenómeno: dos plantas, puntos o jornadas pueden diferir realmente. El error de medición es la diferencia introducida por el proceso de observación respecto del valor que se pretende conocer. La incertidumbre expresa el grado de duda asociado con la medición o estimación. Aunque se relacionan, no son equivalentes; tratar toda variación como error borraría el fenómeno que se desea investigar.

Los errores pueden ser aleatorios o sistemáticos. El error aleatorio dispersa lecturas sin una dirección constante; el sistemático desplaza resultados de forma persistente, por ejemplo, por un instrumento desajustado o una regla de redondeo aplicada solo por una persona. Repetir muchas veces una medición sesgada puede aumentar la precisión aparente sin mejorar su exactitud. La prevención requiere calibración, estandarización, entrenamiento, duplicados planificados y comparación con referencias cuando existan.

En datos obtenidos mediante preguntas, la redacción, el orden, la memoria y la relación con quien entrevista también producen error. Carletto et al. [31] muestran que el diseño del cuestionario, los efectos del entrevistador, las características del informante, el modo de recolección y el procesamiento forman parte de la calidad de datos agrícolas. La elección entre medición directa y recuerdo no es meramente logística; modifica el tipo y la magnitud de los errores esperables.

La incertidumbre debe acompañar la interpretación y no aparecer solo como una nota final. Puede expresarse mediante resolución instrumental, repetibilidad, dispersión, intervalos o descripción razonada de fuentes que no pudieron cuantificarse. La forma depende del dato y del diseño. Informar demasiados

decimales no aumenta conocimiento si el instrumento o el procedimiento no distingue esa precisión; por el contrario, crea una certeza tipográfica que la medición no posee.

Separar fuentes de variación permite decidir dónde invertir recursos. Si domina la variabilidad entre unidades, aumentar repeticiones internas puede aportar poco; si domina la inestabilidad de lectura, conviene mejorar calibración o duplicados; si las diferencias aparecen entre observadores, se necesita entrenamiento y criterios comunes. El piloto sirve para reconocer estas contribuciones antes de comprometer toda la recolección.

Condiciones cambiantes de la medición agrícola

La obtención de datos agrícolas ocurre bajo condiciones que cambian durante la jornada. La temperatura modifica respuestas de sensores; la presión puede tardar en estabilizarse; la humedad varía según momento, profundidad y antecedente de riego; el producto poscosecha continúa respirando mientras se pesa o clasifica. Hora, localización, estado del equipo y condiciones ambientales forman parte del dato cuando pueden afectar su interpretación.

Los sensores amplían la frecuencia y el volumen de registro, pero no sustituyen el diseño. Teh et al. [33] advierten que los conjuntos de sensores pueden contener faltantes, ruido, valores extremos y lecturas inexactas. Una serie con miles de observaciones provenientes de un dispositivo mal ubicado sigue siendo deficiente. Deben documentarse rango, resolución, frecuencia, calibración, alimentación, pérdida de conexión, zona horaria y cualquier algoritmo que transforme la señal.

En mediciones manuales, el control depende de instrucciones observables. “Esperar hasta que el sistema esté estable” debería traducirse en una regla verificable; “tomar una muestra representativa” necesita un mecanismo de selección; “registrar el daño” requiere categorías y ejemplos. Una capacitación breve debe incluir demostración, práctica y comparación entre observadores, no solo lectura del formulario.

Las fuentes humanas añaden obligaciones éticas. Es necesario explicar propósito, uso, voluntariedad, resguardo y límites de confidencialidad antes de una entrevista. Los identificadores personales deben separarse de la base analítica cuando sea posible. En comunidades pequeñas, eliminar nombres no garantiza anonimato si cargo, ubicación y relato permiten reconocer a la persona; la presentación final debe evitar combinaciones innecesarias de detalles.

Preparación de instrumentos y prueba piloto

Todo instrumento debe derivarse de la matriz de operacionalización. Cada campo necesita corresponder a una variable, categoría, control o identificador. Si una columna no servirá para responder objetivos, evaluar calidad o reconstruir el procedimiento, conviene reconsiderarla. Si un objetivo carece de campos capaces de producir la evidencia necesaria, el instrumento está incompleto.

Una ficha cuantitativa requiere nombre breve de variable, descripción, unidad, tipo, valores permitidos y reglas para faltantes. Los rangos plausibles funcionan como alertas, no como criterios automáticos de eliminación. Una presión inesperadamente alta puede deberse a error de digitación, pero también a una condición peligrosa del sistema. El formulario debe permitir conservar el valor y añadir una observación hasta que se verifique.

La guía cualitativa organiza temas y preguntas abiertas sin convertir la conversación en cuestionario rígido. Debe evitar preguntas que sugieran la respuesta (“¿la falta de mantenimiento causa el problema?”) y permitir solicitar ejemplos, secuencias y decisiones. Las notas de campo registran contexto, interrupciones y reflexiones del investigador, diferenciando lo observado de su interpretación preliminar.

La prueba piloto evalúa comprensión, duración, flujo de trabajo, desempeño del equipo y estructura de archivos. No es una versión pequeña destinada a confirmar la hipótesis. Debe realizarse en condiciones parecidas a las del estudio, documentar cambios y decidir si los registros piloto pueden integrarse en la base principal; si cambian instrumentos o procedimientos de forma sustantiva, lo prudente es mantenerlos separados.

El piloto necesita criterios de decisión previos. Puede evaluarse la proporción de campos incompletos, la variación entre operadores, el tiempo por unidad, la estabilidad de la lectura, el funcionamiento del respaldo y la capacidad de vincular archivos. Un resultado solo es útil si conduce a una acción: conservar el instrumento, modificarlo, capacitar de nuevo, cambiar la selección o reducir el alcance. Sin criterios, el piloto se convierte en una demostración informal que rara vez cuestiona el plan.

También debe probarse la recuperación ante fallas. El equipo puede ensayar qué hacer si no se estabiliza la presión, falta un identificador en el marco, se interrumpe una entrevista o un formulario digital no sincroniza. Estas situaciones revelan si el protocolo protege la comparabilidad o deja cada respuesta al juicio del momento. La versión definitiva incorporará las decisiones útiles y conservará un registro de lo modificado.

Captura, identificación y trazabilidad

Cada registro necesita un identificador único que no dependa solo del número de fila. Una combinación como J02-S03-L05-E012 puede expresar jornada, subunidad, lateral y emisor, pero el significado de cada segmento debe constar en el diccionario. Los identificadores deben permanecer estables entre archivos para conectar mediciones, eventos y notas sin recurrir a nombres ambiguos.

La fecha y la hora se registran en formatos consistentes; las unidades se almacenan en columnas específicas o se fijan en el diccionario; los códigos categóricos tienen una lista válida. No deben mezclarse comentarios con valores numéricos, como 3,8 aprox. dentro de la columna de caudal. El valor se conserva como número y la observación se coloca en otro campo.

La captura digital puede incorporar validaciones, pero siempre debe existir un plan ante pérdida de energía, conectividad o equipo. Los formularios impresos necesitan numeración, resguardo y revisión diaria. Una fotografía del instrumento puede servir como respaldo si el protocolo la contempla, aunque no reemplaza la lectura registrada ni autoriza recopilar imágenes personales sin consentimiento.

Wickham [32] propone que cada variable ocupe una columna, cada observación una fila y cada tipo de unidad una tabla. En el caso de riego, las mediciones por emisor pueden ocupar una tabla; los eventos de mantenimiento, otra; y las personas participantes, una tercera protegida. Las tablas se relacionan mediante identificadores, no mediante la repetición de descripciones libres.

La Tabla 8 presenta un diccionario mínimo para los campos centrales del caso. Su función es anticipar decisiones de captura y validación, no reemplazar el protocolo técnico.

Tabla 8. Diccionario abreviado de datos para el caso didáctico de riego.

Campo	Descripción	Tipo o formato	Unidad/códigos	Regla de validación
id_registro	Identificador único de medición	de Texto	Estructura documentada	No duplicado ni vacío
fecha_hora	Inicio de la medición	Fecha y hora	ISO 8601	Dentro del periodo autorizado
subunidad_id	Subunidad de procedencia	Categorico	Lista del marco	Código existente
posicion	Estrato dentro de la lateral	Categorico	inicio; medio; final	Uno de los códigos permitidos
emisor_id	Emisor seleccionado	Texto	Lista de selección	Vinculado con subunidad y lateral
presion_kpa	Lectura estabilizada de presión	Numérico	kPa	Rango plausible; extremos se verifican

Campo	Descripción	Tipo o formato	Unidad/códigos	Regla de validación
volumen_ml	Volumen recolectado	Numérico	mL	Mayor que cero o faltante justificado
tiempo_s	Duración de recolección	Numérico	s	Mayor que cero
caudal_l_h	Caudal calculado	Numérico derivado	L·h ⁻¹	Fórmula versionada y datos de origen presentes
observacion	Incidente o condición contextual	Texto	Vocabulario libre controlado por guía	No sustituye valores faltantes

Nota: La estructura sigue el principio de datos ordenados de Wickham [32]. Los rangos técnicos deberán fijarse según el sistema, el instrumento y el protocolo reales.

El diccionario hace visibles relaciones que una hoja vacía oculta. El caudal no se captura como si fuera independiente del volumen y del tiempo, sino como variable derivada cuya fórmula puede reconstruirse. La posición es un código de estratificación, no un comentario. Los extremos se verifican en lugar de eliminarse por una regla general, lo que preserva la posibilidad de que una lectura infrecuente represente una falla real del sistema.

Control de calidad durante el trabajo de campo

El control comienza antes de salir: identificación de instrumentos, verificación de baterías, comprobación de fecha y hora, materiales de respaldo y versión vigente del formulario. Una lista breve reduce omisiones, pero debe acompañarse de responsabilidades. Cada integrante necesita saber quién mide, quién lee, quién registra y quién confirma.

Durante la jornada conviene revisar completitud, códigos y coherencia en puntos de control establecidos. Esperar al final de la campaña vuelve irreparables muchas pérdidas. Los duplicados técnicos pueden revelar inestabilidad; las mediciones en blanco o referencias conocidas ayudan a detectar contaminación o deriva cuando la técnica lo requiera. Su frecuencia debe definirse según el riesgo y no agregarse después de observar valores inconvenientes.

Las correcciones conservan el dato original. En papel, se marca el valor sin hacerlo ilegible, se registra la corrección y, cuando proceda, la persona responsable. En formato digital, se mantiene un historial o archivo de cambios con valor anterior, valor nuevo, fecha y razón. Nunca se “limpia” el archivo bruto mediante sustituciones silenciosas.

Al cerrar cada jornada se verifica el número esperado de unidades, se respalda la información en una ubicación distinta y se redacta un parte de incidencias. El parte enlaza identificadores afectados con acontecimientos como interrupción del suministro, cambio de instrumento o error de selección. Esa información será decisiva al interpretar faltantes y valores extremos.

El control debe distinguir comprobaciones automáticas y revisión sustantiva. Un formulario puede impedir letras en una columna numérica y aun aceptar una lectura atribuida al emisor equivocado. Las reglas de formato detectan ciertos errores; la comparación con el marco, el orden de recorrido, las fotografías autorizadas o la revisión por pares permiten examinar otros. Confiar en un único tipo de validación deja fallas previsibles sin vigilancia.

Los indicadores de calidad se resumen por jornada y por responsable sin utilizarlos como mecanismo punitivo. Una concentración de faltantes puede señalar instrucciones ambiguas, fatiga, un tramo de difícil acceso o una falla del dispositivo. La respuesta adecuada es investigar el mecanismo y corregirlo. Si se oculta por temor a sanciones, el problema continúa y la base pierde credibilidad.

Estructuración, respaldo y documentación

Una estructura básica separa datos brutos, datos procesados, metadatos, código o fórmulas, resultados y documentación. El archivo maestro no debería circular como múltiples copias con nombres como final2_ahora_si.xlsx. Las versiones necesitan fecha o número, responsable y descripción del cambio. Los datos brutos se protegen contra edición accidental.

El diccionario debe acompañar a la base y explicar campos, códigos, unidades, formatos, valores faltantes y transformaciones. También se conserva un archivo de procedencia que indique fuente, fecha, instrumento, permisos y licencia o restricciones. Estas prácticas hacen que un dato pueda evaluarse fuera de la memoria del equipo y se relacionan con la transparencia científica defendida por Munafò et al. [5].

El respaldo requiere al menos dos ubicaciones y una comprobación de recuperación. Sincronizar una carpeta no equivale necesariamente a mantener una copia histórica: una eliminación puede replicarse en todos los dispositivos. La información sensible se cifra o restringe y se conserva solo durante el tiempo autorizado. Compartir datos no significa publicar identificadores personales, coordenadas vulnerables o información productiva confidencial.

La documentación debe incluir software y versiones, separador decimal, zona horaria, sistema de coordenadas, fórmulas y decisiones de exclusión. Si un cálculo se realiza manualmente, se conserva su especificación; si se usa código, el archivo debe ejecutarse sobre una copia de trabajo y generar resultados sin modificar el bruto. El objetivo es que cada tabla final pueda rastrearse hasta sus registros de origen.

La estructura de carpetas debe reflejar estados, no personas. Separar brutos, procesados, código, resultados y documentación reduce la dependencia de quien creó el archivo. Los nombres incorporan fecha o versión cuando aportan orden, pero el historial principal debe explicar qué cambió. Acumular copias con nombres ambiguos traslada al futuro una decisión que el equipo puede resolver mediante reglas desde el inicio.

Respaldar significa poder recuperar. El equipo debe ensayar la restauración de una copia, verificar que los archivos abren y comprobar que los permisos no excluyen a quienes deben trabajar ni exponen información a quien no corresponde. Una estrategia puede combinar copia local protegida y ubicación institucional, con frecuencia definida según el riesgo de pérdida. La existencia de dos iconos de archivo no demuestra que existan dos copias independientes.

Depuración sin fabricación de datos

Depurar significa detectar y resolver inconsistencias mediante reglas documentadas. No consiste en acercar los datos a la expectativa. Las comprobaciones iniciales incluyen identificadores duplicados, tipos incorrectos, códigos fuera de lista, fechas imposibles, unidades mezcladas, relaciones lógicas incumplidas y faltantes.

Los datos faltantes deben distinguirse de cero, “no aplica” y “no sabe”. Un caudal igual a cero puede describir un emisor sin descarga; un campo vacío puede significar que no se midió. Sustituir ambos por el mismo valor altera la distribución. Antes de imputar o excluir, se examina por qué falta la observación, en qué unidades ocurre y si el patrón puede sesgar la respuesta.

Un valor atípico se aleja del patrón general, pero no es sinónimo de error. La revisión debe volver al formulario, el instrumento, la unidad y el contexto. Si se confirma una digitación equivocada, se corrige con trazabilidad; si la medición es real, se conserva y se evalúa su influencia; si no puede decidirse, se marca la incertidumbre y pueden compararse análisis con y sin el registro, explicando la diferencia.

Teh et al. [33] muestran que las fallas de sensores pueden expresarse como ruido, faltantes, valores extremos o inexactitud. El tratamiento depende del mecanismo y de la finalidad. Suavizar una serie puede facilitar la lectura, pero también ocultar cambios abruptos que representan el evento de interés. Toda transformación necesita conservar parámetros, versión y justificación.

Las reglas de depuración deben fijarse, siempre que sea posible, sin mirar cuál decisión favorece la hipótesis. Puede establecerse una jerarquía: comprobar la fuente, corregir errores verificables, marcar incertidumbre, conservar valores

plausibles y realizar análisis de sensibilidad cuando la decisión siga siendo discutible. Eliminar una observación solo porque cambia el resultado constituye una selección por conveniencia; excluirla por una regla técnica documentada es una decisión auditable.

La imputación de faltantes, cuando sea pertinente, no crea mediciones observadas. El archivo debe distinguir valores originales, corregidos, derivados e imputados. También se informa cuántos faltantes existen, dónde se concentran y bajo qué supuestos se trataron. En proyectos formativos donde no hay capacidad para justificar una imputación, puede ser más riguroso describir el patrón y limitar el análisis que aplicar una función automática del software.

Exploración y análisis descriptivo cuantitativo

Antes de aplicar modelos o pruebas, se conoce la estructura de la base. Zuur et al. [34] recomiendan una exploración sistemática para detectar valores atípicos, heterogeneidad, colinealidad, dependencia y otras condiciones capaces de distorsionar el análisis. La exploración no debe utilizarse para probar innumerables relaciones y presentar solo la más llamativa como si hubiera sido prevista.

El primer resumen es un inventario: número de unidades, observaciones por unidad, momentos, faltantes y exclusiones. Después se examina la distribución de cada variable con tablas y gráficos apropiados. Para variables cuantitativas pueden utilizarse mínimo, máximo, media, mediana, desviación estándar, rango intercuartílico o coeficiente de variación, según el propósito y la forma de los datos. Para variables categóricas se presentan frecuencias y proporciones con denominadores explícitos.

La media resume el centro aritmético y es sensible a valores extremos; la mediana identifica el punto central ordenado y puede representar mejores distribuciones asimétricas. La desviación estándar expresa dispersión respecto de la media bajo condiciones interpretables; el rango intercuartílico describe la mitad central. Ningún indicador sustituye la inspección de los valores ni debe elegirse solo porque el software lo produce.

La independencia y la jerarquía definidas en el capítulo 3 siguen vigentes. Promediar submuestras por unidad puede ser necesario antes de comparar tratamientos; analizar medidas repetidas como observaciones independientes produce una precisión aparente. Zuur et al. [34] señalan que la dependencia temporal o espacial debe reconocerse en la estructura analítica. Cuando el diseño supera la estadística descriptiva básica, corresponde buscar apoyo especializado en lugar de seleccionar una prueba por semejanza superficial.

El denominador debe acompañar toda proporción. Informar que cinco emisores presentaron una condición significa algo distinto si se observaron seis o sesenta. Del mismo modo, el número de registros no sustituye al número de unidades: cien lecturas procedentes de diez emisores representan una estructura diferente de cien emisores medidos una vez. Las tablas deben mostrar ambos niveles cuando afecten la interpretación.

La exploración puede revelar que el plan analítico necesita revisión, pero los cambios deben distinguirse de las preguntas confirmatorias. Una relación inesperada puede documentarse, visualizarse y proponer una nueva hipótesis; no debe presentarse como predicción previa. Separar análisis planificados y exploratorios permite aprender de los datos sin ocultar el proceso que produjo la inferencia.

Organización y análisis de evidencia cualitativa

La evidencia cualitativa requiere preparación sistemática. Las grabaciones autorizadas se transcriben o resumen según el diseño, se revisan contra el original y se vinculan con identificadores protegidos. Las notas de campo distinguen descripción, contexto e interpretación. No se corrige el habla para volverla más formal si esa modificación altera el sentido; las citas textuales que lleguen al informe deben verificarse y anonimizarse.

La codificación asigna etiquetas a segmentos relevantes para la pregunta. Puede partir de categorías iniciales (por ejemplo, criterios de limpieza, restricciones de tiempo y señales de falla) y admitir códigos emergentes. El libro no propone convertir cada mención en porcentaje. Primero se comparan casos, condiciones,

convergencias y contradicciones; después se construyen temas o explicaciones cuyo respaldo pueda localizarse en el corpus.

La calidad aumenta mediante un libro de códigos con definición, criterios de inclusión y exclusión y ejemplos; memorandos que registren decisiones; revisión de casos que no encajan; y discusión entre integrantes cuando participa más de una persona. La discrepancia no se resuelve siempre calculando acuerdo: puede revelar una categoría ambigua o interpretaciones que necesitan argumentación.

En un estudio mixto, integrar significa relacionar resultados, no colocar dos secciones consecutivas. En el caso de riego, un patrón de menor caudal al final de ciertas laterales podría compararse con registros de limpieza, observaciones de obstrucción y explicaciones de operadores. Si las fuentes discrepan, esa tensión se conserva. El testimonio no corrige una medición ni el número invalida automáticamente una experiencia.

La unidad de contexto debe permanecer unida al segmento analizado. Extraer una frase sin conocer la pregunta, el momento o la función de quien habla puede cambiar su significado. El sistema de códigos enlaza cada fragmento con la transcripción o nota original y protege la identidad mediante una tabla separada. De este modo, el informe puede verificar una interpretación sin divulgar datos personales innecesarios.

La suficiencia cualitativa no se decide por un número fijo de entrevistas. Depende de la diversidad pertinente, la complejidad del proceso, la calidad del material y la capacidad para sostener las categorías. Si ciertos roles o condiciones no fueron incluidos, esa ausencia debe aparecer como límite. Repetir conversaciones semejantes no compensa haber omitido una perspectiva decisiva para la pregunta.

El análisis avanza de segmentos a patrones y de patrones a explicaciones, conservando casos que contradicen la interpretación dominante. Una categoría como “restricción de tiempo” adquiere valor cuando se examina en qué situaciones aparece, con qué decisiones se relaciona y qué casos muestran otra conducta. Enumerar códigos no equivale a interpretar; la interpretación necesita una proposición respaldada por fragmentos y contexto.

Tablas y gráficos científicos

Una tabla es apropiada cuando el lector necesita valores exactos o comparar varios campos. Un gráfico facilita reconocer distribución, tendencia, relación o contraste. Duplicar los mismos datos completos en ambos recursos rara vez aporta valor. Rougier et al. [35] entienden la visualización científica como una interfaz entre datos y personas y recomiendan diseñar la figura según mensaje, audiencia y medio.

El título debe expresar qué se presenta sin anticipar una conclusión no sustentada; ejes, unidades, leyenda y tamaño de muestra deben ser legibles. El eje vertical no se recorta para exagerar diferencias sin una razón y una señal visible. Los efectos tridimensionales, fondos decorativos y exceso de colores añaden carga sin información. El color no debe ser el único medio para distinguir grupos, porque la impresión en escala de grises y las diferencias de visión cromática pueden volverlos indistinguibles.

Las barras resumen categorías o valores agregados, pero pueden ocultar distribución y tamaño de muestra. Los puntos, cajas o violines permiten mostrar variación cuando la cantidad y el propósito lo justifican. Una serie temporal necesita orden cronológico; una relación entre variables cuantitativas suele representarse mediante dispersión; un mapa exige escala, orientación, sistema de coordenadas y tratamiento responsable de localizaciones sensibles. La elección comienza con la pregunta visual, no con el menú del programa.

Toda representación implica una selección. Agrupar categorías, fijar límites de eje, ordenar paneles o resumir observaciones puede revelar una relación y también ocultar otra. Estas decisiones deben ser coherentes entre comparaciones y revisarse frente a los datos brutos. Cuando una transformación cambia sustantivamente la apariencia, conviene mostrar la escala original o explicar el motivo para que el lector no confunda una decisión gráfica con una propiedad del fenómeno.

La accesibilidad forma parte de la exactitud comunicativa. Tipografías legibles, contraste suficiente, símbolos además de color y títulos que identifiquen variable, unidad y contexto permiten que más lectores interpreten correctamente el recurso. Una nota debe explicar abreviaturas, fuentes, tratamientos y particularidades

necesarias, mientras el texto posterior analiza la relación importante y sus límites. La figura o tabla no se deja como objeto autosuficiente ni se repite celda por celda.

Antes de incluir un recurso se formula su pregunta visual. Si el lector necesita valores exactos, se elige una tabla; si necesita reconocer distribución, cambio o relación, se evalúa un gráfico. Cuando el texto comunica el resultado con igual claridad y pocas cifras, agregar un recurso puede fragmentar la lectura. La utilidad, y no la disponibilidad del software, decide su presencia.

Una cadena auditable desde el instrumento hasta el resultado

La obtención de datos comienza cuando la matriz se traduce en instrumentos cuyos campos tienen una función reconocible: variable, categoría, identificador o control. El protocolo establece responsables, secuencia, momentos, unidades, seguridad y manejo de desviaciones. El diccionario define nombres, tipos, unidades, códigos, rangos plausibles y faltantes. La capacitación compara la aplicación entre integrantes, y el piloto prueba el flujo completo hasta el archivo final. Antes de la recolección principal se fijan las versiones de instrumento, formulario, fórmula y selección, de modo que los cambios posteriores puedan reconocerse.

Durante la captura se conservan identificadores, contexto, incidencias y procedencia. La revisión de completitud y coherencia ocurre mientras aún es posible recuperar información, en lugar de posponerla hasta que termina el campo. El respaldo separa datos brutos, copia de trabajo, información sensible y archivos derivados. La depuración resuelve duplicados, formatos, unidades, faltantes y extremos mediante reglas documentadas, sin sobrescribir originales; esa separación permite reconstruir cómo una lectura se convierte en un valor utilizado en el análisis.

La exploración inventaría observaciones, representa distribuciones y examina dependencia antes de formular inferencias. El análisis cuantitativo resume las propiedades medidas, mientras que el cualitativo desarrolla códigos, temas y casos con sus condiciones de producción. La integración reúne lo que ambos componentes permiten responder y reconoce sus diferencias. Las tablas o gráficos se seleccionan por la pregunta que aclaran y se acompañan de límites explícitos, para que la comunicación conserve el alcance de la evidencia obtenida.

La cadena debe poder recorrerse en sentido inverso. Una cifra de una tabla final conduce a un archivo procesado, una fórmula, uno o varios registros brutos, una unidad y un procedimiento. Si se rompe algún enlace, el resultado pierde auditabilidad, aunque el cálculo sea correcto.

Tres cadenas de datos en contextos agrícolas

Conservación del suelo. Una medición de infiltración requiere registrar parcela, punto, tratamiento si existe, fecha, humedad antecedente, procedimiento y unidad. Los puntos dentro de una parcela son submuestras. Un gráfico por tratamiento debería conservar la variación entre parcelas y no presentar todos los puntos internos como repeticiones independientes.

Pérdidas poscosecha. Para estimar proporciones de daño deben definirse categorías mutuamente interpretables, denominador y momento. La masa descartada no equivale al número de unidades dañadas. Si los trabajadores describen criterios de clasificación, sus relatos pueden explicar discrepancias entre categorías, pero no deben transformarse en porcentajes de una población no muestreada probabilísticamente.

Serie de un sensor de humedad. Antes de suavizarla se revisan fecha, frecuencia, reinicios, valores imposibles y periodos sin conexión. Un cambio brusco puede ser riego, lluvia, recolocación o falla. La interpretación requiere el registro de eventos; el algoritmo por sí solo no conoce esa diferencia.

Datos demostrativos del sistema de riego

Para mostrar la estructura del archivo se presentan seis registros simulados. No proceden de una finca y no pueden utilizarse como evidencia técnica. El caudal (Tabla 9) se calcula mediante $Q = (V/t) \times 3,6$, donde V es volumen en mililitros, t es tiempo en segundos y el factor convierte el resultado a litros por hora.

Tabla 9. Fragmento simulado de la base de mediciones hidráulicas.

Registro	Jornada	Subunidad	Posición	Presión (kPa)	Volumen (mL)	Tiempo (s)	Caudal (L·h ⁻¹)
R001	J1	S1	inicio	102	1000	900	4,0
R002	J1	S1	medio	98	950	900	3,8
R003	J1	S1	final	91	850	900	3,4
R004	J2	S1	inicio	103	1025	900	4,1
R005	J2	S1	medio	97	925	900	3,7
R006	J2	S1	final	92	875	900	3,5

Nota: No representan el desempeño de un sistema real ni establecen valores aceptables de presión, caudal o uniformidad.

En este fragmento, el caudal disminuye desde el inicio hacia el final en ambas jornadas y la presión sigue un orden semejante. La regularidad permite formular una descripción del ejemplo y justificar un gráfico de perfiles o una dispersión entre presión y caudal; no demuestra que la presión sea la única causa, no estima la uniformidad de toda la subunidad y no autoriza una recomendación operativa. Faltan la muestra completa, los controles de medición, otras subunidades y la evidencia de mantenimiento prevista por el diseño.

El análisis cualitativo podría comenzar con una matriz que vincule fecha, responsable protegido, evento, segmento de evidencia, código y memorando. Supóngase que un operador menciona limpiezas más frecuentes al final de una lateral: esa declaración se codificaría como percepción o práctica documentada, no como confirmación de obstrucción. La integración compararía su temporalidad y localización con los registros técnicos y buscaría también casos discordantes.

Para decidir cómo comunicar los resultados futuros, la Tabla 10 relaciona preguntas frecuentes del proyecto con recursos adecuados y riesgos de interpretación.

Tabla 10. Selección de recursos para presentar resultados del caso de riego.

Pregunta de presentación	Recurso útil	Elementos indispensables	Riesgo que debe evitarse
¿Cuáles fueron los valores exactos por subunidad?	Tabla resumida	unidad, tamaño, centro, dispersión y faltantes	saturar con todos los registros brutos
¿Cómo se distribuye el caudal?	Puntos, caja u otra gráfica de distribución	observaciones o resumen visible y tamaño de muestra	ocultar variación con una barra aislada
¿Cómo cambia según posición?	Perfil por posición con jornadas diferenciadas	orden espacial y unidades	unir puntos que no forman una secuencia comparable
¿Existe una relación entre presión y caudal?	Diagrama de dispersión	ejes cuantitativos, unidades y grupos identificados	interpretar asociación como causalidad
¿Cuándo ocurrieron mediciones y mantenimientos?	Línea de tiempo	fechas, eventos y fuente	sugerir precisión temporal que los registros no tienen
¿Cómo explican los operadores sus decisiones?	Síntesis temática con fragmentos breves	contexto, casos convergentes y discordantes	convertir menciones en prevalencias injustificadas

Nota: Elaboración a partir de Rougier et al. [35]. La selección final dependerá de los datos reales y de la pregunta que cada recurso deba responder.

La comparación revela que ningún gráfico es “mejor” en abstracto. Los valores exactos, las distribuciones, las relaciones y las secuencias temporales exigen representaciones distintas. La evidencia cualitativa tampoco debe reducirse a una nube de palabras: el recurso necesita conservar contexto y variación entre casos. La decisión editorial correcta será la que permita responder una pregunta sin ampliar artificialmente el alcance del análisis.

Para comprobar la trazabilidad, el lector puede escoger una cifra de una tabla y reconstruir su procedencia. Debe identificar el análisis que la produjo, las transformaciones realizadas sobre los datos y el registro bruto conservado. Ese registro remite a una unidad, un momento y un instrumento elegido para observar una variable o categoría vinculada con la pregunta. La validación comprueba la consistencia de cada vínculo, mientras que la interpretación explica qué respuesta permite sostener el recorrido y qué incertidumbres permanecen. La comprobación se aplica también a un fragmento de entrevista: su síntesis debe poder relacionarse con el contexto y el material original autorizado.

Cada enlace cumple una función. Un gráfico atractivo no corrige una variable mal definida; una base ordenada no repara una selección sesgada; una fórmula reproducible no legitima datos obtenidos con procedimientos inconsistentes. El recurso visual ocupa el final de una cadena metodológica y debe permitir que el lector reconozca patrones, incertidumbre y límites, no solo la conclusión preferida.

La Figura 10 permite reconocer orden espacial manteniendo las jornadas diferenciadas.

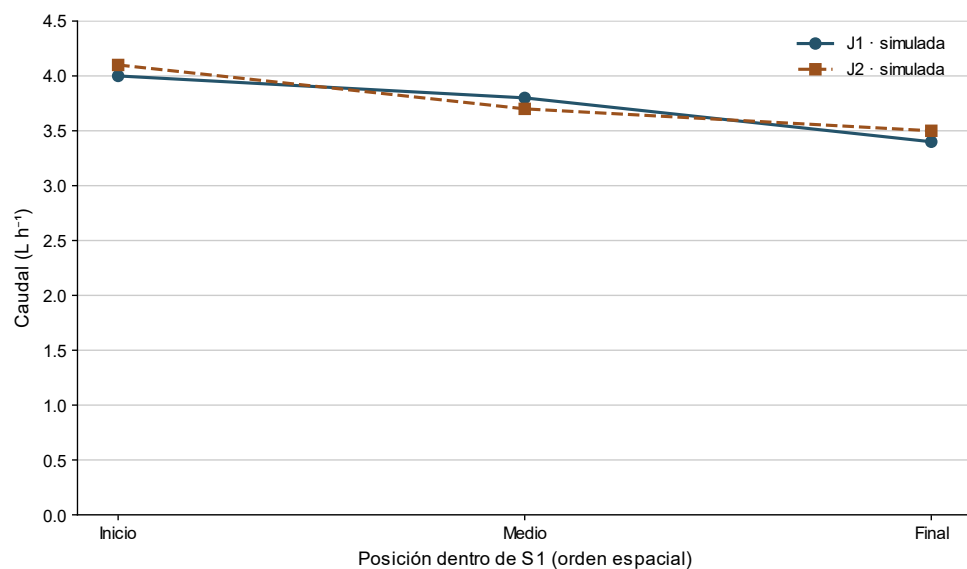


Figura 10. Perfil espacial del caudal en dos jornadas simuladas.

Nota: Datos simulados del fragmento del caso de riego; no representan una finca real ni umbrales técnicos.

El perfil conserva el orden inicio, medio y final y diferencia las jornadas mediante símbolos y trazos. La disminución pertenece a seis registros simulados de una subunidad: no describe todo un sistema ni una distancia física uniforme entre puntos. La línea conecta posiciones ordenadas para facilitar la lectura, sin representar mediciones continuas ni establecer valores aceptables de funcionamiento.

La Figura 11 permite examinar asociación sin ajustar un modelo ni atribuir causalidad.

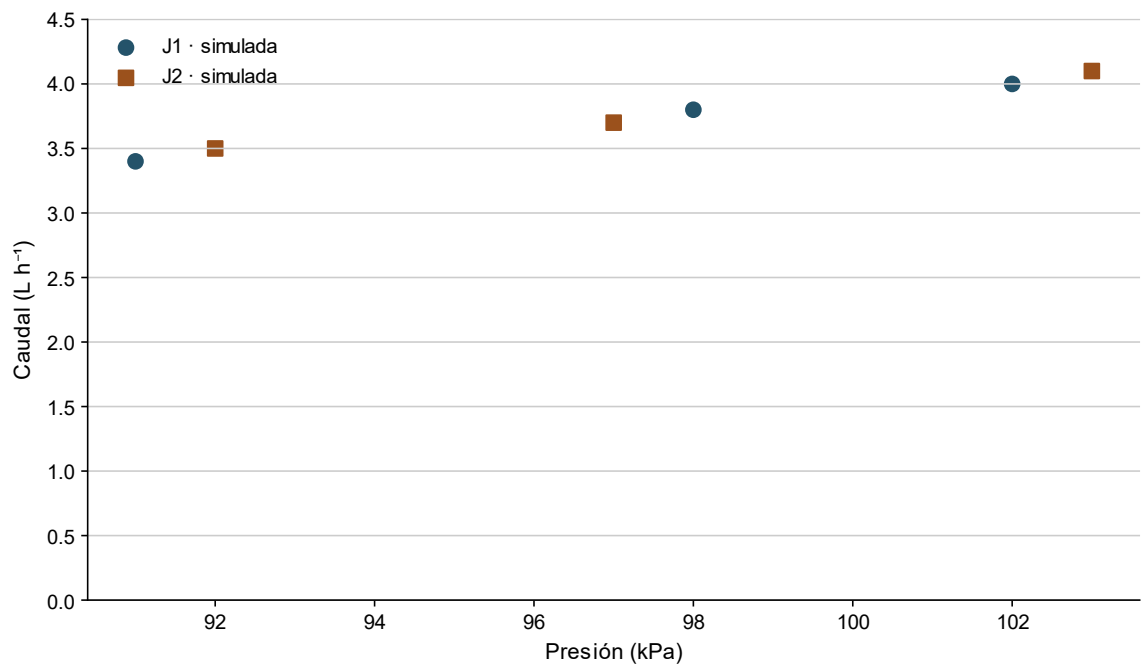


Figura 11. Presión y caudal en seis registros simulados.

Nota: Datos simulados del fragmento del caso de riego; no representan una finca real ni umbrales técnicos.

La dispersión muestra cómo coinciden valores altos de presión y caudal en este fragmento. No distingue el efecto de posición, estado del emisor o condiciones operativas y, por tanto, no identifica una causa. Los puntos pertenecen a la misma subunidad y a dos jornadas; tratarlos como seis sistemas independientes produciría una interpretación que el diseño no sostiene.

La Figura 12 permite mostrar que un cambio entre jornadas no tiene el mismo signo en todas las posiciones.

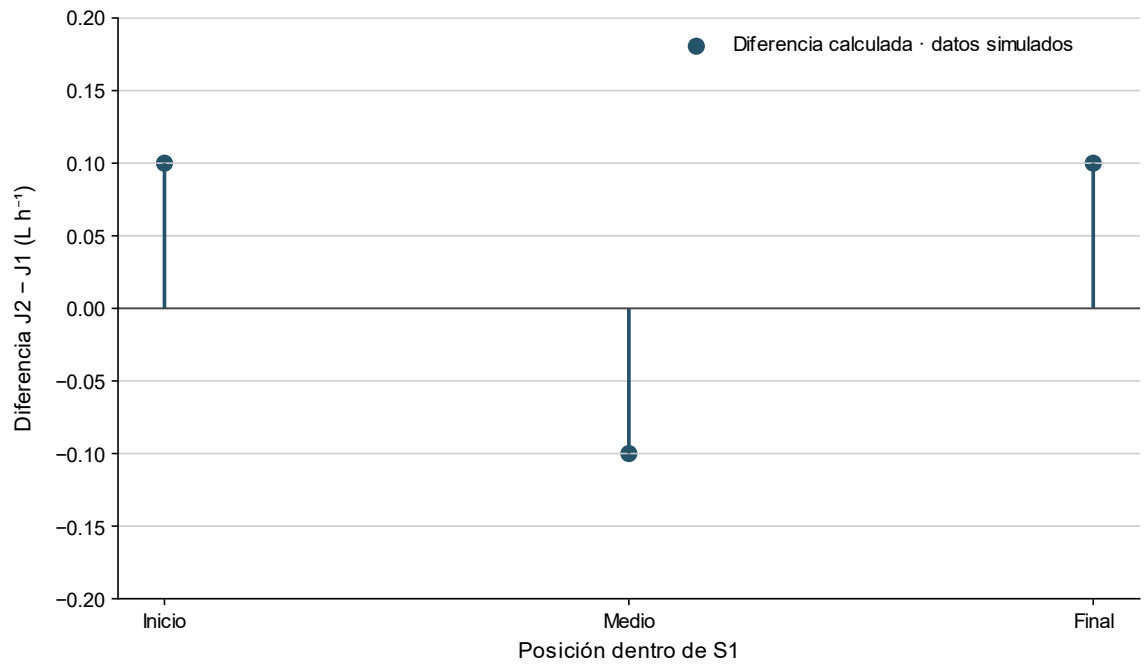


Figura 12. Diferencias de caudal entre jornadas por posición.

Nota: Datos simulados del fragmento del caso de riego; no representan una finca real ni umbrales técnicos.

La referencia cero distingue aumento y disminución: J_2 menos J_1 produce 0,1, -0,1 y 0,1 $L \cdot h^{-1}$ en inicio, medio y final. El cambio de signo queda oculto si solo se compara un promedio global. Dos jornadas no establecen una tendencia temporal y estas diferencias no separan variación real de incertidumbre instrumental; únicamente muestran el cálculo sobre el ejemplo simulado.

La Figura 13 permite mostrar distribución con pocos registros sin intervalos arbitrarios de histograma.

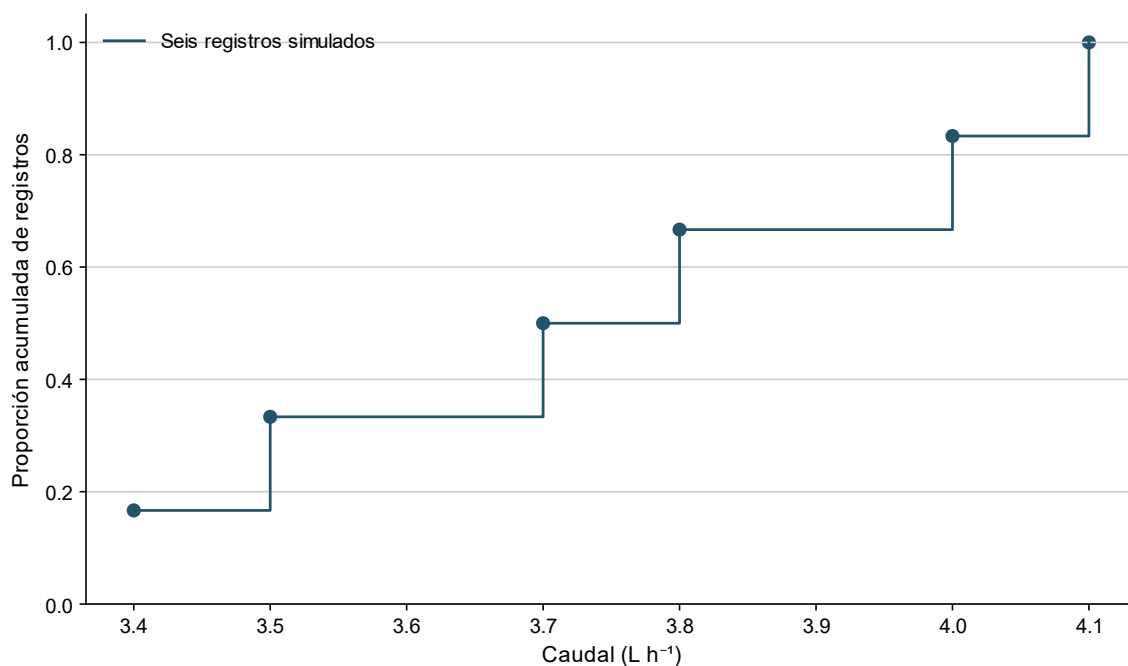


Figura 13. Distribución acumulada del caudal simulado.

Nota: Datos simulados del fragmento del caso de riego; no representan una finca real ni umbrales técnicos.

Cada salto corresponde a uno de los seis registros, de modo que la curva conserva la información sin elegir intervalos de agrupación. La proporción acumulada describe exclusivamente el fragmento simulado y combina posiciones y jornadas; no estima la distribución de emisores de una finca. Su utilidad es didáctica: permite reconocer valores bajos y altos y comprobar cómo un resumen único oculta la distribución.

Prácticas que degradan o distorsionan los datos

Recolectar sin piloto desplaza los problemas de comprensión, duración y formato hacia un momento en que ya no pueden corregirse. Debe ensayarse la cadena completa, incluido el archivo final. Una vez iniciada la captura, los datos brutos se preservan y la depuración se realiza sobre una copia con historial. Sobrescribir el original impide reconstruir errores, mientras que usar cero para representar “no medido”, “no aplica” o “sin respuesta” mezcla estados diferentes y altera los análisis.

Los valores extremos y las unidades exigen volver a la procedencia. Un valor infrecuente puede ser error o fenómeno y solo debe corregirse o excluirse después

de revisar instrumento, registro y contexto. Mezclar kPa y bar en una misma columna sin identificar la unidad produce conversiones silenciosas. La base debe fijar una unidad o conservar la original en un campo separado, junto con la regla utilizada para transformar.

La organización de datos no elimina la jerarquía definida en el diseño. Tratar submuestras como observaciones independientes aumenta artificialmente la cantidad de evidencia; parcelas, subunidades, emisores, participantes y momentos necesitan identificadores que permitan reconocer dependencia. Tampoco es válido explorar numerosas relaciones y presentar la más conveniente como si hubiera sido prevista. Los patrones inesperados se declaran exploratorios y se convierten en preguntas para nueva evidencia.

La comunicación puede distorsionar incluso una base bien construida. Presentar solo la media oculta dispersión, asimetría y tamaño; duplicar los mismos datos en tabla y gráfico añade volumen sin información. El color, los ejes y las escalas no deben utilizarse para exagerar diferencias. La tabla sirve cuando importan valores exactos y el gráfico cuando interesa reconocer un patrón; ambos deben conservar unidades, denominadores e incertidumbre pertinentes.

La evidencia cualitativa y los datos sensibles requieren límites propios. Contar menciones puede ayudar a organizar un corpus, pero no convierte una selección intencional en encuesta representativa. Del mismo modo, transparencia no significa publicar identidades, coordenadas o información productiva confidencial. La apertura se ajusta al consentimiento y al riesgo mediante metadatos, versiones anonimizadas o condiciones de acceso, sin ocultar las restricciones que impiden compartir la base completa.

De registros aislados a evidencia auditable

Un registro se vuelve auditable cuando conserva sus relaciones. El identificador lo enlaza con una unidad; la fecha y la jornada sitúan el momento; el instrumento y el procedimiento explican cómo se obtuvo. Calibración, capacitación y piloto previenen errores que una mayor cantidad de lecturas no corrige. Después, separar archivos

brutos y procesados permite revisar conversiones, exclusiones y cálculos sin borrar la observación original.

Depurar significa documentar una decisión, no limpiar hasta obtener un patrón conveniente. Faltantes, duplicados y valores extremos tienen causas posibles diferentes y deben conservar esa diferencia. El mismo principio rige para entrevistas y notas de campo, aunque la cadena incluya transcripciones verificadas, códigos, memorandos y casos discordantes. Cuando el estudio integra fuentes, las claves espaciales y temporales conectan unas con otras sin confundir sus alcances.

Tablas y gráficos aparecen al final de este recorrido. Una tabla conserva valores y reglas; un gráfico hace visibles perfiles, asociaciones o distribuciones. Ambos vuelven a la pregunta original y deben distinguir lo descrito de lo explicado. La claridad visual sirve a la evidencia; no reemplaza los límites del diseño.

Paquete de obtención y análisis para el caso de riego

La Tabla 11 distingue errores, faltantes y observaciones extremas mediante decisiones de depuración trazables. La comparación evita tratar como equivalentes registros que tienen mecanismos y consecuencias diferentes.

Tabla 11. Decisiones de depuración y conservación del dato original.

Situación		Verificación	Decisión justificada	Huella de auditoría
Caudal	registrado como cero	Confirmar medición y descarga	Conservar si representa una observación real	Condición operativa y responsable
Campo vacío		Revisar formulario e incidencia	Codificar falta de medición sin reemplazarla por cero	Motivo y unidad afectada
Valor extremo		Revisar instrumento, unidad y contexto	Conservar si es válido; corregir solo un error confirmado	Evidencia y efecto de la decisión

Situación	Verificación	Decisión justificada	Huella de auditoría
Identificador duplicado	Contrastar unidad y momento	Distinguir repetición válida de copia accidental	Clave y registros vinculados
Unidad mezclada	Revisar procedencia y conversión	Homogeneizar con fórmula explícita	Valor original, unidad y transformación

Un cero confirmado informa sobre el sistema, mientras que un vacío informa sobre la ausencia de registro. Sustituir ambos por un mismo código altera el resumen y oculta el mecanismo de pérdida. La columna de auditoría conserva la relación entre dato original y decisión, de modo que otra persona puede revisar el tratamiento sin depender de la memoria de quien depura.

La actividad aplicada reúne un paquete de obtención y análisis inicial para el proyecto del estudiante. El diccionario, el fragmento simulado y los gráficos desarrollados en el capítulo sirven como ejemplos de estructura e interpretación; no sustituyen registros obtenidos mediante un estudio real. El paquete incorpora el protocolo de campo con responsables, secuencia, seguridad y desviaciones, y los instrumentos cuantitativos y cualitativos vinculados con la matriz del capítulo 3. El diccionario conserva códigos y valores faltantes; el registro de capacitación y del piloto documenta cómo se comprobó su aplicación.

El marco y la selección definitiva identifican las unidades previstas. La carpeta protegida conserva datos brutos y una copia de trabajo versionada, junto al registro de incidencias, correcciones, exclusiones y transformaciones. El inventario distingue observaciones, faltantes y unidades efectivamente cubiertas. Estos documentos permiten reconocer tanto el material disponible como las diferencias respecto de la cobertura planificada.

El plan de análisis descriptivo se organiza por objetivo. El componente cualitativo incluye un libro inicial de códigos y memorandos; la matriz de integración relaciona mediciones, eventos y prácticas sin borrar su procedencia. Los bocetos de tablas y

gráficos declaran la pregunta que responde cada recurso, para comprobar su utilidad antes de incorporarlos al informe.

La revisión del paquete sigue un registro desde el formulario hasta su resumen. Si falta el tiempo de recolección, el caudal no puede reconstruirse a partir del volumen; si falta el identificador de jornada, una medición pierde su vínculo con el contexto operativo. La prueba piloto examina estabilidad, duración, lectura instrumental e identificación, y documenta los ajustes necesarios. Los rangos de validación se justifican por instrumento y contexto, sin tomar los seis valores simulados como límites de aceptación de una instalación.

Ejercicios de captura, depuración y comunicación

Ejercicio 1. Transforme una matriz de operacionalización en un formulario. Justifique la función de cada campo y elimine los que no aporten a objetivos, calidad o trazabilidad.

Muestra breve: Para caudal, el formulario incluye identificador del emisor, jornada, volumen, tiempo y unidad. Un dato personal del operador no aporta al cálculo y solo se añade si otro objetivo justifica recogerlo y existe autorización.

Ejercicio 2. Diseñe un identificador jerárquico para una investigación con fincas, parcelas, puntos y fechas. Explique cómo evitará duplicados.

Muestra breve: F01-P02-PT03-20260918 identifica finca, parcela, punto y fecha. Si hay varias observaciones ese día, añada un código de sesión; documente el significado y compruebe unicidad.

Ejercicio 3. Redacte un protocolo de cinco pasos para medir una variable agrícola, incluyendo calibración, unidad, estabilización y manejo de incidencias.

Muestra breve: Al medir volumen, primero compruebe el recipiente y su escala; registre después un intervalo definido y la condición de operación. Indique cómo se calcula la variable y qué se hace si ocurre una interrupción.

Ejercicio 4. Prepare una prueba piloto que evalúe instrumento, comprensión, tiempo, archivo y respaldo. Defina criterios para decidir si el protocolo debe cambiar.

Muestra breve: Criterio de aceptación del piloto: cada registro debe vincularse con una unidad y un archivo verificable. Si falta ese vínculo, se ajusta el formulario o el flujo de archivo y se repite la comprobación.

Ejercicio 5. Construya un diccionario con diez variables e incluya tipos, unidades, códigos, faltantes y reglas de validación.

Muestra breve: Campo `presion_kpa`: numérico, unidad kPa, faltante como celda vacía acompañado por motivo, validación contra el intervalo del instrumento. El intervalo plausible depende del equipo y del sistema; no se inventa un límite universal.

Ejercicio 6. Analice tres casos: un cero, un valor vacío y un valor extremo. Proponga decisiones distintas según su procedencia.

Muestra breve: Cero: puede representar ausencia real de entrega de agua. Vacío: indica que no se dispone de medición. Extremo: se contrasta con formulario, instrumento y contexto antes de corregirlo o conservarlo.

Ejercicio 7. Organice un conjunto pequeño según los principios de una variable por columna, una observación por fila y una tabla por tipo de unidad.

Muestra breve: Una fila identifica emisor y jornada; las columnas contienen presión, volumen y tiempo. Los datos de operadores se conservan en otra tabla, vinculada por identificadores autorizados, porque representan otro tipo de unidad.

Ejercicio 8. Compare media y mediana en un conjunto con un valor extremo. Explique cuál comunica mejor el centro y por qué.

Muestra breve: Con los datos exclusivamente ilustrativos 2, 3, 3, 4 y 18, la media es 6 y la mediana 3. El último valor desplaza la media; revise su procedencia antes de decidir qué medida comunica mejor el centro.

Ejercicio 9. Seleccione un gráfico para mostrar distribución, otro para relación y otro para cambio temporal. Defina ejes, unidades, grupos y riesgo de interpretación.

Muestra breve: Para relacionar presión y caudal, use dispersión: eje horizontal en kPa y vertical en $L \cdot h^{-1}$. Identifique jornadas y advierta que la asociación visual no demuestra causalidad.

Ejercicio 10. Codifique un fragmento de entrevista agrícola, registre una interpretación alternativa y explique qué evidencia adicional permitiría resolverla.

Muestra breve: Fragmento ficticio: “Limpiamos cuando baja la entrega, pero a veces falta personal”. Código inicial: limpieza reactiva. Alternativa: restricción de trabajo. Pregunte por criterios y registros de fechas para contrastar ambas lecturas.

Ejercicio 11. Diseñe una matriz de integración para relacionar mediciones con prácticas sin afirmar causalidad.

Muestra breve: Fila de integración: patrón medido, diferencia por posición; registro contextual, limpieza documentada; interpretación, coincidencia que requiere examinarse; límite, sin asignación experimental no se atribuye un efecto causal.

Ejercicio 12. Audite una tabla o gráfico publicado: identifique la pregunta visual, la unidad, el denominador, la incertidumbre y cualquier decisión que pueda distorsionar la lectura.

Muestra breve: Si el eje de un gráfico dice “pérdidas (%)”, compruebe qué cantidad forma el denominador y qué periodo representa. Una escala truncada puede exagerar diferencias; explique cómo afecta la lectura.

Capítulo 5. Proyecto y comunicación de la investigación

Integrar para ejecutar y comunicar

Una ventana de medición puede cerrarse mientras se espera un permiso. Un sensor puede fallar lejos del laboratorio y una lluvia alterar el acceso al sitio. En esas circunstancias, la calidad del diseño depende también de responsables, recursos, secuencias y contingencias. La gestión no comienza después de la metodología: determina si esta podrá ejecutarse como fue concebida.

Tener por separado problema, objetivos, diseño e instrumentos tampoco equivale a disponer de un proyecto. Alguien debe saber qué actividad precede a otra, quién entrega cada producto, bajo qué control se acepta y qué decisión corresponde cuando las condiciones cambian. El protocolo reúne esos compromisos antes de exponer personas, cultivos, equipos o recursos a un trabajo mal coordinado.

Las restricciones de la ingeniería agrícola hacen visible esa relación: las campañas productivas no se desplazan con facilidad, el clima y la operación del sistema imponen momentos y una autorización tardía puede volver inviable la selección prevista. Cronograma, presupuesto y gestión de datos tienen, por tanto, consecuencias metodológicas; si obligan a reducir jornadas o sustituir unidades, cambia también el alcance de la respuesta.

Cerrar la base no cierra el estudio. El informe deberá permitir que otra persona reconstruya qué se preguntó, qué ocurrió y por qué la interpretación mantiene determinados límites. Las citas, tablas, presentaciones y productos dirigidos al territorio comparten esa obligación, aunque cambien de extensión y vocabulario. Forero et al. [36] relacionan la ejecución con entregables, responsabilidades, controles éticos, respaldo de información e informes oportunos. El último tramo de la investigación consiste precisamente en documentar y comunicar esas decisiones sin convertir el plan en una versión idealizada de lo ocurrido.

Protocolo, proyecto e informe final

Antes de ejecutar, el protocolo fija los compromisos científicos: problema, objetivos, diseño, unidades, procedimientos, análisis previsto y salvaguardas éticas. Debe

ofrecer suficiente detalle para que el equipo aplique criterios comunes y para que una evaluación externa pueda detectar incoherencias. Su estructura cambia con el enfoque y con las exigencias institucionales; las decisiones esenciales, en cambio, tienen que permanecer visibles.

El proyecto incorpora aquello que vuelve posible ese protocolo. Distribuye responsabilidades, organiza presupuesto y compras, gestiona permisos, establece un calendario y define cómo se conservarán documentos y datos. En términos prácticos, el protocolo responde qué se investigará y bajo qué lógica; la gestión precisa quién hará el trabajo, cuándo, con cuáles recursos y cómo se comprobará el avance.

Después de la ejecución aparece otro documento. El informe final describe procedimientos realmente aplicados, incidencias, resultados, límites y conclusiones. No basta con copiar el protocolo y cambiar los tiempos verbales. Esa práctica puede presentar como realizado un método que fue modificado o silenciar la pérdida de unidades. Schwab et al. [37] señalan que el reporte debe corresponder con los objetivos, los procedimientos, las modificaciones y los hallazgos pertinentes, condición necesaria para evaluar o reutilizar el estudio.

Los registros enlazan ambos momentos: el protocolo aprobado funciona como referencia, las bitácoras y versiones muestran la ejecución y el informe explica la diferencia entre lo previsto y lo ocurrido. Así puede distinguirse una adaptación justificada de un incumplimiento o de un aprendizaje que cambió la ruta. Sin el plan no hay base para reconocer la modificación. Sin los registros, el informe puede describir un estudio ideal que nunca se realizó.

La cantidad de documentación será proporcional al riesgo. Para un ejercicio de aula pueden bastar una carpeta versionada y una matriz breve. Un proyecto con participantes, equipos costosos o consecuencias productivas necesita autorizaciones y controles más formales. Ajustar la profundidad no significa suprimir piezas esenciales, sino dejar evidencia suficiente para proteger a las personas, los recursos y las inferencias.

Planificación, seguimiento y control de cambios

Planificar consiste en traducir objetivos en actividades verificables. Cada actividad necesita un producto, una persona responsable, un periodo, recursos, dependencias y un criterio de terminación. “Realizar trabajo de campo” es demasiado amplio para gestionarse; “calibrar manómetros”, “ejecutar el piloto”, “aprobar la versión del instrumento” y “medir los emisores seleccionados” permiten reconocer secuencia y avance.

El cronograma representa esa lógica temporal, pero no predice el futuro con exactitud. Una planificación responsable identifica dependencias y márgenes de contingencia, especialmente cuando la investigación depende de lluvias, disponibilidad de maquinaria, importación de componentes o acceso a predios. Forero et al. [36] recomiendan vincular desde el inicio actividades, entregables, calendario y responsabilidades, además de revisar con regularidad los avances y problemas. Cambiar el plan puede ser necesario; hacerlo sin registro destruye trazabilidad. Por ello, cada modificación relevante debe consignar fecha, motivo, autorización, componentes afectados y consecuencias para el análisis.

El seguimiento debe concentrarse en condiciones que amenazan la lógica del estudio, no solo en porcentajes de avance. Completar muchas mediciones no compensa haber omitido un estrato; cumplir una fecha no justifica utilizar un instrumento sin aprobar. Los hitos críticos son decisiones verificables: marco cerrado, piloto aceptado, versión de instrumento aprobada, base congelada para análisis y revisión de conclusiones frente a objetivos. Cada hito necesita criterios que permitan detenerse cuando la calidad no es suficiente.

El control de cambios distingue modificaciones administrativas de cambios metodológicos. Reasignar una tarea puede no alterar la inferencia; reducir jornadas, sustituir unidades o cambiar una fórmula sí puede hacerlo. Estos últimos deben volver a la pregunta, los objetivos y el análisis para establecer si el alcance permanece o necesita corregirse. El registro no se limita a narrar qué cambió: explica qué parte del conocimiento prometido quedó afectada.

Comunicación científica y comunicación para la decisión

La comunicación científica permite que una comunidad especializada examine la pregunta, el método, la evidencia y el razonamiento. Un artículo, informe o ponencia no es un inventario cronológico de todo lo que hizo el equipo. Mensh y Kording [38] proponen organizar los textos alrededor de una contribución central y considerar cómo el lector procesa la información en los niveles del documento, la sección, el párrafo y la oración. La selección de contenidos depende entonces de su función en la explicación, no del esfuerzo que costó producirlos.

La comunicación para la decisión se dirige a productores, operadores, asociaciones, autoridades, extensionistas o responsables de infraestructura. Comparte la obligación de ser exacta, pero modifica vocabulario, extensión, soporte y nivel de detalle. Un artículo puede requerir supuestos estadísticos y referencias completas; una reunión con operadores puede concentrarse en el patrón observado, la incertidumbre y las acciones que todavía necesitan validación. Adaptar no significa simplificar hasta deformar: los límites, las condiciones y el carácter exploratorio de un hallazgo deben permanecer visibles.

Cada producto debe conservar un núcleo verificable: pregunta, contexto, evidencia, resultado, incertidumbre y uso razonable. Lo que cambia es la cantidad de detalle necesaria para que el público comprenda y evalúe ese núcleo. Una ficha técnica puede omitir desarrollos estadísticos extensos, pero no la unidad, el periodo o la condición que limita la recomendación. Una exposición académica puede concentrarse en tres hallazgos, siempre que no seleccione únicamente los favorables.

La comunicación también produce información para el proyecto. Preguntas de operadores, desacuerdos con una interpretación o dificultades para comprender un gráfico pueden revelar supuestos omitidos. Registrar esa devolución no convierte toda opinión en resultado, pero permite distinguir problemas de presentación, conocimiento contextual y nuevas preguntas. El cierre responsable deja una ruta para incorporar ese aprendizaje sin reescribir retrospectivamente los hallazgos.

Públicos, territorio y responsabilidad en la ingeniería agrícola

Los proyectos de ingeniería agrícola suelen conectar sistemas físicos, procesos biológicos y prácticas humanas. Una investigación sobre riego puede reunir presión, caudal, topografía, mantenimiento y decisiones de operación; un estudio poscosecha puede relacionar temperatura, humedad, daños, tiempos logísticos y rutinas de manipulación. Esa diversidad crea públicos con necesidades distintas. Quien diseña el sistema solicita precisión técnica; quien lo opera necesita procedimientos realizables; quien financia exige entregables y uso justificable de recursos; la comunidad quiere saber qué consecuencias pueden afectar su producción o su acceso a bienes compartidos.

El territorio también condiciona la forma de comunicar. Las diferencias de conectividad, alfabetización técnica, lengua, experiencia productiva y relación con instituciones no deben tratarse como obstáculos atribuibles al público. Son características que el equipo debe conocer al seleccionar formatos, horarios, ejemplos y mecanismos de devolución. Una infografía enviada por internet puede excluir a quienes no tienen conexión estable; una charla única en lenguaje especializado puede cumplir formalmente una actividad sin producir comprensión ni diálogo.

La comunicación responsable empieza durante el diseño. Si se promete a productores una solución que el estudio solo puede describir, la relación queda viciada antes de recolectar datos. Si no se define quién recibirá los resultados o cómo se protegerán ubicaciones y testimonios, el informe puede producir daños no previstos. El protocolo necesita anticipar productos, destinatarios, riesgos y restricciones, mientras que el informe final debe mostrar qué compromisos se cumplieron.

Estructura funcional del protocolo

Un protocolo útil se lee como una cadena de decisiones. El título delimita el fenómeno y el contexto; los antecedentes explican qué se conoce y qué falta; el problema convierte esa brecha en una pregunta; los objetivos indican qué conocimiento se producirá; el diseño establece la ruta para obtenerlo; el plan de

análisis anticipa cómo la evidencia responderá a los objetivos; las consideraciones éticas y operativas determinan las condiciones aceptables de ejecución.

La Tabla 12 resume los componentes mínimos y la pregunta de control que debe responder cada uno. No sustituye un formato institucional, pues una convocatoria puede pedir secciones adicionales, pero ayuda a detectar omisiones antes de someter o iniciar el proyecto.

Tabla 12. Componentes funcionales de un protocolo de investigación agrícola.

Componente	Pregunta de control	Evidencia de suficiencia
Título y delimitación	¿Qué se estudiará, dónde y bajo qué alcance?	Fenómeno, unidad o sistema y contexto identificables
Antecedentes y problema	¿Qué brecha práctica o de conocimiento justifica el estudio?	Literatura pertinente y situación delimitada sin conclusiones anticipadas
Pregunta y objetivos	¿Qué respuesta concreta se busca?	Correspondencia entre pregunta, objetivo general y objetivos específicos
Diseño y alcance	¿Qué estrategia permite responder sin exceder la evidencia posible?	Justificación del enfoque, temporalidad y carácter experimental u observacional
Variables o categorías	¿Qué se observará y cómo conservará su significado?	Definiciones, indicadores, unidades, códigos y criterios operativos
Unidades y selección	¿Sobre qué entidades se inferirá y cuáles se observarán?	Población o marco, criterios, tamaño y procedimiento de selección
Obtención de datos	¿Quién medirá qué, cuándo, dónde y con qué control?	Instrumentos, piloto, calibración, secuencia, responsables e incidencias

Componente	Pregunta de control	Evidencia de suficiencia
Gestión y análisis	¿Cómo se protegerán, depurarán y analizarán los registros?	Diccionario, versiones, respaldo, plan por objetivo y manejo de faltantes
Ética, seguridad y permisos	¿Qué riesgos existen y cómo se reducirán?	Consentimientos, autorizaciones, confidencialidad y medidas de seguridad
Organización operativa	¿Cuándo y con qué recursos se ejecutará?	Cronograma, roles, presupuesto, dependencias y contingencias
Comunicación y productos	¿Quién recibirá qué producto y con qué límites?	Informe, devolución, conjunto de datos o materiales con público y formato definidos

Nota: Elaboración a partir de la secuencia construida en los capítulos anteriores y de las recomendaciones de Forero et al. [36] y Schwab et al. [37].

La tabla hace visible una propiedad decisiva: ningún componente se evalúa de manera aislada. Un instrumento técnicamente correcto no basta si mide una variable ajena al objetivo; un cronograma ordenado no vuelve viable una muestra inaccesible; un plan de comunicación no puede prometer inferencias que el diseño no permite. La revisión debe recorrer relaciones entre componentes y no limitarse a comprobar que todos los encabezados estén presentes.

Esta revisión puede realizarse mediante recorridos verticales y horizontales. El recorrido vertical sigue un objetivo hasta variable o categoría, unidad, instrumento, registro, análisis y producto. El horizontal compara todos los objetivos para detectar competencias por recursos, duplicación de mediciones o alcances incompatibles. Un protocolo puede superar cada revisión aislada y fallar como conjunto si dos actividades requieren el mismo equipo en momentos simultáneos o si la integración depende de identificadores que ningún instrumento registra.

La suficiencia se prueba también con escenarios adversos. Si falta una jornada, una persona se retira o un instrumento se reemplaza, debe ser posible identificar qué objetivo queda afectado y qué decisión corresponde. Un protocolo incapaz de responder estas preguntas delega al momento crítico una elección que debería haberse discutido antes. Las contingencias no necesitan anticipar todo; deben cubrir los riesgos previsibles y establecer autoridad para resolver los restantes.

Cronograma, responsables, recursos y contingencias

El cronograma se construye desde productos verificables y dependencias. Las autorizaciones anteceden al acceso; el piloto antecede a la versión final del instrumento; la depuración depende de la captura; el análisis requiere una base cerrada o una versión explícitamente definida. Algunas actividades pueden ejecutarse en paralelo, como capacitar al equipo y preparar la estructura de respaldo, siempre que no compitan por el mismo recurso crítico.

La duración no debe estimarse solo con el tiempo ideal de la tarea. En campo se consideran desplazamientos, estabilización de equipos, interrupciones climáticas, disponibilidad de participantes y repetición de mediciones inválidas. En oficina se reservan periodos para control de calidad, documentación, revisión conjunta y correcciones. Un cronograma saturado oculta el costo de los imprevistos y puede inducir a omitir controles para cumplir una fecha.

Asignar responsables significa definir autoridad y entrega, no únicamente escribir nombres. Cada producto necesita una persona que coordine su finalización y otras que ejecuten, revisen o autoricen. Los acuerdos sobre autoría y reconocimiento deben discutirse antes de redactar el informe, en función de contribuciones reales y políticas aplicables. Forero et al. [36] subrayan la conveniencia de aclarar roles, reuniones, transición de integrantes y responsabilidades desde el comienzo del proyecto.

El presupuesto se vincula con actividades y riesgos: horas de personal, transporte, equipos, calibración, materiales, comunicaciones, protección de datos y contingencias justificadas. Un gasto no se legitima por aparecer en una categoría general; debe ser necesario para producir un entregable o reducir un riesgo del

protocolo. Si un recurso esencial no está disponible, corresponde rediseñar el alcance, no sostener un método que solo existe en el papel.

Las dependencias permiten reconocer la ruta crítica. Si permisos, marco y piloto deben completarse antes de medir, un retraso en cualquiera de ellos afecta toda la campaña. Otras tareas tienen flexibilidad, como preparar metadatos o bosquejar la estructura del informe. Distinguir las ayuda a asignar márgenes donde realmente protegen el proyecto y evita repartir contingencias de forma uniforme sin relación con el riesgo.

La carga de trabajo debe estimarse por unidad y producto, no solo por duración del calendario. Medir cuarenta emisores puede requerir tiempos diferentes según desplazamiento, estabilización y duplicados; transcribir una hora de conversación demanda más de una hora de trabajo. Subestimar estas tareas traslada presión hacia los controles de calidad. Un presupuesto metodológicamente coherente reserva tiempo para revisar, documentar y repetir lo inválido, no únicamente para producir registros.

La Figura 14 permite complementar el cronograma mostrando dependencias sin fijar fechas ficticias.

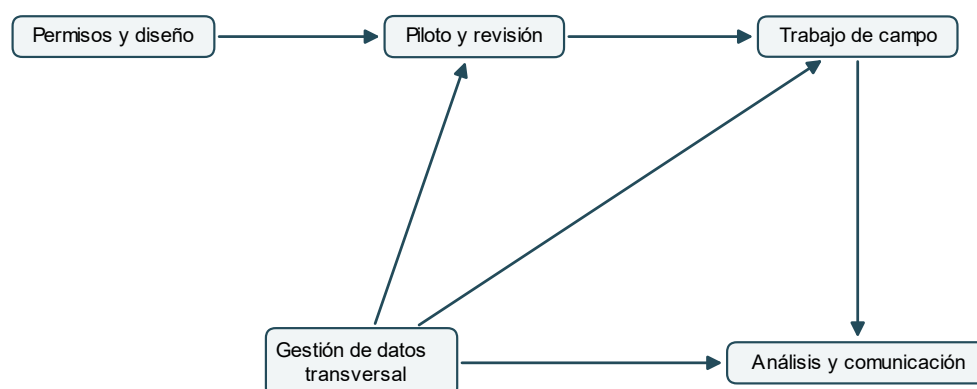


Figura 14. Dependencias entre permisos, piloto, campo y análisis.

El orden expresa condiciones de inicio, no duración de tareas. Obtener permisos no reemplaza revisar instrumentos, y disponer de un archivo no demuestra que el campo esté completo. La gestión de datos acompaña el proceso: identificadores, respaldo y control de versiones deben estar disponibles durante la captura, porque reconstruirlos después puede resultar imposible.

Ética, integridad y apertura proporcionada

La aprobación institucional, los permisos del predio y el consentimiento de participantes se gestionan antes de obtener información cuando correspondan. La participación debe ser voluntaria, comprensible y compatible con las normas aplicables. En estudios con operadores o productores, conviene separar datos técnicos de identificadores personales, restringir accesos y explicar si las declaraciones serán grabadas, citadas o compartidas. Los datos aparentemente impersonales (coordenadas, rendimientos o fallas de infraestructura) también pueden revelar información sensible sobre una finca o comunidad.

La integridad comprende mucho más que evitar la fabricación. Incluye conservar datos brutos, documentar exclusiones, declarar conflictos, reconocer

contribuciones, respetar el análisis previsto y comunicar resultados desfavorables o inciertos. Schwab et al. [37] relacionan las buenas prácticas con protocolos, planes de análisis, control de sesgos, documentación, reporte de hallazgos y uso de guías pertinentes. Un resultado nulo o discordante no constituye un fracaso del proyecto si el estudio respondió con rigor la pregunta planteada.

La apertura debe ser proporcionada al valor de reutilización y a los riesgos. Compartir datos, códigos, instrumentos y metadatos puede facilitar verificación y aprendizaje, pero no autoriza publicar información personal, ubicaciones vulnerables o archivos sujetos a acuerdos. Cuando no sea posible abrir la base, el equipo puede publicar un diccionario, una descripción del acceso, materiales anonimizados o datos sintéticos claramente rotulados. Munafò et al. [5] sitúan la transparencia y la disponibilidad de métodos y evidencia entre las prácticas que fortalecen la reproducibilidad; aplicarlas exige documentar también las razones legítimas de cualquier restricción.

Las obligaciones no terminan con una autorización inicial. Si cambia el uso de los datos, aparece un riesgo de identificación o se proyecta un producto no previsto, debe revisarse el acuerdo aplicable. En territorios pequeños, combinar coordenadas, función y fragmentos de relato puede identificar a una persona, aunque se retire el nombre. La minimización exige conservar y divulgar solo la información necesaria para el propósito declarado.

La integridad incluye tratar con transparencia las presiones del proyecto. Un plazo, una expectativa del financiador o el deseo de mostrar impacto no justifican cambiar exclusiones, ocultar resultados discordantes o exagerar recomendaciones. Definir canales para comunicar problemas y separar la revisión científica de intereses operativos reduce la posibilidad de que una dificultad de gestión termine convertida en sesgo del informe.

Del protocolo al informe final

El informe final no se redacta copiando el protocolo y cambiando los verbos al pasado. La introducción conserva el problema y la necesidad del estudio, pero se ajusta a la evidencia disponible al momento de escribir. El método documenta la ejecución real: lugares, fechas, selección efectiva, instrumentos aplicados,

desviaciones, pérdidas y análisis realizados. Los resultados presentan evidencia sin anticipar toda la discusión; la discusión interpreta, compara, examina explicaciones alternativas y reconoce limitaciones; las conclusiones responden los objetivos sin agregar resultados nuevos.

La estructura puede adoptar un esquema IMRyD (introducción, métodos, resultados y discusión) o el formato requerido por una institución. Lo esencial es que el lector pueda reconstruir la lógica. Mensh y Kording [38] recomiendan articular una contribución central y dar a cada sección una función reconocible. Bajo ese criterio, el título comunica el foco; el resumen presenta el problema, el abordaje, los hallazgos principales y su alcance; la introducción conduce a la pregunta; el método permite evaluar cómo se produjo la evidencia; los resultados entregan la respuesta empírica; la discusión explica su significado.

El orden del informe tampoco debe ocultar la historia metodológica. Si cambió la muestra, falló un instrumento o se incorporó un análisis exploratorio, la desviación se declara y se justifica. El protocolo funciona entonces como referencia para comparar intención y ejecución, no como versión idealizada que sustituye lo ocurrido.

Escritura académica, citación y referencias

La claridad surge de ordenar relaciones, no de eliminar toda complejidad. Un párrafo académico suele plantear una idea, desarrollarla con evidencia o razonamiento y mostrar su consecuencia para el argumento. La terminología se mantiene estable: si el proyecto distingue unidad de estudio, unidad de observación y submuestra, el informe no debe intercambiar esos términos por variedad estilística. Mensh y Kording [38] advierten que cambiar palabras para un mismo concepto puede hacer pensar que existe una diferencia que el autor nunca explicó.

Cada afirmación necesita una fuerza compatible con su respaldo. “Los seis registros sugieren una disminución” describe el ejemplo del capítulo 4; “la presión determina el caudal en todos los sistemas” formula una generalización causal que esos registros no pueden sostener. Verbos como *mostrar*, *sugerir*, *asociarse*, *explicar* y *demostrar* no son equivalentes. La revisión debe comprobar sujeto, alcance, temporalidad y grado de certeza antes de pulir el estilo.

La norma de citación se elige según las indicaciones de la institución, revista o editorial destinataria. Una investigación agrícola puede presentarse con APA, IEEE u otro sistema solicitado; la disciplina por sí sola no impone una norma única. Los sistemas de autor y fecha permiten reconocer quién publicó la idea y cuándo, mientras que los sistemas numéricos remiten mediante un número a la referencia correspondiente. Las instrucciones del destinatario determinan el formato de las citas, el orden de las referencias y los datos exigidos. Antes de redactar, conviene identificar esas instrucciones y configurar el gestor bibliográfico para aplicarlas de manera consistente.

Las citas de este libro utilizan IEEE por decisión editorial. Esa elección organiza las fuentes de la obra y no obliga al estudiante a emplear la misma norma en su proyecto. En este formato, cada fuente recibe un número entre corchetes en su primera aparición y conserva ese número en menciones posteriores. En cualquier sistema, las citas textuales requieren un localizador verificable y la paráfrasis mantiene la atribución, aunque no utilice comillas. El estudiante adapta la presentación a la norma requerida sin cambiar el contenido atribuido ni la relación entre afirmación y fuente.

Penders [39] sostiene que citar exige leer la publicación y relacionarla con la afirmación exacta que sustenta. La lista final incluye las obras citadas y cada cita del cuerpo conduce a su referencia. La revisión comprueba autoría, título, año, publicación, volumen, número, páginas o identificador de artículo y DOI cuando corresponden, además del orden y la puntuación establecidos por la norma elegida. Una entrada formalmente correcta puede remitir a una fuente que no respalda la afirmación; por eso la comprobación de metadatos y la lectura del contenido son tareas complementarias.

Las herramientas automáticas ayudan a ordenar referencias y detectar DOI, pero no pueden decidir si un artículo respalda una oración. La responsabilidad intelectual permanece en quien escribe. Cuando una fuente aparece citada dentro de otra, la opción preferible es localizar el original, leerlo y citarlo directamente.

La continuidad del informe depende de que cada sección entregue una pregunta resuelta a la siguiente. La introducción termina con el propósito; el método explica

cómo se produjo la evidencia; los resultados se ordenan por preguntas u objetivos; la discusión interpreta esos resultados frente a antecedentes y alternativas; las conclusiones responden sin añadir evidencia. Cuando las secciones se construyen como textos independientes, aparecen repeticiones completas del problema y saltos entre cifras y recomendaciones.

La revisión por párrafos puede seguir una regla sencilla: identificar la afirmación central, el respaldo y la consecuencia. No todos los párrafos necesitan una cita, pero toda afirmación procedente de una fuente debe atribuirse, y todo dato del estudio debe conducir al resultado correspondiente. Un párrafo que contiene varias afirmaciones de origen distinto requiere citas cercanas o una reorganización que haga visible la relación. La corrección formal no sustituye esta arquitectura.

Presentación oral y comunicación responsable

Una exposición no es el informe leído en voz alta. Necesita una audiencia definida, un mensaje central y una secuencia que pueda comprenderse dentro del tiempo disponible. Bourne [40] recomienda ajustar el contenido al público, reducir la cantidad de mensajes, sostener un orden lógico, practicar con tiempo y utilizar recursos visuales con moderación. En una defensa académica, el núcleo puede ser la coherencia entre problema, método, resultados y límites; en una devolución comunitaria, puede ser qué se observó, qué no puede concluirse y qué decisión merece evaluación adicional.

Las diapositivas apoyan la explicación cuando muestran relaciones difíciles de comunicar oralmente. Una fotografía puede situar el sistema; un diagrama puede condensar el diseño; un gráfico puede hacer visible un patrón. Párrafos completos, tablas ilegibles y animaciones decorativas compiten con la voz. Cada recurso necesita título informativo, unidades, fuente y tamaño suficiente, además de una explicación que oriente la mirada sin leer cada elemento.

El mismo hallazgo cambia de formato, pero no de significado, según el público. La Tabla 13 relaciona destinatarios frecuentes con decisiones de comunicación aplicables a una investigación agrícola.

Tabla 13. Plan básico de comunicación de resultados.

Público	Necesidad principal	Producto posible	Evidencia que debe conservarse	Riesgo que debe evitarse
Comunidad académica	Evaluar método, análisis y aporte	Informe, artículo o ponencia	diseño, datos, incertidumbre, citas y limitaciones	seleccionar solo resultados favorables
Productores y operadores	Comprender y patrones y decisiones prácticas	Taller, ficha técnica o demostración	contexto, unidades, alcance y condiciones de uso	convertir asociación en recomendación universal
Autoridad o financiador	Verificar cumplimiento y utilidad	Informe ejecutivo y anexos	entregables, recursos, incidencias e indicadores	ocultar desviaciones para aparentar cumplimiento
Equipo técnico	Replicar o mejorar procedimientos	Protocolo, manual y paquete de datos	versiones, calibración, código, metadatos y fallas	entregar archivos sin documentación
Público general	Entender relevancia y límites	Nota, infografía, audio o exposición breve	mensaje central, magnitud y fuente	exagerar novedad, certeza o impacto

Nota: Elaboración a partir de Bourne [40], Forero et al. [36] y Schwab et al. [37].

La adaptación adecuada conserva un núcleo común: qué se estudió, con qué evidencia, qué se encontró, qué incertidumbre existe y qué uso es razonable. Lo que cambia es la profundidad técnica y el medio. Esta regla impide que el informe académico admita limitaciones mientras una pieza divulgativa proclama una solución

definitiva. La coherencia entre productos también permite que quienes recibieron una devolución breve accedan, cuando sea posible, a documentación más completa.

La preparación oral debe incluir preguntas difíciles y respuestas proporcionadas. Si se consulta por causalidad, representatividad o valores aceptables que el estudio no estableció, la respuesta correcta delimita lo conocido y explica qué evidencia faltaría. Practicar estas fronteras reduce la tendencia a improvisar conclusiones más firmes ante una audiencia. La claridad se demuestra también al reconocer lo que el proyecto no puede responder.

Del protocolo aprobado al cierre del proyecto

La integración recupera problema, pregunta, objetivos, diseño, variables o categorías, unidades, instrumentos y plan de análisis en sus versiones vigentes. Cada objetivo se sigue hasta la evidencia y el análisis que permitirán responderlo; los componentes sin función se retiran y los vacíos se corrigen. El protocolo, los instrumentos, la base, el informe, la devolución y los demás productos exigidos reciben criterios observables de terminación. Esa definición permite transformar los entregables en tareas con dependencias, responsables, revisiones y autorizaciones, en lugar de confundir un nombre de archivo con un producto terminado.

El cronograma y el presupuesto estiman tiempos y recursos bajo condiciones reales e incorporan contingencias justificadas. Antes de ejecutar se obtienen permisos y se resuelven consentimiento, confidencialidad, seguridad y tratamiento de datos. La revisión del protocolo comprueba coherencia científica, viabilidad operativa y versión, y distribuye el documento aprobado. Durante la ejecución se registran avances, incidencias, calidad, reuniones y uso de recursos, conservando la historia del proyecto. Los cambios relevantes documentan motivo, autorización y efecto sobre objetivos, muestra, medición o análisis.

El informe diferencia plan y ejecución, presenta resultados completos y limita las conclusiones al diseño y a los datos. La auditoría revisa respaldo de citas, correspondencia bibliográfica, numeración de recursos, unidades, notas, accesibilidad y análisis posterior. La comunicación adapta los productos a sus públicos y devuelve los resultados sin aumentar su grado de certeza. El cierre archiva

versiones y registra nuevas preguntas con sus incertidumbres; no convierte una posibilidad de estudio en una promesa de solución.

La secuencia no obliga a esperar el final para escribir. El método, los metadatos, las incidencias y las decisiones pueden documentarse durante la ejecución. Lo que debe evitarse es cerrar las conclusiones antes de conocer los resultados o cambiar retrospectivamente el objetivo para ajustarlo al patrón más llamativo.

Integración en proyectos agrícolas contrastados

En una investigación sobre pérdidas poscosecha, el protocolo puede fijar lotes, momentos de observación, definición de daño, condiciones de almacenamiento y registros de manipulación. El proyecto añade acceso a bodegas, coordinación con responsables, disponibilidad de termohigrómetros, transporte y devolución. El informe distinguirá pérdidas medidas de explicaciones propuestas; una ficha para usuarios podrá presentar puntos críticos y acciones que aún requieran ensayo, sin atribuir causalidad a una comparación descriptiva.

En un estudio sobre adopción de prácticas de conservación de suelo, la programación depende de calendarios productivos y disponibilidad de participantes. El consentimiento, la protección de identidades y la forma de devolver resultados necesitan definirse antes de entrevistar. La comunicación comunitaria puede organizar hallazgos por barreras, experiencias y condiciones locales, mientras que el informe conserva selección de participantes, procedimiento de análisis, casos discordantes y citas de la literatura. Contar menciones no convierte la muestra intencional en una estimación poblacional.

Estos ejemplos muestran que la estructura general permanece, pero los controles cambian con la evidencia. El protocolo de una medición instrumental enfatiza calibración, unidades y estabilidad; uno basado en entrevistas exige consentimiento, guía, contexto y tratamiento interpretativo. Integrar no significa uniformar métodos distintos, sino hacer explícita su relación con la pregunta.

Protocolo básico del caso de riego

El caso construido a lo largo del libro se presenta como ejercicio didáctico y no como protocolo listo para una finca específica. Los nombres, cantidades operativas y plazos deberán ajustarse después de reconocer el sistema real, sus permisos y recursos. Los seis registros del capítulo 4 continúan siendo simulados y no se utilizan para calcular una muestra, diagnosticar una instalación ni anticipar resultados.

La pregunta central formulada en el capítulo 2 y conservada en el diseño del capítulo 3 no cambia de objeto: relaciona la variación del desempeño hidráulico con prácticas documentadas de operación y mantenimiento. Para convertirla en protocolo se desagrega la variación en presión y caudal, y se incorporan subunidades, posiciones y jornadas como dominios de observación definidos por el diseño. Esta precisión operacional no añade causalidad, rendimiento ni eficiencia del uso del agua al alcance.

Título provisional. Variación espacial del desempeño hidráulico y prácticas de operación en un sistema de riego agrícola durante jornadas seleccionadas.

Situación problemática. En el sistema se perciben diferencias de entrega de agua entre sectores y posiciones de las laterales. Los registros de presión, caudal y mantenimiento no están integrados, por lo que no puede establecerse con trazabilidad la magnitud del patrón ni su relación descriptiva con condiciones operativas.

Pregunta operativa. ¿Cómo varían la presión y el caudal entre subunidades, posiciones y jornadas seleccionadas, y qué prácticas de operación y mantenimiento coinciden con los patrones observados?

Objetivo general. Describir la variación espacial y temporal de presión y caudal en unidades seleccionadas del sistema de riego e integrar esas mediciones con registros y relatos de operación y mantenimiento.

Objetivos específicos. Caracterizar presión y caudal por subunidad, posición y jornada; documentar prácticas e incidencias de operación y mantenimiento; explorar relaciones descriptivas entre variables hidráulicas y condiciones registradas; e

integrar evidencia técnica y cualitativa para identificar patrones, discrepancias y necesidades de evaluación posterior.

Alcance y diseño. Estudio de caso observacional, descriptivo-relacional, de enfoque mixto. No se manipulan tratamientos ni se pretende atribuir causalidad. Las mediciones repetidas conservan identificadores de sistema, subunidad, lateral, emisor, posición y jornada. El componente cualitativo se utiliza para contextualizar prácticas y eventos, no para estimar prevalencias en una población amplia.

Unidades y selección. El marco se construirá con las subunidades y laterales operativas durante el periodo autorizado. La selección física se estratificará por subunidad y posición (inicio, medio y final), con una regla reproducible para elegir emisores. Los responsables de operación podrán incluirse mediante censo cuando su número sea manejable o por selección intencional justificada. El tamaño definitivo dependerá del inventario real, la variabilidad esperada, los recursos y la precisión requerida; no se fija a partir de los datos simulados.

Variables y categorías. Se registrarán presión estabilizada en kPa, volumen en mL, tiempo en s y caudal derivado en $L \cdot h^{-1}$, junto con fecha, jornada, posición e identificadores jerárquicos. Las categorías cualitativas iniciales abarcarán operación, mantenimiento, incidencias, criterios de decisión y percepción de variación. El diccionario controlará códigos, unidades, faltantes y reglas de validación.

Obtención de datos. Antes del campo se verificarán permisos, seguridad, calibración o comprobación funcional, capacitación e instrumentos. El piloto recorrerá desde la selección del emisor hasta el respaldo del archivo. Durante cada medición se registrarán estabilización, dispositivo, responsable protegido, condiciones relevantes e incidencias. Los registros de mantenimiento se vincularán por fecha y sector; las conversaciones o entrevistas seguirán el consentimiento y el procedimiento aprobados.

Gestión y análisis. Los datos brutos se conservarán sin sobrescritura y la copia de trabajo mantendrá historial de cambios. Se examinarán duplicados, faltantes, unidades, rangos plausibles y coherencia de identificadores. El análisis describirá cobertura, centro, dispersión y distribución por estratos; las relaciones se explorarán

con gráficos y medidas compatibles con el diseño, respetando dependencia y submuestras. La evidencia cualitativa se organizará mediante códigos, memorandos y casos discordantes. La matriz de integración comparará mediciones, eventos y prácticas sin transformar coincidencias en causas.

Ética y seguridad. Se separarán nombres y contactos de la base técnica, se restringirá el acceso a información sensible y se acordará el uso de coordenadas, fotografías y declaraciones. Las actividades de campo cumplirán los procedimientos de desplazamiento, electricidad, presión, maquinaria y condiciones climáticas aplicables. Ninguna autorización del propietario sustituye el consentimiento individual de una persona participante.

Productos. El proyecto generará protocolo aprobado, instrumentos, diccionario, base bruta protegida, base procesada, registro de cambios, informe técnico-académico, presentación y devolución comprensible para operadores. La disponibilidad de datos se definirá según consentimiento, acuerdos y riesgos; si la base no puede abrirse, se prepararán metadatos y un ejemplo sintético.

Un cronograma condicionado por el sistema real

En la Tabla 14 se presenta una programación relativa. Las semanas no constituyen un compromiso real y deberán alinearse con el calendario agrícola, los permisos, el clima y la disponibilidad del sistema.

Tabla 14. Cronograma relativo para el protocolo didáctico de riego.

Actividad	S1-S2	S3-S4	S5-S6	S7-S8	S9-S10	S11-S12	Producto de control
Reconocimiento, permisos y marco	•	•					autorizaciones e inventario versionado
Ajuste de instrumentos y capacitación		•					instrumentos preliminares y registro de capacitación
Piloto y aprobación del protocolo		•	•				informe de piloto y versión aprobada
Obtención de datos			•	•			registros brutos e incidencias
Control de calidad y respaldo			•	•	•		reportes de validación y copias verificadas
Depuración, análisis e integración					•	•	base procesada, tablas, gráficos y matriz mixta
Informe y devolución						•	informe, presentación y producto para operadores

Nota: Los puntos indican periodos previstos, no duración normativa. El cronograma definitivo deberá incorporar responsables, recursos, hitos de decisión y contingencias del sitio real.

La programación coloca el control de calidad junto a la obtención, no únicamente después del campo, y reserva tiempo para aprobar el protocolo tras el piloto. Esta

relación evita que una falla repetida contamine todas las jornadas. La devolución aparece como entregable del proyecto y no como gesto opcional posterior; aun así, su contenido dependerá de los resultados reales y no puede redactarse como recomendación cerrada antes del análisis.

Productos para audiencias distintas

El informe académico conservará la descripción completa del diseño, la selección, las incidencias, los datos faltantes y los límites. La exposición oral se organizará alrededor de una pregunta, tres hallazgos como máximo y las incertidumbres necesarias para interpretarlos. Para operadores se preparará una sesión breve con el esquema del sistema, patrones por posición o jornada, eventos de mantenimiento documentados y preguntas de verificación. Si se produce una ficha, distinguirá con claridad observaciones, posibles explicaciones y acciones que requieren evaluación técnica.

No se publicarán imágenes, nombres ni ubicaciones que permitan identificar a personas o instalaciones sin autorización. Tampoco se difundirá una frase como “el sistema desperdicia agua” a partir de diferencias internas sin balance hídrico, criterio de eficiencia y mediciones suficientes. La comunicación más útil será aquella que convierta la evidencia en preguntas y decisiones proporcionadas, no la que produzca el titular más contundente.

Prácticas que fragmentan o debilitan el proyecto

Un protocolo puede contener todos los títulos y seguir siendo incoherente si sus componentes solo fueron ensamblados. Cada objetivo debe conducir a variable o categoría, unidad, instrumento, análisis y producto. El cronograma tampoco se valida por colorear meses: necesita dependencias, responsables, criterios de terminación y márgenes compatibles con campañas, lluvias, disponibilidad de agua y cosechas. El periodo de trabajo es una decisión metodológica porque condiciona qué sistema y qué variación podrán observarse.

Asignar una actividad a “todo el equipo” sin coordinación concreta dificulta reconocer quién entrega, ejecuta, revisa y autoriza. Esa ambigüedad se vuelve crítica

cuando aparece una desviación. Los cambios justificados y documentados pueden evaluarse; las modificaciones silenciosas impiden reconstruir el método. Por ello, el registro debe acompañar la ejecución y no reconstruirse al final para presentar una fidelidad aparente al plan.

El informe final debe describir la ejecución real, sus incidencias y resultados mediante una estructura lógica para el lector, no mediante el diario cronológico del equipo. Una pérdida de unidades se explica donde modifica el método y la interpretación; una reunión rutinaria no necesita ocupar el argumento. La selección responde a la contribución científica y a la trazabilidad, no al esfuerzo que costó cada actividad.

La citación puede fragmentar el razonamiento cuando se usa sin lectura o como respaldo genérico. Un título parecido y una referencia secundaria no garantizan que la fuente sostenga la afirmación. Si un párrafo contiene contribuciones distintas, las citas se acercan a cada idea o el pasaje se reorganiza. Parafrasear exige comprender, reformular y atribuir; sustituir palabras por sinónimos mantiene dependencia textual y puede introducir un sentido que la fuente no defendió.

La exposición oral pierde jerarquía cuando intenta reproducir el informe completo. Debe seleccionar mensaje, evidencia visual y límites según la audiencia. Esa selección no autoriza a convertir una asociación descriptiva en recomendación universal ni a ocultar incertidumbre para producir impacto. La fuerza de las conclusiones permanece estable entre artículo, presentación, ficha y devolución, aunque cambien el vocabulario y la extensión.

La apertura y la devolución completan esta responsabilidad. Prometer acceso total desconoce privacidad, consentimiento, propiedad y riesgos territoriales; se define qué puede compartirse y bajo cuáles condiciones. Comunicar únicamente a quien financia también deja incompleto el cierre. Las personas que facilitaron acceso o aportaron conocimiento necesitan una devolución acordada, comprensible y oportuna, con espacio para registrar preguntas y desacuerdos sin incorporarlos retroactivamente como resultados.

La Figura 15 permite evitar presentar el plan original como descripción de lo efectivamente ejecutado.

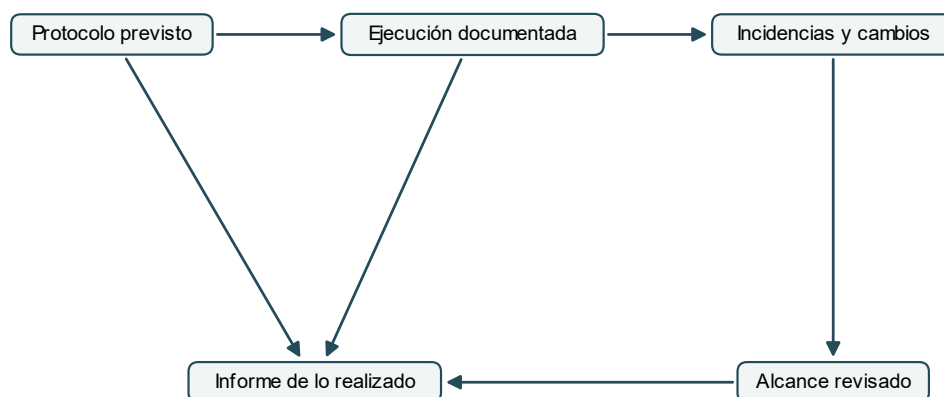


Figura 15. Trazabilidad entre protocolo, cambios e informe.

El informe recibe información del plan y de la ejecución real. Una incidencia modifica el alcance cuando altera unidades, fechas o comparabilidad; por eso, declarar el cambio exige explicar también su consecuencia. La trazabilidad permite distinguir una adaptación justificada de una modificación silenciosa y evita redactar el método como si todas las condiciones previstas se hubieran cumplido.

Integración, ejecución y responsabilidad comunicativa

Protocolo, proyecto e informe responden a momentos distintos. El primero fija la lógica prevista; el segundo organiza recursos, dependencias y responsables; el tercero explica lo que realmente ocurrió. Conservar esa diferencia permite reconocer cuándo una contingencia modificó unidades, fechas o comparabilidad, en lugar de redactar el método como si el plan se hubiera cumplido sin cambios.

La viabilidad incluye legitimidad. Acceso, consentimiento, resguardo, autoría y devolución atraviesan la ejecución desde el inicio. También la comunicación forma parte del control: la norma del destinatario ordena citas y referencias, pero no reemplaza la lectura de la fuente. Un informe académico y una devolución a operadores pueden seleccionar detalles distintos; ambos deben conservar unidades, incertidumbre y alcance.

Desviaciones de ejecución

La Tabla 15 relaciona desviaciones de ejecución con sus efectos en el informe. Funciona como un control de cierre: cada cambio relevante debe conservar su procedencia y modificar la interpretación cuando afecta cobertura, comparabilidad o precisión.

Tabla 15. Desviaciones de ejecución y consecuencias para el informe.

Desviación	Evidencia documental	Efecto metodológico	Declaración en el informe
Pérdida de unidades	Marco e incidencias enlazados	Menor cobertura o selección alterada	Unidades previstas, observadas y excluidas
Cambio de fecha	Bitácora y condiciones operativas	Condiciones temporales diferentes	Periodo efectivo y límites de comparación
Sustitución de instrumento	Identificación y verificación	Posible cambio de comparabilidad	Equipo, comprobación y tratamiento de diferencias
Modificación del formulario	Versiones y motivo del cambio	Variables o reglas de captura distintas	Versiones utilizadas y compatibilidad
Análisis exploratorio adicional	Registro de decisión analítica	Pregunta no prevista inicialmente	Carácter exploratorio y necesidad de nuevo contraste

Declarar una desviación permite valorar su efecto; ocultarla produce una correspondencia aparente entre plan y ejecución. La pérdida de unidades puede afectar cobertura, mientras que un análisis adicional cambia la condición de la pregunta que responde. El cierre del proyecto distingue estos efectos y conserva los

documentos necesarios para que el lector comprenda qué evidencia sostiene cada conclusión.

Como actividad de integración, el estudiante organiza una carpeta de proyecto y revisa la correspondencia entre documentos: cada objetivo debe conducir a evidencia y análisis, y cada actividad debe tener condiciones y recursos identificables. La carpeta representa el proyecto del estudiante; el protocolo didáctico de riego ilustra cómo se relacionan sus partes. La identificación reúne portada, título provisional, equipo, versión y fecha. El resumen ejecutivo presenta problema, propósito, método y productos previstos, y remite a los antecedentes seleccionados, la matriz de evidencia, las preguntas, los objetivos, la justificación y el alcance.

La documentación metodológica incorpora diseño, variables o categorías, matriz de operacionalización, población o marco, unidades, selección y tamaño justificado. Los instrumentos, el protocolo de campo, el piloto y la capacitación se vinculan con el plan de gestión de datos, su diccionario, seguridad, respaldo y disponibilidad. El análisis cuantitativo, cualitativo o mixto se organiza por objetivo. Los permisos, el consentimiento, la confidencialidad, la seguridad y la integridad determinan las condiciones bajo las cuales esos procedimientos pueden ejecutarse y comunicarse.

La organización de la ejecución reúne entregables, actividades, responsables, cronograma, presupuesto y contingencias, junto al registro de versiones, incidencias y cambios. El esquema del informe precisa criterios de autoría y revisión; el plan de comunicación distingue públicos, formatos, límites y devolución. Las referencias se presentan con la norma exigida por el destinatario, y los anexos se seleccionan por su necesidad para comprender o revisar el estudio. La carpeta conserva así el fundamento científico, la ejecución prevista y las condiciones de comunicación como partes de un mismo proyecto.

La auditoría de la carpeta sigue objetivos hasta sus registros y productos, comprueba que las restricciones éticas se reflejen en la gestión de datos y en la comunicación, y examina si cronograma y presupuesto sostienen el método. Un permiso de acceso no resuelve por sí mismo el consentimiento de participantes, del mismo modo que un archivo respaldado no justifica publicar información sensible. La revisión conjunta

detecta incompatibilidades que la lectura aislada de cada documento puede dejar intactas.

Ejercicios de integración y cierre

Ejercicio 1. Audite un protocolo y siga cada objetivo hasta su variable o categoría, unidad, instrumento y análisis. Identifique al menos una ruptura posible.

Muestra breve: Una ruptura aparece si el objetivo pretende estimar rendimiento, pero el protocolo solo registra presión y caudal. La corrección requiere medir rendimiento con un diseño pertinente o ajustar el objetivo.

Ejercicio 2. Convierta tres entregables en actividades con dependencia, responsable, duración, recurso y criterio de terminación.

Muestra breve: Entregable: base validada. Actividad: revisar identificadores y unidades tras la captura. Responsable: persona designada para datos. Terminación: informe de validación sin incidencias abiertas; duración y recursos se estiman según el volumen real.

Ejercicio 3. Diseñe un cronograma que incluya permisos, piloto, campo, control de calidad, análisis, informe y devolución. Justifique dos márgenes de contingencia.

Muestra breve: El campo comienza después de permisos y piloto aprobado. Un margen atiende interrupciones climáticas y otro repite observaciones inválidas; la justificación depende del calendario y acceso del sitio.

Ejercicio 4. Prepare una matriz breve de riesgos técnicos, climáticos, éticos y operativos con probabilidad, efecto, prevención y respuesta.

Muestra breve: Riesgo: retiro de consentimiento. Efecto: pérdida de acceso a datos autorizados. Prevención: explicar voluntariedad y condiciones de uso. Respuesta: aplicar lo acordado y declarar el cambio de cobertura; la probabilidad se estima con información del contexto.

Ejercicio 5. Compare una sección de métodos prevista con una ejecución hipotética que perdió unidades o cambió fechas. Redacte cómo se declararía la desviación.

Muestra breve: “Una unidad prevista no pudo observarse por restricción de acceso; el análisis corresponde a las unidades efectivamente incluidas”. Añada fechas, registro del cambio y consecuencias, sin inventar una sustitución.

Ejercicio 6. Escriba un párrafo de resultados y otro de discusión para el mismo hallazgo, sin mezclar sus funciones.

Muestra breve: Resultado, sobre el fragmento simulado: “El registro R001 presenta 4,0 L·h⁻¹”. Discusión: “Ese valor describe una observación; su interpretación exige comparar posiciones y jornadas y reconocer los límites del fragmento”. No lo presente como hallazgo de una finca real.

Ejercicio 7. Seleccione la norma requerida por su institución o destinatario y redacte una mención del autor, una cita junto a una afirmación y una paráfrasis atribuida de una fuente leída. Adapte cada forma a esa norma y explique qué afirmación respalda cada cita. Compare cómo cambia su presentación en un sistema de autor y fecha y en uno numérico, sin modificar el contenido atribuido.

Muestra breve: En sistema numérico: “Wickham [32] propone organizar los datos por variables y observaciones”. En autor y fecha: “Wickham (2014) propone...”. Ambas formas remiten al artículo leído; adapte la referencia final y compruebe el contenido antes de usar una cita textual.

Ejercicio 8. Audite cinco referencias: correspondencia con citas, autoría, año, título, revista, volumen, páginas o artículo y DOI.

Muestra breve: Para la referencia [32], contraste autor, título Tidy data, año 2014 y DOI 10.18637/jss.v059.i10 con el PDF. Compruebe además que [32] aparezca junto a una afirmación que el artículo respalda.

Ejercicio 9. Reduzca una presentación de diez mensajes a tres. Justifique cuáles conservó según la audiencia.

Muestra breve: Para operadores, pueden conservarse la pregunta práctica, el patrón registrado y el límite de la interpretación. Los detalles de software pueden ir al material complementario si no cambian la decisión que esa audiencia necesita evaluar.

Ejercicio 10. Transforme un hallazgo técnico en una explicación para operadores sin eliminar unidad, incertidumbre ni alcance.

Muestra breve: “En los seis registros simulados del ejemplo, el caudal se expresa en litros por hora. El fragmento permite practicar comparaciones y no diagnosticar una finca”. Mantenga esa distinción al adaptar otro hallazgo.

Ejercicio 11. Redacte una declaración de disponibilidad que distinga datos abiertos, restringidos, anonimizados y sintéticos.

Muestra breve: “Se comparte una base sintética para reproducir el procedimiento. Los datos personales permanecen restringidos según los acuerdos; cualquier versión anonimizada requiere revisar el riesgo de identificación”. Precise ubicación y condiciones si existen realmente.

Ejercicio 12. Diseñe una devolución que permita preguntas y registre desacuerdos o conocimientos locales sin tratarlos como obstáculos.

Muestra breve: En la devolución, presente una interpretación provisional y pregunte qué condiciones del sistema podrían explicarla. Registre acuerdos, desacuerdos y evidencia necesaria para examinarlos, sin transformar una opinión en medición.

Ejercicio 13. Revise el protocolo del caso de riego y señale qué información real falta antes de ejecutarlo.

Muestra breve: Antes del campo faltan, por ejemplo, identificación del sitio real, permisos vigentes, inventario de unidades e instrumentos verificados. Distinga lo que puede resolverse documentalmente de lo que exige visita o consulta.

Ejercicio 14. Prepare una lista de cierre con versiones finales, permisos, datos, código, informe, productos de comunicación y archivo.

Muestra breve: Registro de cierre: archivo, base procesada; versión, identificador acordado; responsable, persona asignada; comprobación, apertura y correspondencia con diccionario; ubicación, repositorio autorizado. Complete el mismo control para los demás productos.

Conclusiones

Al comienzo había una diferencia visible en el terreno y varias explicaciones posibles. El trabajo científico no consistió en escoger la más convincente, sino en construir condiciones para examinarlas. Ese cambio de posición, de la impresión a una afirmación revisable, articula el recorrido completo del libro.

La urgencia práctica, por sí sola, no define el problema. Los antecedentes muestran qué se conoce; la delimitación precisa contexto, periodo y unidades; la pregunta establece la incertidumbre que puede responderse. Objetivos y justificación adquieren valor cuando mantienen esa medida. Si prometen más de lo que el estudio puede producir, trasladan al diseño una obligación imposible.

Diseñar obliga a decidir qué observaciones sostendrán la respuesta. Variables, categorías, unidades, selección y procedimientos delimitan la inferencia antes de abrir la base de datos. Los experimentos requieren comparaciones y controles adecuados a la escala del tratamiento. Los estudios observacionales moderan la atribución causal. La investigación cualitativa conserva contexto y divergencias; un diseño mixto relaciona evidencias sin fingir que son equivalentes.

Luego comienza un trabajo menos visible y decisivo: proteger el significado de cada registro. El instrumento, el piloto, los identificadores, el diccionario, el respaldo y las reglas de depuración permiten reconstruir lo ocurrido. Acumular datos no repara una selección sesgada. Tampoco una figura atractiva convierte una asociación en explicación; su función es mostrar patrones y límites con mayor claridad.

El protocolo fija la versión prevista del estudio. Cronograma, responsables y recursos indican si esa versión puede ejecutarse dentro de las condiciones agrícolas reales. Habrá cambios, pero no todos tienen el mismo efecto: perder una unidad, modificar una fecha o sustituir un instrumento puede alterar cobertura o comparabilidad. Documentarlo transforma una incidencia en información evaluable; ocultarlo produce el relato de un estudio distinto.

La comunicación mantiene estas restricciones. El informe expone el razonamiento, la presentación organiza el diálogo y la devolución reconoce a quienes aportaron

acceso o conocimiento. Cuando datos y materiales pueden compartirse con seguridad, facilitan nuevas comprobaciones. En cualquiera de esos formatos, ser preciso incluye declarar lo que todavía no se sabe y las condiciones bajo las cuales una conclusión podría utilizarse.

El caso de riego permitió seguir el proceso sin atribuirle resultados reales. Partió de una percepción de variación y llegó a un diseño observacional mixto, un plan de datos y un protocolo. Antes de ejecutarlo en un sitio concreto todavía serían necesarios inventario, permisos, tamaño, recursos, riesgos y procedimientos locales. El ejemplo orienta preguntas; no reemplaza el reconocimiento del sistema.

Investigar bien exige juicio antes que memoria. Supone formular preguntas que puedan sostenerse, anticipar consecuencias de diseño, registrar decisiones y aceptar que un resultado discordante también informa. Cuando esas prácticas se vuelven habituales, la ingeniería agrícola produce conocimiento útil sin separar artificialmente ambiente, tecnología y acción humana, ni presentar como certeza aquello que la evidencia solo permite proponer con cautela.

Glosario

Alcance de inferencia

Conjunto de entidades, contextos y periodos sobre los cuales un diseño permite sostener una conclusión. Depende de la pregunta, el marco, la selección, la medición y los supuestos; no aumenta automáticamente por reunir más registros dentro de una misma unidad [21], [25].

Categoría de análisis

Agrupación conceptual que organiza aspectos identificados en evidencia cualitativa para responder una pregunta. Barroga y Matanguihan presentan ejemplos de hallazgos reunidos en categorías, lo que permite distinguir la pregunta inicial de la organización de las respuestas [19]. En esta obra, las categorías sobre prácticas de operación deben conservar la procedencia de los relatos y no convertirse automáticamente en frecuencias representativas de una población.

Dato bruto

Registro conservado en la forma más cercana posible a su obtención original, antes de correcciones y transformaciones analíticas. Preservarlo junto con metadatos y versiones permite reconstruir decisiones posteriores y fortalece la transparencia del estudio [5], [33].

Diseño metodológico

Organización coherente de decisiones que conecta pregunta, alcance, unidades, variables o categorías, obtención y análisis de evidencia. No equivale a una técnica aislada ni a la lista de instrumentos que se utilizarán [21].

Enfoque cualitativo

Ruta de investigación cuyas preguntas examinan contextos, experiencias, percepciones o procesos, con atención a las perspectivas de los participantes [19]. En el caso agrícola, una pregunta sobre criterios de mantenimiento requiere evidencia

situada sobre decisiones y restricciones; la interpretación de esos relatos cumple una función distinta de la estimación numérica de presión o caudal.

Enfoque cuantitativo

Ruta de investigación que representa propiedades mediante variables y valores susceptibles de descripción, comparación o inferencia estadística. Su calidad depende de la validez de la medición, la estructura de las unidades y el diseño, no solo del tamaño de la base [21], [34].

Enfoque mixto

Ruta que relaciona componentes cuantitativos y cualitativos mediante una pregunta compartida. Barroga y Matanguihan describen la posibilidad de formular una pregunta mixta a través de un proceso iterativo entre ambos métodos [19]. En el ejemplo de riego, esa relación se concreta al conectar patrones medidos con prácticas documentadas por sector y jornada; reunir dos archivos sin establecer el vínculo no completa la respuesta conjunta.

Hipótesis

Proposición contrastable que anticipa una relación o diferencia bajo condiciones definidas. Su pertinencia depende del propósito y del diseño; no es un requisito automático de toda investigación descriptiva, exploratoria o cualitativa [19].

Instrumento

Medio estructurado con el que se producen o registran datos, por ejemplo, un formulario, una guía, un sensor o una hoja de campo. Su calidad debe evaluarse junto con el procedimiento, la calibración, el contexto y las reglas de registro [31], [33].

Marco muestral

Conjunto identificable de unidades, registros o elementos disponibles desde el cual se selecciona efectivamente una muestra. Debe representar de manera adecuada la población definida y permitir reconocer omisiones, duplicaciones o coberturas que puedan afectar la inferencia [29].

Método científico

Ruta razonada para construir y contrastar conocimiento mediante operaciones teóricas y empíricas pertinentes a una pregunta. No se reduce a una secuencia universal e invariable, aunque conserva compromisos con evidencia, crítica, claridad y revisión [2], [12].

Metodología

Examen y justificación de la relación entre supuestos, problema, diseño, métodos y técnicas. En el libro se reserva este término para la lógica de las decisiones, no como sinónimo ornamental de método o procedimiento [2].

Muestra

Conjunto de unidades seleccionadas de un marco o población mediante un procedimiento definido. Su tamaño se justifica por propósito, variabilidad, precisión, estructura y recursos; una proporción fija carece de validez universal [25].

Operacionalización

Proceso que traduce un concepto en variables, dimensiones, indicadores, unidades, procedimientos y reglas capaces de producir evidencia analizable. La matriz resultante funciona como puente entre objetivos e instrumentos [26].

Población accesible

Parte de la población objetivo que, de acuerdo con los criterios establecidos y las condiciones reales de acceso espacial, temporal, administrativo u operativo, puede ser alcanzada para realizar el estudio. Su delimitación condiciona la selección de la muestra y el alcance con que los resultados pueden generalizarse [28].

Protocolo de investigación

Documento previo a la ejecución que integra problema, objetivos, diseño, unidades, procedimientos, análisis, salvaguardas, responsabilidades y productos. También sirve como referencia para identificar y justificar desviaciones durante el proyecto [36], [37].

Seudorreplicación

Error de diseño o análisis que ocurre cuando mediciones, submuestras o unidades no independientes se tratan como si fueran réplicas experimentales independientes. Puede aumentar artificialmente el tamaño de muestra aparente y producir inferencias incorrectas sobre los efectos de un tratamiento [24].

Submuestra

Porción, elemento o conjunto de observaciones obtenido dentro de una misma unidad experimental o unidad de muestreo para representar su variabilidad interna o mejorar la precisión de la medición. Las submuestras pertenecientes a una misma unidad no constituyen réplicas experimentales independientes y deben analizarse respetando su estructura jerárquica [30].

Trazabilidad

Capacidad de reconstruir el recorrido desde la pregunta hasta una afirmación mediante identificadores, versiones, metadatos, reglas y registros de cambio. Una figura o conclusión es trazable cuando puede vincularse con los datos y decisiones que la produjeron [5], [32].

Unidad de análisis

Entidad sobre la que se construye la interpretación o conclusión principal. Puede coincidir o no con la unidad observada; confundir submuestras con unidades independientes produce una precisión aparente y altera el alcance inferencial [21], [34].

Unidad de estudio

Entidad individual o colectiva sobre la cual se centra la investigación y acerca de la cual se pretende producir información o establecer conclusiones. Puede corresponder, según el problema planteado, a una planta, parcela, finca, sistema de riego, lote, explotación agrícola, persona u otra entidad definida por el diseño [27].

Unidad de observación

Entidad concreta en la que se registra una medición, respuesta o acontecimiento. Debe conservar identificadores que permitan reconocer su pertenencia a parcelas, subunidades, personas, fechas u otras jerarquías del diseño [25], [32].

Unidad experimental

Menor unidad independiente a la que se asigna o aplica un tratamiento en un experimento. La replicación debe producirse entre unidades experimentales independientes; varias mediciones, plantas o submuestras tomadas dentro de una misma unidad no incrementan por sí mismas el número de réplicas experimentales [21].

Variable

Propiedad definida que puede asumir valores o categorías entre unidades o momentos. Una variable operativa necesita nombre estable, significado, tipo, unidad, procedimiento y reglas para valores faltantes o derivados [26], [32].

Referencias

- [1] S. Chen *et al.*, «Quantifying the effects of spatial-temporal variability of soil properties on crop growth in management zones within an irrigated maize field in Northwest China», *Agricultural Water Management*, vol. 244, p. 106535, feb. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106535.
- [2] K. A. Figueroa-Rodríguez y D. M. Sangerman-Jarquín, «El método en la ciencia: origen y divergencias según Ruy Pérez Tamayo», *Remexca*, vol. 13, n.º 8, pp. 1469-1479, dic. 2022, doi: 10.29312/remexca.v13i8.3353.
- [3] N. Yaqoob, A. A. Farooque, S. H. H. Shah, F. Abbas, y M. Hassan, «Variable Rate Irrigation Through Digital Agriculture for Sustainable Water Management: A Meta Review on Current Challenges and Future Directions», *Water Resour Manage*, vol. 40, n.º 6, p. 237, abr. 2026, doi: 10.1007/s11269-026-04616-0.
- [4] D. Walton y N. Zhang, «The epistemology of scientific evidence», *Artif Intell Law*, vol. 21, n.º 2, pp. 173-219, may 2013, doi: 10.1007/s10506-012-9132-9.
- [5] M. R. Munafò *et al.*, «A manifesto for reproducible science», *Nat Hum Behav*, vol. 1, n.º 1, p. 0021, ene. 2017, doi: 10.1038/s41562-016-0021.
- [6] D. Hartmann, S. M. Wang, L. Pohlmann, y B. Berendt, «A systematic review of echo chamber research: comparative analysis of conceptualizations, operationalizations, and varying outcomes», *J Comput Soc Sc*, vol. 8, n.º 2, p. 52, may 2025, doi: 10.1007/s42001-025-00381-z.
- [7] E. F. Zipkin *et al.*, «Addressing data integration challenges to link ecological processes across scales», *Frontiers in Ecol & Environ*, vol. 19, n.º 1, pp. 30-38, feb. 2021, doi: 10.1002/fee.2290.
- [8] A. Neef y D. Neubert, «Stakeholder participation in agricultural research projects: a conceptual framework for reflection and decision-making», *Agric Hum Values*, vol. 28, n.º 2, pp. 179-194, jun. 2011, doi: 10.1007/s10460-010-9272-z.

- [9] D. Jackson-Smith y H. Veisi, «A typology to guide design and assessment of participatory farming research projects», *Socio Ecol Pract Res*, vol. 5, n.º 2, pp. 159-174, jun. 2023, doi: 10.1007/s42532-023-00149-7.
- [10] K. Terán-Samaniego et al., «Agroecology and Sustainable Agriculture: Conceptual Challenges and Opportunities—A Systematic Literature Review», *Sustainability*, vol. 17, n.º 5, p. 1805, feb. 2025, doi: 10.3390/su17051805.
- [11] O. D. Akanbi et al., «Integrating Multiscale Geospatial Analysis for Monitoring Crop Growth, Nutrient Distribution, and Hydrological Dynamics in Large-Scale Agricultural Systems», *J geovis spat anal*, vol. 8, n.º 1, p. 9, jun. 2024, doi: 10.1007/s41651-023-00164-y.
- [12] J. Ashton, «For pluralism in scientific method», *NZSR*, vol. 69, n.º 4, pp. 86-92, dic. 2023, doi: 10.26686/nzsr.v69.8762.
- [13] R. N. Clark y G. H. Stankey, «Integrated research in natural resources: the key role of problem framing», U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, PNW-GTR-678, 2006. doi: 10.2737/PNW-GTR-678.
- [14] A. N. DeLong et al., «Stakeholder-driven adaptive research (SDAR): better research products», *Renew. Agric. Food Syst.*, vol. 37, n.º 4, pp. 350-359, ago. 2022, doi: 10.1017/S1742170522000023.
- [15] J. Arnó et al., «Drip Irrigation Soil-Adapted Sector Design and Optimal Location of Moisture Sensors: A Case Study in a Vineyard Plot», *Agronomy*, vol. 13, n.º 9, p. 2369, sep. 2023, doi: 10.3390/agronomy13092369.
- [16] A. Almusaed, A. Almssad, y I. Yitmen, «Formulating a Problem Statement», en *Practice of Research Methodology in Civil Engineering and Architecture*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 67-98. doi: 10.1007/978-3-031-97393-2_3.
- [17] D. Vrontis y M. Christofi, «R&D internationalization and innovation: A systematic review, integrative framework and future research directions», *Journal of Business Research*, vol. 128, pp. 812-823, may 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2019.03.031.

- [18] D. Mann y J. Könnö, «Model-based systems engineering framework for maximizing farm operational efficiency with agricultural autonomy metrics», *Smart Agricultural Technology*, vol. 12, p. 101550, dic. 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.101550.
- [19] E. Barroga y G. J. Matanguihan, «A Practical Guide to Writing Quantitative and Qualitative Research Questions and Hypotheses in Scholarly Articles», *J Korean Med Sci*, vol. 37, n.º 16, p. e121, 2022, doi: 10.3346/jkms.2022.37.e121.
- [20] A. Almusaed, A. Almssad, y I. Yitmen, «Crafting Research Questions, Objectives, and Aims», en *Practice of Research Methodology in Civil Engineering and Architecture*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 99-140. doi: 10.1007/978-3-031-97393-2_4.
- [21] M. D. Casler, «Fundamentals of Experimental Design: Guidelines for Designing Successful Experiments», *Agronomy Journal*, vol. 107, n.º 2, pp. 692-705, mar. 2015, doi: 10.2134/agronj2013.0114.
- [22] M. Lacoste et al., «On-Farm Experimentation to transform global agriculture», *Nat Food*, vol. 3, n.º 1, pp. 11-18, dic. 2021, doi: 10.1038/s43016-021-00424-4.
- [23] A. Almusaed, A. Almssad, y I. Yitmen, «Experimental Design and Causal Inference», en *Practice of Research Methodology in Civil Engineering and Architecture*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 529-560. doi: 10.1007/978-3-031-97393-2_16.
- [24] S. H. Hurlbert, «Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments», *Ecological Monographs*, vol. 54, n.º 2, pp. 187-211, jun. 1984, doi: 10.2307/1942661.
- [25] P. G. Lawrence, W. Roper, T. F. Morris, y K. Guillard, «Guiding soil sampling strategies using classical and spatial statistics: A review», *Agronomy Journal*, vol. 112, n.º 1, pp. 493-510, ene. 2020, doi: 10.1002/agj2.20048.
- [26] J. L. Arias Gonzáles, «Guía para elaborar la operacionalización de variables», *Espacio I+D*, vol. X, n.º 28, p. 42, nov. 2012, doi: 10.31644/IMASD.28.2021.a02.

- [27] T. K. Roy, R. Acharya, y A. Roy, *Statistical Survey Design and Evaluating Impact*, 1.^a ed. Cambridge University Press, 2016. doi: 10.1017/CBO9781316550892.
- [28] N. Asiamah, H. Mensah, y E. F. Oteng-Abayie, «General, Target, and Accessible Population: Demystifying the Concepts for Effective Sampling», *TQR*, jun. 2017, doi: 10.46743/2160-3715/2017.2674.
- [29] «Sampling Frame», en *The SAGE Encyclopedia of Qualitative Research Methods*, 2455 Teller Road, Thousand Oaks California 91320 United States: SAGE Publications, Inc., 2008. doi: 10.4135/9781412963909.n414.
- [30] A. Onofri, E. A. Carbonell, H. Piepho, A. M. Mortimer, y R. D. Cousens, «Current statistical issues in Weed Research», *Weed Research*, vol. 50, n.º 1, pp. 5-24, feb. 2010, doi: 10.1111/j.1365-3180.2009.00758.x.
- [31] «Agricultural data collection to minimize measurement error and maximize coverage», en *Handbook of Agricultural Economics*, vol. 5, Amsterdam: Elsevier, 2021, pp. 4407-4480. doi: 10.1016/bs.hesagr.2021.10.008.
- [32] H. Wickham, «Tidy Data», *J. Stat. Soft.*, vol. 59, n.º 10, 2014, doi: 10.18637/jss.v059.i10.
- [33] H. Y. Teh, A. W. Kempa-Liehr, y K. I.-K. Wang, «Sensor data quality: a systematic review», *J Big Data*, vol. 7, n.º 1, p. 11, dic. 2020, doi: 10.1186/s40537-020-0285-1.
- [34] A. F. Zuur, E. N. Ieno, y C. S. Elphick, «A protocol for data exploration to avoid common statistical problems: *Data exploration*», *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 1, n.º 1, pp. 3-14, mar. 2010, doi: 10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x.
- [35] N. P. Rougier, M. Droettboom, y P. E. Bourne, «Ten simple rules for better figures», *PLoS Comput Biol*, vol. 10, n.º 9, p. e1003833, sep. 2014, doi: 10.1371/journal.pcbi.1003833.
- [36] D. A. Forero, W. H. Curioso, y W. Wang, «Ten simple rules for successfully carrying out funded research projects», *PLoS Comput Biol*, vol. 20, n.º 9, p. e1012431, sep. 2024, doi: 10.1371/journal.pcbi.1012431.

-
- [37] S. Schwab et al., «Ten simple rules for good research practice», *PLoS Comput Biol*, vol. 18, n.º 6, p. e1010139, jun. 2022, doi: 10.1371/journal.pcbi.1010139.
- [38] B. Mensh y K. Kording, «Ten simple rules for structuring papers», *PLoS Comput Biol*, vol. 13, n.º 9, p. e1005619, sep. 2017, doi: 10.1371/journal.pcbi.1005619.
- [39] B. Penders, «Ten simple rules for responsible referencing», *PLoS Comput Biol*, vol. 14, n.º 4, p. e1006036, abr. 2018, doi: 10.1371/journal.pcbi.1006036.
- [40] P. E. Bourne, «Ten Simple Rules for Making Good Oral Presentations», *PLoS Comput Biol*, vol. 3, n.º 4, p. e77, 2007, doi: 10.1371/journal.pcbi.0030077.

Anexos

Anexo A. Ficha para delimitar un problema de investigación agrícola

Esta ficha ayuda a convertir una inquietud de campo en un problema investigable. No sustituye la revisión de antecedentes ni obliga a completar todos los espacios en una sola sesión. Su utilidad consiste en hacer visibles las decisiones todavía inmaduras y evitar que una solución preferida se presente como si fuera el problema. Conviene completar una primera versión, contrastarla con personas que conocen el sistema y revisarla después de leer evidencia pertinente.

Formato Ao. Control del documento

Campo	Registro
Institución o unidad	
Código del formato	FIA-A (identificador didáctico adaptable)
Versión	
Fecha	
Elaborado por	
Revisado por	

Los identificadores son ejemplos de organización documental; la institución los adapta a sus procedimientos. Los cuadros contienen espacios editables para registrar decisiones y evidencias.

1. Situación observable

Describa lo que ocurre sin atribuir todavía una causa. Registre el lugar, el periodo, las unidades implicadas y las señales concretas que motivan la indagación. Distinga entre observaciones directas, comentarios de actores, registros existentes e interpretaciones iniciales.

Campo	Registro
Situación observada	
Lugar o sistema productivo	
Periodo en el que ocurre	
Personas o unidades afectadas	
Evidencia disponible	
Información que aún no existe	

Una descripción adecuada permite que otra persona reconozca qué se sabe y qué se presume. Expresiones como “el riego funciona mal” o “la productividad es baja” requieren indicadores, referentes de comparación y límites. En cambio, registrar que determinados sectores muestran diferencias persistentes de caudal durante tres jornadas identifica una observación contrastable sin cerrar prematuramente la explicación.

2. Actores y perspectivas

Identifique quién utiliza, mantiene, administra o se ve afectado por el sistema. Para cada actor, anote qué conocimiento puede aportar, qué decisión podría tomar y qué interés legítimo debe considerarse. La participación no se reduce a informar al final: puede mejorar la delimitación, revelar restricciones operativas y prevenir interpretaciones que ignoren el contexto.

Campo	Registro
Actores técnicos	
Productores, operadores o usuarios	
Responsables institucionales	
Aportes esperados de cada grupo	
Posibles desacuerdos o asimetrías	

3. Delimitaciones

Complete una frase para cada límite. Si un elemento permanece abierto, explique qué evidencia permitirá decidirlo.

Campo	Registro
Delimitación conceptual	el estudio examinará
Delimitación espacial	en
Delimitación temporal	durante
Delimitación poblacional o de unidades	
Delimitación operacional	se observará mediante

Compruebe que estos límites sean compatibles. No tendría sentido prometer una inferencia anual si la observación cubre una única jornada, ni hablar de todas las fincas de una región cuando la selección procede de una organización específica. Delimitar no empobrece el estudio: define con honestidad qué respuesta puede producir.

4. Vacío, pregunta y aporte

Redacte el vacío como información necesaria que todavía no está disponible en el contexto definido. Luego formule una pregunta que pueda responderse con evidencia y un aporte que no exceda esa respuesta.

Campo	Registro
Lo conocido	
Lo desconocido o incierto	
Pregunta central	
Subpreguntas indispensables	
Aporte esperado	

Revise la pregunta con cuatro pruebas. Primero, debe nombrar el fenómeno y las unidades relevantes. Segundo, debe admitir una respuesta que no esté decidida de antemano. Tercero, debe orientar la obtención y el análisis de datos. Cuarto, debe poder responderse con los recursos, el acceso y el tiempo disponibles. Si falla una prueba, ajuste el alcance antes de redactar objetivos.

5. Objetivos, hipótesis y viabilidad

Campo	Registro
Objetivo general	
Objetivos específicos, en orden lógico	
Hipótesis, solo si el diseño permite contrastarla	
Recursos críticos	
Accesos o permisos	
Riesgos de ejecución	
Ajuste viable ante cada riesgo	

La revisión final debe comprobar que la pregunta, el objetivo general y la eventual hipótesis se refieren al mismo fenómeno. Los objetivos específicos deben producir insumos necesarios para responder la pregunta, no una lista de actividades administrativas. “Aplicar encuestas” describe una tarea; “caracterizar las prácticas de mantenimiento declaradas por los operadores” expresa un resultado cognoscitivo.

Anexo B. Hoja de decisiones del diseño metodológico

Esta hoja documenta la cadena que une la pregunta con la inferencia. Debe completarse antes de preparar instrumentos y actualizarse cuando cambie el alcance. La versión inicial no es un contrato inmutable: es una referencia trazable para distinguir una adaptación razonada de una modificación oportunista.

Formato Bo. Control del documento

Campo	Registro
Institución o unidad	
Código del formato	FIA-B (identificador didáctico adaptable)
Versión	
Fecha	
Elaborado por	
Revisado por	

Los identificadores son ejemplos de organización documental; la institución los adapta a sus procedimientos. Los cuadros contienen espacios editables para registrar decisiones y evidencias.

1. Tipo de respuesta requerida

Campo	Registro
Pregunta que debe responder el diseño	
Alcance principal	descriptivo / relacional / explicativo / comprensivo
Enfoque	cuantitativo / cualitativo / mixto
Justificación del enfoque	
Evidencia necesaria	
Evidencia que no sería suficiente	

Explique por qué el enfoque seleccionado corresponde a la pregunta. Una medición numérica no convierte por sí sola un estudio en explicativo, y una entrevista no garantiza comprensión contextual. En un diseño mixto, indique qué aporta cada componente y dónde se integrarán sus resultados. Si ambos componentes podrían publicarse sin relacionarse, probablemente existen dos estudios paralelos y no una estrategia mixta.

2. Unidades y niveles

Campo	Registro
Unidad de estudio	
Unidad de análisis	
Unidad experimental, si existe	
Unidad de observación	
Submuestras o medidas repetidas	
Nivel al que se aplicará cualquier tratamiento	

Dibuje aparte la jerarquía de las unidades y compruebe qué registros comparten parcela, equipo, persona, fecha o tratamiento. La cantidad de filas de una base no equivale al número de unidades independientes. Si se miden veinte emisores dentro de una sola subunidad, esas mediciones ayudan a caracterizarla, pero no crean veinte repeticiones del manejo aplicado a toda la subunidad.

3. Población y selección

Campo	Registro
Población o universo relevante	
Marco disponible para seleccionar unidades	
Criterios de inclusión	
Criterios de exclusión	
Estrategia de muestreo	
Tamaño previsto y justificación	
Pérdidas previsibles y tratamiento	

La justificación debe considerar heterogeneidad, precisión, logística y alcance de inferencia. Evite defender un tamaño únicamente porque coincide con otro estudio. Cuando no exista un marco completo o la selección dependa del acceso, declare la limitación y describa qué diversidad pretende cubrir. En investigación cualitativa, especifique la lógica de selección y el criterio para valorar suficiencia de información.

4. Variables, categorías e indicadores

Para cada elemento central, registre nombre normalizado, definición conceptual, función analítica, indicador o evidencia, unidad o escala, instrumento, momento y regla de interpretación. Añada los factores de contexto que puedan modificar la relación principal.

Campo	Registro
Constructo o categoría	
Definición conceptual	
Indicador o evidencia observable	
Unidad, escala o código	
Instrumento y procedimiento	
Frecuencia o momento	
Regla de cálculo o interpretación	
Fuente de incertidumbre	

Repita el bloque para cada variable o categoría. Después compruebe que todos los objetivos tienen evidencia prevista y que ningún dato se recoge sin una función analítica explícita.

5. Comparaciones, amenazas y respuesta

Campo	Registro
Comparación principal	
Condiciones que deben mantenerse o registrarse	
Amenazas de selección	
Amenazas temporales o espaciales	
Dependencias entre observaciones	
Datos ausentes previsibles	
Medidas preventivas	
Límites que se declararán	

La hoja está lista cuando otra persona puede anticipar cómo se producirá la evidencia y por qué esta permitirá responder la pregunta. Si solo enumera técnicas, todavía falta diseño.

Anexo C. Protocolo operativo de trabajo de campo

El protocolo operativo traduce el diseño a acciones repetibles. Debe ser suficientemente preciso para que dos integrantes capacitados registren el mismo tipo de información, pero también debe indicar cómo actuar ante condiciones no previstas. Una instrucción rígida que no contempla fallas puede producir datos menos comparables que un procedimiento con reglas de contingencia documentadas.

Formato Co. Control del documento

Campo	Registro
Institución o unidad	
Código del formato	FIA-C (identificador didáctico adaptable)
Versión	
Fecha	
Elaborado por	
Revisado por	

Los identificadores son ejemplos de organización documental; la institución los adapta a sus procedimientos. Los cuadros contienen espacios editables para registrar decisiones y evidencias.

1. Preparación

Campo	Registro
Versión vigente del protocolo	
Responsable de autorizar cambios	
Personal y funciones	
Equipos e instrumentos	
Identificadores de unidades y archivos	
Permisos, consentimiento o acuerdos	
Condiciones de seguridad	
Respaldo previsto	

Antes de salir al campo, verifique carga, memoria, patrones o materiales de calibración, formularios, códigos y compatibilidad de unidades. Confirme que la hora y la fecha de los dispositivos sean correctas. Prepare una lista de contactos y un registro de incidentes. Si se recopilan datos de personas, limite la información identificable a lo estrictamente necesario y separe los códigos de la base analítica.

2. Prueba piloto

La prueba piloto debe reproducir el flujo completo: identificar una unidad, medir u observar, registrar, transferir, depurar y producir un resumen mínimo. No se limita a comprobar que el instrumento enciende.

Campo	Registro
Unidades utilizadas en el piloto	
Duración real por unidad	
Preguntas o campos ambiguos	
Fallas de equipo o transferencia	
Variación inesperada	
Cambios aprobados	
Nueva versión del protocolo	

Conserve el formulario original, la decisión tomada y la fecha del cambio. Indique si los datos piloto se excluirán, se usarán solo para entrenamiento o podrán integrarse porque el procedimiento final no alteró su significado.

3. Rutina por unidad

La rutina comienza por confirmar el código de la unidad y su elegibilidad, y registrar fecha, hora, responsable y condiciones contextuales. Antes de medir se verifica el estado del instrumento. El procedimiento se ejecuta en el orden establecido y, antes de abandonar el punto, se revisan integridad, rango y unidad. Las repeticiones, incidencias y decisiones se documentan sin borrar el valor original; al cerrar el registro, la unidad se identifica como completa, incompleta o pendiente de revisión.

Campo	Registro
Código de unidad	
Ubicación o referencia	
Inicio y fin	
Condiciones relevantes	
Resultado del control inmediato	
Incidencias	
Acción adoptada	

4. Reglas de contingencia

Defina por anticipado qué hacer cuando un equipo falla, una unidad no es accesible, cambia el clima, se interrumpe la operación o una lectura queda fuera del rango esperado. La regla general debe ser conservar el registro, identificarlo y decidir con evidencia; no sustituir valores ni repetir silenciosamente hasta obtener un resultado conveniente.

Campo	Registro
Falla de instrumento	
Lectura extrema	
Unidad inaccesible	
Cambio ambiental súbito	
Pérdida de archivo	
Desviación del procedimiento	

5. Cierre diario

Al finalizar, compare el número de unidades previstas, iniciadas, completas y pendientes. Transfiera los archivos sin alterar nombres, genere al menos una copia separada y verifique que pueda abrirse. Registre quién realizó la transferencia y cualquier diferencia entre el cuaderno, el formulario y la base.

Campo	Registro
Unidades previstas / completas / pendientes	
Archivos transferidos y ubicación	
Respaldo verificado	
Incidencias abiertas	
Responsable y fecha	

Anexo D. Guía para construir y auditar la base de datos

Una base analítica debe conservar el significado de cada registro y permitir reconstruir su procedencia. La limpieza no consiste en producir una hoja visualmente uniforme, sino en documentar transformaciones sin fabricar información. Mantenga separados el archivo bruto, la versión de trabajo y los productos derivados.

Formato Do. Control del documento

Campo	Registro
Institución o unidad	
Código del formato	FIA-D (identificador didáctico adaptable)
Versión	
Fecha	
Elaborado por	
Revisado por	

Los identificadores son ejemplos de organización documental; la institución los adapta a sus procedimientos. Los cuadros contienen espacios editables para registrar decisiones y evidencias.

1. Convención de archivos

Campo	Registro
Proyecto y versión	
Archivo bruto de solo lectura	
Archivo de trabajo	
Diccionario de datos	
Registro de cambios	
Productos de análisis	
Ubicaciones de respaldo	

Use nombres estables que incluyan contenido, fecha en formato año-mes-día y versión cuando sea necesario. Evite “final”, “final2” o “ahora_sí”. Una secuencia como riego_mediciones_2026-09-11_v01 permite ordenar archivos y vincularlos con un registro de cambios.

2. Diccionario por variable

Campo	Registro
Nombre breve en la base	
Etiqueta legible	
Definición	
Tipo de dato	
Unidad, escala o categorías válidas	
Código para ausencia y motivo	
Rango plausible	
Regla de cálculo, si es derivada	
Fuente original	

Distinga cero, ausencia, no aplica y medición fallida. Un campo vacío no debería obligar a adivinar qué ocurrió. Las variables derivadas deben tener fórmula, variables de origen, unidad y versión de cálculo. Si una clasificación requiere juicio, registre los criterios y conserve una columna con la observación original.

3. Controles de integridad

La revisión de estructura comprueba que el identificador sea único y no tenga duplicados, que cada fila represente la unidad de observación definida y que cada columna corresponda a una variable sin mezclar unidades. Fechas, horas y coordenadas mantienen formatos consistentes, y las categorías cerradas coinciden con el diccionario. Estas comprobaciones permiten distinguir un cambio de formato de una diferencia real entre observaciones.

Los valores fuera de rango se marcan para verificación y se conservan mientras se examina su procedencia. Las relaciones entre volumen, tiempo y caudal, o entre otras variables derivadas, se contrastan con las reglas de cálculo. La jerarquía de finca, parcela, subunidad, punto y jornada permanece identificable, y cada cambio documenta fecha, responsable, motivo y valor anterior. La integridad de la base incluye así la posibilidad de revisar las decisiones de tratamiento.

Documente el resultado de cada control: número de registros examinados, casos detectados, decisión y efecto sobre el conjunto analítico. Una corrección sin rastro impide distinguir la depuración legítima de la alteración de datos.

4. Plan mínimo de análisis

Campo	Registro
Pregunta u objetivo	
Variables o categorías	
Unidad analítica	
Resumen o comparación prevista	
Tratamiento de medidas repetidas o submuestras	
Tratamiento de datos ausentes	
Tabla, gráfico o síntesis textual	
Criterio de interpretación	

Comience con la estructura, los rangos, las distribuciones y los patrones de ausencia. Examine los extremos en su contexto. En evidencia cualitativa, conserve la relación entre fragmento, caso, categoría y decisión de codificación. En ambos enfoques, separe el resultado observado de su interpretación y limite las conclusiones al diseño.

5. Paquete reproducible

El paquete de cierre debe contener protocolo, instrumento, diccionario, datos permitidos, registro de limpieza, código o secuencia analítica, resultados y archivo de lectura. Si existen restricciones de confidencialidad, documente qué componente no se comparte, por qué y bajo qué condiciones podría consultarse. La reproducibilidad responsable no exige publicar información sensible; exige que las decisiones puedan examinarse dentro de límites éticos y legales.

Anexo E. Plan de cierre y comunicación de resultados

La investigación no termina cuando se ejecuta el último cálculo. Debe cerrarse la cadena entre pregunta, evidencia, conclusión, límites y decisión. Esta plantilla permite preparar un informe académico y productos adecuados para públicos técnicos, productivos o institucionales sin presentar como certeza lo que el diseño solo permite sugerir.

Formato Eo. Control del documento

Campo	Registro
Institución o unidad	
Código del formato	FIA-E (identificador didáctico adaptable)
Versión	
Fecha	
Elaborado por	
Revisado por	

Los identificadores son ejemplos de organización documental; la institución los adapta a sus procedimientos. Los cuadros contienen espacios editables para registrar decisiones y evidencias.

1. Matriz de hallazgos

Para cada objetivo, complete un bloque.

Campo	Registro
Objetivo	
Evidencia principal	
Resultado verificable	
Interpretación	
Explicaciones alternativas	
Limitaciones	
Conclusión proporcional	
Decisión o pregunta que se deriva	

No introduzca en las conclusiones una afirmación que no tenga resultado asociado. Si un hallazgo surgió de manera exploratoria, identifíquelo como tal. Diferencie ausencia de evidencia y evidencia de ausencia. Cuando el tamaño, la selección o el contexto restrinjan la generalización, nombre el ámbito exacto al que se aplica la conclusión.

2. Estructura del informe

El título identifica fenómeno y contexto, y el resumen presenta propósito, método, resultados y conclusión. La introducción delimita el problema y justifica la pregunta; el método permite comprender cómo se produjo la evidencia. Los resultados se organizan según los objetivos, sin anticipar toda la discusión, mientras que esta interpreta, compara, explica límites y plantea implicaciones.

Las conclusiones responden la pregunta sin exceder el alcance del estudio. Las referencias coinciden con las citas y siguen la norma solicitada por el destinatario. Los anexos incluyen los instrumentos o procedimientos necesarios para examinar la investigación, de modo que complementan el argumento en lugar de acumular documentos sin función.

Después del primer borrador, realice tres lecturas separadas: una de coherencia científica, otra de claridad para el lector y otra de corrección formal. Intentar resolver todos los niveles a la vez dificulta detectar contradicciones.

3. Públicos y productos

Campo	Registro
Público	
Decisión o necesidad informativa	
Mensaje principal	
Evidencia que lo respalda	
Producto y extensión	
Canal y fecha	
Responsable	
Retroalimentación esperada	

Un mismo resultado puede requerir un artículo, una ficha técnica, una reunión de devolución y un conjunto de datos documentado. Adaptar el lenguaje no autoriza a cambiar el grado de certeza. Incluya unidades, condiciones y límites esenciales incluso en productos breves. Evite gráficos recargados, cifras sin referencia y recomendaciones que el estudio no evaluó.

4. Revisión de integridad antes de difundir

La revisión de autoría comprueba contribuciones identificables y reconoce los apoyos que no justifican esa condición. Los conflictos de interés y las fuentes de financiamiento se declaran, y los permisos y acuerdos de uso de datos se respetan. Estas comprobaciones se aplican antes de difundir el informe y también a los productos técnicos o comunitarios derivados del mismo estudio.

La revisión de evidencia distingue datos simulados y resultados empíricos, comprueba que tablas y figuras coincidan con la base y el texto y verifica la correspondencia entre citas y referencias. Los cambios posteriores al protocolo se explican y las limitaciones se conservan en los materiales de divulgación. La identificación de la versión difundida y de sus archivos asociados permite reconocer qué información recibió cada público.

5. Acta de cierre

Campo	Registro
Productos completados	
Productos pendientes y responsable	
Ubicación del archivo maestro	
Restricciones de acceso	
Fecha y mecanismo de respaldo	
Lecciones metodológicas	
Preguntas que requieren un nuevo estudio	
Fecha de revisión o actualización	

El acta evita que archivos, decisiones y compromisos queden dispersos al terminar el proyecto. También convierte la experiencia metodológica en memoria útil para futuras investigaciones. El cierre responsable no presenta el conocimiento como definitivo: delimita lo aprendido, conserva la trazabilidad y deja explícitas las incertidumbres que aún requieren trabajo.



E D I T O R I A L

UNIÓN CIENTÍFICA