

Abordajes innovadores en la investigación agropecuaria

Argentina (n = 169; 8%)
Chile (n = 11; 5.8%)
Colombia (n = 7; 3.7%)
Venezuela (n = 2; 1.1%)
Mexico (n = 1; 0.5%)

WWW.

Coordinador
Holmes Rodríguez Espinosa

Innovación

Abordajes innovadores en la investigación agropecuaria

Coordinador
Holmes Rodríguez Espinosa
2022



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Facultad de Ciencias Agrarias





Primera edición: agosto de 2022

ISBNe: 978-628-7592-10-0

Coordinador y autor

Holmes Rodríguez Espinosa

Ing Agric, MSc, PhD, Profesor titular,
Facultad de Ciencias Agrarias Universidad
de Antioquia, Grupo de Investigación
Gamma.

Corrección de texto

Ari Vélez

Angélica Gómez

Diseño y diagramación

Sandra María Arango, Oficio gráfico



Esta obra está bajo una licencia de
Creative Commons Reconocimiento- No Comercial-Sin
Obra Derivada 4.0 Internacional.



Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Agrarias
Ciudadela de Robledo, Carrera 75 # 65-87
Teléfonos: (57-604) 219 91 76
Medellín, Colombia
Correo electrónico:
fondoeditorialbiogenesis@udea.edu.co



Página Web



Facebook

Autores

Lina María Gómez Betancur
Ing. Agron., Mg., Dra. Profesora de cátedra
en la Facultad de Ciencias Agrarias de la
Universidad de Antioquia, Grupo GISAS

Sara María Márquez Giron
Ing. Agric., Dra. Profesora titular en
la Facultad de Ciencias Agrarias de la
Universidad de Antioquia, Grupo GISAS

Luis Fernando Restrepo Betancur
Estad. Esp. Profesor titular en la Facultad
de Ciencias Agrarias de la Universidad de
Antioquia, Grupo STATISTICAL

Camilo Calle
Zoot., MSc, Profesor de cátedra, Facultad
de Ciencias Agrarias Universidad Nacional
de Colombia, sede Medellín, Grupo de
investigación en Ingeniería Agrícola

Tatiana Ruiz-Cortés
MV, MSc, PhD. Profesora titular, Facultad de
Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia,
Grupo de investigación Biogénesis

Nathalia María del Pilar Correa Valencia
MV, MSc, DSc. Línea de investigación en
Epidemiología y Salud Pública.

Rosa Elsa Pérez Peña
MV, MSc. Profesora ocasional, Universidad
de Antioquia, Grupo de Investigación
Biogénesis

Ricardo Rosero Noguera
Zoot., Esp, MSc., D.Sc. Profesor asociado,
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad
de Antioquia, Grupo GRICA

Sandra Posada Ochoa
Zoot., Esp., MSc, D.Sc. Profesora asociada,
Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad
de Antioquia, Grupo GRICA

Berardo de J. Rodríguez
MV, Esp., PhD. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON

Juliana Zapata
MV, MSc, PhD (c). Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo
QUIRON

Diana Margot López
Ing., Esp., M. Eng, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Antioquia, Grupo ITOS

Verónica Bermúdez
MV. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON

Andrés A. Martínez
Eng. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON

Santiago Duque
MV. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON

Natalia Álvarez
MV, MSc, PhD (c). Facultad de Ciencias
Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo
QUIRON

Edimer D. Jaramillo
Zoot., Esp. Grupo de Investigación Nutri-
Solla, SOLLA S.A. Itagüí, Colombia



Contenido

Presentación.....	11
Capítulo 1. Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de frijol (<i>phaseolus vulgaris l</i>), en el municipio de El Carmen de Viboral, bajo un enfoque multivariado	15
Capítulo 2. Análisis abductivo de las interacciones proteómicas y metabolómicas en un modelo de lactocito bovino	33
Capítulo 3. De MANOVA a NPMANOVA.....	57
Capítulo 4. Experiencias en la construcción de revisiones sistemáticas	81
Capítulo 5. La sistematización de experiencias como estrategia para la gestión del conocimiento en la Facultad de Ciencias Agrarias.....	111
Capítulo 6. Desarrollo de una aplicación web: herramienta para facilitar el proceso de aprendizaje	139
Capítulo 7. Porcópolis: una experiencia transdisciplinaria de ciencia, tecnología, arte y educación para el sector agrario.....	163



Abordajes innovadores en la investigación agropecuaria

Holmes Rodríguez Espinosa (Coordinador)

Fondo Editorial Biogénesis, 2022

Número de páginas: 198

ISBNe: 978-628-7592-10-0

1. Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de frijol en el municipio de El Carmen de Viboral, bajo un enfoque multivariado. 2. Análisis abductivo de interacciones proteómicas y metabolómicas en un modelo de lactocito bovino. 3. MANOVA y NPMANOVA. 4. Experiencias en la construcción de revisiones sistemáticas. 5. La sistematización de experiencias como estrategia para la gestión del conocimiento en la Facultad de Ciencias Agrarias. 6. Desarrollo de aplicación web para facilitar el proceso de aprendizaje. 7. Porcípolis: una experiencia transdisciplinaria de ciencia, tecnología, arte y educación para el sector agrario.



Citación recomendada

Rodríguez-Espinosa, H. (Coord.). (2022).
Abordajes innovadores en la investigación agropecuaria.
Medellín: Fondo Editorial Biogénesis.







Agradecimientos

Obra financiada con recursos del Plan de Acción
de la Facultad de Ciencias Agrarias 2018-2021
“Una facultad comprometida con la excelencia académica,
el buen vivir y el desarrollo agropecuario sostenible
en los territorios”.



Presentación

Esta obra está enmarcada en el Plan de Acción 2018-2021 de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, en el reto *“Aportar al Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria integrando la investigación y la extensión”*. Este tiene como propósito interconectar la investigación, la extensión y la innovación para mejorar el relacionamiento con el sector productivo; fortalecer las alianzas público-privadas nacionales e internacionales; nutrir las redes del conocimiento y gestionar la innovación.

Uno de los proyectos planteados en el Plan de Acción 2018-2021 para dar respuesta a este reto fue el denominado *“Gestión de la innovación”*, que tiene como uno de sus componentes la gestión del talento humano para la innovación. Este proyecto busca identificar la oferta de sistematización de los saberes propios del ejercicio profesoral, la diversificación de formatos y canales de publicación y la consolidación de redes de conocimiento para fortalecer la presencia e interacción universitaria con los productores agropecuarios.



De esta forma, se propuso como meta la publicación de un libro anual que recogiera la experiencia de los docentes de esta dependencia en el cumplimiento de sus ejes misionales de docencia, investigación y extensión. Este cuarto volumen está dedicado a la innovación en la investigación agropecuaria y orientado a contribuir al “Subsistema Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico” del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, el cual se ha definido como el conjunto de relaciones entre los actores que desarrollan acciones de investigación, desarrollo tecnológico y transferencia de tecnología e innovación en el ámbito agropecuario.

Con este fin se invitó a todos los profesores de la facultad para la publicación de sus experiencias en abordajes innovadores de investigación agropecuaria. En este contexto se entiende como abordaje metodológico innovador para la investigación agropecuaria la introducción en los proyectos de investigación de metodologías que promuevan la apropiación social del conocimiento, la transformación de los territorios a partir del conocimiento co-creado y el fortalecimiento del tejido social. La metodología, por su parte, se concibe como el discurso y reflexión sobre el método y su objeto; el método consiste en la selección de técnicas adecuadas para la investigación y las técnicas se entienden como las herramientas utilizadas para la recolección y análisis de los datos.

Teniendo en cuenta lo anterior, en este libro se recopilan experiencias en el uso de enfoques metodológicos cualitativos como teoría fundamentada, el análisis de conversación, análisis de textos, estudios cualitativos de caso e historias de vida; experiencias en el uso de revisiones sistemáticas o metaanálisis e investigaciones científicas basadas en estudios originales primarios; experiencias en el uso de técnicas de análisis multivariado, sistemas de ecuaciones estructurales (SEM) y experiencias

de investigación en el uso de metodologías educativas, de formación y capacitación y metodologías de extensión. Esperamos que la sistematización de las experiencias en abordajes metodológicos innovadores para la investigación inspire a los docentes a mejorar sus capacidades para la generación de nuevo conocimiento.



Capítulo 1.

Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L), en el municipio de El Carmen de Viboral, bajo un enfoque multivariado

Lina María Gómez Betancur

Ing. Agron., Mg., Dra. Profesora de cátedra en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Grupo GISAS

Sara María Márquez Giron

Ing. Agríc., Dra. Profesora titular en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Grupo GISAS

Luis Fernando Restrepo Betancur

Estad. Esp. Profesor titular en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Grupo STATISTICAL

Resumen

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación denominada *Caracterización y tipificación de los agroecosistemas productivos de frijol en el municipio de El Carmen de Viboral, departamento de Antioquia*. Para esta se seleccionaron 72 fincas de ese territorio y se aplicaron encuestas



para realizar un análisis estadístico multivariado utilizando la técnica de clúster. Lo anterior permitió definir tres tipos de sistemas productivos y elaborar las interrelaciones entre los elementos del sistema que poseen cada uno de ellos. Como resultado se hizo una caracterización de (i) las fincas de manejo agroecológico, en las que se utilizan insumos orgánicos, biopreparados, rotaciones de cultivos, policultivos y labranza mínima; (ii) las fincas en transición en las que se reemplazan algunas labores convencionales por labores agroecológicas, como el uso de abonos orgánicos, y (iii) las fincas con agricultura convencional y predominio de monocultivos, en las que se utilizan fertilizantes químicos y plaguicidas que afectan negativamente el ambiente y la salud de las personas. Esta caracterización constituye una actualización en la clasificación de los sistemas productivos de cultivo de frijol en uno de los municipios con mayor producción en el oriente antioqueño.

Palabras clave: *agroecología, cultivo, frijol, sistemas productivos*

1. Introducción

Este capítulo presenta los resultados de un proceso de investigación que buscó identificar y clasificar los sistemas productivos agrícolas relacionados con el cultivo de frijol en el municipio de El Carmen de Viboral, oriente antioqueño. Se procuró que la tipificación realizada aportara a la optimización y diversificación de los agroecosistemas y favoreciera la adopción de la agroecología entre los campesinos como una herramienta que facilita el cuidado de los recursos naturales. Así, se definió la pertinencia de realizar una caracterización integral y sistemática de las formas de agricultura desde las dimensiones social, económica, productiva y ambiental, en tanto que este enfoque permite conocer de manera integral las condiciones del productor, la familia, los sistemas de producción y la finca.



De acuerdo con Mantilla-Blanco et al. (2000), el enfoque sistémico facilita el análisis de los componentes que hacen parte de un sistema de producción, así como sus limitaciones y potencialidades, elementos que constituyen el punto de partida para la adopción de tecnologías y que contribuyen a la sostenibilidad. Esto se debe a que la caracterización y tipificación son herramientas metodológicas a través de las cuales se identifican y analizan las características sociales, económicas, ecológicas y tecnológicas de los sistemas productivos para mejorar la eficacia en la toma de decisiones a nivel de finca (Catie-Gliessman et al., 2007).

Para caracterizar dichos sistemas es necesario seleccionar indicadores representativos de índole cualitativa y cuantitativa que describan de forma contextualizada la realidad de la región (Machado Vargas et al., 2015). Por lo anterior, algunos autores como Sarandón (2002) y Astier et al. (2008) han diseñado metodologías para la caracterización de sistemas agropecuarios que permiten hacer seguimiento a su evolución y proponer diseños agroecológicos para fortalecer los procesos de ciclaje en el sistema finca. Con base en una tipificación se pueden establecer grupos con similitudes (Coronel de Renolfi & Ortuño-Pérez, 2005); sin embargo, es importante tener en cuenta que al ser dinámicos y estar sujetos a diferentes tipos de manejo, arreglos de cultivos en el tiempo y espacio, los agroecosistemas están cambiando continuamente de acuerdo a factores biológicos, socioeconómicos y ambientales que determinan el grado de heterogeneidad característica de cada región agrícola y condicionan el tipo de biodiversidad presente (Altieri & Nicholls, 2007).

El proceso de construir una tipología comienza con la selección de la población y de los factores por clasificar, con las hipótesis de origen socioeconómico o físicobiológico que se asuman. En función del modelo de análisis se realizan tipificaciones a nivel de zonas geográficas, comunidades e individuos. De esta manera, la planificación de acciones de



Tabla 1. Marco lógico

Paso 1	Paso 2	Paso 3		Paso 4	Paso 5
Realizar un diagnóstico de la ocupación productiva de las fincas mediante la aplicación de una encuesta	Se eligieron 72 fincas de manera aleatoria	Diseño de la encuesta para el diagnóstico	Encuesta diseñada/ diseño programado	Documento formato de encuesta	Encuestas diligenciadas
		Aplicación de la encuesta a 72 familias	Encuestas aplicadas/ 72 encuestas programadas	Verificar que el diseño de la encuesta esté acorde con la información que se requiere	Disponibilidad de tiempo por parte de los productores para la aplicación de la encuesta
		Tabulación de la información	Información tabulada/ tabulación programada	Tablas con la información tabulada	Pertinencia de la información
		Consolidación del documento diagnóstico	Documento consolidado/ consolidación programada	Documento diagnóstico	Disponibilidad de equipos de cómputo para la consolidación de la información

Fuente: elaboración propia

investigación requiere distinguir los diferentes grupos o tipos que coexisten en la población estudiada, considerando los diversos aspectos en que se desarrollan los sistemas de producción y sus reacciones frente a los cambios del entorno (Cabrera et al., 2004).

Por otra parte, de acuerdo con Altieri & Nicholls (2007), para lograr que una finca se mueva progresivamente de la agricultura convencional a la agroecología son importantes dos pilares fundamentales: el mejo-

ramiento de la calidad de los suelos y el manejo de hábitat mediante la diversificación de la vegetación. La agricultura de transición permite este paso, en tanto es una herramienta que brinda la oportunidad de pasar de un agroecosistema insostenible a uno sostenible. Esta propuesta busca cambiar paso a paso las prácticas de manejo de los sistemas productivos para lograr el equilibrio entre el uso de recursos naturales, la calidad de vida y las ganancias económicas; esto se logra, según Gliessman (2002) y Clavijo et al. (2006), partiendo de la mezcla de prácticas convencionales y orgánicas.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo esta investigación fue caracterizar y tipificar los agroecosistemas productivos de fríjol en el municipio de El Carmen de Viboral Colombia con un enfoque multivariado.

2. Metodología

Descripción del área de estudio

El Municipio de El Carmen de Viboral está localizado en la subregión oriente del departamento de Antioquia, sus coordenadas son: 6° 4' 55" N, 75° 20' 3" W. La altitud de la cabecera municipal es de 2.150 metros sobre el nivel del mar y la temperatura media es de 17°C. Posee una extensión territorial de 448 Km² y 46.751 habitantes, de los cuales 30.107 viven en la zona urbana y 16.453 en la zona rural. Cuenta con 55 veredas pertenecientes a la zona de vida bosque húmedo montano bajo (DANE, 2015).

Para realizar el estudio se utilizó el método propuesto por Márquez (2013), se aplicó el enfoque sistémico, observando y recolectando datos de las experiencias vividas por los productores en una muestra aleatoria de 72 fincas que tienen en común la producción del cultivo de fríjol. Este



cultivo constituye la actividad productiva de mayor importancia para el desarrollo económico del municipio (Torres et al, 2020).

La finalidad de esta investigación fue conocer el manejo y las interrelaciones productivas que se desarrollan y los componentes que integran las familias que las administran. En la Tabla 1 se resume el paso a paso de la metodología utilizada.

La caracterización y tipificación de los sistemas productivos de frijol inició con la selección aleatoria de la muestra relacionada con 72 productores (Tabla 1), con quienes se recolectó la información (Figura 1) mediante el uso de encuestas que contemplaron las dimensiones socio-demográficas, ambientales, productivas y económicas. A esto le siguió la digitación de la información para ser analizada estadísticamente bajo el enfoque de correspondencia múltiple y análisis de clúster, logrando así el agrupamiento de productores por tipologías.

Una vez cumplidas estas fases se procedió con el análisis estadístico de correspondencias múltiples, en el cual se tuvieron en cuenta variables de tipo activo y suplementario. Este se complementó con análisis de frecuencias para cada modalidad asociada con la respuesta positiva y se compararon los porcentajes asociados con la tenencia o no de la tierra mediante el uso del método Z con factor de ajuste. Se utilizaron los paquetes estadísticos SPAD Versión 3.5 (SPAD.N, 2005) y SAS University (SAS Institute Inc., 2015). La encuesta fue sometida a juicio de expertos.

Para determinar el tamaño de la muestra se empleó la técnica de muestreo aleatorio de proporciones con base en un nivel de confiabilidad del 95% y un error máximo permisible del 10%; se eligió este error debido a asuntos presupuestales asociados a la financiación del proyecto investigativo. El parámetro P adoptó el valor de 0,5 debido a que no existen

estudios anteriores en la región de interés; también se aplicó factor de ajuste por finitud, en el que el tamaño definitivo de la muestra fue de 72 fincas.

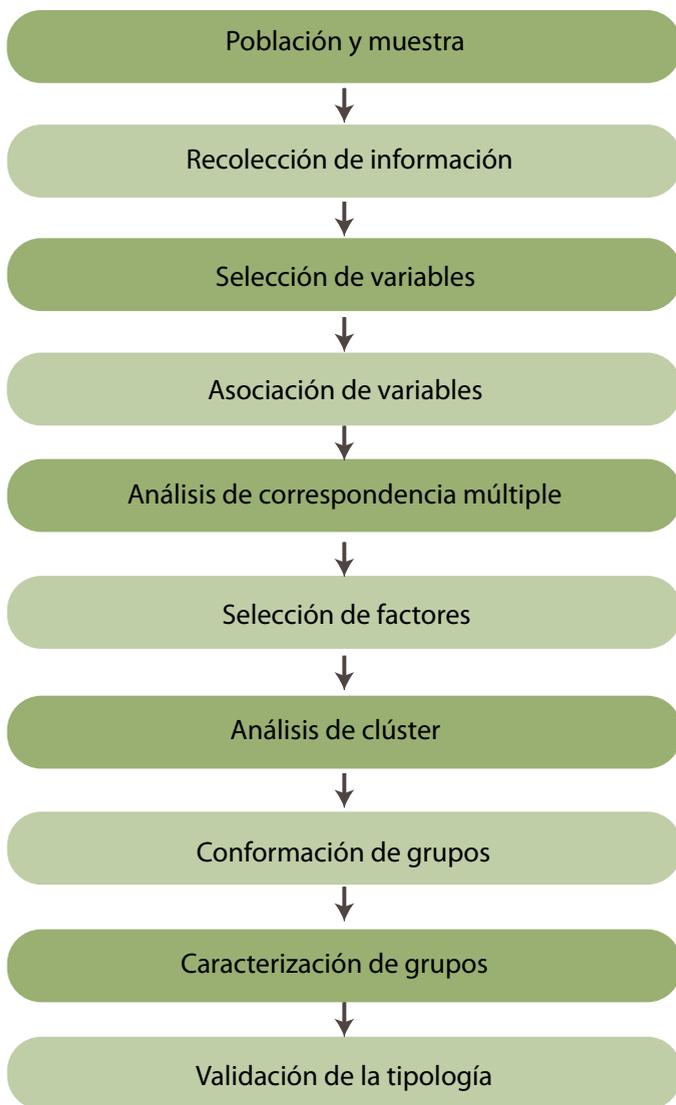


Figura 1. Metodología para la caracterización y tipificación de los sistemas productivos de frijol

Fuente: elaboración propia

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se describe el porcentaje asociado con cada pregunta teniendo en cuenta si el productor es o no propietario del predio. Allí se detectó que existe una diferencia estadística ($p < 0,05$) a favor del propietario de la tierra en los siguientes aspectos: realización de la preparación del suelo, elaboración de germinadores y almácigos, manejo de registros sanitarios, uso de plantas repelentes, mayor capacitación y conocimiento de los aspectos agroecológicos. Los no propietarios cuentan con mayor porcentaje de análisis de suelos, realizan mayor número de podas, llevan más registros de producción, utilizan en mayor medida aireación mecánica, emplean mayor cantidad de herbicidas en el cultivo de frijol y tienen mayor utilización de guantes y gorro en las labores cotidianas asociadas al cultivo del frijol. Adicionalmente, en lo referente a las labores culturales asociadas con el cultivo se observó que, en general, existe una divergencia entre las personas poseedoras de la tierra con respecto a las que no lo son: los arrendatarios se preocupan más por efectuar actividades que les permitan tener mayor rendimiento a futuro, esto con el fin de recuperar la inversión inicial.

Al evaluar los aspectos sociodemográficos representados en el primer plano factorial, se destaca que los propietarios en general poseen servicio de acueducto con agua tratada, las fuentes de empleo que generan son pequeñas, poseen asistencia técnica suministrada por la UMATA, las vías del sector se caracterizan por tener un estado entre bueno y regular y la topografía predominante es ondulada.

Las personas que tienen fincas en sistema de administración se caracterizaron por extraer el agua de pozos, tener una topografía pendiente y no contar con asistencia técnica, como se puede apreciar en la Figura 2. Cabe anotar que la variable tipo de Tenencia de la finca se suplementó a

Tabla 2. Porcentaje asociado con la tenencia o no de la tierra

Indicador	Propietario	No propietario
	Datos expresados en %	
Tipo de tenencia en la finca	57,8 a	42,2 b
Cuenta con análisis de suelos	17,0 b	43,3 a
Realiza preparación de suelo	82,9 a	53,4 b
Elabora germinadores y almácigos	70,7 a	36,7 b
Aplica enmiendas antes de siembra (cal)	36,6 a	30,0 a
Realiza podas	12,2 b	40,0 a
Maneja registros de producción	14,6 b	30,0 a
Maneja registros sanitarios	24,4 a	10,0 b
Lleva inventarios	53,7 a	60,0 a
Siembra el frijol asociado con otro cultivo	68,3 a	60,0 a
Realiza rotaciones de cultivos	26,8 a	20,0 a
Usa plantas repelentes	24,4 a	13,3 b
Usa biopreparados	12,2 a	13,3 a
Siembra plantas hospederas	58,4 a	53,3 a
Hace abonos con los desechos de cultivo	41,6 a	43,3 a
Emplea biodigestor	9,8 a	13,3 a
Utiliza laguna de oxidación	9,8 a	10,0 a
Emplea el principio de lodos activos	12,2 a	13,3 a
Utiliza aireación mecánica	14,6 b	30,0 a
Utiliza herbicidas en el cultivo de frijol	56,1 b	66,7 a
Utiliza plaguicidas en el cultivo de frijol	53,7 a	40,0 b
Categorías toxicológicas más utilizadas	2,4 a	3,3 a
Utiliza guantes para aplicaciones	12,2 b	20,0 a
Utiliza overol para aplicaciones	14,6 a	16,7 a
Utiliza gorro para aplicaciones	19,5 b	40,0 a
Utiliza tapabocas para aplicaciones	43,9 a	46,7 a
Conoce el manejo agroecológico	22,0 a	13,3 b
Ha recibido algún tipo de capacitación	36,6 a	20,0 b

* Letras distintas entre columnas indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Fuente: elaboración propia



fin de proyectarla sobre las modalidades adscritas a las demás variables relacionadas con el tema.

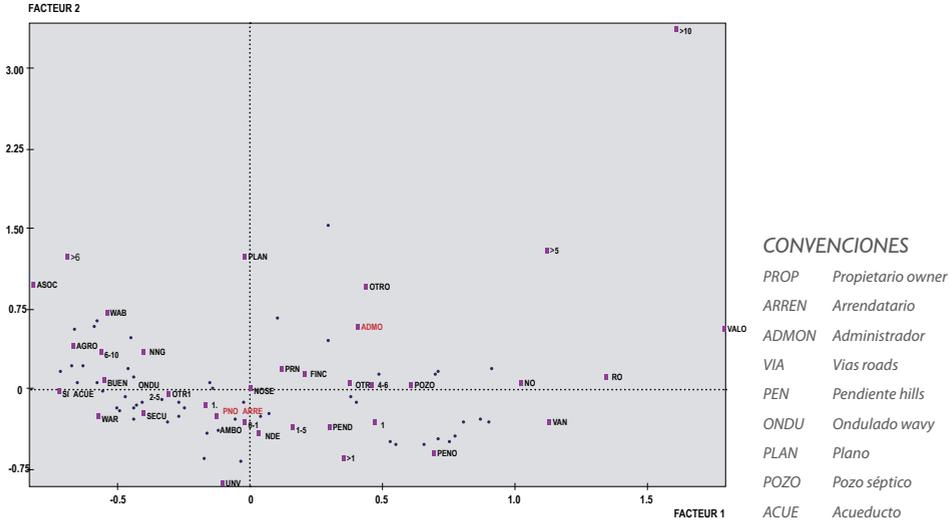


Figura 2. Plano factorial de aspectos socioeconómicos: análisis estadístico del estudio

Fuente: elaboración propia

Los propietarios de finca tienden a sembrar maíz, fríjol cargamanto y tubérculos. Los que poseen fincas en sistema de administración se caracterizaron por no tener cultivos predominantes. De otro lado, algunos encuestados que siembran frutas también poseen pastos y fríjol bola roja (Figura 3).

Al evaluar aspectos relacionados con la producción se detectó que quienes poseen títulos de propiedad de sus fincas tienen pocas prácticas de podas a los árboles o cultivos que lo requieran, utilizan el material desechable como compost o abono, efectúan rotación de cultivos, el 53% lleva inventarios de la producción animal y agrícola y un 25% realiza manejo de registros sanitarios. Adicionalmente, un 58,4% usa plantas hospederas en el cultivo del fríjol. Por otra parte, pocos campesinos

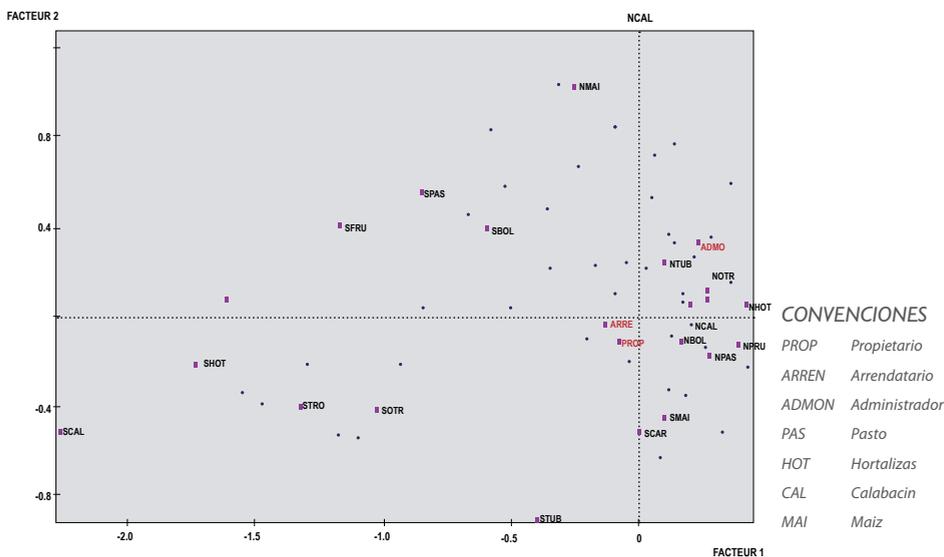


Figura 3. Plano factorial relacionado con la tenencia de la tierra y manejo de cultivos

Fuente: elaboración propia

utilizan plantas repelentes y sistema de biopreparados. Los que están en arriendo se caracterizan por un bajo porcentaje de almácigos y, aunque tienen mayor conocimiento de las características del suelo, efectúan menor preparación de la tierra de labranza. Por otro lado, son más cuidadosos con la protección personal y el manejo de inventarios (Figura 4).

La utilización de gorro, overol, guantes, herbicidas, tapabocas y agentes tóxicos se asoció con los productores que son propietarios del predio. En general, los productores que no son propietarios no emplean estos elementos para su protección, tal y como se aprecia en la Figura 5.

Tipificación de los sistemas de producción de fríjol

La tipificación de los sistemas de producción de fríjol se evaluó multidimensionalmente con un análisis de clúster, a través del cual se conformaron 3 grupos de sistemas productivos (Figura 6). Como lo confirman

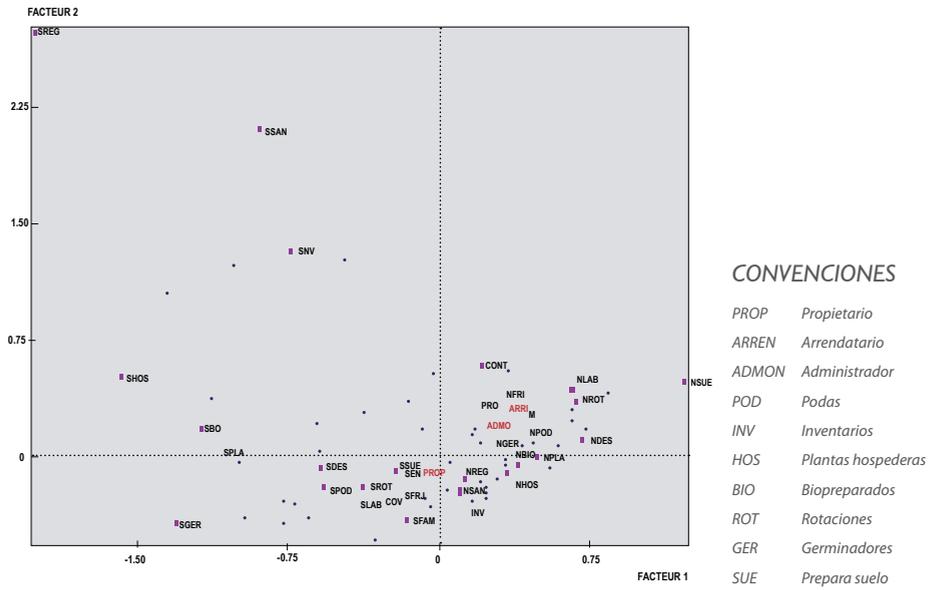


Figura 4. Aspectos relacionados con la producción de la finca
Fuente: elaboración propia

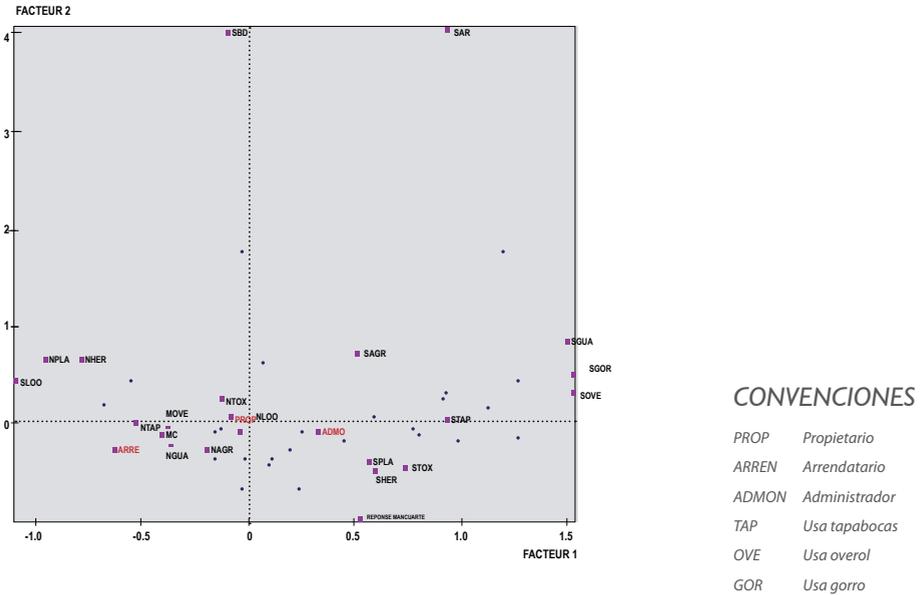


Figura 5. Aspectos de uso de elementos
Fuente: elaboración propia

los resultados, el Carmen de Viboral se suma a otros municipios de Colombia en los cuales, según Clavijo et al. (2006), los agricultores poseen diferentes alternativas de producción que pueden ir desde prácticas de agricultura convencional hasta manejo agroecológico.

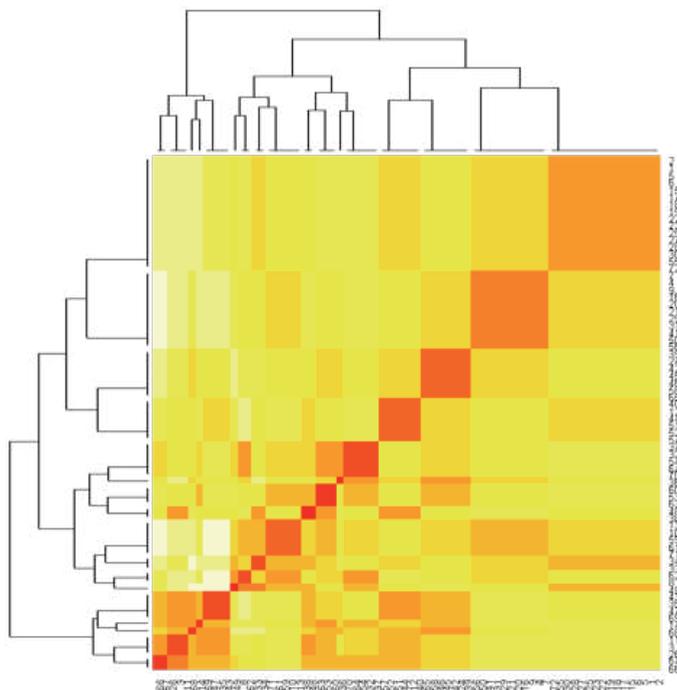


Figura 6. Análisis de clúster relacionado con las fincas

Fuente: elaboración propia

La Tabla 3 muestra las fincas pertenecientes a cada uno de los clústeres según la tipología. Los clústeres se discuten a continuación.

En el clúster 1 se encuentran las fincas que poseen una agricultura convencional (Figura 7) en la que realizan aplicaciones de fertilizante químico, usan plaguicidas, compran las semillas y realizan labranza intensiva que, junto con los monocultivos, son causantes de procesos erosivos en tanto la falta de cobertura vegetal expone el suelo a factores ambienta-



Tabla 3. Distribución de las fincas según el análisis de clúster

Clúster	Fincas	Tipologías
1	3-11-14-26-35-43-47-49-66-67-68-69	Convencional
2	8-10-13-32-33-34-36-37-38-48-53-54-57-59-60-61-62-63-64-70-71	Conversión fase inicial
3	1-2-4-5-6-7-9-12-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-27-28-29-30-31-39-40-41-42-44-45-46-50-51-52-55-56-58-65-72	Conversión fase intermedia

Fuente: elaboración propia

les. Además, la presencia de monocultivos (el uso de una sola especie en grandes espacios de terreno) tiene un efecto negativo en la biodiversidad del ecosistema ya que, de acuerdo con Grace (2003), se pierde el efecto y la respuesta de interacción que se da en policultivos. Así, según autores como Salmón et al. (2012) este tipo de cultivo puede considerarse dependiente de insumos externos por tener sistemas frágiles y con pocas defensas.

El clúster 2 evidencia una agricultura en transición, es decir, una fase inicial de la conversión. Allí se combinan algunas prácticas de la agricultura convencional con prácticas agroecológicas, como el uso de abonos orgánicos y químicos, la aplicación de enmiendas antes de siembra y la realización de podas; sin embargo, se siguen usando plaguicidas en el proceso productivo (Figura 8).

El clúster 3 es el de sistemas productivos en fase intermedia de conversión agroecológica (Figura 9). Estos cuentan con prácticas como el policultivo, uso de biopreparados, labranza mínima, aplicación de enmiendas antes de siembra, rotaciones de cultivo y utilización de los desechos

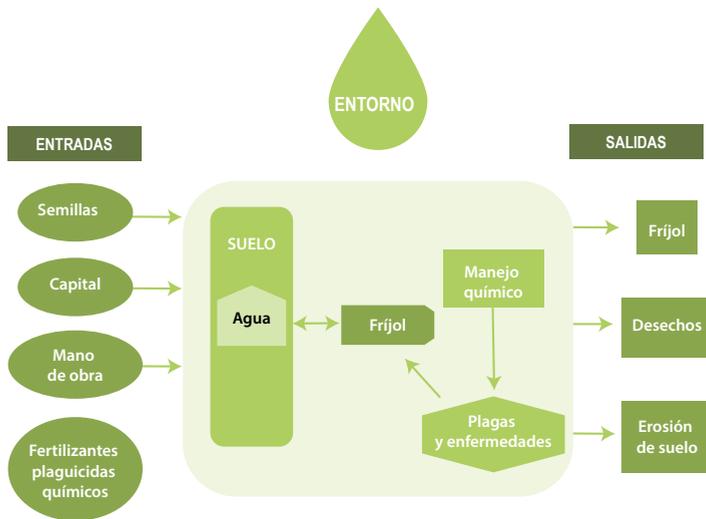


Figura 7. Finca convencional
Fuente: elaboración propia

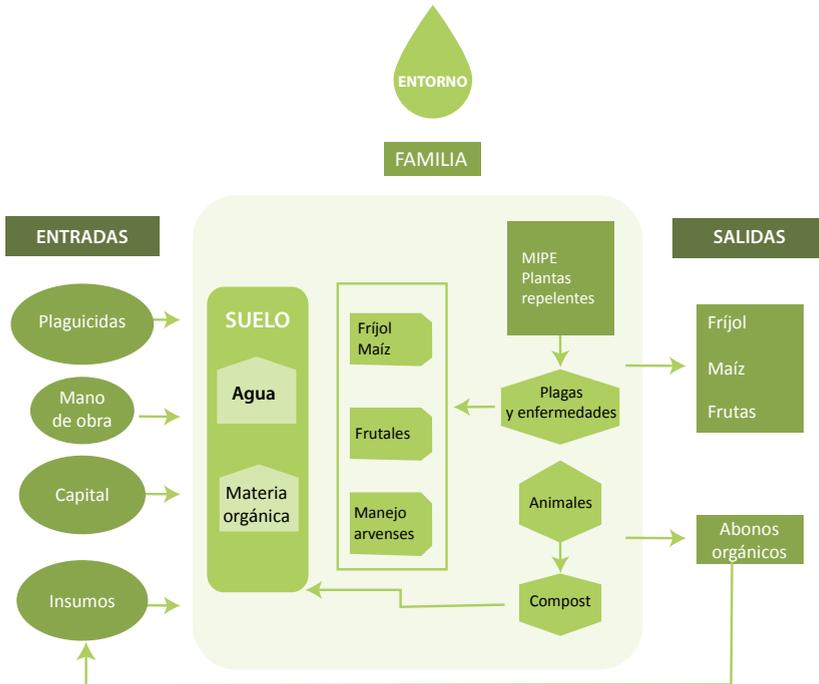


Figura 8. Finca en transición
Fuente: elaboración propia

del cultivo para producir abonos; es decir, hay prácticas agroecológicas de manejo en los sistemas productivos que favorecen el equilibrio ambiental. En ellos se tiene en cuenta la producción del cultivo, la calidad de los productos, el manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales, las interacciones dentro del cultivo, la economía, los saberes y los aspectos culturales de la población con el fin de lograr un sistema de producción realmente sostenible social, ambiental y económicamente.

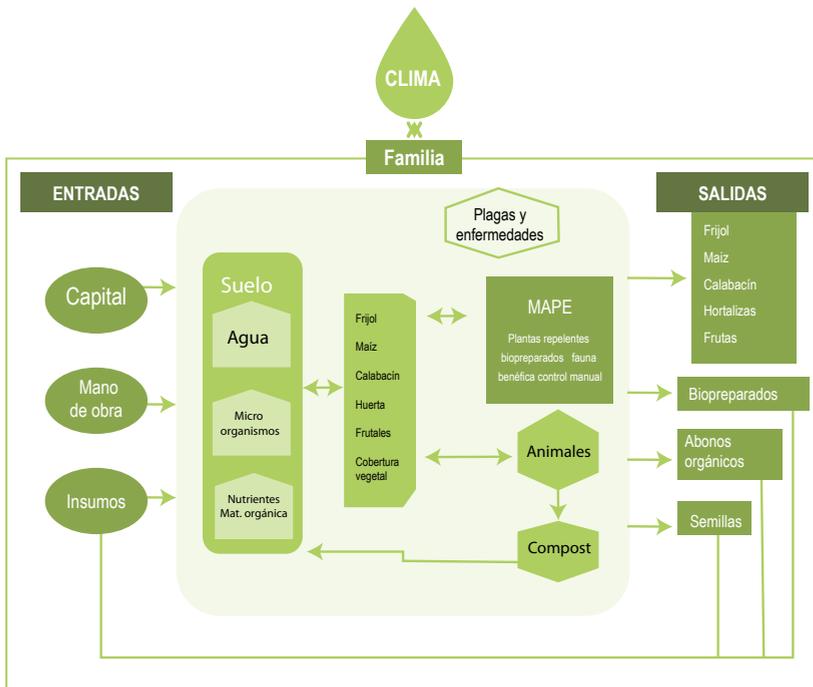


Figura 9. Finca en conversión

Fuente: elaboración propia

4. Conclusiones

Considerando que el desarrollo sostenible representa un nuevo paradigma de desarrollo con repercusiones directas en el manejo de los agroecosistemas, es posible afirmar que estas prácticas integradoras

mejoran de alguna forma el concepto del uso de los recursos naturales. Por lo tanto, es correcto decir que en varias de las fincas participantes se encuentra que el productor implementa algunas prácticas que han sido traídas por la revolución verde, junto a otras menos dañinas que podrían ser llamadas prácticas de agricultura con enfoque agroecológico. En general, se mezclan diferentes alternativas de producción en función de obtener un mejor rendimiento de sus cultivos, dependiendo siempre de sus capacidades de adquisición, conocimientos, proyecto de vida y estrategias de mercado.

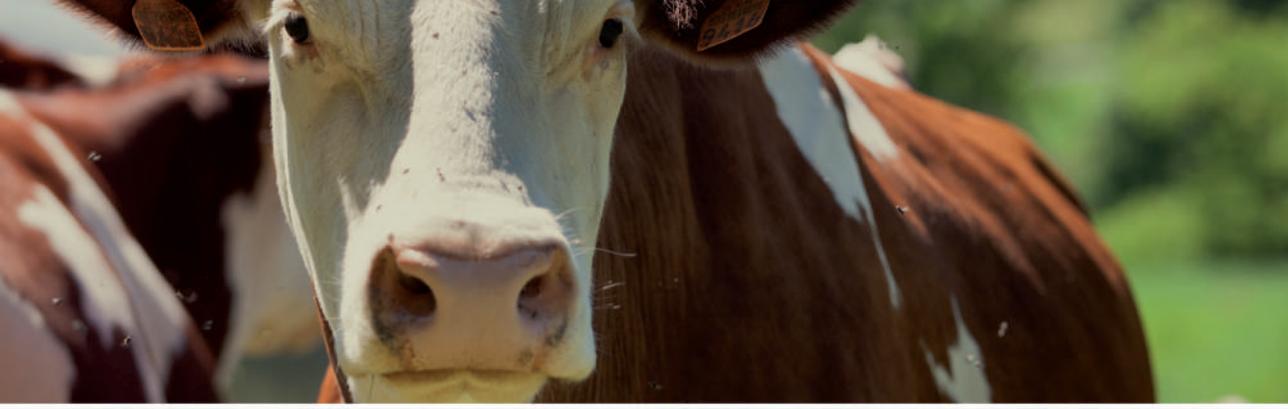
Finalmente, en el municipio de El Carmen de Viboral se encontraron tres tipologías de sistemas productivos de fríjol: fincas convencionales en un 17%, en las que predomina la utilización de insumos externos al sistema; fincas en transición con un 29%, caracterizadas por combinar las prácticas de la agricultura convencional con prácticas agroecológicas y, por último, fincas en conversión agroecológica con un 54%, en las que predominan prácticas de manejo sostenible de la salud del suelo y los cultivos.

Referencias bibliográficas

- Altieri, M. Á. & Nicholls, C. I. (2007). *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Vol. 2. Icaria Editorial.
- Astier, M., Masera, O. R. & Galván-Miyoshi, Y. (2008). *Evaluación de sustentabilidad: un enfoque dinámico y multidimensional* (No. Sirsi i9788461256419). Valencia: SEAE.
- Cabrera, D., García, A., Acero, R., Castaldo, A., Perea, J. & Martos, J. (2004). *Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos*. Metodología. Universidad de Córdoba, Departamento de Producción Animal, Córdoba-España.
- Catie-Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E. & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Revista Ecosistemas*, 16(1). 54
- Clavijo, N., Prins, C., Sánchez-Garita, V., Soto, G. & Staver, C. (2006). Calendarización, uso racional, sustitución y rediseño: una comparación entre horticultores orgánicos



- y convencionales en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 78, 17-27.
- Coronel de Renolfi, M. & Ortuño-Pérez, S. F. (2005). Tipificación de los sistemas productivos agropecuarios en el área de riego de Santiago del Estero, Argentina. *Problemas del desarrollo*, 36(140), 64-88.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Litocat, Turrialba, Costa Rica.
- Grace, J. B. (2003). Competencia y facilitación. En: Sánchez, A., Reigosa, M, Pedrol, N, (coord.) *La ecofisiología vegetal: una ciencia de síntesis*. Thomson-Paraninfo, 443-480.
- Machado Vargas, M. M., Nicholls, C. I., Márquez, S. M. & Turbay, S. (2015). Caracterización de nueve agroecosistemas de café de la cuenca del río Porce, Colombia, con un enfoque agroecológico. *Idesia*, 33(1), 69-83.
- Mantilla-Blanco, J., Arguello-Angulo, A. L. & Méndez-Aldana, H. (2000). *Caracterización y tipificación de los productores de cacao del departamento de Santander*. Corpoica. Colombia
- Márquez, S. M. (2013). *Riesgo ambiental por uso de clorpirifos en zonas de ganadería de leche y propuesta de conversión agroecológica, en San Pedro de los Milagros* (Tesis Doctorado en Agroecología), Medellín. Universidad de Antioquia.
- Sarandón, S. J., Abril, A., Acciaresi, H., Altieri, M. A., Astier-Calderón, M., Bezus, R. & Del Pino, M. (2002). *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*. Ed. Científicas Americanas.
- Salmón, Y., Funes-Monzote, F. R. & Martín, O. M. (2012). Evaluación de los componentes de la biodiversidad en la finca agroecológica "Las Palmitas" del municipio Las Tunas. *Pastos y Forrajes*, 35(3), 321-332.
- SPAD.N. (2005). Centre International de Statistique et d'Informatique Appliquées. Saint-Mandé, France.
- SAS Institute Inc. (2015). SAS University edition virtual application. Cary, NC, USA. http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html
- Torres, E. E., Torres, J. E., Lopéz, M., Loaiza, O. L. & Sánchez, C. A. (2020). *El Carmen de Viboral guía base para la reactivación económica*. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Económicas. Grupo de Macroeconomía Aplicada. <https://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/0bda9a76-3f6f-4312-9fd8-a0d2c418e514/40.+El+Carmen+de+Viboral-v3.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nbJGxk7>



Capítulo 2.

Análisis abductivo de las interacciones proteómicas y metabolómicas en un modelo de lactocito bovino

Camilo Calle

*Zoot., MSc, Profesor de cátedra, Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Grupo de
investigación en Ingeniería Agrícola*

Tatiana Ruiz-Cortés

*MV, MSc, PhD. Profesora titular, Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo de investigación Biogénesis*

Resumen

Estudiar la regulación e interacciones de vías metabólicas de aminoácidos (AA), carbohidratos (CHO), lípidos y energía (E) es importante para comprender los mecanismos de síntesis de proteínas de leche. Se realizó un análisis de tipo abductivo para aproximarse a una descripción de la posible relación metabólica del proteoma en un modelo *in vitro* de lactocitos bovinos. Para estudiar las vías metabólicas se creó un archivo multi-fasta con todas las secuencias de

proteínas y se envió a BlastKOALA en la Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG). Las vías de KEGG ($n = 44$) se agruparon en metabolismo de AA, CHO, lípidos y E. Se creó luego una matriz de datos con las vías metabólicas y las proteínas identificadas. Se calculó una matriz de valores P de distancias chi-cuadrado. Para eliminar proteínas y vías metabólicas que no resultaron significativas ($p > 0,05$) se utilizó el análisis iterativo de correspondencia múltiple y seleccionaron las variables significativas entre cada iteración. Finalmente, se realizó un análisis de clúster para detectar las posibles relaciones simultáneas entre las proteínas. Los grupos de rutas correspondientes al metabolismo de AA y de CHO representaron el mayor número de interacciones, 19 y 26 respectivamente. El algoritmo tomó cinco iteraciones hasta que el número de vías metabólicas no significativas fue igual a cero. El análisis multivariado y abductivo en nuestro modelo celular *in vitro* es una herramienta útil para estudiar y comprender mejor las interacciones metabólicas en la compleja vía de síntesis de proteínas de leche.

Palabras clave: *bioinformática, análisis multivariante*

1. Introducción

La glándula mamaria bovina madura está formada por una red de conductos que terminan en los alvéolos. La capa más interna de los alvéolos está rodeada de células epiteliales mamarias (MEC) que son responsables de la síntesis y secreción de leche durante la lactancia. Las MEC son las principales células precursoras responsables del potencial de lactancia. El proteoma de las MEC define su estado funcional y sugiere su papel en diversas actividades celulares como la proliferación y la lactancia (Jaswal et al., 2020).

El análisis de las MEC, como unidad fundamental dentro de la lactancia, implica comprender los mecanismos celulares que autorregulan sus funciones. Además, es bien sabido que el cultivo de células mamarias proporciona una herramienta experimental útil y económica, en comparación con los ensayos *in vivo*, y permite probar un gran número de tratamientos en células epiteliales aisladas (Clark & Pateman, 1978).

Ahora bien, la proteómica como área de estudio plantea muchos retos desde el punto de vista metodológico, ya que la cantidad de datos disponibles muchas veces supera la capacidad de análisis de los investigadores. Las herramientas idóneas para probar este tipo de planteamientos científicos reposan en el campo de la bioinformática, la cual constituye una de las áreas del conocimiento más promisorias. En los últimos años, este campo ha hecho importantes aportes a la proteómica, la genómica y la metabolómica, entre otras (Boehmer et al., 2008), al brindar herramientas que permiten a los científicos abordar grandes cantidades de datos e información para finalmente proponer posibles hipótesis de lo que está sucediendo en el sistema.

La reproducción bovina y las ciencias de la leche no son ajenas a esta tendencia científica (O'Donnell et al., 2004; Roncada et al., 2012) y, se ha publicado recientemente acerca de los perfiles metabolómicos en la glándula mamaria de yak durante el ciclo de lactancia y se reportaron metabolitos diferenciales involucrados en vías que incluyen aminoácidos, biosíntesis de otros metabolitos secundarios, carbohidratos, energía, lípidos, cofactores y vitaminas y metabolismo de nucleótidos relacionado con el desarrollo de la glándula mamaria, la lactogénesis y la lactancia (Gregorini et al., 2016). En 2020, investigadores perfilaron a profundidad el proteoma de los MEC de búfalo cultivados *in vitro* (Bu-MEC) durante la proliferación activa utilizando espectrometría de masas en tándem de alto rendimiento (Jaswal et al., 2020). Faltan estudios en



MEC sobre su estado metabólico inherente bajo desafíos de aminoácidos, como modelo *in vitro* para el suministro limitado de nutrientes, los cuales serían una pista para comprender mejor el metabolismo de la lactancia bovina y las estrategias metabólicas de MEC sometidas a estrés nutricional.

Los resultados previos del experimento (Ruiz-Cortes et al., 2022) arrojaron resultados que sugieren que las MEC sometidas a una restricción de aminoácidos esenciales (EAA) tienen la capacidad de mantener la producción de proteínas de la leche, como la caseína, lo que implicaría algún mecanismo de homeorresis en dicho proceso. En este sentido, cobra especial importancia identificar las proteínas y rutas metabólicas que se activaron en dichos momentos de restricción nutricional.

Para ello, es clave recordar que en el campo de la proteómica y la metabolómica es de suma importancia el uso combinado de herramientas bioinformáticas y del análisis abductivo para reducir el tiempo de investigación y permitir al investigador enfocarse en las vías clave implicadas, como ya ha sido expresado por autores como Rodríguez (2005), Le, Deeth y Larsen (2017) o Cárdenas (2019). Cárdenas (2019) plantea que existe un proceso (Figura 1) que involucra estos tipos de inferencia. Así, la deducción permite generar las consecuencias (C), la inducción, establecer reglas generales (A), y la abducción, construir la hipótesis (B). La mayoría de los razonamientos y, en particular, el razonamiento científico, combina estas tres formas de razonamiento (Moscoso, 2019). Desde este punto de vista, Moscoso propone entender todo el proceso abductivo como un ciclo recursivo de abducción / deducción / inducción. Las tres etapas del ciclo de abducción / deducción / inducción, que Moscoso (2019) llamó "ciclo adi", son relativamente autónomas pues cada una implica un procedimiento específico, tienen requisitos formales que deben cumplirse y pueden ejecutarse en diferentes momentos y proyectos de investigación, como el que se expone en este capítulo.

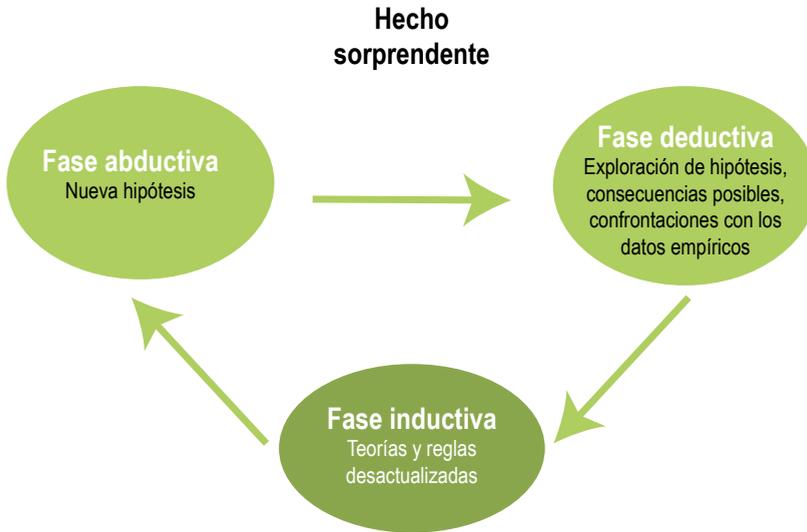


Figura 1. El ciclo de la abducción/deducción/inducción

Fuente: adaptado de Moscoso (2019)

En el estudio presentado en este capítulo se diseñó una metodología que permitió realizar un estudio abductivo previo a la investigación, lo cual le permitió al investigador identificar posibles rutas o proteínas que tenían una mayor probabilidad de interactuar en las distintas situaciones de estudio. Este estudio abductivo permitió identificar la hipótesis de investigación con las que se podrán proponer nuevas investigaciones. Se aplicó dicha metodología a un conjunto de datos de aproximadamente 1.183 proteínas obtenidos de un experimento realizado en lactocitos de glándula mamaria bovina.

2. Metodología

Se diseñó una herramienta para el análisis abductivo proteómico y de rutas metabólicas en las MEC bajo restricciones de aminoácidos esenciales (AAE) en rutas relacionadas con el metabolismo de aminoácidos.



Para detectar las rutas metabólicas y proteínas más relevantes en las MEC bajo los diferentes tratamientos, se diseñó el flujo de trabajo que se describe a continuación.

2.1. Cultivo celular y tratamientos

Se usaron células primarias bovinas aisladas de glándulas mamarias de vacas lecheras Holstein chinas (Hu et al., 2009). Para confirmar que las células eran de origen bovino y epitelial se realizó la identificación de marcadores epiteliales mediante proteómica (es decir, citoesqueleto 8 (UniProt ID = F1MU12) y citoqueratina 18 (UniPro ID = F6S1QO)) (datos no mostrados) (Tyanova et al., 2016; Yoder et al., 2019). La capacidad de síntesis de caseína se confirmó en un experimento anterior (Ruiz-Cortes et al., 2017).

Se siguió el protocolo estandarizado anteriormente (Ruiz-Cortes et al., 2022). Las células se sembraron en placas de plástico de seis pocillos (Corning®, Corning, NY) y se cultivaron en medio de Dulbecco (DMEM / F-12; ThermoScientific® Gibco®, Waltham, MO). Se añadió glucosa a 3,15 g/l y bicarbonato de sodio a 1,18 g/l. El medio se complementó con 50 mg/ml de transferrina, 2 mg/ml de insulina, 1 mg/ml de prolactina, 25 mg/ml de progesterona, 100 mg/ml de hidrocortisona (Sigma®, St Louis, MO), 0,25 mg/ml de EGF, 1% glutamina y mezcla de antibiótico-antimicótico al 1% (Sigma®) y FBS al 10% (Thermo Scientific® Gibco®). Las células se cultivaron durante 6 días después de alcanzar la confluencia (90-100%).

Las células fueron sometidas a estrés mediante la implementación de un diseño experimental factorial 2x2x2 en la que el primer factor correspondió a la variación de las concentraciones de AAE en dos niveles (2% y 100%) de la concentración completa en DMEM; el segundo factor es el tiempo de restricción (R) con dos niveles (8 horas y 24 horas); el tercer

factor es el tiempo de realimentación (RF) (8 horas y 24 horas), los dos últimos factores se relacionaron entre sí por una restricción + tiempo de realimentación (R + RF) como se describió anteriormente (Ruiz-Cortes et al., 2017). Esto dio como resultado un total de siete tratamientos que se replicaron cuatro veces por duplicado: Control-Tratamiento 1 (T1): 100% EAA; Tratamiento 2 (T2): 2% de EAA durante 8 h R; Tratamiento 3 (T3): 2% de EAA durante 24 h R; Tratamiento 4 (T4): 2% EAA durante 8 h R + 100% EAA durante 8 h RF (R + RF); Tratamiento 5 (T5): 2% de EAA durante 8 h R + 100% de EAA durante 24 h RF (R + RF); Tratamiento 6 (T6): 2% EAA durante 24 h R + 100% EAA durante 8 h RF (R + RF); Tratamiento 7 (T7): 2% EAA durante 24 h R + 100% EAA durante 24 h RF (R + RF).

2.2. Inmunodetección de caseína

Las proteínas (40 µg) se separaron electroforéticamente mediante SDS-PAGE (12%) y se transfirieron a membranas de PVDF (Millipore®, Burlington, MA). Las transferencias se bloquearon durante 1 hora con tampón de bloqueo Odyssey (LI-COR Biosciences®, Lincoln, NE) y se incubaron durante la noche a 4°C en anticuerpos primarios de conejo y ratón (1: 1000). Los anticuerpos utilizaron cadenas alfa y beta de α -tubulina (Cell Signaling Technology®) y caseína reconocidas (ABCAM®, Cambridge, Reino Unido). Después de 5 lavados de 5 min con PBS que contenía Tween 20 al 0,01% (Bio-Rad Life Science®, Hercules, CA), las transferencias se incubaron durante 1 h TA en anticuerpos secundarios de cabra anti-conejo y anti-ratón (1: 10000) ligado con tintes fluorescentes (IRDye 800 CW e IRDye 680, respectivamente; LI-COR Biosciences®). Las transferencias se lavaron cinco veces más como se describió anteriormente y se escanearon usando un sistema de imágenes infrarrojas Odyssey (LI-COR Biosciences®). La intensidad de la señal de las proteínas diana se cuantificó con el software de aplicación Odyssey (versión 3.0). Los resultados



se estandarizaron como una proporción de expresión de caseína con relación a α -tubulina (Ruiz-Cortes et al., 2022).

2.3. *Proteómica cuantitativa*

Se realizó lisis celular para liberar la proteína total intracelular y se midió la concentración de esta mediante BCA (Pierce®). Los extractos de proteína total se sometieron a proteómica cuantitativa sin marcaje basado en la movilidad iónica mejorada. El protocolo incluye análisis y cuantificación de cromatografía líquida-integración de movilidad iónica-espectrometría de masas (LC-IMS-MS) (software ISOQuant®, Mainz, Alemania) (Distler et al., 2016; Kuharev et al., 2015). Las proteínas presentes en el 90% o más de las muestras fueron 1.183; estas proteínas se utilizaron para los análisis posteriores. Se utilizaron los resultados cuantificados del TOP3 ISOQuant®.

2.4. *Bioinformática*

Se utilizó la base de datos KEGG para identificar las rutas metabólicas con la herramienta BlastKOALA, en el grupo taxonómico “animales”, con la base de datos de la familia “eucariotes” (Kanehisa, Sato & Morishima, 2016). De las 1.183 secuencias de proteínas se seleccionaron las proteínas incluidas en vías metabólicas de AA, CHO, y E. Se analizaron otras vías de señalización metabólica (como las de PI3K-Akt, cGMP-PKG, MAPK, insulina, calcio y ErbB) que el mismo sistema KEGG arroja (llamadas ST) y que se relacionan con la síntesis de proteínas. El número de proteínas por vía metabólica varió según el tratamiento.

2.5. *Creación de multifasta*

Se realizó un *pipeline* usando librerías de BioPerl para automatizar la recuperación de las secuencias de proteínas de interés de la base de datos



UniProt, con el fin de generar el archivo multifasta necesario para los análisis posteriores.

2.6. Identificación de las rutas metabólicas

Luego de crear el archivo multifasta de las rutas metabólicas previamente seleccionadas se procedió a montar dicho archivo en la plataforma KEGG, de allí se identificaron y ubicaron las proteínas que estuvieran presentes en las rutas metabólicas analizadas.

2.7. Preparación de la matriz de datos

El análisis abductivo requiere analizar las posibles relaciones entre las rutas metabólicas responsables de la síntesis láctea. No existe una hipótesis definida *a priori* por el investigador en cuanto a dichas relaciones.

Con los resultados del KEGG se creó un matriz de datos en donde se disponen las rutas metabólicas en columnas, las proteínas identificadas dentro de estas rutas en filas y los valores de las proteínas, ausente o presente (0 o 1), constituyen los valores de la base de datos.

2.8. Exploración de datos

Con el fin de brindar al investigador una herramienta para la exploración de datos que le permita rutas, o grupos de rutas metabólicas, se diseñó un algoritmo que crea una matriz de valores de P de distancias de chi cuadrado, de acuerdo con el nivel de significancia que determine el investigador (para este caso 5%), con la cual se crea un pictograma en donde los valores iguales o inferiores al nivel seleccionado se muestran de color rojo. De esta forma, el investigador puede identificar las rutas metabólicas que tienen probabilidad de interactuar (ya que comparten como mínimo una misma proteína).

2.9. Análisis de los datos

Dado que la interacción entre proteínas no es un proceso lineal y actual en conjunto, y con el fin de detectar las proteínas y rutas metabólicas más significativas que en conjunto puedan interactuar, se diseñó un algoritmo que implementa un análisis de correspondencias múltiples (ACM). Este análisis detecta las relaciones simultáneas entre las rutas metabólicas mediante el cálculo del R2 de cada modalidad (valor de presente o ausente), de cada ruta metabólica y su respectivo valor de P con respecto a la primera dimensión o al primer componente que representa un grupo de rutas metabólicas que tienen algo en común (que para el presente caso fue la síntesis de proteína). El algoritmo elimina las rutas metabólicas con un valor de P superior a 0,05, y corre de nuevo el análisis de correspondencias múltiples. Este proceso se itera hasta que la cantidad de variables con un valor de P inferior a 0,05 es igual al número inicial de variables, es decir que se eliminan variables hasta que todas sean significativas.

De esta forma se detecta el conjunto de rutas metabólicas que están relacionadas entre ellas de forma significativa. Finalmente, se realiza un análisis de clúster en el cual se detectan las posibles relaciones simultáneas entre las proteínas.

2.10. Análisis estadístico

En cada tratamiento se realizó un análisis abductivo para proporcionar una aproximación de la posible relación metabólica del proteoma en nuestro modelo *in vitro* de MEC. Usando los resultados del software KEGG se creó una matriz de datos con los valores de presente o ausente de las proteínas. Se calculó una matriz de p-valores de distancias chi-cuadrado y se creó un pictograma para eliminar proteínas y vías metabólicas que no eran significativas ($p > 0,05$). Se utilizó un análisis de

correspondencia múltiple (MCA) y se calculó el coeficiente de determinación (R^2) de cada vía metabólica para determinar su relevancia en el análisis, eliminando las rutas que no fueron significativas para la primera dimensión o componente (síntesis proteica). Este procedimiento se realizó hasta que no hubo vías metabólicas que eliminar.

Las proteínas detectadas en la primera iteración se utilizaron para analizar los posibles grados de interacción entre grupos de proteínas. De esto se trata la técnica multivariante, cuyo principal propósito es agrupar objetos formando conglomerados (clústeres) de objetos con un alto grado de homogeneidad interna y heterogeneidad externa y que, además, en nuestro caso interactúan al hacer parte de una misma vía metabólica.

Luego se compara la igualdad de medias entre las proteínas de los clústeres por medio de un análisis ANOVA cuantitativo para detectar diferencias entre la expresión de dichas proteínas. Las proteínas significativas ($p < 0,05$) se seleccionaron por homogeneidad en sus variaciones. Un estudio *post hoc* determinó la diferencia entre la expresión de proteínas significativa en comparación con el grupo de control (T1). Para los análisis estadísticos se utilizó el FactoMineR del programa R (RFoundation, 2017) y el programa IBM SPSS Statistics 25 (Armonk, NY).

3. Resultados y discusión: aplicación de la herramienta

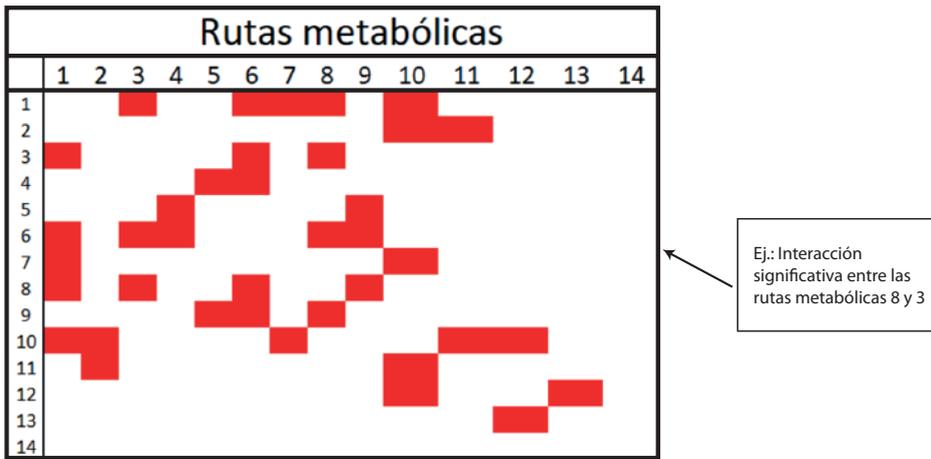
Los resultados que se muestran en este artículo provienen de muestras control como modelo para describir el procedimiento multivariado y su análisis.

Se seleccionaron 44 rutas metabólicas agrupadas en metabolismo de carbohidratos, metabolismo de lípidos, metabolismo de aminoácidos y



metabolismo energético, ya que el estado del arte de dicho fenómeno implica el estudio de todos estos grupos de rutas metabólicas.

El Pictograma 1 muestra una matriz de valores significativos de P ($P < 0,05$) en la que se pueden evidenciar las relaciones entre las rutas metabólicas seleccionadas.



Pictograma 1. Interacción entre rutas metabólicas en MEC cultivadas *in vitro* durante 6 días después de la confluencia. Se agregaron aminoácidos esenciales (EAA) al 100% y al 2% (restricción) de concentraciones completas de DMEM durante 8 h y 24 h, así como realimentación con 100% EAA durante 8 h y 24 h (restricción + realimentación).

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1 se puede ver la cantidad de interacciones de las rutas metabólicas que se extrajeron inicialmente del KEGG. Los resultados muestran una gran cantidad de rutas metabólicas presentes y de interacciones que se dan entre estas. Esta situación evidencia la necesidad de reducir dicha complejidad con el fin de formular hipótesis más efectivas en los procesos de investigación.

Tabla 1. Proteínas y rutas metabólicas identificadas en el KEGG e interacciones

Ruta	Número de rutas con las que interactúan	Proteínas identificadas
Glycolysis / Gluconeogenesis	9	22
Citrate cycle TCA cycle	3	14
Pentose phosphate pathway	4	12
Pentose and glucuronate interconversions	3	6
Fructose and mannose metabolism	2	9
Galactose metabolism	5	9
Ascorbate and aldarate metabolism	9	3
Starch and sucrose metabolism	4	6
Amino sugar and nucleotide sugar metabolism	3	14
Pyruvate metabolism	9	15
Glyoxylate and dicarboxylate metabolism	3	6
Propanoate metabolism	7	8
Butanoate metabolism	7	5
Inositol phosphate metabolism	0	3
Oxidative phosphorylation	1	21
Carbon fixation in photosynthetic organisms	5	11
Carbon fixation pathways in prokaryotes	2	6
Methane metabolism	2	9
Nitrogen metabolism	0	2
Sulfur metabolism	0	4
Fatty acid biosynthesis	0	1
Fatty acid elongation	7	6
Fatty acid degradation	10	11
Synthesis and degradation of ketone bodies	2	2
Steroid hormone biosynthesis	0	3
Glycerolipid metabolism	10	4
Glycerophospholipid metabolism	1	3
Ether lipid metabolism	1	3
Sphingolipid metabolism	0	3
Arachidonic acid metabolism	0	3
alpha-Linolenic acid metabolism	1	1

Ruta	Número de rutas con las que interactúan	Proteínas identificadas
Biosynthesis of unsaturated fatty acids	4	4
Alanine, aspartate and glutamate metabolism	4	9
Glycine, serine and threonine metabolism	2	6
Cysteine and methionine metabolism	5	12
Valine, leucine and isoleucine degradation	11	16
Lysine degradation	9	7
Arginine biosynthesis	5	6
Arginine and proline metabolism	9	10
Histidine metabolism	9	2
Tyrosine metabolism	7	4
Phenylalanine metabolism	7	3
Tryptophan metabolism	11	4
Phenylalanine, tyrosine and tryptophan biosynthesis	7	2

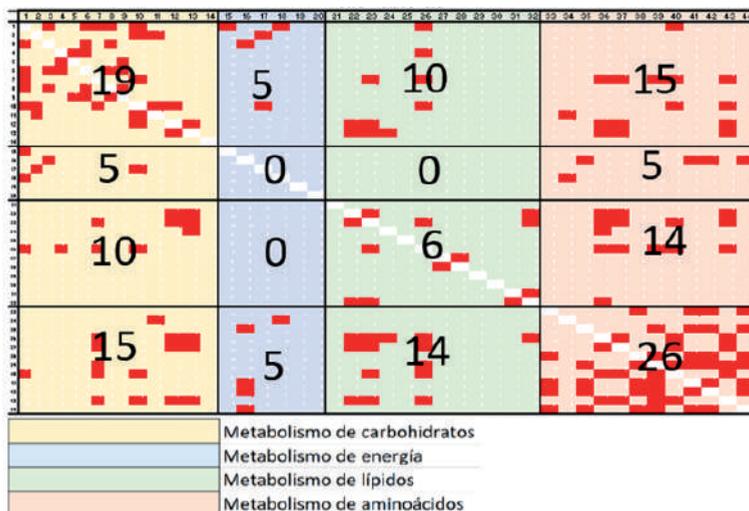
Fuente: elaboración propia

3.1. Cálculo e interpretación del pictograma de interacciones

En el Pictograma 2 se puede ver cómo los grupos de rutas correspondiente al metabolismo de aminoácidos y el metabolismo de los carbohidratos representan la mayor cantidad de interacciones, 19 y 26 respectivamente. Pese a ello, la mayor cantidad de rutas no poseen ningún grado de interacción con las demás. Esta situación genera una dificultad desde el punto de vista estadístico, ya que involucra ruido en los análisis conjuntos. Por otro lado, la eliminación de proteínas y rutas metabólicas de forma subjetiva puede introducir un sesgo al análisis.

3.2. Determinación de las proteínas y rutas metabólicas clave en el estudio

Bajo el supuesto de que existe una combinación lineal que representa las relaciones entre las rutas metabólicas, basado en las proteínas que comparten, se diseñó un algoritmo que itera análisis de corresponden-



Pictograma 2. Matriz de interacciones individuales entre las rutas metabólicas analizadas

Fuente: elaboración propia

cias múltiples y selecciona las variables significativas entre cada iteración, eliminando las rutas que no son significativas ($P < 0,05$) con la primera dimensión o componente que fue síntesis de proteínas.

Para el presente estudio, el algoritmo tardó cinco iteraciones hasta que la cantidad de rutas metabólicas no significativas fuese igual a cero.

En la Tabla 2 se puede ver la relación de las rutas metabólicas (R2) con el primer componente, se puede ver cómo el metabolismo del triptófano es la ruta que más explica el fenómeno (70%), mientras que la biosíntesis de arginina fue la que menos explicó el primer componente (20%).

Aunque el objetivo de este artículo no es el análisis de los resultados obtenidos utilizando la herramienta que se describe, es importante resaltar a manera de ejemplo, cómo esta permite llegar a resultados ya discutidos por otros autores (Ruiz-Cortes et al., 2022). Uno de los ha-

Tabla 2. Relaciones entre las rutas metabólicas

COD	RUTA	R2	Valor de P	GRUPO	PROTEÍNAS IDENTIFICADAS
rm43	Tryptophan metabolism	0,7068472	0,00000	metabolismo de aminoácidos	4
rm40	Histidine metabolism	0,6962692	0,00000	metabolismo de aminoácidos	2
rm7	Ascorbate and aldarate metabolism	0,5130543	0,00000	metabolismo carbohidratos	3
rm37	Lysine degradation	0,4504774	0,00001	metabolismo de aminoácidos	7
rm26	Glycerolipid metabolism	0,3893448	0,00006	metabolismo de lípidos	4
rm23	Fatty acid degradation	0,3638985	0,00013	metabolismo de lípidos	11
rm33	Alanine, aspartate and glutamate metabolism	0,2887553	0,00087	metabolismo de aminoácidos	9
rm36	Valine, leucine and isoleucine degradation	0,2530229	0,00207	metabolismo de aminoácidos	16
rm38	Arginine biosynthesis	0,206432	0,00611	metabolismo de aminoácidos	6

Fuente: elaboración propia

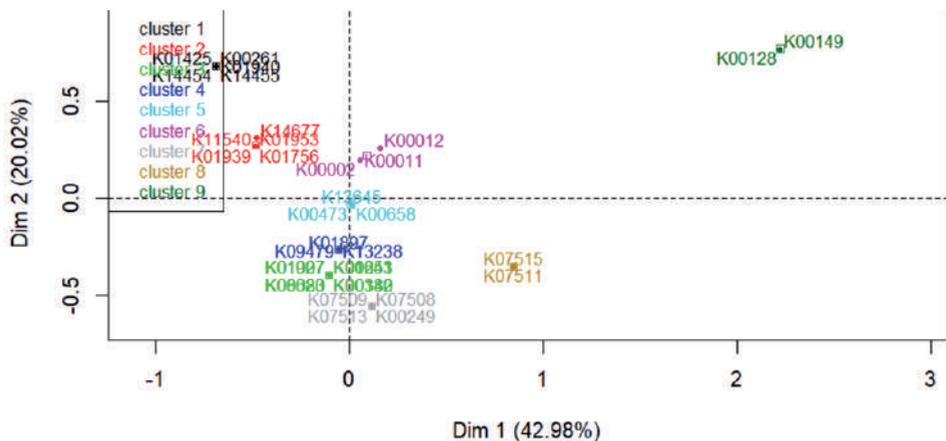
llazgos del presente estudio abductivo, ya reportado previamente, fue que el metabolismo del triptófano es una de las rutas metabólicas más significativas ya que este aminoácido es el precursor de la serotonina. La serotonina es un aminoácido modificado: el L-triptófano que se convierte en 5-hidroxitriptófano (5-HTP) utilizando la enzima triptófano hidroxilasa (TPH) que limita la velocidad de síntesis de la serotonina.

Existen 2 enfermedades potencialmente devastadoras para las vacas que se encuentran lactando: la cetosis y la hipocalcemia. Una terapia común podría representar una solución poderosa dentro de la industria láctea. De hecho, la serotonina tiene el potencial de servir como una herramienta esencial en la prevención de enfermedades de las vacas lecheras relacionadas con la transición. Es un potente regulador tanto

de la homeóstasis del calcio como de la homeóstasis energética durante la lactancia en modelos de roedores y en vacas lecheras. En 2014 se reportó que la serotonina es necesaria para la estructura y función adecuadas de la glándula mamaria, pues regula el transporte de calcio de la sangre y las células epiteliales mamarias durante la lactancia (Laporta et al., 2014). En otro estudio se determinó que las infusiones preparto de 5-hidroxitriptófano (5-HTP) podrían modular la homeostasis energética a nivel del hepatocito en vacas lecheras Holstein y Jersey posparto al estimular una adaptación autocrino-paracrina a la lactancia en el hígado de la vaca (Weaver et al., 2017).

El potencial de esta herramienta en el estudio y diseño de proyectos de investigación radica en que permite identificar hipótesis certeras y eficaces. Para este ejemplo se podría plantear la siguiente hipótesis: el metabolismo del triptófano regula los estados de estrés por diferentes vías. En la Gráfica 1 se puede ver cómo se crearon nueve grupos de proteínas, resultado que le puede dar mejores indicios al investigador sobre las proteínas hacia las que se puede dirigir la investigación.

Gráfica 1. Análisis de clúster de las proteínas seleccionadas.



Fuente: elaboración propia

Los resultados de la Tabla 3 muestran las posibles interacciones que se pueden dar entre las proteínas detectadas en el experimento.

Tabla 3. Posible interacción entre proteínas

PROTEÍNA	Ascorbate and aldarate metabolism	Fatty acid degradation	Glycerolipid metabolism	Alanine, aspartate and glutamate metabolism	Valine, leucine and isoleucine degradation	Lysine degradation	Arginine biosynthesis	Histidine metabolism	Tryptophan metabolism	CLUSTER
K00261	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
K01425	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
K01940	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
K14454	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
K14455	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
K01756	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
K01939	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
K01953	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
K11540	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2
K14677	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
K00020	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K00140	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K00253	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K00382	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K01027	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K01641	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K01907	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K08683	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
K01897	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
K09479	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
K13238	0	1	0	0	0	0	0	0	0	4
K00473	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5

PROTEÍNA	Ascorbate and aldarate metabolism	Fatty acid degradation	Glycerolipid metabolism	Alanine, aspartate and glutamate metabolism	Valine, leucine and isoleucine degradation	Lysine degradation	Arginine biosynthesis	Histidine metabolism	Tryptophan metabolism	CLÚSTER
K00658	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
K13645	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
K00002	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
K00011	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
K00012	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6
K00249	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
K07508	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
K07509	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
K07513	0	1	0	0	1	0	0	0	0	7
K07511	0	1	0	0	1	1	0	0	1	8
K07515	0	1	0	0	1	1	0	0	1	8
K00128	1	1	1	0	1	1	0	1	1	9
K00149	1	1	1	0	1	1	0	1	1	9

Fuente: elaboración propia

3.3. Resultados del análisis de varianza

Al realizar el análisis de ACM y de niveles de caseína y estudiar la posible interacción entre proteínas se hallaron 32 proteínas pertenecientes a ocho vías metabólicas; se desarrolló una base de datos en la que se incluyeron los resultados de cuantificación de cada proteína para cada tratamiento. A partir de estos resultados se realizó el ANAVA y el análisis *post hoc*, con lo que se identificaron 20 proteínas con expresión significativa y solo 13 diferentes ($P < 0,05$) con respecto al control (Tabla 4).

Tabla 4. Variación de la expresión de proteína (aumenta-disminuye, flechas) con diferencia significativa ($p \leq 0,05$) comparado con el grupo control (Control-T1: 100% AAE)

Cód. KEGG	Proteína ¹	Tratamientos					
		T2	T3	T4	T5	T6	T7
		2% EAA 8 h R ²	2% EAA 24 h R	2% AAE 8 h R+ 100% AAE 8 h RA ³	2% AAE 8 h R+ 100% AAE 24 h RA	2% AAE 24 h R+ 100% AAE 8 h RA	2% AAE 24 h R + 100% AAE 24 h RA
K00016	LDHA	↓	↓	–	–	↓	–
K00026	MDH2	↑	↑	–	↑	↑	↑
K00789	MAT2A	–	–	–	–	–	↑
K00802	SMS	↓	–	–	–	–	–
K01425	GLS	–	–	–	–	↓	–
K01940	ASS1	↓	↓	↓	↓	↓	↓
K01953	ASNS	–	↑	–	–	↑	–
K11540	CAD	–	↓	–	↓	↓	–
K14455	GOT2	↓	–	–	↓	↓	–
K14677	ACY1	↓	↓	–	–	↓	–
K14085	ALDH7A1	–	↓	–	–	–	–
K00121	ADH5	↓	↓	–	–	↓	–
K01758	CTH	–	–	–	↓	–	–

Fuente: elaboración propia

1 L-lactate dehydrogenase (LDHA); mitochondrial malate dehydrogenase (MDH2); S-adenosylmethionine synthetase (MAT2A); Spermine synthase (SMS); Glutaminase (GLS); Argininosuccinate synthase (ASS1); Asparagine synthase (ASNS); Carbamoyl-phosphate synthase (CAD); Mitochondrial aspartate aminotransferase (GOT2); Aminoacylase (ACY1); Aldehyde dehydrogenase family 7 member A1 (ALDH7A1); S-(hydroxymethyl) glutathione dehydrogenase (ADH5); Cystathionine gamma-lyase (CTH).

2 Restricción (R).

3 Restricción + re-alimentación (R+RA)



Los resultados que se muestran en este artículo provienen de muestras control como se indicó anteriormente para describir el procedimiento multivariado y su análisis. Con cada tratamiento se siguieron las mismas etapas, lo que permitió finalmente comparar y estudiar qué proteínas tuvieron una expresión diferencial frente al grupo control (sin restricción de EAA) y en qué vías metabólicas estuvieron implicadas (López-Diez et al., 2021).

Se han desarrollado muchos repositorios de datos y recursos disponibles públicamente para respaldar la gestión de información relacionada con las proteínas, la generación de hipótesis impulsada por datos y el descubrimiento de conocimientos biológicos. Existen revisiones completas (con categorización y descripción) de las principales bases de datos de bioinformática de proteínas para ayudar a los investigadores a encontrar rápidamente los recursos informáticos apropiados relacionados con las proteínas. Estas revisiones incluyen la discusión de los desafíos y oportunidades para desarrollar bases de datos y recursos bioinformáticos de proteínas de próxima generación para respaldar la integración de datos y el análisis de datos en la era de Big Data (Chen et al., 2020; Chen et al., 2017).

Nuestra metodología está acorde a recientes publicaciones que afirman que los avances recientes en la proteómica basada en espectrometría de masas han permitido un enorme progreso en la comprensión de los mecanismos celulares, la progresión de la enfermedad y la relación entre genotipo y fenotipo (Cifani & Kentsis, 2017).

Aunque muchos métodos bioinformáticos populares en proteómica se derivan de otros estudios ómicos, se requieren estrategias de análisis novedosas para tratar las características únicas de los datos proteómicos (Chen et al., 2020). Consideramos que la nuestra hace parte de estas novedosas técnicas de análisis, pues se usaron herramientas bioinformáticas diseñadas para la identificación y cuantificación de proteínas



basadas en espectrometría de masas y luego se apropiaron los diferentes métodos estadísticos y de aprendizaje automático que se han desarrollado para realizar análisis integrales en estudios proteómicos y metabolómicos.

Se utilizaron los datos cuantitativos de proteínas para reconstruir interacciones de proteínas y redes de señalización activadas frente a retos nutricionales de células epiteliales de glándula mamaria bovina, como ha sido propuesto recientemente por otros autores (Chen et al., 2020).

4. Conclusiones

Nuestro estudio de MEC *in vitro* utilizó una herramienta de análisis multivariado que integró la bioinformática, la proteómica y la metabolómica, con lo que se logró utilizar datos cuantitativos de proteínas para contribuir a una mejor comprensión fisiológica del metabolismo de MEC bovino *in vitro* (López-Diez, et al., 2021).

Mostramos cómo a partir de una gran cantidad de datos se puede abducir y enfocar el análisis hacia los puntos de interés, así como contribuir con la generación de nuevas hipótesis (Cárdenas, 2019). Para el caso específico de estudio, se aporta información en torno a las posibles vías alternas que usan las MEC para garantizar/mantener la producción de proteínas de leche frente a situaciones de estrés nutricional como parte de un interesante proceso metabólico homeorrético. Esto podría ayudar a dilucidar en el futuro estrategias metabólicas reguladas para la nutrición de vacas lactantes.

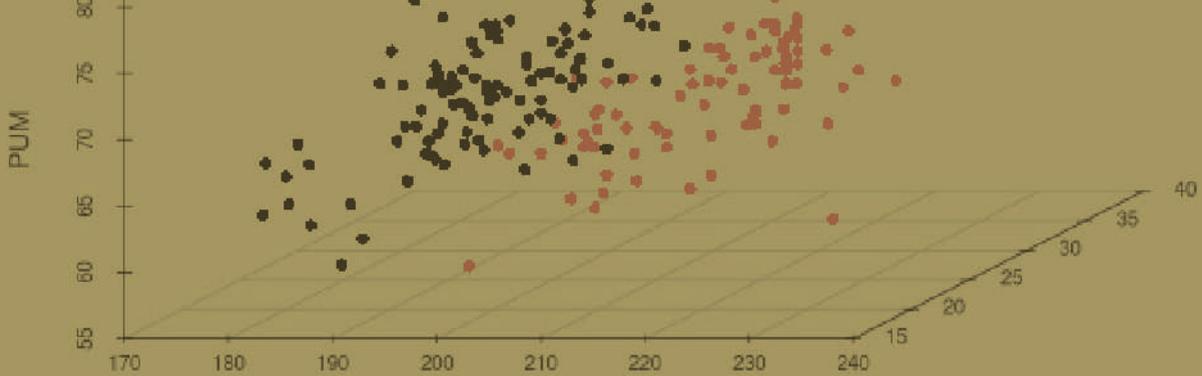
Un método abductivo eficiente y previo a la investigación puede ayudar a dirigir mejor los objetivos, especialmente en el campo de la proteómica, ya que se cuenta con una gran cantidad de datos que pueden abrumar al investigador o evitar que avance. En este sentido, la bioinformática puede aportar importantes herramientas para el acercamiento a los datos de proteómica y de otros campos.

Referencias bibliográficas

- Boehmer, J. L., Bannerman, D. D., Shefcheck, K. & Ward, J. L. (2008). Proteomic analysis of differentially expressed proteins in bovine milk during experimentally induced *Escherichia coli* mastitis. *J Dairy Sci*, 91. doi:10.3168/jds.2008-1297
- Cárdenas, J. (2019). El método abductivo de investigación científica. sus orígenes en el romanticismo oscuro estadounidense y algunas reflexiones y ejemplos en torno a contextos multiculturales y la enseñanza de la música en la desglobalización. *Neuma (Talca)*, 12, 60-75. doi:10.4067/S0719-53892019000100060
- Cifani, P. & Kentsis, A. (2017). Towards comprehensive and quantitative proteomics for diagnosis and therapy of human disease. *Proteomics*, 17(1-2). doi:10.1002/pmic.201600079
- Clark, J. M. & Pateman, J. A. (1978). Isolation method affects transformed cell line karyotype. *Nature*, 272(5650), 262-264. doi:10.1038/272262a0
- Chen, C., Hou, J., Tanner, J. J. & Cheng, J. (2020). Bioinformatics Methods for Mass Spectrometry-Based Proteomics Data Analysis. *Int J Mol Sci*, 21(8). doi:10.3390/ijms21082873
- Chen, C., Huang, H. & Wu, C. H. (2017). Protein Bioinformatics Databases and Resources. *Methods Mol Biol*, 1558, 3-39. doi:10.1007/978-1-4939-6783-4_1
- David, A. (1999). *Logique, épistémologie et méthodologie en sciences de gestion*. Paper presented at the Conférence de l'AIMS, Ecole des Mines de Paris (CGS).
- Distler, U., Kuharev, J., Navarro, P. & Tenzer, S. (2016). Label-free quantification in ion mobility-enhanced data-independent acquisition proteomics. *Nature Protocols*, 11(4), 795-812. doi:10.1038/nprot.2016.042
- Gregorini, P., Beukes, P. C., Dalley, D. & Romera, A. J. (2016). Screening for diets that reduce urinary nitrogen excretion and methane emissions while maintaining or increasing production by dairy cows. *Sci Total Environ*, 551-552, 32-41. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.203
- Jaswal, S., Anand, V., Kumar, S., Bathla, S., Dang, A. K., Kaushik, J. K. & Mohanty, A. K. (2020). In-depth proteome analysis of more than 12,500 proteins in buffalo mammary epithelial cell line identifies protein signatures for active proliferation and lactation. *Sci Rep*, 10(1), 4834. doi:10.1038/s41598-020-61521-1
- Kuharev, J., Navarro, P., Distler, U., Jahn, O. & Tenzer, S. (2015). In-depth evaluation of software tools for data-independent acquisition based label-free quantification. *Proteomics*, 15(18), 3140-3151. doi:10.1002/pmic.201400396



- Laporta, J., Keil, K. P., Vezina, C. M. & Hernandez, L. L. (2014). Peripheral serotonin regulates maternal calcium trafficking in mammary epithelial cells during lactation in mice. *PloS one*, 9(10), e110190. doi:10.1371/journal.pone.0110190
- López-Diez, L., Calle-Velásquez, C., Hanigan, M. D. & Ruiz-Cortes, Z. T. (2021). Aminoacids metabolomics profiles in bovine mammary epithelial cells under essential amino acids restriction. *Animals*, 11, 1334. <https://doi.org/10.3390/ani11051334>.
- Moscoso, J. N. (2019). Abductive reasoning: a contribution to knowledge creation in education. *Cadernos de Pesquisa*, 49, 308-329.
- RFoundation, S. c. (2017). R: A language and environment for statistical computing, version 3.4.2. <https://www.r-project.org/>
- Rodríguez, R. J. R. (2005). Abducción en el contexto del descubrimiento científico. *Rev. Filosofía Univ. Costa Rica*, XLIII Número doble (109/110), 87-97.
- Ruiz-Cortes, Z. T., Yoder, P. S. & Hanigan, M. D. (2017). *Essential amino acid deficiency in primary mammary epithelial bovine cells and effects on GCN2/IF2 expression and casein protein synthesis*. Paper presented at the Society for the Study of Reproduction 50th Annual Meeting Scientific Program, Washington, DC.
- Ruiz-Cortes, Z.T., Yoder, P. & Hanigan, M.D. (2022). Effects of Essential Amino Acid Deficiency on General Control Nonderepressible 2/Eukaryotic Initiation Factor 2 Signaling and Proteomic Changes in Primary Bovine Mammary Epithelial Cells. *Curr. Issues Mol. Biol.* 2022, 44, 1075-1086. <https://doi.org/10.3390/cimb44030071>
- Tyanova, S., Temu, T. & Cox, J. (2016). The MaxQuant computational platform for mass spectrometry-based shotgun proteomics. *Nat Protoc*, 11(12), 2301-2319. doi:10.1038/nprot.2016.136
- Weaver, S. R., Prichard, A. S., Maerz, N. L., Prichard, A. P., Endres, E. L., Hernández-Castellano, L. E., Akins, M., Bruckmaier R. M. & Hernandez, L. L. (2017). Elevating serotonin pre-partum alters the Holstein dairy cow hepatic adaptation to lactation. *PloS one*, 12(9), e0184939-e0184939. doi:10.1371/journal.pone.0184939
- Yoder, P. S., Ruiz-Cortes, T., Castro, J. J. & Hanigan, M. D. (2019). Effects of varying extracellular amino acid profile on intracellular free amino acid concentrations and cell signaling in primary mammary epithelial cells. *J Dairy Sci*, 102(10), 8977-8985. doi:10.3168/jds.2018-16122



Capítulo 3.

De MANOVA a NPMANOVA

Luis Fernando Restrepo Betancur

Estad. Esp. Profesor titular en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, Grupo STATISTICAL

Resumen

El análisis multivariado de la varianza tiene gran aplicabilidad en el campo investigativo. Permite responder si existe diferencia estadística entre diferentes grupos, tratamientos, razas, variedades, sexos, estratos, entre otros factores. Este análisis evalúa de manera conjunta un grupo de variables respuesta, las cuales pueden tener naturaleza cuantitativa continua, discreta o ser de carácter cualitativo. El objetivo de esta investigación es aplicar las técnicas multivariadas **MANOVA** y **NPMANOVA** para contrastar cinco tipos de queso. Para ello se empleó un diseño completamente aleatorizado, efecto fijo, desbalanceado mediante pruebas sensoriales, el cual evaluó las variables respuesta: sabor, textura, color, apariencia y nivel de aceptación. Al no cumplirse los supuestos estadísticos asociados al **MANOVA**, se procedió a aplicar la técnica no paramétrica **NPMA-**



NOVA , con la cual se detectó una diferencia estadística entre el queso saborizado con lulo y el queso que contenía coco. Analizar de manera adecuada la información permite tomar decisiones coherentes con base en el conjunto de variables respuesta adscritas a un diseño de clasificación experimental específico, donde se deben convalidar todas las premisas asociadas al modelo.

Palabras clave: ANOVA, análisis canónico, MANCOVA, análisis multivariado

1. Introducción

El diseño experimental es ampliamente utilizado en el campo de la investigación científica con el fin de establecer si existe divergencia en el efecto conjunto de una serie de tratamientos, donde se puede evaluar una o más variables respuesta, de naturaleza cuantitativa o cualitativa. En el planteamiento de un experimento se debe establecer el diagrama de estructura, el cual responde a un determinado modelo en el que se simbolizan los factores controlados, las variables respuesta o dependientes, el término de error experimental y, si las hay, las covariables. Existen modelos unidimensionales y multidimensionales de clasificación experimental, de efectos fijos, aleatorios o mixtos, los cuales pueden ser balanceados o desbalanceados según el número de repeticiones presentes en cada tratamiento.

Las técnicas asociadas con el análisis de la varianza más empleadas dentro del campo científico son:

- **ANAVA:** llamada también ANOVA, es una técnica estadística empleada para determinar si las muestras provienen de poblaciones con medias iguales ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$) cuando los efectos de

los tratamientos son de carácter fijo; si es de tipo aleatorio los efectos permiten comparar varianzas ($H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \dots = \sigma_k^2$). El análisis univariante de la varianza utiliza una variable dependiente y es utilizado ampliamente en otras técnicas multivariadas (Avenida et al., 2014), donde la naturaleza de la variable puede ser de índole discreta o continua o estar expresada en porcentaje.

- **ANCOVA:** el uso de información adicional en las unidades experimentales se establece como una práctica de control local para reducir la estimación del error experimental. Los valores de las medidas de tratamientos en un estudio en particular pueden depender de la covariable que cambia entre unidades experimentales y tiene una relación significativa con la variable respuesta o dependiente (Kuehl, 2001).
- **MANOVA:** es una forma extensa del **ANOVA** (Stockburger, 2018). Se elabora una combinación lineal óptima de variables dependientes que maximice la varianza asociada a las variables independientes. Luego se aísla la varianza adscrita a cada variable independiente y se contrasta cada una de las variables independientes e interacciones de la combinación lineal óptima. La F asociada y los grados de libertad de cada prueba se interpretan de la misma manera que en el **ANOVA**. Hay muchas maneras de calcular el valor F en **MANOVA**, a saber: lambda de Wilks, traza de Pillai, traza de Hotelling y la mayor raíz característica de Roy (Nelson & Thomas, 2007).
- **MANCOVA:** es un análisis multivariado de la varianza con covariables que se utilizan para efectuar un ajuste al efecto promedio de cada una de las variables respuesta (SAS, 2008).

El Análisis Multivariante de la Varianza es muy similar al Análisis de la Varianza, salvo que interviene más de una variable cuantitativa obser-



vable. Esta extensión multivariante inicia en 1930 con los trabajos de H. Hotelling, J. Wishart y S. S. Wilks. Posteriormente S. N. Roy propuso un planteamiento basado en el principio de unión-intersección. El análisis multivariante de la varianza **MANOVA** es una generalización de más de una variable respuesta asociada con el modelo de clasificación experimental (Cuadras, 2014).

El objetivo del presente artículo consiste en aplicar técnicas de análisis de varianza de tipo multivariado en la evaluación de un queso saborizado. El análisis sensorial de alimentos es de vital interés con el objetivo de conocer las preferencias de los consumidores a fin de optimizar la calidad de un producto alimenticio. La estadística multivariada de varianza juega un rol protagónico para analizar la toma de decisiones a fin de establecer el mejor producto con base en las diferentes pruebas de palatabilidad efectuadas por los catadores.

2. MANOVA vs. ANOVA

MANOVA es la generalización multivariante del análisis univariable ANOVA. En este último se prueban diferencias de medias entre dos o más grupos examinando en forma individual cada una de las variables respuesta. Por ejemplo, un psicólogo podría estudiar las diferencias promedio de los grupos étnicos en una escala continua del racismo o un educador tal vez desee examinar las diferencias entre géneros con respecto a su rendimiento medio en una prueba de capacidad de razonamiento matemático (SAS Institute, 2008).

En comparación, el objetivo de **MANOVA** es examinar diferencias medias a través de combinaciones lineales de múltiples variables cuantitativas. Grupos étnicos, por ejemplo, se podría comparar en una combinación de medidas explícitas e implícitas de racismo; también se podrían

comparar niños y niñas con respecto a sus actitudes de comportamiento con base en una combinación de razonamiento matemático y verbal, entre otras técnicas. En ambos casos las variables se analizan al mismo tiempo.

En el análisis de varianza multivariado, la hipótesis nula se refiere ahora a vectores de medias asociados a los diferentes tratamientos disponibles y las μ_i se refieren a los vectores de medias o centroides del i ésimo tratamiento (Mutiz, 2003). Si la prueba **MANOVA** no es significativa y si el investigador va a considerar p variables, una a la vez, entonces no se debe asegurar que existe una diferencia real entre los grupos que se están comparando con respecto a una variable en particular. Esto, a menos que el nivel de significancia de esta variable sea menor que α/p , donde α es el nivel de significancia seleccionado inicialmente para la prueba **MANOVA**. Este tipo de enfoque se llama enfoque de Bonferroni y garantiza que la proporción de los experimentos analizados que declaren falsas positivas como diferencias reales sea menor que α . Sin embargo, si el **MANOVA** no muestra diferencias significativas, la realización de análisis estadístico sobre las variables por separado, una a la vez, es extremadamente peligroso porque las diferencias que parecen ocurrir pueden o no ser reales; es decir, estas diferencias podrían presentarse solo por azar (Dallas, 2000).

En muchos experimentos diseñados se dispone de múltiples variables respuesta y se quiere buscar las diferencias entre varios grupos (Fuentes, 2015). El análisis adecuado para este tipo de situación es el análisis multivariante de la varianza, **MANOVA**; aunque también se ha utilizado el análisis de variables canónicas o ambas técnicas combinadas. La limitación fundamental a la hora de trabajar con las técnicas multidimensionales es la complejidad en la presentación de los resultados y la



interpretación de estos, sobre todo cuando se tienen muchas variables, debido a las interrelaciones entre ellas y a la variabilidad de características asociadas a los modelos. Esto ha conducido a muchos investigadores a realizar análisis univariantes para cada una de las variables por separado, con los consecuentes errores u omisiones en la interpretación de sus resultados (Amaro et al., 2004).

Tres supuestos subyacen en las pruebas de significancia relacionadas con el **MANOVA**: 1) la independencia de observaciones, 2) la distribución normal multivariada de la población de los grupos dependientes variables y 3) la homogeneidad de la matriz de varianza-covarianza (Stevens, 2002).

Los métodos estadísticos multivariantes se han incrementado cada vez más en los últimos veinticinco años. En el campo de la educación se tienen múltiples aplicaciones que tienen como fin responder a hipótesis que contrastan diferentes grupos, técnicas, metodologías, estrategias de enseñanza, entre otras (Smith et al., 2020); el análisis **MANOVA** tiene gran aplicabilidad en diversos campos, como la psicología y la educación (Lim, 2020). Adicionalmente, el desarrollo de paquetes estadísticos como SAS, R, SPSS, entre otros, han proporcionado rutinas para llevar a cabo incluso los más complejos análisis multivariados. En la técnica multivariada **MANOVA** la hipótesis nula está referida a la igualdad de vectores medios asociados a un conjunto de variables respuesta, donde se comparan grupos de tratamientos. Para cualquier diseño experimental existe un **MANOVA** (Hair et al., 1999).

3 2.1. Modelo multivariado de la varianza MANOVA

$$Y = X\beta + \varepsilon$$

Donde:

β : matriz de parámetros

$$\beta = (X'X)^{-1}X'Y$$

ε : matriz asociada a los errores experimentales

X: matriz asociada con los factores controlados

Y: matriz asociada con las p variables dependientes

En el análisis multivariado de la varianza la hipótesis lineal general relacionada con la hipótesis nula se define como $H_0 : L\beta M = 0$ contra la hipótesis alternativa $H_A: L\beta M \neq 0$, donde L y M son matrices asociadas con constantes específicas, anotando que el producto matricial $L\beta M$ es estimable con un único valor si el determinante es no nulo.

Las pruebas multivariadas asociadas con **MANOVA** se basan en los valores asociados con las matrices H y E (SAS, 2008), las cuales se definen de la siguiente manera:

$$H = M(L\beta)' (L' (X'X)^{-1} L')^{-1} (L\beta)M$$

$$E = M'(Y'Y - \beta'(X'X)\beta)M$$

Donde:

E: la matriz de covarianzas del error o matriz de sumas de cuadrados del error

H: matriz de sumas de cuadrados y productos cruzados

M: especifica una matriz de transformación asociada con la variable dependiente

Las estadísticas de Wilk's lambda, Pillai's trace, Hotelling-Lawley's trace y Roy's se definen en términos de las matrices E y H de la siguiente manera:

$$\text{Wilk's lambda} = |E| / |H + E|$$

$$\text{Pillai's trace} = \text{traza}[H(H + E)^{-1}]$$

$$\text{Hotelling-Lawley's trace} = \text{traza}(HE^{-1})$$

$$\text{Roy's largest root} = \max(\Delta_i). \text{ o el valor propio máximo de } A = HE^{-1}$$

2.2. *Supuestos estadísticos asociados al MANOVA*

1. *Normalidad de las variables dependientes*

La extensión del supuesto básico en este caso se identifica con la exigencia de que las p variables independientes se distribuyan según una distribución normal multivariante en cada grupo. La mayoría de los investigadores contrastan la normalidad univariante para cada variable dependiente. No obstante, aunque la normalidad univariante es una condición necesaria para la normalidad multivariante, no se trata de una condición suficiente (Bray & Maxwell, 1985). Las violaciones de este supuesto parecen tener solo algunos pequeños efectos sobre el error de tipo I en los estadísticos de contraste, lo cual disminuye la potencia del contraste especialmente en el caso de distribuciones asimétricas. Sin embargo, en caso de trabajar con tamaños muestrales aceptables, los problemas de falta de normalidad no son graves siempre que se trate de diferencias debidas a la asimetría y no a la existencia de casos o datos anómalos (Romero, 2006).

2. *Igualdad de las matrices de varianzas-covarianzas*

En lugar de contrastar igualdad de varianzas para una única variable, como sería en el caso del **ANOVA**, el **MANOVA** examina todos los elementos de la matriz de varianzas-covarianzas de las p variables dependientes. Por tanto, se trata de un contraste de igualdad de los componentes de dicha matriz; lo cual lo hace mucho más riguroso y sensible que el caso del supuesto de igualdad de varianzas en el **ANOVA**, ya que se consideran todos y cada uno de los elementos de la matriz de varianzas-covarianzas (Friendly & Sigal, 2018). Uno de los contrastes más habituales proporcionado por la mayoría de programas estadísticos es el contraste de Box. No obstante, Hair et al. (1999) recomiendan un contraste de normalidad de las medidas dependientes antes

de realizar el contraste de Box, dado que es muy sensible a la falta de normalidad (Bray & Maxwell, 1985). Los problemas derivados de la violación del supuesto de normalidad surgen especialmente en el caso de diseños no equilibrados con diferencias grandes en el tamaño muestral de los distintos grupos sobre los que se plantean las diferencias de varianzas y covarianzas (Romero, 2006). Las matrices de covarianza de la población para las variables dependientes en cada grupo deben ser las mismas, este supuesto a menudo se conoce como el supuesto de homogeneidad de la matriz de covarianza o el supuesto de homocedasticidad (Fernández et al., 2020). En el análisis **MANOVA** las matrices de covarianza dentro de cada tratamiento deben ser homogéneas. Si el diseño de clasificación experimental es de tipo balanceado, la robustez de las pruebas **MANOVA** se garantiza estadísticamente. Si el diseño es desbalanceado, se debe convalidar la homocedasticidad de las matrices de covarianza empleando la prueba M de Box. Si esta prueba es significativa en menos de 0,001, puede haber una distorsión grave en los niveles alfa de las pruebas. Se recomienda aplicar únicamente la prueba de Pillai.

3. Independencia estadística entre las observaciones

Este supuesto hace referencia a la exigencia de que la puntuación de un individuo sobre una variable no debe afectar a la de otros sujetos. Existen ciertas situaciones en las que este supuesto de falta de independencia entre las observaciones puede no cumplirse. Entre ellas podemos destacar la composición de los grupos y el efecto de las variables extrañas. Así, en el primer caso, la obtención de los datos bajo una experiencia común puede generar cierta correlación en las respuestas de ese grupo de individuos. En el segundo caso, la existencia de un efecto extraño no medido puede crear una dependencia entre las mediciones sobre los individuos. La detección de estos problemas es relativamente



difícil ya que no existen contrastes que puedan determinarla de manera inequívoca y absoluta. Por tanto, se propone como solución el empleo de algún tipo de análisis de covarianza para tener en cuenta la dependencia del segundo caso o, si se sospecha de su existencia general, emplear un nivel de significación menor en los contrastes (Romero, 2006).

4. Linealidad

En el análisis multivariado de la varianza, las variables respuesta deben tener relaciones de tipo lineal en cada celda, si existen relaciones curvilíneas se reduce el poder de la prueba. Para determinar la asociación lineal se deben efectuar gráficos simultáneos con el objeto de observar las tendencias (Fernández et al., 2020).

Cuando no se cumplen los supuestos estadísticos del **MANOVA**, una de las soluciones consiste en aplicar el método no paramétrico denominado **NPMANOVA**, el cual es libre de distribución probabilística.

3. Metodología

Se empleó un diseño de clasificación experimental completamente aleatorizado efecto fijo desbalanceado, en el que se evaluaron cinco tipos de queso elaborados de manera artesanal. Las variables respuesta se relacionaron con la calificación otorgada por el panel de catadores para: sabor, textura, color, apariencia, nivel de aceptación. Se midió en una escala Likert de cinco puntos (1= definitivamente no me gusta; 2= no me gusta; 3= ni me gusta ni me disgusta; 4= me gusta; 5= definitivamente me gusta). Se utilizaron los paquetes estadísticos SAS y R versión 4.0.4.

Los tratamientos consistieron en adicionar diferentes grupos de frutas en la elaboración del queso, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos empleados

Tratamiento	Tipo de fruta
T1	Maracuyá
T2	Tamarindo
T3	Lulo
T4	Zapote
T5	Coco

Fuente: elaboración propia

4. Resultados

En primera instancia, el paquete estadístico SAS genera las diferentes salidas unidimensionales relacionadas con el **ANOVA**, lo cual determina diferencias altamente significativas para la variable color (Tabla 2).

Tabla 2. Salidas relacionadas con el análisis de varianza unidimensional

Variable sabor					
FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	4	4,26	1,15	0,76	0,5505
Error	135	204,3	1,51		
Total	139	208,9			

Variable textura					
FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	4	4,96	1,24	1,82	0,1279
Error	135	91,96	0,68		
Total	139	96,93			

Variable color					
FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	4	7,47	1,86	3,72	0,0066
Error	135	67,75	0,50		
Total	139	75,22			

Variable apariencia					
FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	4	5,55	1,38	2,33	0,0589
Error	135	80,30	0,59		
Total	139	85,85			
Variable aceptación					
FV	GL	SC	CM	F	P
Modelo	4	11,83	2,95	2,19	0,0735
Error	135	152,45	1,35		
Total	139	194,28			

FV = Fuente de variación; GL = Grados de libertad; SC = Suma de cuadrados; CM = Cuadrado medio; F = Valor F; p = Valor P

Fuente: elaboración propia

El análisis comparativo efectuado por la prueba de Tukey con base en un 95% de confiabilidad permitió determinar divergencias entre los tratamientos T2 y T3 respecto al tratamiento T1 para la variable color, como se puede apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3. Pruebas de comparación de Tukey

Variable sabor	Media	Prueba de Tukey
T1	3,63	a
T2	3,56	a
T3	3,80	a
T4	3,26	a
T5	3,36	a
Variable textura	Media	Prueba de Tukey
T1	3,83	a
T2	4,23	a
T3	3,80	a
T4	3,76	a
T5	3,73	a

Variable color	Media	Prueba de Tukey
T1	3,80	b
T2	4,46	a
T3	4,35	a
T4	4,13	ab
T5	4,13	ab
Variable apariencia	Media	Prueba de Tukey
T1	3,80	a
T2	4,00	a
T3	4,00	a
T4	4,00	a
T5	3,50	a
Variable aceptación	Media	Prueba de Tukey
T1	3,80	a
T2	3,73	a
T3	3,95	a
T4	3,33	a
T5	3,16	a

Letras distintas indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$)

Fuente: elaboración propia

El análisis relacionado con los valores propios determinó que el contraste entre tratamientos es de carácter unidimensional, ya que es el único valor altamente significativo. El análisis multivariado de la varianza permitió detectar una diferencia altamente significativa a partir de las pruebas de: Wilks' Lambda; Pillai's Trace; Hotelling-Lawley Trace; Roy's Greatest Root (Tabla 4).

Tabla 4. Determinación de la dimensionalidad

P	CC	ACC	ASE	ACC	Dimensión
1	0,400161	0,333144	0,071237	0,160129	1
2	0,270376	0,202923	0,078618	0,073103	2

3	0,166136	.	0,082478	0,027601	3
4	0,150335	.	0,082902	0,022601	4

Dimensionalidad

	VP	Diferencia	Proporción	F	P
1	0,1907	0,1118	0,5939	2,07	0,0045
2	0,0789	0,0505	0,2477	1,43	0,1502
3	0,0284	0,0053	0,0884	1,14	0,3384
4	0,0231		0,0720	1,55	0,2162

VP = Valor propio; CC = Correlación canónica; ACC = Correlación canónica ajustada; ASE = Aproximación error estándar; ACC = Correlación canónica cuadrada

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5 se describe la estructura canónica asociada al análisis multivariado de la varianza, la cual se divide en funciones canónicas total, entre y dentro.

Tabla 5. Estructura canónica

Total				
Variable	Can1	Can2	Can3	Can4
Sabor	0,1464	0,2803	0,5733	0,4148
Textura	0,4591	-0,0720	-0,4000	0,7501
Color	0,6166	-0,6877	0,3564	-0,1272
Apariencia	0,5195	0,3647	-0,1989	-0,6852
Aceptación	0,3570	0,6201	0,5350	0,4460
Entre				
Variable	Can1	Can2	Can3	Can4
Sabor	0,3936	0,5094	0,6402	0,4192
Textura	0,8114	-0,0859	-0,2935	0,4980
Color	0,7829	-0,5900	0,1879	-0,0607
Apariencia	0,8177	0,3878	-0,1300	-0,4051
Aceptación	0,5788	0,6793	0,3601	0,2716

Dentro				
Variable	Can1	Can2	Can3	Can4
Sabor	0,1356	0,2729	0,5717	0,4147
Textura	0,4320	-0,0711	-0,4050	0,7613
Color	0,5954	-0,6976	0,3703	-0,1325
Apariencia	0,4923	0,3630	-0,2028	-0,7004
Aceptación	0,3376	0,6161	0,5444	0,4550

Fuente: elaboración propia

Los coeficientes canónicos se describen para cada una de las cuatro funciones en la Tabla 6. Estos permiten construir la ecuación con la que se contrasta la divergencia entre tratamientos, de acuerdo con la dimensionalidad preestablecida anteriormente.

Tabla 6. Coeficientes canónicos

Estandarizados				
Variable	Can1	Can2	Can3	Can4
Sabor	-0,4512	-0,2759	0,4456	0,0100
Textura	0,4922	-0,0903	-0,7193	0,5931
Color	0,6385	-0,6586	0,4628	-0,1122
Apariencia	0,5642	0,3830	-0,3291	-0,5913
Aceptación	0,6375	0,8092	0,4219	0,2875

Raw

Variable	Can1	Can2	Can3	Can4
Sabor	-0,3680	-0,2250	0,3633	0,0082
Textura	0,5918	-0,1081	-0,8614	0,7103
Color	0,8679	-0,8952	0,6291	-0,1526
Apariencia	0,7179	0,4874	-0,4187	-0,7525
Aceptación	0,5393	0,6845	0,3568	0,2432

Fuente: elaboración propia

El análisis multivariado de la varianza fue altamente significativo para cada una de las técnicas multivariadas expresadas en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis multivariado de la varianza (MANOVA)

Prueba	Valor	F	NDF	DDF	P
Wilks' Lambda	0,7398	2,07	20	435,43	0,0045
Pillai's Trace	0,2834	2,04	20	536	0,0049
Hotelling-Lawley Trace	0,3210	2,09	20	280,84	0,0048
Roy's Greatest Root	0,1906	5,11	5	134	0,0003

Fuente: elaboración propia

4.1. Supuestos estadísticos asociados al análisis de varianza multivariado (MANOVA)

Al efectuar la prueba de normalidad multivariada asociada con las variables respuesta no se validó el supuesto por las diferentes técnicas multidimensionales, tal como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Prueba normal multivariada

Prueba	Estadística	Valor P	Resultado
Mardia Skewness	75,27	0,00009	Si
Mardia Skewness	-0,29	0,77172	No
Resultado final			No
Prueba	Variable	Valor P	Resultado
Shapiro-Wilk	Sabor	< 0,001	No
Shapiro-Wilk	Textura	< 0,001	No
Shapiro-Wilk	Color	< 0,001	No
Shapiro-Wilk	Apariencia	< 0,001	No
Shapiro-Wilk	Aceptación	< 0,001	No
Prueba	Variable	Valor P	Resultado
Cramer-von Mises	Sabor	< 0,001	No
Cramer-von Mises	Textura	< 0,001	No
Cramer-von Mises	Color	< 0,001	No
Cramer-von Mises	Apariencia	< 0,001	No
Cramer-von Mises	Aceptación	< 0,001	No

Prueba	Valor	Valor P	Decisión
Royston	212,02	0,00004	No
Prueba	Variable	Valor P	Resultado
Kolmogorov-Smirnov	Sabor	< 0,001	No
Kolmogorov-Smirnov	Textura	< 0,001	No
Kolmogorov-Smirnov	Color	< 0,001	No
Kolmogorov-Smirnov	Apariencia	< 0,001	No
Kolmogorov-Smirnov	Aceptación	< 0,001	No
Prueba	Variable	Valor P	Resultado
Shapiro-Francia	Sabor	< 0,001	No
Shapiro-Francia	Textura	< 0,001	No
Shapiro-Francia	Color	< 0,001	No
Shapiro-Francia	Apariencia	< 0,001	No
Shapiro-Francia	Aceptación	< 0,001	No
Prueba	Variable	Valor P	Resultado
Anderson-Darling	Sabor	< 0,001	No
Anderson-Darling	Textura	< 0,001	No
Anderson-Darling	Color	< 0,001	No
Anderson-Darling	Apariencia	< 0,001	No
Anderson-Darling	Aceptación	< 0,001	No

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 9 se aprecia la prueba de homogeneidad en la matriz de varianzas-covarianzas, en la que no se cumplió el supuesto asociado con el **MANOVA**.

Tabla 9. Prueba de homogeneidad de la matriz de covarianzas

Chi-cuadrado	DF	Valor P
121,37	60	< 0,001

Fuente: elaboración propia



En la Figura 1 se observa una relación marcada entre la aceptación del producto y el sabor, mientras en la Figura 2 no se aprecia relación lineal entre las variables, lo cual viola uno de los supuestos del MANOVA .

4.2. Independencia

El gráfico multidimensional asociado a las variables respuesta (Figura 1) permite establecer una relación estrecha entre la aceptación y el sabor. En general no existe una correlación multivariada significativa.

COLOR

TEXTU

ACEPTA

SABOR



APARIEN

Figura 1. Análisis de correlación entre las variables objeto de estudio

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2 se aprecia la relación bidimensional entre las variables y es posible ver que no existe una relación significativa, además, no existe tendencia lineal.

Al no cumplirse los supuestos del **MANOVA** se aplicó la técnica no paramétrica **NPMANOVA**, con lo cual se detectó una diferencia entre el queso de lulo y el queso de coco.

5. Discusión

Gran cantidad de experimentos en el campo agropecuario se efectúan analizando de manera simultánea un conjunto de variables respuesta,

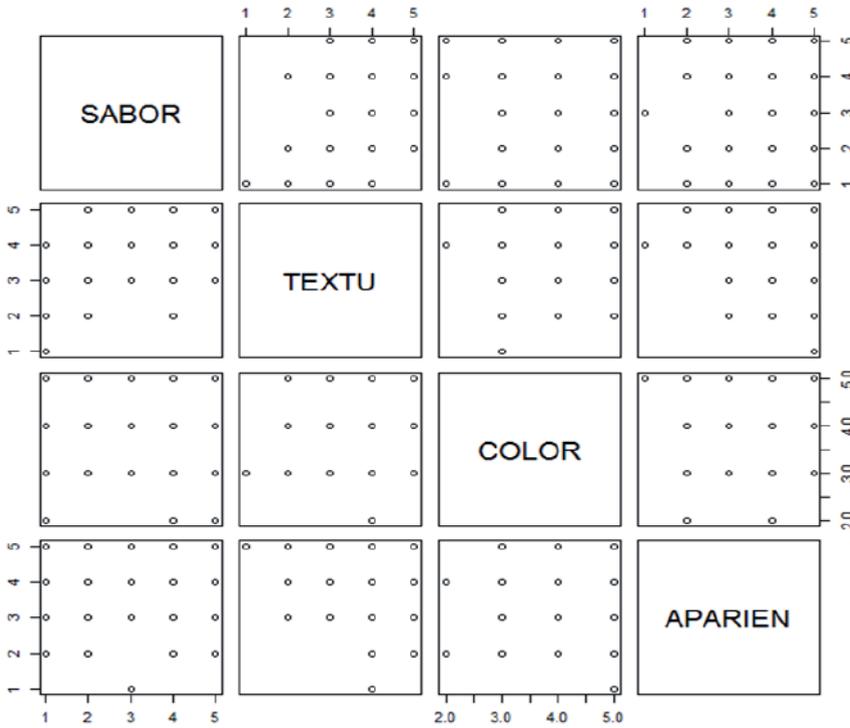


Figura 2. Tendencia en la relación de las variables respuesta
Fuente: elaboración propia

es ahí donde el análisis **MANOVA** tiene gran potencial para establecer diferencias estadísticas entre tratamientos. El análisis canónico es el complemento multidimensional para esclarecer dónde está realmente la diferencia en el efecto promedio vectorial de las variables dependientes evaluadas en un diseño de clasificación experimental específico. El análisis unidimensional de la varianza **ANOVA** es un complemento que los paquetes estadísticos generan al efectuar el **MANOVA** (Parsad & Bhar, 1987). **MANOVA** presenta múltiples ventajas con relación al análisis univariado de la varianza **ANOVA**. En primera instancia, **MANOVA** puede evaluar dos o más variables simultáneamente, mientras **ANOVA** solo puede tener una variable respuesta. En segunda instancia, **MANOVA**

VA puede proteger al investigador de errores de tipo I, que pueden ocurrir si se llevan a cabo varios **ANOVA** de forma independiente. Adicionalmente, puede revelar diferencias no detectadas por las pruebas ANOVA. **MANOVA** es ideal en situaciones donde existen asociaciones moderadas entre las variables dependientes. Cuando se detectan correlaciones con fuerte asociación, o muy baja relación, no se recomienda aplicar el **MANOVA** ya que no queda suficiente varianza después de que se ajusta la primera variable explicada. En caso de que las variables dependientes no estén relacionadas el análisis **MANOVA** carecerá de potencia.

En el análisis multivariado **MANOVA** se considera un método de dependencia que permite contrastar el efecto entre tratamientos, al tener en cuenta todas las variables respuesta establecidas en el proceso experimental (Avendaño et al., 2014). En **MANCOVA** se disponen de covariables con el objeto de efectuar un ajuste al vector promedio, donde se posee la ventaja de que las variables explicativas se pueden expresar en cualquier escala (Sagaró & Zamora, 2020). El **MANOVA** es una técnica que puede ser usada para ver las relaciones entre diversas categorías de variables independientes y dos o más variables métricas dependientes (Fuentes, 2015).

MANOVA hace parte del Modelo Lineal General, el cual constituye una familia de métodos estadísticos que generalmente se emplean para cuantificar la potencia entre variables. **MANOVA** permite reducir la probabilidad de error Tipo I. **MANOVA** tiene técnicas *post hoc* para esclarecer por qué la hipótesis nula no fue aceptada. **MANOVA** es una técnica multivariada que establece un conjunto de ecuaciones lineales no correlacionadas que de manera conjunta permite establecer diferencias entre tratamientos (Stevens, 2002). La gran ventaja de modelar ecuaciones no asociadas es que cada función determina una información única sobre las divergencias en el efecto promedio entre tratamientos, pudiéndose expresar de forma aditiva para facilitar la interpretación de los

resultados derivados de la salida multivariada (Warne, 2014). **MANOVA** es más sensible al no cumplimiento de supuestos; sin embargo, puede ser menos potente para detectar diferencias entre tratamientos si las variables dependientes no están correlacionadas (Moh et al., 2018).

6. Conclusión

Cuando no se cumplan los supuestos asociados con **MANOVA**, una solución es utilizar la técnica no paramétrica **NPMANOVA**, la cual también se denomina **PERMANOVA**. No obstante, este método no tiene en cuenta para nada las asociaciones entre las variables, por lo que **NPMANOVA** no es idóneo si el objetivo es determinar si el patrón de correlación entre las variables respuesta es idéntico entre los tratamientos. El **MANOVA** paramétrico sí puede hallar lo anterior. **NPMANOVA** permite cotejar si el conjunto de centroides es igual. **NPMANOVA** es un método sin distribución probabilística que no tiene en cuenta supuesto alguno. En la presente investigación, al no cumplirse los supuestos asociados con el **MANOVA**, se aplicó la técnica no paramétrica **NPMANOVA** pues resulta adecuada en tales situaciones investigativas.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Nova Cecilia por su constante compañía y a la Universidad de Antioquia (Colombia), por el apoyo que de ella recibo para adelantar las diferentes actividades de investigación en que participo.

Referencias bibliográficas

Amaro, I., Vicente, J. & Galindo, M. (2004). MANOVA biplot para arreglos de tratamientos con dos factores basado en modelos lineales generales multivariantes. *Interciencia*, 29 (1). pp. 26-32. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33908807.pdf>



- Avendaño, B. L., Avendaño, G., Cruz, W. & Cárdenas, A. (2014). Guía de referencia para investigadores no expertos en el uso de estadística multivariada. *Divers: Perspect. Psicol.* 10(1). pp 013-027. <http://www.scielo.org.co/pdf/dpp/v10n1/v10n1a02.pdf>
- Bray, J. H. & Maxwell, S. E. (1985). In *MultiVariate Analysis of Variance*. A Sage University Paper, Series: *Quantitative Applications in the Social Sciences* (54). pp 27-29.
- Cuadras, C. (2014). *Nuevos métodos de análisis multivariante*. Barcelona: CMC.
- Dallas, E.J. (2000). *Métodos multivariados aplicados al análisis de datos*. México: Thomson editores.
- Fernández, R., Vilalta, J. A., Quintero, A & Chávez, R.B. (2020). Composite indicator through multivariate analysis of variance applied to the tourism sector. *Cooperativismo y Desarrollo* 8(1) http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-340X2020000100068&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Friendly, M. & Sigal, M. (2018). Visualizing tests for equality of covariance matrices. *The American Statistician*, 74(2). pp 144-155. Doi:10.1080/00031305.2018.1497537
- Fuentes, R. (2015). Análisis de variables múltiples. *Revista Chilena de Anestesia*. 44. pp.106-111. <https://revistachilenadeanestesia.cl/Pil/revchilanestv44n01.10.pdf>
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. I. & Black, W.C. (1999). *Análisis Multivariante*. Prentice Hall Iberia. Madrid.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de Experimentos*. Segunda Edición. México: Thompson.
- Lim, F. (2020). MANOVA : A Procedure Whose Time Has Passed?, *Sage Journal*, 64(1):56-60. Doi: 10.1177/0016986219887200.
- Moh H. M., Coburn, J. W., Marelich, W. D. (2018). *Advanced Statistics for Kinesiology and Exercise Science. Capítulo: Multivariate analysis of variance (MANOVA)*. 1st Edition. London. <https://doi.org/10.4324/9781315231273>
- Mutiz, H. (2003). Qué tienen de común ciertas técnicas estadísticas multivariadas conocidas. *Revista de ingeniería*, 1(18). pp 127-134. <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/487>
- Nelson, J. K. & Thomas, J. R. (2007). *Métodos de investigación en actividad física*. Barcelona: Paidotribo.
- Parsad, R. & Bhar, L. M. (1987). Multivariate Analysis of Variance. *Journal Couns Psychol*, 1(4). <https://www.researchgate.net/publication/237227650>

- Romero, C. (2006). *El comportamiento del consumidor ante el diseño del punto de venta virtual: efectos e interacciones*. Castilla la Mancha: UCLM. Tesis doctoral.
- Sagaró, N. M. & Zamora, L. (2020). Técnicas estadísticas multivariadas para el estudio de la causalidad en Medicina. *Revista de Ciencias Médicas de Pilar del Río*, 24(2). <http://revcmpinar.sld.cu/index.php/publicaciones/article/view/4029/4170>
- Smith, K., Lamb, K. & Henson, R. (2020). Making meaning out of MANOVA : Using descriptive discriminant analysis for multivariate post hoc testing in gifted education research. *Gifted Child Quarterly*, 64(1), 41-55.
- Stevens, J. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences*. New York: Lawrence Erlbaum.
- Stockburger, D. W. (2018). *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation Multivariate Analysis of Variance*. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc. Doi: <http://dx.doi.org/10.4135/9781506326139.n456>.
- SAS Institute Inc. (2008). *SAS/STAT® 9.2 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc. Copyright © 2008, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
<http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statugstatmodel/61751/PDF/default/statugstatmodel.pdf>
- Warne, R. T. (2014). A Primer on Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) for Behavioral Scientists. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 19(17). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.667.5616&rep=rep1&type=pdf>



Capítulo 4.

Experiencias en la construcción de revisiones sistemáticas

Nathalia María del Pilar Correa Valencia

MV, MSc, DSc. Línea de investigación en Epidemiología y Salud Pública.

Resumen

El número de revisiones sistemáticas publicadas en la literatura actual ha aumentado drásticamente en la última década, y por una buena razón. Este tipo de revisiones evalúan la información disponible sobre una pregunta específica por medio de métodos transparentes y repetibles, con la intención de minimizar el impacto de los sesgos del estudio en las conclusiones de la revisión. Este capítulo tiene como objetivo describir los pasos a seguir en la construcción de una revisión sistemática bajo los estándares de la declaración PRISMA. Además, ofrece un conjunto de recursos para la evaluación, presentación de informes y desempeño de las mismas sin perder de vista la estructura que demanda la literatura científica. Para ello se detallan los principales pasos en el proceso sistemático que se siguió



en la generación del material “*Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP) molecular diversity in Latin America and the Caribbean: A systematic review” (Correa-Valencia et al., 2021). Se concluye que, independientemente de la gran diversidad de técnicas y diseños de estudios utilizados alrededor de la pregunta de investigación, la misma fue respondida efectivamente.

Palabras clave: *búsqueda de literatura, cualitativo, diagrama de flujo, estándares de reporte, declaración de PRISMA*

1. Introducción

*El mérito no es de quien hace el descubrimiento,
es de quien lo escribe y convence al mundo
Modificado de William Osler*

La sociedad actual requiere una respuesta efectiva de la ciencia a la capacidad para resolver los problemas. Para ello, la ciencia toma a cargo la investigación científica, nombre genérico que se le da al largo y complejo proceso en el que los avances científicos resultan de la aplicación del método científico.

Los productos generados, tanto material de divulgación como de difusión —eslabón indiscutible para el avance del conocimiento—, se caracterizan por ser estudios originales (formatos *in extenso* o comunicaciones cortas). Los mismos parten de la formulación de una hipótesis u objetivo de trabajo con la consiguiente recolección de datos bajo una metodología preestablecida que, una vez analizados e interpretados, sumarán nuevos conocimientos a los ya existentes, con lo cual se inicia así un nuevo ciclo de investigación.



Existen también otros productos relacionados al avance del conocimiento y que se presentan como material de divulgación de la ciencia; por ejemplo, las revisiones de literatura. *Revisión narrativa* es el término que se utiliza actualmente para describir revisiones tradicionales en un campo determinado escritas por expertos reconocidos y es la técnica más común de resumen de una idea. Sin embargo, debido a que tales revisiones carecen de métodos para identificar, evaluar y sintetizar información, tienen un mayor riesgo de sesgo que las *revisiones sistemáticas*, ya que existe la posibilidad de que los autores incluyan o excluyan estudios para respaldar una posición.

A diferencia de una revisión narrativa, una revisión sistemática se guía por preguntas clave y un protocolo de revisión definido *a priori* con métodos de búsqueda transparentes y reproducibles, lo cual mitiga el riesgo de sesgo. Al tener un enfoque sistemático para responder a una pregunta de investigación, también se les permite a los lectores identificar de forma crítica las brechas del conocimiento (Chang et al., 2012) y, en caso de requerirse, el diseño sistemático permite que los resultados sean reproducibles y fácilmente actualizables. Algunas revisiones sistemáticas también incluyen *metaanálisis*, diseños que agrupan estadísticamente los resultados de estudios individuales para producir una sola estimación del efecto (Umscheid, 2013).

Más allá de abordar las limitaciones de las revisiones narrativas, las revisiones sistemáticas también pueden abordar las limitaciones de los estudios individuales. Aunque los estudios bien diseñados y realizados pueden proporcionar información, siempre existe el riesgo de resultados falsos positivos, falsos negativos (para estudios con poca potencia) y potencial de no inferencia a causa de poblaciones de estudio limitadas y homogéneas (Chang et al., 2012).



Por lo anterior, las revisiones sistemáticas y los metaanálisis a menudo proporcionan estimaciones más precisas del efecto. Esto reduce el riesgo de resultados falsos positivos y falsos negativos, mejora la generalización de los hallazgos y permite la exploración de diferencias en los hallazgos que existen entre los estudios (Liberati et al., 2009).

Las revisiones sistemáticas publicadas en la literatura revisada por pares ha aumentado en los últimos diez años pues se han convertido en un recurso esencial para los investigadores que desean respuestas actualizadas a sus cuestionamientos; para investigadores y patrocinadores que quieren identificar la evidencia más crítica en los vacíos de estudio; para administradores que desean tomar decisiones sobre cobertura y compras, así como para formuladores de políticas que buscan desarrollar medidas de calidad y guías orientadas correctamente (Umscheid, 2013).

Las revisiones sistemáticas evalúan la información disponible sobre una pregunta específica utilizando métodos transparentes y repetibles. El objetivo es minimizar el impacto de los sesgos del estudio en las conclusiones de la revisión. Además, como se toman decisiones basadas en valores durante el proceso de revisión, el objetivo es transmitir al lector no solo la conclusión, sino suficiente información para que evalúe el valor contenido en dicha conclusión (Moher et al., 2016). Para tal fin se emplean las siguientes técnicas: (1) se realiza una búsqueda amplia de la literatura para identificar tantos estudios como sea posible para su consideración, (2) un equipo de revisores evalúa los estudios y (3) la investigación primaria se evalúa críticamente, de modo que solo se consideran los estudios que minimizan el impacto del sesgo en los resultados.

A pesar de que la primera revisión sistemática, publicada en 2009, no seguía ningún lineamiento específico, sí mencionaba una valoración "sistemática" de la información colectada (Sahrmann et al., 2011). Una

de las primeras revisiones bajo una guía establecida fue publicada dos años después (Gupta et al., 2011).

Ahora bien, ¿a qué se refiere “bajo una guía establecida”? Dada la gran variedad de tipos de estudios y aproximaciones investigativas, se vio la necesidad de definir guías de reporte para homogeneizar el estilo en el cual los procesos investigativos eran desarrollados, presentados y divulgados. Pero, ¿qué es una guía de reporte (en inglés, *reporting guideline*)? Se trata de una herramienta simple y estructurada que los investigadores de las diferentes áreas pueden utilizar al redactar manuscritos. Esta guía proporciona una lista mínima de información necesaria o de pautas para garantizar que un manuscrito pueda ser, por ejemplo, entendido por un lector, replicado por un investigador, utilizado por un médico para tomar una decisión clínica e incluido en una revisión sistemática (si fuere el caso). Estas pautas son más que algunas ideas sobre lo que debe incluirse en un artículo académico. Una guía de reporte se define como “una lista de verificación, diagrama de flujo o texto estructurado para guiar a los autores a informar sobre un tipo específico de investigación, desarrollado utilizando una metodología explícita” (Liberati et al., 2009, p. 2).

En el área de las ciencias de la salud se cuentan actualmente 452 guías de reporte de acuerdo con la red EQUATOR (*Enhancing the Quality and Transparency Of health Research*). Estas son guías definidas y posteriormente adaptadas a los diferentes tipos de estudio (investigación preclínica en animales, investigación cualitativa, protocolos de estudio, revisiones sistemáticas, metaanálisis), a las distintas áreas clínicas (anestesiología, medicina audio-vestibular, hepatología, psicología, medicina nuclear, psiquiatría) y a diversas secciones del reporte (resumen, agradecimientos, figuras, material suplementario, reporte de variables, análisis estadístico), entre otros aspectos.



Para el caso de las revisiones sistemáticas se ofrecen 43 guías de reporte.¹ La declaración de PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses; ver *The PRISMA Statement*; <http://www.prisma-statement.org>) (Moher et al., 2009), y sus consecuentes adaptaciones, es la más utilizada. Esta guía fue publicada en seis revistas simultáneamente y los documentos relacionados (i.e. declaración, lista de chequeo, diagrama de flujo y el documento de explicación y elaboración) están disponibles en <http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/Default.aspx>, en inglés. La guía PRISMA cuenta con nueve extensiones o modificaciones, lo que demuestra su gran versatilidad. Adicionalmente, el diagrama de flujo de la declaración de PRISMA de Moher et al. (2009) ha sido recientemente adaptado para su uso en revisiones sistemáticas actualizadas bajo la metodología Cochrane (Stovold et al., 2014).

Este capítulo tiene como objetivo describir los pasos a seguir en la construcción de una revisión sistemática bajo los estándares de la declaración PRISMA vigente al momento de la escritura de este capítulo, y ofrece un conjunto de recursos para la evaluación, presentación de informes y desempeño de dichas revisiones. Lo anterior sin perder de vista la estructura que demanda la literatura científica desde las guías de reporte preestablecidas. Se particularizan los procesos previos a tener en cuenta, la definición de la pregunta de investigación, el establecimiento del patrón de búsqueda, la estrategia de búsqueda, la determinación de la relevancia

1 Entre otros, extensión PRISMA para revisiones de alcance (PRISMA-ScR), elementos de informe preferidos para una revisión sistemática y metaanálisis de estudios de precisión de pruebas de diagnóstico (PRISMA-DTA), directrices de presentación de informes para revisiones sistemáticas con un enfoque en la equidad en salud (PRISMA-Equity 2012), transparencia en la presentación de informes sobre la síntesis de la investigación cualitativa (ENTREQ) y manual Cochrane para revisiones sistemáticas de intervenciones.

de los estudios hallados, la extracción de la información relevante y, finalmente, la determinación de la calidad de los estudios hallados. Se presentan los resultados obtenidos y la discusión sobre las estrategias sistemáticas utilizadas a la luz de la obtención de la información relevante (tanto bibliográfica como específica de la pregunta de investigación), presentada a través de un resumen cualitativo que involucra tablas y figuras de los hallazgos principales, así como una descripción narrativa de los estudios. Este capítulo está diseñado para que las personas interesadas en producir sus propias revisiones sistemáticas entiendan este proceso y para futuros usuarios que buscan una breve introducción al mismo.

2. Metodología

A continuación se presenta el proceso sistemático que se siguió en la generación del artículo titulado "*Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP) molecular diversity in cattle, sheep, and goats from Latin America and the Caribbean: A systematic review" (Correa-Valencia et al., 2021). Esta revisión fue diseñada, realizada y reportada de acuerdo con las pautas de la guía de reporte de PRISMA (Moher et al., 2009).

Para este caso particular, era de interés de los autores de la revisión definir términos como "cita" (título de un artículo detectado durante la etapa de selección del título) y "artículo" (artículo completo, publicación o informe de investigación).

2.1. Procesos previos a tener en cuenta

Establecimiento del equipo de investigación: el equipo fue establecido en función de los siguientes aspectos: 1) experiencia en el tema de interés (aspectos moleculares y genotípicos del agente causal de la paratuberculosis —MAP), 2) experiencia en la realización de una revisión siste-



mática, 3) experiencia en la búsqueda de evidencia relevante y 4) no presentar conflictos de interés y prejuicios profesionales o intelectuales, pues esto disminuiría la credibilidad de la revisión a los ojos de los usuarios previstos.

Confirmación de la necesidad de la revisión sistemática en el tema de interés: se desarrolló un marco analítico *a priori* entre los participantes del equipo de investigación que estableció claramente la cadena lógica que vinculaba la intervención, es decir, la realización de la revisión sistemática con los resultados de interés, de manera justificada. Lo anterior, a partir de que no existe a la fecha literatura visible de revisiones de ningún tipo acerca de los genotipos de MAP en Latinoamérica y el Caribe y la necesidad de conocerlos en conjunto para la definición de estrategias comunes para el control de la enfermedad; esto, a la luz de las características diferenciales de la zona con respecto a otras latitudes. Se definió entonces un objetivo de investigación a partir del cual se derivaría la pregunta de investigación, este fue describir la diversidad molecular de MAP en aislamientos obtenidos de diferentes hospedadores en Latinoamérica y el Caribe y explorar las posibles conexiones epidemiológicas entre los diferentes genotipos de MAP, las especies animales hospedadoras y el país de reporte.

Construcción del cronograma de trabajo: los componentes y el tiempo para cada uno se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Cronograma de trabajo

Paso	Descripción	Tiempo estimado de realización (en meses)
1	Definición de la pregunta de investigación	2
2	Construcción del patrón de búsqueda, incluyendo los criterios de inclusión y exclusión	
3	Realización de la búsqueda de información en las bases de datos	1

4	Determinación de la relevancia de los estudios hallados, primer proceso de selección por los autores	2
5	Determinación de la relevancia de los estudios hallados, segundo proceso de selección por los autores	1
6	Determinación de la relevancia de los estudios hallados, tercer proceso de selección por los autores	1
7	Determinación de la relevancia de los estudios hallados, primer y segundo <i>snowballing</i>	
8	Extracción de datos descriptivos relevantes a partir de cada artículo seleccionado	2

Fuente: archivos propios

2.2. Definición de la pregunta de investigación

La pregunta de investigación fue definida considerando la brecha del conocimiento de interés para los autores de la revisión. Se hizo énfasis en ser claro respecto a la definición de la pregunta a resolver y el tipo de respuesta que se buscaba encontrar. La pregunta de investigación fue la siguiente: ¿qué genotipos de MAP se han aislado de bovinos, ovinos y caprinos en América Latina y el Caribe? (*What MAP genotypes have been isolated from cattle, sheep, and goats in Latin America and the Caribbean?*).

2.3. Establecimiento del patrón de búsqueda

Se construyó inicialmente una *hoja de ruta* del patrón de búsqueda (Figura 1). La pregunta de investigación fue dividida en diferentes *conceptos* de fácil búsqueda, a partir de los cuales se definieron los *descriptores*. Estos últimos corresponden a sinónimos o conceptos relacionados que garantizarán que toda la información relacionada sea captada en la búsqueda. Se consideró como *descriptores* aquellos términos que tuvieran



el mismo significado o uno muy cercano, términos que, con diferente ortografía o acrónimos, conceptos complejos que se describen inconsistentemente en la literatura, términos “sombriila”, nombres específicos y palabras clave.

También se consideraron dos operadores de exactitud: $|*|$ que permite acceder a diferentes variantes del término de búsqueda y $|?|$ que permite sustituir un carácter en medio o al final de un término de búsqueda.

Cada *descriptor* se unió a sus pares mediante el operador lógico booleano *OR* (que tras la búsqueda presentará resultados que mencionan uno u otro descriptor o ambos descriptores), y se utilizó el operador *AND* (que tras la búsqueda presentará únicamente resultados que mencionan ambos descriptores) para unir los grupos de *descriptores* definidos a partir de los *conceptos*. Con la información anterior se construyó el *patrón de búsqueda* presentado en la Figura 2. Tanto los *conceptos* como los *descriptores* deben ir siempre en minúscula y sin acentos.

	MAP	Hosts	Genotyping	Technique
D	<i>mycobacterium avium</i>	ruminant?	characterization	vntr?
E	<i>paratuberculosis</i>			
S	OR	OR	OR	OR
C	<i>paratuberculosis</i>	cattle	molecular	variable number tandem repeat?
R	OR	OR	OR	OR
I	johne*	bovine?	epidemiol*	miru
P		OR	OR	OR
T		cow?	fingerprint*	mycobacterial interspersed repetitive unit?
O		OR	OR	OR
R		goat?	phylogen*	ssr?
S		OR	OR	OR
		caprine?	genetic*	short sequence repeat?
		OR	OR	OR
		sheep	genomic*	mlssr
		OR	OR	OR

	MAP	Hosts	Genotyping	Technique
D		ovine?	genotyp*	ml-ssr
		OR	OR	OR
		livestock	diversi*	multi-locus short sequence repeat?
			OR	OR
E			dna	multilocus short sequence repeat?
			OR	OR
S			isolat*	rflp
			OR	OR
C			strain?	restriction fragment length polymorphism
			OR	OR
			typ*	pfge
R			OR	OR
			subtyp*	pulsed-field gel electrophoresis
I				OR
				rda
				OR
P				redundancy analys*
				OR
T				ghc
				OR
O				generalized higher criticism
				OR
R				dgge
				OR
S				denaturing gradient gel electrophoresis
				OR
S				snp*
				OR
S				single nucleotide polymorphism?
				OR
S				aflp*
				OR
S				amplified fragment length polymorphism?
				OR



	MAP	Hosts	Genotyping	Technique
D				hrm
				OR
E				high resolution melt*
				OR
S				rea
				OR
R				restriction enzymes analys*
				OR
I				rapd
				OR
P				random amplification of polymorphic dna
				OR
T				mlva
				OR
O				multiple locus variable-number tandem repeat analys*
R				
S				

Figura 1. Hoja de ruta considerada en la construcción de la revisión sistemática de análisis

Fuente: archivos propios

[*Mycobacterium avium paratuberculosis* OR paratuberculosis OR Johne*] AND [ruminant? OR Cattle OR bovine? OR cow? OR goat? OR caprine? OR sheep OR ovine? OR livestock] AND [characterization OR molecular OR epidemiol* OR fingerprint* OR phylogen* OR genetic* OR genomic* OR genotyp* OR diversi* OR dna OR isolat* OR strain? OR typ* OR subtyp*] AND [vntr? OR variable number tandem repeat? OR miru OR mycobacterial interspersed repetitive unit? OR ssr? OR short sequence repeat? OR mlssr OR ml-ssr OR multi-locus short sequence repeat? OR multilocus short sequence repeat? OR rflp OR restriction fragment length polymorphism OR pfge OR pulsed-field gel electrophoresis OR rda OR redundancy analys* OR ghc OR generalized higher criticism OR dgge OR denaturing gradient gel electrophoresis OR snp* OR single nucleotide polymorphism? OR aflp* OR amplified fragment length polymorphism? OR hrm OR high resolution melt* OR rea OR restriction enzymes analys* OR rapd OR random amplification of polymorphic dna OR mlva OR multiple locus variable-number tandem repeat analys*].

Figura 2. Patrón de búsqueda considerado en la construcción de la revisión sistemática de análisis

Fuente: archivos propios

2.4. Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda fue definida con el acompañamiento de un bibliotecario capacitado en la realización de revisiones sistemáticas, como parte de la asesoría institucional para la generación del producto. Se escogieron las bases de datos bibliográficas a consultar y se planificó la estrategia.

Se realizaron búsquedas en las plataformas de búsqueda OVID®, Web of Science® y SciELO, las cuales incluyen siete bases de datos: MEDLINE, CAB Abstracts, Biological Abstracts®, Embase, Web of Science™ Core Collection, Biological Abstracts® y SciELO Citation Index®. Con ello se logró una cobertura desde 1910 a la fecha.

Al realizar las búsquedas se tuvo especial precaución en la inclusión de “todos los campos” (en inglés: *all fields*) en los campos de búsqueda. Las plataformas mencionadas permiten aplicar límites a las búsquedas en cuanto a año de publicación, idioma y tipo de publicación. Ninguna limitación fue considerada en la presente búsqueda.

Con el objetivo de ampliar las posibilidades y detectar la mayor cantidad de citas que pudieran potencialmente responder a la pregunta de investigación y que hubiesen sido ya publicadas como artículos completos, se incluyó la búsqueda de los conceptos en las memorias de los Coloquios Internacionales sobre Paratuberculosis (ICP, por sus siglas en inglés), realizados entre 1991 y 2014, que se encontraban disponibles electrónicamente. Las memorias de los dos últimos eventos (2016 y 2018) fueron revisadas manualmente en su formato físico.

Todas las citas obtenidas fueron exportadas a Excel mediante el uso del software Endnote® (administrador de referencias bibliográficas). Dicha herramienta permitió la captación y posterior eliminación de resultados duplicados.

Inicialmente se construyó un único archivo de Excel para el registro de la información bibliográfica de las citas encontradas en los procesos de búsqueda (nombre de los autores, año de publicación, nombre de la cita, revista de publicación, idioma y tipo de referencia) (Figura 3).

Author	Year	Title	Journal	Language	Type of Reference	
1						
2	Pereira Filho, M. J.; Nery-Guimarães, Felipe	1955	Mitsuda's reactions: induced by BCG in the normal Rhesus ("Macacca mulatta")	Memórias do Instituto Oswaldo	English	Article
3	Almeijew, C. S.; Al'Meew, K. S.	1958	John's disease in yaks	Monatshfte fur Veterinarmedizin	German	Article
4	Camargo, M. d'Edvaldo E.; Koppitz, Theresa M.; Hog	1987	Radioimetric studies on the oxidation of (1-14c) fatty acids by drug-susceptible and drug-resistant	Revista do Instituto de Medicina	English	Article
5	Murray, A.; Moriarty, K. M.; Scott, D. B.	1989	A cloned DNA probe for the detection of Mycobacterium paratuberculosis	New Zealand Veterinary Journal	English	Article
6	Whipple, D. L.; Kapke, P. A.; Andrews, R. E.	1989	Analysis of restriction endonuclease fragment patterns of DNA from Mycobacterium paratuberculosis	Veterinary Microbiology	English	Article
7	Chiodini, R. J.	1990	Characterization of Mycobacterium paratuberculosis and organisms of the Mycobacterium avium	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
8	Collins, D. M.; Gabric, D. M.; Lisle, G. E. de	1990	Identification of two groups of Mycobacterium paratuberculosis strains by restriction endonuclease	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
9	Whipple, D.; Kapke, P.; Vary, C.	1990	Identification of restriction fragment length polymorphisms in DNA from Mycobacterium paratuberculosis	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
10	Coffin, J. W.; Condon, C.; Compston, C. A.; Potter, K. N.	1992	Use of restriction fragment length polymorphisms resolved by pulsed-field gel electrophoresis for	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
11	McFadden, J.; Collins, J.; Beaman, B.; Arthur, M.; Gitt	1992	Mycobacteria in Crohn's disease: DNA probes identify the wood pigeon strain of Mycobacterium av	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
12	Hughes, M. S.; Skuce, R. A.; Beck, L. A.; Neill, S. D.	1993	Identification of mycobacteria from animals by restriction enzyme analysis and direct DNA cycle se	Journal of Clinical Microbiology	English	Article
13	Cocito, C.; Gilot, P.; Come, M.; De Kessel, M.; Poupart	1994	Paratuberculosis	Clinical Microbiology Reviews	English	Review
14	Landgraf, Ika Maria; Palaci, Moisés; Vieira, Maria d	1994	Bacterial agents isolated from cerebrospinal fluid of patients with Acquired Immunodeficiency Syn	Revista do Instituto de Medicina	English	Article
15	Thoresen, O. F.; Olsaker, I.	1994	Distribution and hybridization patterns of the insertion element IS900 in clinical isolates of Mycob	Veterinary Microbiology	English	Article
16	Haddad, David Jamil; Palhares, Maria Cecília de Alme	1995	Mycobacterium avium complex (MAC) isolated from AIDS patients and the criteria required for its	Revista do Instituto de Medicina	English	Article
17	Haddad, David Jamil; Petry, Tereza Cristina; Maresca	1995	Mycobacterium avium complex (MAC): an unusual potential pathogen in cerebrospinal fluid of AIDS	Revista do Instituto de Medicina	English	Article

Figura 3. Extracto de la matriz única construida para el registro de información relevante a partir de los artículos seleccionados en la revisión sistemática de análisis [captura de pantalla]

Fuente: archivos propios

2.5. Determinación de la relevancia de los estudios hallados

Definición de criterios de inclusión y exclusión: para esta parte del proceso se definieron *a priori* los criterios de inclusión y exclusión que sirvieron a los autores como guía en el paso a paso sistemático de evaluación de los estudios.

En el caso particular de esta investigación se consideraron citas en todos los idiomas. Sin embargo, inicialmente solo se tomaron en cuenta aquellos artículos publicados en revistas que consideran la evaluación por pares académicos y con un resumen disponible en inglés, francés, alemán, portugués o español, pues son los idiomas que los autores comprenden. No se consideró ninguna limitación por año o país de publicación.

La exclusión de las citas se realizó considerando la posibilidad de responder la pregunta de investigación. Los criterios de exclusión fueron i) temas no relacionados (prevalencia, enfermedad de Crohn, impacto económico, *Mycobacterium bovis*); ii) que no se tratara la especie de interés (humanos, búfalos, vida silvestre, camélidos); iii) que no fuera en la región de interés (Egipto, Europa, India, EE. UU.) y iv) artículos no originales (reseña, libro).

Proceso de selección de citas: la primera selección de citas se realizó según la información contenida únicamente en el título y teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. En este paso se incluyeron los resúmenes obtenidos a partir de la búsqueda en las memorias de los ICP. Dos de los autores hicieron la selección y se estimó un coeficiente kappa para definir la concordancia en los hallazgos de los dos autores. El cálculo de dicho coeficiente se realizó en una plataforma en línea (<https://www.graphpad.com/quickcalcs/kappa1/>). Todas las citas seleccionadas por al menos uno de los dos autores se consideraron elegibles para continuar en el proceso.

La segunda selección de citas se realizó según la información contenida únicamente en el resumen y teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. En este paso se incluyeron los resúmenes obtenidos a partir de la búsqueda en las memorias de los ICP que pasaron la primera selección. Dos de los autores hicieron la selección (de los cuales uno no hacía parte de quienes habían realizado la primera selección) y se estimó un coeficiente kappa para definir la concordancia en los hallazgos de los dos autores. Los conflictos generados en cuanto a la elegibilidad de las citas se resolvieron mediante consenso entre los dos autores y, cuando fue necesario, por un tercer autor.

Para el caso de los resúmenes obtenidos a partir de las memorias de los ICP que pasaron la segunda selección, se procedió a contactar a los au-



tores de estos vía correo electrónico para preguntar acerca de la publicación de los resúmenes como artículos completos en revistas revisadas por pares. A continuación una muestra del texto enviado:

Estimado Dr. Verdugo

Estamos recolectando información sobre el tipado de MAP a través de una revisión sistemática. Encontramos este interesante material de su coautoría, publicado como abstract en el ICP de 2016: Molecular Epidemiology of MAP infection in Chile.

Queríamos saber si esta misma información fue posteriormente publicada como artículo y en caso positivo, ¿sería posible que la compartiera con nosotros?

Quedo atenta. Gracias de antemano.

Los artículos resultantes (artículos completos), incluyendo los obtenidos a partir del paso inmediatamente anterior, fueron estudiados en la tercera selección por dos autores, quienes se aseguraron que contenían información relevante (evidencia) para responder a la pregunta de investigación. En este paso también se estimó un coeficiente kappa. Los conflictos generados en cuanto a la elegibilidad de las citas se resolvieron mediante consenso entre los dos autores y, cuando fue necesario, por un tercer autor.

Posteriormente dos de los autores buscaron en las referencias bibliográficas la información sobre las citas relevantes identificadas por la selección de texto completo, en busca de artículos primarios adicionales publicados (estrategia *snowballing*). Se realizó un segundo *snowballing*, considerando la lista de referencia de los artículos encontrados por el primer *snowballing*.

Toda la información generada a partir de estos procesos de selección se registró en el archivo de Excel único previamente construido. Se generó una hoja por cada uno de los procesos de selección (tres en total), la cual incluía el paso a paso y los resultados de cada autor para hacerle seguimiento al cumplimiento o no de los criterios de inclusión y selección (Figura 4).

		F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
		Included by this study	Reason for exclusion 1 NOT THE TOPIC	Reason for exclusion 2 NOT THE SPECIES	Reason for exclusion 3 NOT THE REGION	Reason for exclusion 4 NOT ORIGINAL ARTICLE	Reason for exclusion 5 NOT LANGUAGE OF INTEREST	Duplicate	Excluded by other studies	Reason for exclusion 6 NOT THE TOPIC	Reason for exclusion 7 NOT THE SPECIES	Reason for exclusion 8 NOT THE REGION	Reason for exclusion 9 NOT ORIGINAL ARTICLE	Reason for exclusion 10 NOT LANGUAGE OF INTEREST	Duplicate
1	1. Molecular functions induced by KCl in the normal mouse ("Molecular Analysis")	Y													
2	2. Mouse disease in mice	Y													
3	3. Molecular studies on the isolation of (C-18) fatty acids by drug-resistant mycobacteria	Y													
4	4. A novel DNA probe for the detection of Mycobacterium paratuberculosis	Y													
5	5. Analysis of restriction endonuclease fragment patterns of DNA from Mycobacterium paratuberculosis	Y													
6	6. Characterization of Mycobacterium paratuberculosis and antigens of the Mycobacterium avium complex by restriction fragment length polymorphism of DNA from Mycobacterium paratuberculosis	Y													
7	7. Identification of restriction fragments of Mycobacterium paratuberculosis strains by restriction endonuclease analysis and DNA hybridization	Y													
8	8. Identification of restriction fragment length polymorphism in DNA from Mycobacterium paratuberculosis	Y													
9	9. Use of restriction fragment length polymorphisms revealed by pulsed-field gel electrophoresis for subspecies identification of mycobacteria in the Mycobacterium avium complex and for isolation of DNA probes	Y													
10	10. Molecular epidemiology of Mycobacterium paratuberculosis strains by restriction endonuclease analysis and DNA hybridization	Y													
11	11. Molecular epidemiology of Mycobacterium paratuberculosis strains by restriction endonuclease analysis and direct DNA cycle sequencing of polymorphic insertion sequences	Y													
12	12. Paratuberculosis	Y													
13	13. Mycobacterium paratuberculosis	Y													
14	14. Molecular epidemiology of Mycobacterium paratuberculosis strains by restriction endonuclease analysis and DNA hybridization	Y													
15	15. Distribution and hybridization patterns of the insertion element IS6110 in natural isolates of Mycobacterium paratuberculosis	Y													
16	16. Mycobacterium avium complex (MAC) isolated from AIDS patients, and the criteria required for its isolation in disease	Y													
17	17. Mycobacterium avium complex (MAC) an unusual genetic pathogen in immunocompetent hosts of AIDS patients	Y													
18	18. Characterization by restriction endonuclease analysis and DNA hybridization using IS6110 of bovine, ovine, caprine and human Mycobacterium paratuberculosis strains	Y													

Figura 4. Extracto de la matriz única construida para el seguimiento a los procesos de selección en la revisión sistemática de análisis [captura de pantalla]
Fuente: archivos propios

2.6. Extracción de la información relevante

Antes de comenzar a extraer la información relevante se construyó una matriz única de Excel en la cual se registraría la información fundamental y detallada de los estudios (Figura 3 y 4).

Una vez recopilados todos los artículos disponibles, uno de los autores presentó un resumen descriptivo con la información bibliográfica (Figura 5) y aquella que se consideró relevante para la respuesta de la pregunta de investigación (Figura 6), a saber: el país de aislamiento o detección, la población de origen, la matriz, el tamaño de la muestra, el método de genotipado utilizado, el locus analizado y los resultados (de tipado y sub-tipado). Un segundo autor revisó el producto de extracción de datos.

Los procedimientos de búsqueda se implementaron en agosto de 2017 y se actualizaron en agosto de 2020 mediante una segunda búsqueda que comenzó con la fecha final de la primera búsqueda.

2.7. Determinación de la calidad de los estudios hallados

La calidad de los estudios se definió a partir del reporte de la información que brindaba el artículo para responder a la pregunta de investi-



No.	Authors	Year	Journal	Country	Type of reference	Keywords	Matrix* (2011)	Matrix* (2012)	Matrix* (2013)	Matrix* (2014)	Matrix* (2015)	Matrix* (2016)	Matrix* (2017)	Matrix* (2018)	Matrix* (2019)	Matrix* (2020)	Matrix* (2021)	Matrix* (2022)	
1	Whipple et al.	1989	Veterinary Microbiology	Argentina	Journal of Clinical Microbiology	Goat	Culture isolate												
2	Whipple et al.	1990	Journal of Clinical Microbiology	Argentina	Journal of Clinical Microbiology	Goat	Culture isolate												
3	Francois et al.	1997	Epidemiology & Infection	Argentina	Epidemiology & Infection	Goat	Strain												
4	Moreira et al.	1999	Veterinary Microbiology	Argentina	Veterinary Microbiology	Cattle	Culture isolates												
5	Pavlik et al.	1999	Journal of Microbiological Methods	Argentina	Journal of Microbiological Methods	Not reported	Strain												
6	Bull et al.	2000	Microbiology	Argentina	Microbiology	Cattle	Strain												
7	Ghadiali et al.	2004	Journal of Clinical Microbiology	Argentina	Journal of Clinical Microbiology	Goat	Strain												

Figura 5. Fragmento de la matriz única construida para el registro de información bibliográfica relevante de los artículos seleccionados en la revisión sistemática de análisis [captura de pantalla]

Fuente: archivos propios

No.	Authors	Year of publication	Journal	Country of isolation/detection	Species (source)	Matrix*	n
1	Whipple et al.	1989	Veterinary Microbiology	Argentina	Goat	Culture isolate	1
2	Whipple et al.	1990	Journal of Clinical Microbiology	Argentina	Goat	Culture isolate	1
3	Francois et al.	1997	Epidemiology & Infection	Argentina	Goat	Strain	1
4	Moreira et al.	1999	Veterinary Microbiology	Argentina	Cattle	Culture isolates	50
5	Pavlik et al.	1999	Journal of Microbiological Methods	Argentina	Not reported	Strain	6
6	Bull et al.	2000	Microbiology	Argentina	Cattle	Strain	6
7	Ghadiali et al.	2004	Journal of Clinical Microbiology	Argentina	Goat	Strain	1

Figura 6. Fragmento de la matriz única construida para el registro de información relevante para la pregunta de investigación proveniente de los artículos seleccionados en la revisión sistemática de análisis [captura de pantalla]

Fuente: archivos propios

gación con elementos aportantes, por ejemplo: genotipo encontrado y prueba para determinarlo con elementos detallados en su realización. Lo anterior a la luz de la validación comparativa entre los estudios que reportan genotipos.

3. Resultados y discusión

Este capítulo tuvo por objetivo describir los pasos para la realización de una revisión sistemática. Algunos puntos clave en la capacidad de captación de información a partir del patrón de búsqueda construido son la inclusión de operadores de exactitud y los operadores lógicos booleanos. Los primeros tratan a las palabras claves como cadenas de caracteres y

no como palabras completas; así, el sistema devuelve aquellos documentos que contienen la palabra clave, pero también aquellos en los que la palabra clave aparece como raíz o sufijo. Para ello se deben indicar con símbolos como: *, #, ?, entre otros. Por otro lado, los operadores lógicos booleanos (que incluyen AND, OR, NOT, AND NOT, XOR, entre otros) tienen múltiples aplicaciones y logran la captación de la mayor cantidad de información relevante para quien realiza la búsqueda (Torres-Pombert, 2003). Desde la experiencia de la autora, el uso de estas estrategias brinda la posibilidad de construir modelos diferenciales de búsqueda y cometer menos errores en la construcción de los *patrones de búsqueda*.

Los resultados de una revisión sistemática deben contener la información relevante (tanto bibliográfica como específica de la pregunta de investigación) de forma organizada, concisa y de fácil captación para el lector. Para la presentación de resultados se pueden utilizar métodos cuantitativos o cualitativos. Un resumen cualitativo puede involucrar formas gráficas o tabuladas de los hallazgos principales, acompañando o no la descripción narrativa de los estudios. Este tipo de resumen es el más adecuado cuando se trabaja con pocos estudios o con estudios cuyos resultados son muy variables. Un resumen cuantitativo también puede involucrar tablas o gráficas, pero presenta datos susceptibles de análisis estadístico que incluyen, entre otros componentes, medidas de tendencia central, valor mínimo y valor máximo (Dohoo et al., 2005).

Este fue precisamente el caso de la revisión sistemática realizada por la autora recientemente, en la cual la búsqueda electrónica encontró 544 citas elegibles (después de la eliminación de duplicadas) potencialmente relacionadas con el tema de la revisión sistemática. La búsqueda manual de las memorias del ICP de los dos últimos años proporcionó nueve artículos. El número final de citas a filtrar posteriormente fue de 553.



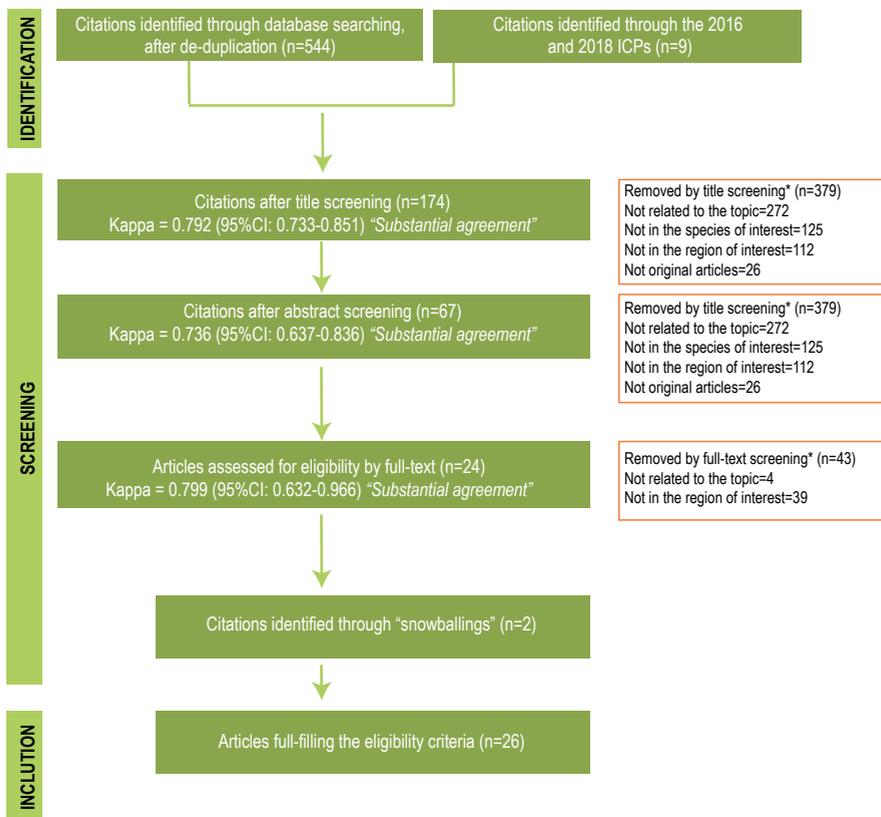
Después de leer los títulos de los artículos, dos autores consideraron que 379 eran. El número final de citas basado en la selección de títulos fue de 174 (retenido por al menos un autor). Después de leer los resúmenes de las citas se excluyeron 107 (por ambos autores) y quedaron 67 artículos originales para la revisión de texto completo. Se excluyeron 43 debido a los criterios ya descritos por título y selección de resúmenes.

La estrategia de *snowballing* se aplicó a través de las listas de referencias de los 24 artículos definitivos y luego se realizó un segundo *snowballing* con los dos artículos adicionales que se mantuvieron, sin generar nuevos resultados. Finalmente, 26 artículos cumplieron con los criterios de inclusión de la revisión sistemática, todos publicados en inglés entre julio de 1989 y agosto de 2020. La Figura 7 muestra el diagrama de flujo que propone la metodología PRISMA para la presentación de los resultados del proceso sistemático de búsqueda de información. El mismo describe los hallazgos desde tres frentes: identificación, selección e inclusión, con el reporte del coeficiente kappa en cada paso. Es a este nivel que se hace fundamental el registro veraz de la información a través de todo el proceso sistemático; como se señala en el diagrama de flujo, se debe incluir el número de citas elegibles antes y después de la eliminación de citas duplicadas.

Adicionalmente se construyeron dos tablas para la presentación de resultados específicos, las cuales proporcionaron y complementaron la respuesta a la pregunta de investigación (figuras 8 y 9). A continuación se presenta una muestra del texto narrativo que las acompañó:

The relevant articles reported the use of six different genotyping techniques (i.e., polymerase chain reaction restriction endonuclease analysis —PCR-REA, restriction fragment length polymorphism —RFLP, type-specific-PCR, mycobacterial interspersed repetitive units-variable number of tandem repeats —MIRU-VNTR,

multi-locus short sequence repeat —MLSSR, single nucleotide polymorphism — SNP) in isolates from seven countries of the region of study. One article reported the use of *hsp65* PCR-REA, seven of *IS1311* PCR-REA, and 11 of *IS900*-RFLP, using the enzymes *BstEII*, *PstI*, *HaeIII*, *HinfI*, *MseI*, *PvuII*, and *BclI*. MIRU-VNTR was used in eight articles, considering 17 loci, where the most frequently reported were 1658 (X3), 32, 292, 10, 25, 47, 7, and 3. MLSSR was reported in five articles, mainly considering loci 1, 2, 8, and 9. *IS1311* SNP and *IS900* type-specific-PCR techniques were reported by one and four articles, respectively. (Correa-Valencia et al., 2021, p. 3)



*Algunos títulos contienen más de un criterio de exclusión

Figura 7. Diagrama de flujo de selección de artículos relevantes (PRISMA) que describe el avance de la cita a través de la revisión sistemática de análisis
Fuente: Correa-Valencia et al. (2021)

Table 1 Detailed bibliographic information extracted from the 26 relevant articles

No.	Authors	Year of publication	Journal	Country of isolation/detection	Species (source)	Matrix*	n
1	Whipple et al.	1989	<i>Veterinary Microbiology</i>	Argentina	Goat	Culture isolate	1
2	Whipple et al.	1990	<i>Journal of Clinical Microbiology</i>	Argentina	Goat	Culture isolate	1
3	Francois et al.	1997	<i>Epidemiology & Infection</i>	Argentina	Goat	Strain	1
4	Moreira et al.	1999	<i>Veterinary Microbiology</i>	Argentina	Cattle	Culture isolates	50
5	Pavlik et al.	1999	<i>Journal of Microbiological Methods</i>	Argentina	Not reported	Strain	6
6	Bull et al.	2000	<i>Microbiology</i>	Argentina	Cattle	Strain	6
7	Ghadiali et al.	2004	<i>Journal of Clinical Microbiology</i>	Argentina	Goat	Strain	1
8	Overduin et al.	2004	<i>Journal of Clinical Microbiology</i>	Argentina, Venezuela	Cattle	Strain	6
9	Chávez et al.	2004	<i>Veterinaria México</i>	Mexico	Goat	Culture isolates	27
10	Romano et al.	2005	<i>Veterinary Microbiology</i>	Argentina	Cattle	Culture isolates	26**
11	Thibault et al.	2007	<i>Journal of Clinical Microbiology</i>	Venezuela, Argentina	Cattle	Strain	13

Figura 8. Extracto de la Tabla 1 en la que se detalla la información bibliográfica de las citas definitivas

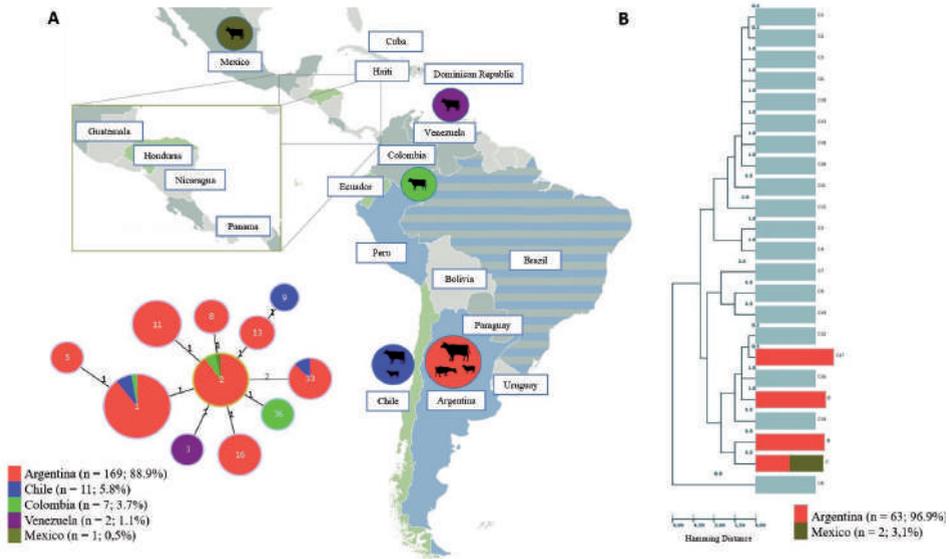
Fuente: Correa-Valencia et al. (2021)

Cons.	Reference	Genotyping method (restriction enzyme, when applies or relevant information)	Results
1	Whipple et al. (1989)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i>)	<i>BstEII</i> (3)- <i>PstI</i> (1) (identical to the reference strain ATCC® 19698™; Merkal, 1979)
2	Whipple et al. (1990)	IS900-RFLP (<i>BclI</i> , <i>BstEII</i> , <i>PstI</i> , <i>PvuII</i>)	<i>BclI</i> (1)- <i>BstEII</i> (3)- <i>PstI</i> (1)- <i>PvuII</i> (3)
3	Francois et al. (1997)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i> , <i>PvuII</i>)	<i>BstEII</i> (c)- <i>PvuII</i> (f)- <i>PstI</i> (i)
4	Moreira et al. (1999)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i>)	<i>BstEII</i> (A, B, C, E); <i>PstI</i> (A, B, C, E)
5	Pavlik et al. (1999)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i>)	<i>BstEII</i> (C1, C19); <i>PstI</i> (B)
6	Bull et al. (2000)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i>) Type-specific IS900-PCR	<i>BstEII</i> (C1, C19); <i>PstI</i> (B) MPIL(M1)
7	Ghadiali et al. (2004)	MLSSR (loci 1, 8)	7g-4ggt
8	Overduin et al. (2004)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i>)	Venezuela: <i>BstEII</i> (R04); Argentina: <i>BstEII</i> (R09, R17, R20, R30, R31)
		VNTR (loci 1067, 1605, 1658, 3527, 3249)	2-2-2-2-2
9	Chávez et al. (2004)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i>)	<i>BstEII</i> (C1)
10	Romano et al. (2005)	IS900-RFLP (<i>BstEII</i> , <i>PstI</i>)	<i>BstEII</i> (C1, C17); <i>PstI</i> (B, G, S). The combined patterns were B-C17, B-C1, S-C17, G-C17, G-C1.
11	Thibault et al. (2007)	hsp65 PCR-REA (<i>BstEII</i> , <i>HaeIII</i>)	Variant I
		IS900-RFLP (<i>BstEII</i>)	Venezuela: <i>BstEII</i> (R04); Argentina: <i>BstEII</i> (R019, R04, R09, R17, R20, R30, R31)
		MIRU-VNTR [loci 292, 1658 (alias X3), 25, 47, 3, 7, 10, 32].	Venezuela: 32332218 (INMV 3); Argentina: 42332228 (INMV 1), 32332428 (INMV 11).
12	Thibault et al. (2008)	MLSSR (loci 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11)	Venezuela: Profile 18; Argentina: Perfiles 9, 20, 21, 36
13	Favila-Humara et al. (2010)	Type-specific IS900-PCR	C type
14	Fernández-Silva et al. (2011)	MIRU-VNTR [loci 1, 2, 3, 4, 292, 1658 (alias X3), 25, 47, 7, 10, 32, 259].	3951-42332228-2 (INMV 1); 3751-32332228-2 (INMV 2)
		MLSSR (loci 1, 2, 8, 9)	7g-10 g-4ggt-5tgc (A); 7g-10g-5ggt-4tgc (B)

Figura 9. Extracto de la Tabla 2 en la que se detalla la información relevante en cuanto a la respuesta de la pregunta de investigación

Fuente: Correa-Valencia et al. (2021)

Finalmente, se incluyó un material gráfico especial para mostrar la información relevante obtenida de una manera precisa (Figura 10).



(A) diagrama completo goeBURST del árbol de expansión mínimo de perfiles INMV
(B) Diagrama de agrupamiento jerárquico

Figura 10. Material gráfico obtenido a partir de los resultados a la revisión sistemática de análisis

Fuente: Correa-Valencia et al. (2021)

En otras situaciones es preferible generar un estimado general de la variable respuesta de interés e investigar cuantitativamente por qué los estimados de la variable respuesta varían entre estudios. Este tipo de abordaje cuantitativo se denomina metaanálisis y se define como el análisis estadístico de una gran colección de resultados de análisis de estudios individuales con el propósito de integrar los hallazgos (Dohoo et al., 2005). El tipo de datos obtenidos en la presente revisión sistemática no sugiere las aproximaciones analíticas que se definen para un metaanálisis.

En una revisión sistemática, el componente Discusión debe contener —así como cualquier artículo original o de revisión— aspectos de contrastación, comparación e hipotetización de los resultados con respecto a la literatura científica disponible y a la realidad del concepto evaluado. Diferencialmente, este tipo de revisiones debe contener las fortalezas y limitaciones de la metodología utilizada y, por lo tanto, la certeza de los resultados obtenidos. Esto también se debe realizar para cada una de las partes primordiales del proceso. La definición de la pregunta, por ejemplo, debe ser específica más no restrictiva, de manera que permita la generalización de los resultados, la definición a priori de los criterios de inclusión y exclusión y el establecimiento de un patrón de búsqueda definido previamente, el cual debe ser claro y cubrir todos los pasos en la realización de la revisión sistemática para minimizar el número de decisiones subjetivas en el proceso. De igual forma, la búsqueda de información debe realizarse en suficientes bases de datos, los procesos de selección deben ser consensuados y su registro y realización debe ser sistemática. El control de sesgos precisa la inclusión de sesgos en ámbitos como los conceptos de búsqueda, las fuentes, la selección, la estimación de calidad, la extracción revisada de la información, la cual debe además ser presentada de forma transparente y permitir la reproducibilidad del proceso de búsqueda y de sus resultados. Finalmente, es necesario que se considere la literatura gris, la cual generalmente es excluida de los buscadores clásicos, como libros de referencia del tema, tesis de grado, informes de trabajos de investigación, material de divulgación, entre otros. Esta no debe tener más de nueve meses de publicación. A continuación se presenta una muestra del texto narrativo a este respecto, incluido en la Discusión de la revisión sistemática de interés:

[...] In a more detailed way, an a priori written protocol (previously reported and endorsed by health-related systematic reviews), based on a clearly stated and



delimited research question was followed. A comprehensive search from several databases and sources to identify relevant studies, including general-purpose databases, search engines, journals, conference proceedings, book chapters, and books from 1910 (CAB Abstracts) to the date was carried out and the eligibility of included studies by using pre-established and explicit inclusion/exclusion criteria all along the process was assessed.

[...] Grey literature was not fully considered, because many of these documents are difficult to find and acquire. Therefore, the authors are aware of missing information that could be reporting MAP genotypes in the hosts and regions of interest that may have not been identified. Snowballing (at different levels) strategy was carried out to diminish the effect of such inadvertence, plus to a hand searching of the 14th ICP proceedings, leading to a maximum yield of relevant articles. Bias may have been introduced by the exclusion of non-English, French, German, Portuguese, or Spanish language studies. (Correa-Valencia et al., 2021, p. 8)

El proceso de sometimiento de este tipo de revisiones cuenta con un grado de complejidad mayor al observado en los estudios originales. Para orientar mejor al lector en dicho proceso recomiendo tener en cuenta que el seguimiento de la metodología PRISMA debe incluir en el material de sometimiento la lista de chequeo de PRISMA (Figura 11), la cual consta de 27 ítems (no todos aplican para todas las revisiones) que dan cuenta del cumplimiento del proceso sistemático y de la inclusión de dicha información en el texto de la revisión, incluyendo la página donde se menciona. Esta es una exigencia de las revistas revisadas por pares e indexadas.

De acuerdo con la experiencia de la autora, es conveniente presentar el título y el resumen de la revisión sistemática al editor en jefe de la revista en la que se desea publicar, así como consultar sobre su interés de recibir el sometimiento de la misma. El resumen debe seguir los lineamientos de la metodología PRISMA en cuanto a su contenido (Beller et al., 2013). Igualmente es conveniente revisar si ya se han publicado revisiones sistemáticas en la revista de interés.



PRISMA 2009 Checklist

Section/topic	#	Checklist item	Reported on page #
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review, meta-analysis, or both.	
ABSTRACT			
Structured summary	2	Provide a structured summary including, as applicable: background; objectives; data sources; study eligibility criteria, participants, and interventions; study appraisal and synthesis methods; results; limitations; conclusions and implications of key findings; systematic review registration number.	
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of what is already known.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of questions being addressed with reference to participants, interventions, comparisons, outcomes, and study design (PICOS).	
METHODS			
Protocol and registration	5	Indicate if a review protocol exists, if and where it can be accessed (e.g., Web address), and, if available, provide registration information including registration number.	
Eligibility criteria	6	Specify study characteristics (e.g., PICOS, length of follow-up) and report characteristics (e.g., years considered, language, publication status) used as criteria for eligibility, giving rationale.	
Information sources	7	Describe all information sources (e.g., databases with dates of coverage, contact with study authors to identify additional studies) in the search and date last searched.	
Search	8	Present full electronic search strategy for at least one database, including any limits used, such that it could be repeated.	
Study selection	9	State the process for selecting studies (i.e., screening, eligibility, included in systematic review, and, if applicable, included in the meta-analysis).	
Data collection process	10	Describe method of data extraction from reports (e.g., piloted forms, independently, in duplicate) and any processes for obtaining and confirming data from investigators.	
Data items	11	List and define all variables for which data were sought (e.g., PICOS, funding sources) and any assumptions and simplifications made.	
Risk of bias in individual studies	12	Describe methods used for assessing risk of bias of individual studies (including specification of whether this was done at the study or outcome level), and how this information is to be used in any data synthesis.	
Summary measures	13	State the principal summary measures (e.g., risk ratio, difference in means).	
Synthesis of results	14	Describe the methods of handling data and combining results of studies, if done, including measures of consistency (e.g., I^2) for each meta-analysis.	

Page 1 of 2



PRISMA 2009 Checklist

Section/topic	#	Checklist item	Reported on page #
Risk of bias across studies	15	Specify any assessment of risk of bias that may affect the cumulative evidence (e.g., publication bias, selective reporting within studies).	
Additional analyses	16	Describe methods of additional analyses (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression), if done, indicating which were pre-specified.	
RESULTS			
Study selection	17	Give numbers of studies screened, assessed for eligibility, and included in the review, with reasons for exclusions at each stage, ideally with a flow diagram.	
Study characteristics	18	For each study, present characteristics for which data were extracted (e.g., study size, PICOS, follow-up period) and provide the citations.	
Risk of bias within studies	19	Present data on risk of bias of each study and, if available, any outcome level assessment (see item 12).	
Results of individual studies	20	For all outcomes considered (benefits or harms), present, for each study: (a) simple summary data for each intervention group (b) effect estimates and confidence intervals, ideally with a forest plot.	
Synthesis of results	21	Present results of each meta-analysis done, including confidence intervals and measures of consistency.	
Risk of bias across studies	22	Present results of any assessment of risk of bias across studies (see Item 15).	
Additional analysis	23	Give results of additional analyses, if done (e.g., sensitivity or subgroup analyses, meta-regression [see Item 16]).	
DISCUSSION			
Summary of evidence	24	Summarize the main findings including the strength of evidence for each main outcome; consider their relevance to key groups (e.g., healthcare providers, users, and policy makers).	
Limitations	25	Discuss limitations at study and outcome level (e.g., risk of bias), and at review-level (e.g., incomplete retrieval of identified research, reporting bias).	
Conclusions	26	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence, and implications for future research.	
FUNDING			
Funding	27	Describe sources of funding for the systematic review and other support (e.g., supply of data); role of funders for the systematic review.	

From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(6): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed.1000097

For more information, visit: www.prisma-statement.org

Page 2 of 2

Figura 11. Lista de chequeo de PRISMA para el sometimiento del manuscrito a partir de la revisión sistemática de análisis
Fuente: Moher et al. (2009)

4. Conclusiones

La información obtenida a partir del presente diseño de búsqueda sistemática les permite a los autores proponer que los estudios adicionales en esta área deben seguir pautas estandarizadas al diseñar e implementar enfoques de investigación de aspectos moleculares de MAP, así como al reportar sus resultados.

Una revisión sistemática es un proceso riguroso que permite identificar y sintetizar la evidencia disponible que aborda una cuestión clave. Sin embargo, dicho proceso debe realizarse responsablemente para no incurrir en el riesgo de sesgo de los estudios (es decir, “basura entra, basura sale”). Para ello, los autores deben respaldarse en los estándares existentes y más recientes, los cuales les ayudarán en la colección y reporte de información a partir de revisiones sistemáticas válidas, procesables y reproducibles. Actualmente se encuentra disponible una nueva versión de la guía PRISMA (Page et al., 2020).

Referencias bibliográficas

- Beller, E. M., Glasziou, P. P., Altman, D. G., Hopewell, S., Bastian, H., Chalmers, I., Gøtzsche, P. C., Lasserson, T. & Tovey, D. (2013). PRISMA for Abstracts: Reporting Systematic Reviews in Journal and Conference Abstracts. *PLoS Medicine*, 10(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001419>
- Chang, S. M., Carey, T. S., Kato, E. U., Guise, J. M. & Sanders, G. D. (2012). Identifying research needs for improving health care. *Annals of Internal Medicine*, 157(6):439-45 <https://doi.org/10.7326/0003-4819-157-6-201209180-00515>
- Correa-Valencia, N. M., Moyano, R. D., Hernández-Agudelo, M. & Fernández-Silva, J. A. (2021) *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* (MAP) molecular diversity in cattle, sheep, and goats from Latin America and the Caribbean: a systematic review. *Tropical Animal Health and Production*, 53:468. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02923-9>

- Dohoo, I., Martin, W. & Stryhn, H. (2005). *Veterinary Epidemiologic Research*. Atlantic Veterinary College, Charlottetown, PE, Canada, 2003.
- Gupta, R., Wayangankar, S. A., Targoff, I. N. & Hennebry, T. A. (2011). Clinical cardiac involvement in idiopathic inflammatory myopathies: A systematic review. *International Journal of Cardiology*, 148(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2010.08.013>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J. & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Journal of Clinical Epidemiology*, 6(7)<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. G. (2009). Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed1000097>
- Moher, D., Stewart, L. & Shekelle, P. (2016). Implementing PRISMA-P: Recommendations for prospective authors. *Systematic Reviews*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-016-0191-y>
- Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372. <https://doi.org/10.1136/BMJ.N71>
- Sahrmann, P., Attin, T. & Schmidlin, P. R. (2011). Regenerative treatment of peri-implantitis using bone substitutes and membrane: A systematic review. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1111/j.1708-8208.2009.00183.x>
- Stovold, E., Beecher, D., Foxlee, R. & Noel-Storr, A. (2014). Study flow diagrams in Cochrane systematic review updates: An adapted PRISMA flow diagram. *Systematic Reviews*, 3. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-3-54>
- Torres Pombert, A. (2003). El uso de los buscadores en Internet. *ACIMED*. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352003000300004
- EQUATOR Network. (n.d.). EQUATOR Network: What we do and how we are organised. Disponible en: <https://www.equator-network.org/about-us/equator-network-what-we-do-and-how-we-are-organised/>
- Umscheid, C. A. (2013). A primer on performing systematic reviews and meta-analyses. *Clinical Infectious Diseases*, 57(5). <https://doi.org/10.1093/cid/cit333>



Capítulo 5.

La sistematización de experiencias como estrategia para la gestión del conocimiento en la Facultad de Ciencias Agrarias

Holmes Rodríguez Espinosa

Ing Agric, MSc, PhD, Profesor titular, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación Gamma.

Rosa Elsa Pérez Peña

MV, MSc. Profesora ocasional, Universidad de Antioquia, Grupo de Investigación Biogénesis

Resumen

Desde la perspectiva de la investigación cualitativa, la sistematización de experiencias brinda enormes posibilidades a las instituciones de educación superior para la gestión del conocimiento generado en sus tres ejes misionales: docencia, investigación y extensión. Este capítulo tiene como propósito presentar el caso de la sistematización de experiencias como estrategia para la gestión del conocimiento en la Facultad de Ciencias Agrarias. Se utilizó un enfoque cualitativo de tipo fenomenológico mediante la sistema-



tización de la experiencia de la gestión del conocimiento del ejercicio docente. Se encontró que la sistematización de experiencias permitió a muchos docentes aproximarse al enfoque cualitativo y comprender su utilidad y aplicación en la gestión del conocimiento generado en su quehacer en las actividades de docencia, investigación y extensión; al mismo tiempo, generó dinámicas de trabajo colaborativo con pares y estudiantes. Se concluye que la sistematización de experiencias es una estrategia útil y benéfica para las instituciones de educación superior para poner al servicio de la sociedad el conocimiento generado por los integrantes de la comunidad académica, por lo que se requiere el apoyo decidido de las directivas de manera que se convierta en una práctica regular en este tipo de instituciones.

Palabras clave: *enfoque cualitativo, sistematización*

1. Introducción

Si bien las instituciones de educación superior son reconocidas mundialmente como organizaciones generadoras de conocimiento, existen cuestionamientos sobre la manera en que este se genera, se difunde y se transfiere. Además, existe una preocupación particular por la forma en que el conocimiento se utiliza al interior de estas instituciones (Castro et al., 2019) en términos de los procesos de docencia, investigación y extensión, pues no siempre es valorado y documentado.

Las universidades son vistas como un actor principal en el desarrollo socioeconómico de los territorios en los cuales se encuentra su área de influencia, por medio del establecimiento de relaciones de colaboración e intercambio con su entorno para la generación, apropiación y transferencia de conocimiento (Acevedo et al., 2020). Por ello es muy impor-



tante gestionar adecuadamente el conocimiento (Michelino et al., 2015) adquirido a través de la experiencia, teniendo en cuenta que es un bien intangible que se constituye como una herramienta competitiva.

En este contexto se concibe como gestión del conocimiento al proceso que permite implementar estrategias de reconocimiento y sistematización de los conocimientos y aprendizajes que se generan en los ejes misionales universitarios (Asma & Abdellatif, 2016) para que puedan ser distribuidos, aplicados y adaptados, así como para mejorar su productividad y funcionamiento (De Molero et al., 2017), de manera que sus activos de conocimiento generen oportunidades para mejorar la calidad de las actividades sustantivas de docencia, investigación y extensión (Rodríguez et al., 2014).

Para el caso de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, se tiene la generación de conocimiento científico y tecnológico como una estrategia de aporte al fortalecimiento del sector agropecuario, específicamente al Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria. No obstante, la escasez de políticas institucionales que promuevan de manera intencionada el relacionamiento entre los profesores investigadores y los extensionistas, la insuficiente formación del personal de esta facultad en temas relacionados con la gestión del conocimiento y la poca cultura de trabajo interdisciplinario y colaborativo entre los grupos de investigación, desfavorecen el logro de mayores niveles de relacionamiento con el entorno.

Adicionalmente, el predominio del método positivista en la investigación en las Ciencias Agrarias ocasiona que los procesos investigativos se apoyen en una aceptación de un lenguaje universal guiado por el interés de la descripción-explicación objetiva de los datos del mundo y su demostración estadísticamente representativa. Esto hace que se desconozcan las ventajas que ofrece la perspectiva de investigación cualitati-



va, la cual se asocia a paradigmas, preconcepciones, creencias y formas de pensar asentadas por años en los claustros de enseñanza superior en los que persisten confusiones como pensar que por tomar variables cualitativas en una investigación de corte cuantitativo ya se hace un abordaje desde la perspectiva cualitativa o, por el contrario, que por plantear una estadística descriptiva básica en una investigación de corte cualitativo se está abordando un enfoque mixto de investigación.

En esta perspectiva de investigación cualitativa, la sistematización de experiencias es un abordaje orientado a la generación de un relato descriptivo de una situación desde las diferentes miradas de los actores relacionados con determinada práctica. Así, se posibilita la autoevaluación y la identificación de los aspectos a mejorar en la práctica que se analiza (Mera, 2019), al tiempo que se facilita el ordenamiento de información precisa estableciendo categorías y relaciones para la constitución de bases de datos (Acosta, 2005).

Con base en lo anterior, el objetivo de este capítulo fue analizar el potencial de la sistematización de experiencias como estrategia para la gestión del conocimiento en la Facultad de Ciencias Agrarias, con el fin de brindar elementos prácticos orientados al desarrollo de capacidades de la comunidad académica para el aprovechamiento del ejercicio profesoral, como fuente de aprendizaje que permita la entrega a la sociedad de nuevo conocimiento.

2. Características de la perspectiva de investigación cualitativa

A continuación se plantean algunas características de la perspectiva de investigación cualitativa que los autores consideran importantes para

el profesional interesado en utilizar este enfoque para llevar a cabo procesos de sistematización de experiencias. A su vez, estas características sustentan la utilización de esta metodología para la gestión del conocimiento en las instituciones de educación superior.

2.1. Cuestiones de enfoque o perspectiva

Cuando se decide investigar sobre una problemática, un suceso, una necesidad o una situación específica, lo primero que se debe hacer es determinar el enfoque o marco referencial a partir del cual vamos a mirarla. En investigación existen dos enfoques o perspectivas macro: cuantitativo y cualitativo. Ambos buscan resolver problemas o producir conocimiento en el campo científico y no son necesariamente excluyentes. La elección de uno u otro depende básicamente de lo que el investigador desea obtener como producto o de la situación a resolver. Puede decirse que existen dos caminos para ver esa realidad (Figura 1).

Antes de seleccionar un enfoque metodológico es necesario pensar si la intención es demostrar algo o mostrar lo que sucede en una situación y, por otro lado, si se pretende partir de una hipótesis para mostrar su veracidad o si se va a teorizar sobre la realidad. Adicionalmente, es importante considerar si el interés es generalizar los resultados para su explicación causal o individualizarlos para su comprensión (hermenéutica) (Tabla 1).

2.2. La muestra

Uno de los objetivos principales del enfoque o perspectiva cuantitativa es realizar inferencia estadística, es decir, generalizar para toda la población los resultados extraídos de una muestra. Bajo esta lógica, todos los sujetos que hacen parte de la población (el universo del estudio) tie-

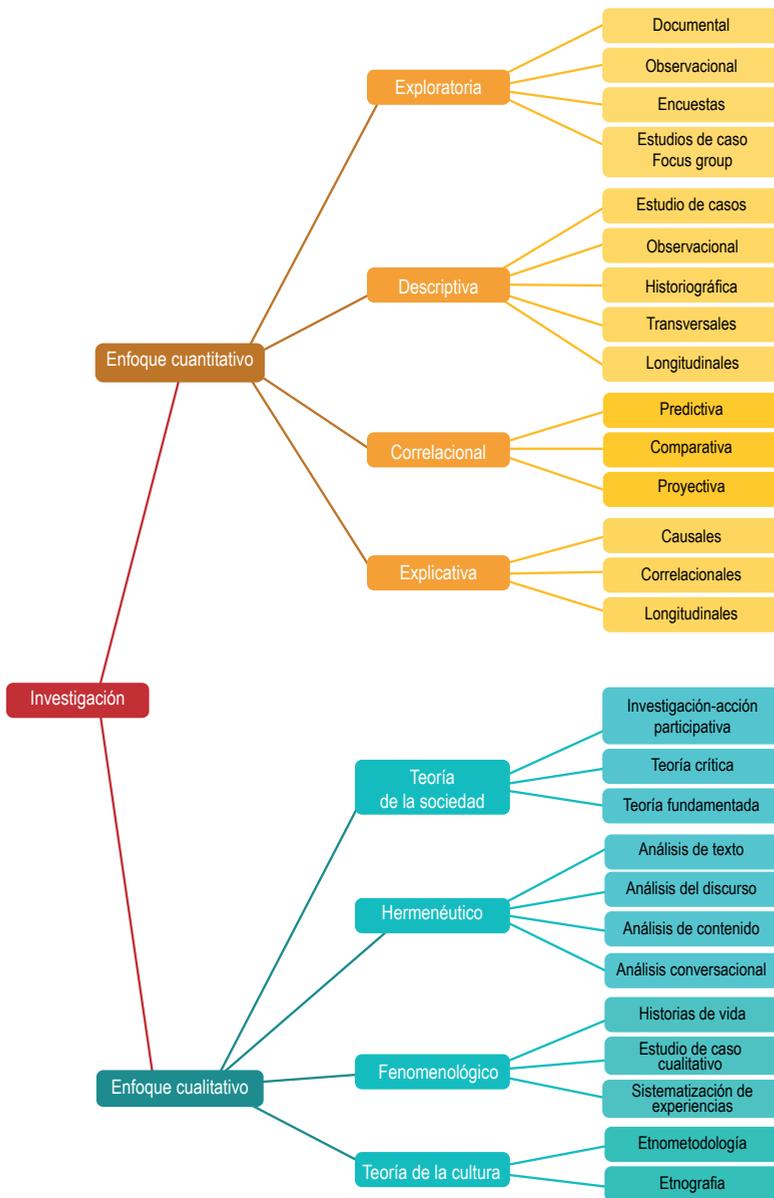


Figura 1. Esquema de los enfoques cuantitativo y cualitativo

Fuente: Sandoval C. (2002)

Tabla 1. Comparación entre los propósitos del enfoque cuantitativo y el cualitativo

Características	Enfoque cuantitativo	Enfoque cualitativo
Intención	Demostrar: hacer patente que determinada cosa es verdad o se cumple, generalmente por medio de algún razonamiento o acción. Resolver la dicotomía verdadero/falso.	Mostrar: exponer algo a la vista, señalar algo para que se vea, hacer explícito lo implícito. Explicar qué es, cómo sucede y por qué pasa algo.
Pretensión	Parte de una hipótesis: suposición hecha a partir de unos datos que sirven para responder tentativamente a un problema.	Parte de la realidad social: indagación de los fenómenos para comprender el fin último al que se dirige una acción u operación resultado de una serie de procesos.
Interés	Generalizar: abstraer lo que es común a muchas cosas formando un concepto que las comprenda a todas.	Particularizar: señalar las particularidades o los detalles de una cosa. Expresar una cosa con todas sus circunstancias y detalles; individualizar, especificar, profundizar

Fuente: elaboración propia

nen la misma probabilidad de hacer parte de la muestra escogida. Por el contrario, en el enfoque cualitativo no todos los sujetos que hacen parte de la población o universo tienen la misma probabilidad de formar parte de la muestra. De esta manera, se escogen las unidades a entrevistar siguiendo criterios de conveniencia del investigador o de los objetivos de la investigación, por lo que se utiliza el muestreo no probabilístico (Francés, 2017) (Figura 2).

2.3. Variables cualitativas y categorías: la confusión

Como se mencionó previamente, una de las confusiones más frecuentes es pensar que utilizar variables cualitativas en una investigación de

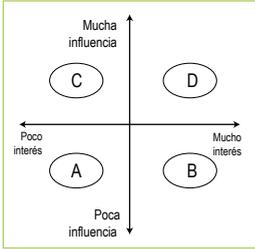
Cuantitativo	Cualitativo
<p>Muestra: Aleatoria o probabilística Cada uno de los elementos de la población tiene la misma probabilidad de integrar parte de la muestra.</p> <p>Fórmula de probabilidad</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $n = \frac{z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{NE^2 + z^2 p \cdot q}$ </div> <p>Z= Nivel de confianza N= Población-Censo p= Probabilidad a favor q= Probabilidad en contra e= Error de estimación n= Tamaño de la muestra</p>	<p>Muestra: Intencional no probabilística Selección cuidadosa de sujetos con ciertas características definidas previamente en el planteamiento del problema.</p> <p>Selección de actores clave</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: 10px auto;">  <p>El diagrama muestra un cuadrante con ejes de 'Mucha influencia' (arriba) vs 'Poca influencia' (abajo) y 'Poco interés' (izquierda) vs 'Mucho interés' (derecha). Los cuadrantes están etiquetados como C (arriba-izquierda), D (arriba-derecha), A (abajo-izquierda) y B (abajo-derecha).</p> </div>

Figura 2. La muestra en los enfoques cuantitativo y cualitativo

Fuente: elaboración propia

corte cuantitativo hace que exista un abordaje desde la perspectiva cualitativa o, por el contrario, que se está abordando un enfoque mixto de investigación por plantear una estadística descriptiva básica en una investigación de corte cualitativo (Tabla 2).

2.4. *Triangulación metodológica*

Tal como lo menciona Pereira (2011), la utilización de diseños de investigación no excluyentes son una excelente alternativa para abordar temáticas de investigación en escenarios complejos. Esta forma de investigar, también llamada de multimétodos, métodos mixtos o triangulación metodológica, parte de una posición pragmática en la que el valor o veracidad de una expresión se determina por las experiencias o conse-

Tabla 2. Características de las variables en el enfoque cuantitativo y las categorías en el enfoque cualitativo

Cuantitativo	Cualitativo
<p>Variables cuantitativas: Magnitud medible y observable Expresada en números</p> <p>Variables cualitativas: Magnitud que no puede medirse. El investigador le asigna un valor. Expresada en cualidades o características exteriores, por ejemplo: Color: oscuro (3), claro (1), tenue (2) Género: masculino- femenino Raza: criollo, puro, cruces Percepción: bueno (3), regular (2), malo (1)</p>	<p>Categorías iniciales: Tópicos del problema o situación, los cuales se plantean al inicio de la investigación.</p> <p>Categorías emergentes Surgen en el proceso investigativo, durante la interpretación de la información recolectada en las entrevistas semiestructuradas o en los textos.</p> <p>Unidades semánticas de sistematización y análisis de información</p>

Fuente: elaboración propia.

cuencias prácticas que tiene en la realidad o por la comprensión que se hace de ella, la cual ofrece mayor sentido a los datos numéricos.

Los diseños investigativos varían según el enfoque o perspectiva de investigación que se enfatice y el orden o secuencia en que se utilicen. Cuando se da un mismo valor a ambos enfoques la investigación puede ser concurrente (CUAL+CUAN) o secuencial (primero CUAL y luego CUAN, o primero CUAN y luego CUAL). Cuando no existe igualdad de estatus, los diseños pueden tomar las siguientes formas: concurrente con estatus predominante cualitativo (CUAL + cuan) o concurrente con estatus predominante cuantitativo (CUAN + cual). Por su parte, el esta-



tus secuencial con predominancia cualitativa es CUAL→cuan o cuan → CUAL y el estatus secuencial con dominancia cuantitativa sería cual → CUAN o CUAN →cual.

Los métodos mixtos permiten comprender de mejor manera los escenarios complejos de investigación, lo cual permite comprender mejor la mirada de los actores sociales presentes y confirmarla a través de datos extendidos a grupos similares o a una mayor población, así como por medio de la toma de datos generalizados y la observación sobre cómo los vivencian e interpretan los actores locales en un contexto determinado.

2.5. Aportes de la perspectiva de investigación cualitativa

En la investigación cualitativa el problema de investigación gira en torno a lo que sienten, piensan y hacen en la vida diaria y cómo lo interpretan los actores locales. Su objeto de estudio es el sujeto, la persona, con sus representaciones, imaginarios, creencias, costumbres, experiencias, expectativas y motivaciones. Para los investigadores cualitativos medir es valorar, reconocer, apreciar el valor, mérito o importancia de una persona, un objeto o una acción de manera explícita en un contexto determinado. Algo diferente sucede con la investigación cuantitativa, la cual busca medir o comparar un patrón seleccionado con el objeto o fenómeno cuya magnitud física se desea medir para ver cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud.

El enfoque o perspectiva cualitativa aporta a las ciencias agrarias una visión integral de la realidad, entendida bajo una mirada compleja y no como la mera sumatoria de las partes. Este enfoque pone en conversación lo que sienten, piensan, creen y hacen en la vida diaria los actores, así como las múltiples formas en que lo interpretan en un territorio específico que tiene unas condiciones sociales, políticas, históricas, eco-

nómicas, ambientales, ocupacionales, educativas, productivas y tecnológicas determinadas (Figura 3).



Figura 3. Visión integral del contexto rural

Fuente: elaboración propia

3. Metodología

3.1. Diseño

Se utilizó un enfoque cualitativo de tipo fenomenológico mediante la sistematización de la experiencia en gestión del conocimiento derivado del ejercicio de docentes investigadores en facultades de Ciencias Agrarias, en áreas relacionadas con la investigación cualitativa. Se realizó un estudio con la técnica de sistematización de experiencias, que en este escrito se entenderá como la organización de información existente para entender los cambios ocurridos durante un proceso, sus resultados y los aprendizajes obtenidos. Para ello se utilizó una adaptación de



la metodología propuesta por la FAO (Acosta, 2005) que consta de tres fases: 1) descripción de la experiencia, 2) identificación de los factores de éxito y limitaciones y 3) identificación de las lecciones aprendidas.

La experiencia sistematizada corresponde a uno de los proyectos establecidos en el Plan de Acción de la Facultad de Ciencias Agrarias 2018-2021, denominado “Gestión de la innovación”, el cual tuvo como uno de sus componentes la gestión del conocimiento. A través de este componente se buscó la sistematización de los saberes propios del ejercicio profesoral, la diversificación de canales de publicación y la consolidación de redes de conocimiento para el desarrollo docente.

3.2. Categorías de análisis

Se utilizaron las siguientes categorías de análisis: a) descripción de la experiencia, b) ejes de la sistematización, c) experiencias seleccionadas, d) lecciones aprendidas, e) limitaciones y f) implicaciones.

3.3. Recolección de datos

Para la descripción de la experiencia se realizó revisión documental de los informes de ejecución del plan de acción de la facultad en el período analizado. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la percepción de los actores que contribuyeron con manuscritos para las obras.

3.4. Análisis de la información

La información fue analizada utilizando la técnica de triangulación, para lo cual se comparó la percepción de los autores, los directivos y los resultados de esta experiencia con los hallazgos reportados en la literatura científica. Con base en este análisis se plantearon las conclusiones e implicaciones del estudio.

4. Resultados y discusión

4.1. Descripción de la experiencia

Implementar el enfoque cualitativo en la gestión del conocimiento en la Facultad Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia en el período 2018-2021 tuvo como propósito recuperar algunos elementos significativos de las intervenciones realizadas por los docentes, encaminadas no solo a mejorar el aporte a la sociedad sino también al fortalecimiento de sus capacidades para la generación de nuevo conocimiento a partir la reflexión teórica de las experiencias vividas y el trabajo colaborativo con otros docentes investigadores.

Se realizaron cuatro convocatorias abiertas a la comunidad académica para la recolección de capítulos de libro orientados a mejorar la difusión del conocimiento generado en la facultad en sus tres ejes misionales: docencia, investigación y extensión. Además, se buscó la integración del mayor número posible de autores para mejorar la visibilidad de lo que se hace en la facultad y para contribuir a la sociedad mediante la gestión del conocimiento.

Las convocatorias fueron realizadas a través del correo electrónico de los integrantes de la comunidad académica de la facultad y en la invitación a enviar contribuciones se detallaron aspectos como la justificación de la obra en relación con el plan de acción de la dependencia, la descripción de los tipos de innovación a publicar, los lineamientos para la presentación de los trabajos, las indicaciones sobre las secciones a desarrollar en el manuscrito y sus especificaciones, el cronograma de la convocatoria y los datos de contacto para consultar información complementaria.

Los criterios para la aceptación de las contribuciones enviadas por los integrantes de la comunidad académica de la facultad fueron: 1) rele-



vancia de la temática en la actualidad, 2) replicabilidad, 3) grado de innovación, 4) calidad del manuscrito en términos de los aportes al cambio de concepciones de la realidad del ejercicio profesoral y 5) aportes metodológicos. No obstante, todas las contribuciones seleccionadas pasaron posteriormente por un proceso de evaluación por pares para ser publicadas por el Fondo Editorial Biogénesis.

Debido a la articulación de la iniciativa al plan de acción institucional, se contó con la financiación para la publicación de cuatro obras con recursos de la dependencia. Adicionalmente, y debido a la gran acogida que tuvo este proyecto, se gestionó la financiación de la quinta obra por parte del Centro de Desarrollo Agrobiotecnológico (Cedait) de la Universidad de Antioquia.

4.2. Ejes de la sistematización

4.2.1. Innovación educativa

El primer volumen tuvo como propósito sistematizar innovaciones educativas para contribuir al Subsistema de Formación y Capacitación para la Innovación Agropecuaria del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, el cual busca mejorar la calidad y pertinencia de los programas de formación y capacitación de los profesionales del sector. En este caso se solicitaron los siguientes tipos de innovaciones: a) metodológicas, b) en la evaluación, c) tecnológicas y d) en la gestión del aprendizaje.

En cuanto a innovaciones metodológicas se tuvieron en cuenta experiencias como: aula invertida, laboratorio vivo, aprendizaje cooperativo y colaborativo, entre otras, y estrategias didácticas como el aprendizaje basado en: problemas, proyectos, emprendimiento, investigación, escenarios, retos, servicio, entre otros. Respecto a las innovaciones en la evaluación se consideraron experiencias de evaluación por evidencias,

autoevaluación, evaluación por pares, coevaluación, uso de rúbricas de evaluación, entre otras.

En cuanto a las innovaciones tecnológicas, se tuvieron en cuenta experiencias en el uso didáctico de objetos virtuales de aprendizaje, recursos educativos digitales, ambientes virtuales de aprendizaje (Moodle, Classroom), web 2.0 (blogs, wikis, redes sociales), videos educativos, m-learning, simuladores, gamificación, e-portafolios, realidad virtual, realidad aumentada, entre otros. Finalmente, en referencia a las innovaciones en la gestión del aprendizaje se consideraron experiencias en el uso de big data y learning analytics para la toma de decisiones en el aula de clase; seguimiento al desarrollo de competencias como el trabajo en equipo, capacidad de gestión o toma de decisiones por parte de los estudiantes y generación de nuevo conocimiento en el aula por medio de procesos de innovación abierta, co-creación, generación de contenidos digitales, entre otras.

4.2.2. Innovación en extensión

El segundo volumen tuvo como propósito recopilar experiencias exitosas de innovación agropecuaria aplicadas a la prestación de servicios de extensión agropecuaria. Esto para contribuir al “Subsistema de Extensión Agropecuaria” del “Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria”. En este contexto, se entiende por innovación agropecuaria la introducción de nuevos productos, bienes, servicios, procesos y métodos que incorporen mejoras significativas en el desempeño del sector agropecuario, las cuales pueden ser en el ámbito productivo, de transformación o adecuación de la producción, administrativo, organizacional, financiero y crediticio, informático y de mercadeo y comercialización (Ley 1876 de 2017).

Para este volumen los tipos de innovaciones solicitadas fueron: a) metodológicas, b) en la medición de impacto, c) tecnológicas y d) en la ges-



ción. En cuanto a las innovaciones metodológicas se tuvieron en cuenta experiencias en el uso de metodologías para el acompañamiento a los productores agropecuarios como: laboratorio vivo, aprendizaje colaborativo, entre otros. Respecto a las innovaciones en la medición de impacto se consideraron experiencias de seguimiento y evaluación del impacto de los procesos de acompañamiento a los productores agropecuarios.

Por su parte, en innovaciones tecnológicas se tuvieron en cuenta experiencias en el uso de tecnologías para mejorar la calidad del acompañamiento a los productores agropecuarios como recursos educativos digitales, ambientes virtuales de aprendizaje, sistemas de gestión de información, entre otros. Finalmente, en innovaciones en la gestión se consideraron experiencias en el uso de herramientas para la toma de decisiones en el proceso de acompañamiento a los productores agropecuarios como seguimiento al desarrollo de capacidades individuales, sociales y colectivas y generación de nuevo conocimiento por medio de procesos de innovación abierta que involucren a los productores.

4.2.3. Innovación investigativa

El tercer volumen tuvo como propósito recopilar las experiencias de abordajes metodológicos innovadores de la investigación para contribuir al Subsistema Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, creado por la Ley 1876 de 2017. Debido a la cantidad de contribuciones recibidas, se construyó un cuarto volumen con esta misma temática.

Se concibió por abordaje metodológico innovador la introducción en los proyectos de investigación de metodologías orientadas a mejorar la apropiación social y la co-creación del conocimiento, así como métodos y técnicas que contribuyen a mejorar el impacto de la investigación en

la generación de capacidades de los actores del sector agropecuario. Así, se concibe la metodología como el discurso y reflexión sobre el método y su objeto; al método como la selección de técnicas adecuadas para la investigación y a las técnicas como las herramientas utilizadas para la recolección y análisis de los datos.

Para este volumen se solicitaron innovaciones como: a) experiencias en el uso de enfoques metodológicos cualitativos (teoría fundamentada, análisis de conversación, análisis de textos, estudios cualitativos de caso e historias de vida); b) experiencias en el uso de revisiones sistemáticas o metaanálisis (investigaciones científicas basadas en estudios originales primarios); c) experiencias en el uso de técnicas de análisis multivariado y sistemas de ecuaciones estructurales (SEM) y d) experiencias de investigación en el uso de metodologías educativas, de formación, de capacitación y de extensión.

4.2.4. Innovación multi-referencial

El quinto volumen tuvo como propósito recopilar experiencias multi-referenciales de innovación llevadas a cabo en el ejercicio docente, en cumplimiento de los tres ejes misionales, para contribuir a los tres subsistemas del Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, creado por la Ley 1876 de 2017.

Se concibió como experiencia multi-referencial de innovación la introducción de nuevos procesos y métodos que incorporen mejoras significativas en el desempeño del docente universitario y que promuevan la apropiación social del conocimiento y la generación de capacidades en el sector agropecuario.

Para este volumen se solicitaron innovaciones como: a) experiencias de innovación educativa: metodologías de formación, evaluación, uso de



tecnologías y gestión del aprendizaje, orientación y tutoría, prácticas académicas, aulas interactivas, posgrado, entre otras; b) experiencias de innovación extensionista: metodologías de intervención, medición de impacto, uso de tecnologías y gestión del proceso y c) experiencias de innovación investigativa: metodologías de investigación, técnicas de análisis cuantitativas y cualitativas, uso de tecnologías, gestión de la investigación.

4.3. Experiencias seleccionadas

Como resultado del proceso de sistematización se recopilaron 31 experiencias con un total de 102 autores, de los cuales 60 fueron profesores vinculados, ocasionales y de cátedra, 13 estudiantes de pregrado y de posgrado de la facultad, 14 egresados, 3 administrativos y 12 colaboradores externos. Con estas contribuciones se consolidaron 5 volúmenes que se publicaron con el Fondo Editorial Biogénesis, adscrito a la facultad (Tabla 3).

Tabla 3. Experiencias seleccionadas en cada volumen

Volumen	Experiencias	Autores
Innovación educativa	Las percepciones de los profesores de Medicina Veterinaria de la Universidad de Antioquia sobre la autoevaluación de los aprendizajes	3
	Análisis de la evaluación como estrategia para la toma de decisiones en el proceso de enseñanza-aprendizaje	3
	Enseñanza y aprendizaje de la anatomía veterinaria a través de un enfoque didáctico multimodal	2
	Autoevaluación en el curso de Diseño Experimental en la Universidad de Antioquia	1
	Laboratorio vivo para el aprendizaje de pastos y forrajes	3
	Mini-investigaciones para la formación en suelos en las áreas agrícolas	3

Volumen	Experiencias	Autores
Innovación extensionista	Uso de las TIC para el fortalecimiento de los procesos de extensión agropecuaria con cacaoautores de San Vicente de Chucurí, Santander	2
	Evaluación integral de sistemas de producción de hortalizas bajo el enfoque agroecológico	3
	Desarrollo de plataforma para la evaluación de programas de extensión agropecuaria (PEPEApp) como herramienta para la toma de decisiones	3
	Análisis geoespacial de la consolidación de los Consejos Municipales de Desarrollo Rural en Antioquia	3
	Modelo de prácticas en Ingeniería Agropecuaria: una pedagogía innovadora para el desarrollo regional	2
Innovación investigativa (vol 1)	Abordaje metodológico integrador para el análisis de sistemas territoriales de innovación	2
	Laboratorios territoriales como experiencia innovadora en el acompañamiento técnico, económico y social a familias productoras de cacao	5
	Análisis de referentes teóricos de un modelo antropológico de extensión agropecuaria con enfoque social constructivista	4
	Sistemas silvopastoriles: estrategia para la articulación de la ganadería bovina a los desafíos del siglo XXI	3
	Evaluación de la adopción de tecnologías en producción lechera	10
Innovación investigativa (vol 2)	Caracterización y tipificación de los sistemas de producción de frijol en el municipio de El Carmen de Viboral bajo un enfoque multivariado	3
	Análisis abductivo de las interacciones proteómicas y metabólicas en un modelo lactocito bovina	2
	De MANOVA a npMANOVA	1
	Experiencias en la construcción de revisiones sistemáticas	1
	La perspectiva de investigación cualitativa en las Ciencias Agrarias	2
	Desarrollo de una aplicación web: herramienta para facilitar el proceso de aprendizaje	2
	Porcópolis: una experiencia transdisciplinaria integradora de ciencia, tecnología, arte y educación para el sector agrario	8

Volumen	Experiencias	Autores
Innovación multi-referencial	Pautas metodológicas para el análisis de sistemas de innovación en cadenas agroalimentarias	6
	Hibridación entre los métodos cualitativos y cuantitativos-aplicaciones en trabajo de campo-	4
	Evaluación agroecológica de tres sistemas productivos de frijol (<i>phaseolus vulgaris</i> L), en el oriente antioqueño, Colombia	3
	Lineamientos para la formulación participativa de programas de desarrollo agropecuario local	3
	El análisis de clúster como herramienta para la toma de decisiones basadas en la tipificación de los usuarios	3
	El retorno social de la inversión (SROI) en los Laboratorios Territoriales de Necoclí y Cauca	4
	Uso de espectroscopía de infrarrojo cercano NIRS para predecir algunas propiedades químicas de los suelos en Antioquia	3
	Estudios ecoepidemiológicos en zoonosis: caso leishmaniosis treinta años de su estudio	4

Fuente: elaboración propia

4.4. Lecciones aprendidas

La sistematización de estas experiencias permitió evidenciar el potencial de generación de conocimiento por parte de los profesores de la facultad, quienes respondieron positivamente ante la iniciativa. Además, los docentes diversificaron los canales de publicación para poner al servicio de la sociedad los resultados de sus actividades en el ejercicio docente en los tres ejes misionales universitarios: docencia, investigación y extensión. Los autores, con quienes se mantuvo contacto durante el proceso editorial, manifestaron su satisfacción por la implementación de esta iniciativa y consideraron que se debe institucionalizar.

Las experiencias sistematizadas permitieron la identificación de herramientas para mejorar la labor docente, tanto en el aula como en su rol

como generadores de conocimiento. Adicionalmente, el ejercicio contribuyó a la difusión de conocimiento, lo cual lo hace más útil para la sociedad y aporta a la transformación de las metodologías tradicionales para generar docentes creadores y aportantes al mejoramiento de la productividad y competitividad del sector agropecuario. Por otra parte, esta sistematización permitió promover el trabajo colaborativo, mediante la elaboración de las contribuciones, entre docentes de la facultad y entre éstos y los estudiantes de pregrado y posgrado, al igual que los egresados, con lo cual se favorece la generación de redes de conocimiento que sin duda mejorarán la gestión del conocimiento en la facultad.

Se puede afirmar que las universidades precisan crear una estrategia que promueva la gestión del conocimiento generado en el cumplimiento de sus 3 ejes misionales, de manera que sus docentes se involucren activamente en la sistematización de experiencias que puedan ser conocidas por la sociedad y utilizadas para contribuir al desarrollo humano y social que exigen las naciones del siglo XXI. Lo anterior implica un cambio de mentalidad en los docentes y en las directivas, pues los primeros deben motivarse a participar en redes de generación de conocimiento y los segundos a promover este tipo de ejercicios.

Este ejercicio permitió además generar conocimiento útil para el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria, el cual puede servir como guía para otros actores del sistema y también para las entidades encargadas de coordinar cada uno de los subsistemas en aras de dinamizar la implementación del SNIA.

4.5. Limitaciones

Pese a que la implementación del enfoque cualitativo en la gestión del conocimiento en la Facultad Ciencias Agrarias dio resultados positivos



en la sistematización del conocimiento generado por los docentes, una limitación que puede presentarse para replicar esta experiencia es el nivel de autoconfianza de los docentes sobre sus capacidades para utilizar este enfoque, por lo cual este tipo de iniciativas deben ir acompañadas de un respaldo institucional en asesoría, formación y financiación.

Otra limitación que puede tener esta estrategia es la financiación, por cuanto el incentivo para los docentes es la posibilidad de ver sus obras publicadas con un sello editorial reconocido por la universidad para la asignación de puntaje, para lo cual se requieren recursos económicos para la edición, pero también humanos para la fase de convocatoria, selección de las obras a publicar y coordinación del proceso.

4.6. Implicaciones

Como lo plantea Combessie (1998), el docente debe estar en la capacidad de identificar el objeto de estudio como un sujeto producto de una cultura que, como tal, se debe ubicar dentro de un sistema de representaciones de pensamiento y acción. De igual manera, resulta pertinente aprender a identificar el pensamiento que tiene sobre este sujeto como uno de los posibles puntos de vista sobre el mundo. Para lograr este compromiso se necesitan herramientas que la academia tradicional no le ofrece al profesional de ciencias agrarias, por lo que no le es posible transmitirlos a los estudiantes. Por lo tanto, resulta ineludible lograr que el docente reconozca la necesidad de obtener información sobre otros campos de investigación diferentes al predominante.

Por lo general, cuando se recurre a la aplicación de un enfoque cualitativo, los investigadores se limitan a la mera implementación de una acción o técnica (que suele ser la Investigación Acción Participativa). De esta manera, no se realiza una verdadera mirada cualitativa al proble-

ma que se aborda, por lo que el análisis se queda corto y se reduce a la exposición de unos porcentajes que se pretende universalizar sobre comunidades con características externas. Esto supone un gran error y es pensar que lo que resulta funcional para una población, puede operar también en otras.

En un momento histórico como el que vive Colombia actualmente es indispensable establecer una estrategia pedagógica en un proceso formativo integral, que promueva el desarrollo de competencias, capacidades, habilidades y actitudes en los profesionales de las Ciencias Agrarias para la toma consciente de decisiones, con comprensión del territorio, reconociendo las particularidades de los actores locales. Es así como, para dar respuesta a los problemas planteados por los cambios sociales y políticos muchos actores institucionales han identificado la necesidad de reestructurar los Proyectos Educativos Institucionales (PEI) y los Proyectos Educativos de Programa, así como de adecuar la formación docente, ofrecer nuevos enfoques pedagógicos y contenidos en las Ciencias Agrarias.

Investigadores como Van't Hooft (2004) y Bermúdez (2005), entre otros, consideran que el conocimiento e interpretación de las prácticas tradicionales de un grupo humano, partiendo del análisis de las relaciones particulares que se dan en el sistema, es el mejor modo de abordar el estudio e intervención de los sistemas productivos agropecuarios, sobre todo en un país multiétnico y pluricultural como Colombia. Sin embargo, en el país se ha hecho muy poco para evaluar y entender las prácticas agropecuarias tradicionales y su relación con la producción desde un punto de vista pluridimensional.

Iniciativas de este tipo tendrán mayor pertinencia si se logra una caracterización holística de los sistemas productivos campesinos en la que se identifiquen sus fortalezas y puntos críticos a través del conocimiento



de la lógica de producción de la crianza familiar, desde una mirada respetuosa sobre los saberes locales y las formas de producción tradicional, con el fin de trabajar con, para y desde estos sistemas productivos campesinos. La principal característica de la metodología utilizada para obtener información e intervenir en estas comunidades es el uso de un diálogo intercultural, en el que el saber común juega un papel importante y es valorado.

Una dinámica como la que se desarrolla en este tipo de procesos solo puede adelantarse cuando los docentes y estudiantes tienen una actitud de trabajo colaborativo, de motivación personal, de aporte experiencial y de escucha permanente. No se trata solamente de desarrollar ciertas etapas de un proceso de investigación, sino de la sensibilización, planificación e interiorización de acciones adecuadas para el fortalecimiento de capacidades como el diseño respetuoso, la construcción de espacios coincidentes y la creación de procesos de cooperación, colaboración, intercambio y socialización entre seres humanos con diferentes saberes (Salas, 2009).

Lo anterior implica que las instituciones universitarias mejoren la oferta de formación de sus docentes y estudiantes en herramientas cualitativas como recolección y sistematización de información con informantes clave a través de entrevistas semiestructuradas grabadas y transcritas; elaboración de historias de vida; análisis de estudios de caso cualitativos; elaboración de cartografías sociales participativas; reconstrucción de narraciones; recuperación colectiva de la historia en localidades cercanas o con grupos específicos; realización de descripciones densas de labores propias del campo; recuperación de saberes locales, tradicionales y populares; sistematización de experiencias; investigación acción e Investigación Acción Participativa y programas para el análisis de contenido y de discurso.



Sin embargo, es importante tener en cuenta que esta formación se logra también a través del intercambio de experiencias, las cuales permiten al docente participar en comunidades de práctica y en comunidades de aprendizaje; tal es el caso de la Universidad Mayor de San Simón en Bolivia y su Centro de Investigación AGRUCO (2004), que con toda su trayectoria en investigación de desarrollo endógeno tiene como soporte principal la investigación cualitativa y participativa con comunidades locales.

Igualmente, implica la implementación de estrategias para disminuir la desconfianza entre pares de diferentes esquinas como consecuencia de la falta de respeto por el saber del otro. Estas estrategias deberían conducir a negociaciones que permitan valorar tanto la información cuantitativa, que se analiza estadísticamente, como la cualitativa, que permite comprender cualquier proceso social que afecte la información estadística y que, por tanto, facilita cualquier proceso de intervención social, comunitaria, local, grupal o individual.

Los resultados de este ejercicio también hablan de la necesidad de implementar estrategias para reducir el miedo de los investigadores a perder la “objetividad y la validez”, lo cual puede lograrse a través de una comprensión de la utilidad del enfoque cualitativo y sus posibilidades de aplicación para la enseñanza en el aula. Del mismo modo, implica que el objetivo de la enseñanza en Ciencias Agrarias no se enfoque únicamente en los contenidos y las tecnologías, sino en lo social y humano, de manera que se modifique la mirada reduccionista de la complejidad del campo de acción profesional. En este mismo sentido, se debe trabajar en la eliminación de la creencia de que al elegir una forma de investigación necesariamente se tiene que excluir la otra, como si no existieran campos de interacción y actuación conjunta. Al hacerlo, la combinación



de los enfoques cualitativo y cuantitativo se convierte en una posibilidad muy atractiva.

Esta experiencia tiene también implicaciones como estrategia de generación de conocimiento, por cuanto se constituye en una manera de publicar resultados de investigación sobre temáticas de interés en innovación para el sector agropecuario. Lo anterior es relevante pues estas difícilmente tienen cabida en revistas científicas dado que no cumplen con los estándares del enfoque positivista, el cual cuestiona la utilización de muestras no significativas o la ausencia de variables explícitas que, como se ha explicado en la parte inicial de este capítulo, tienen un valor diferente desde el enfoque cualitativo.

Finalmente, implica la necesidad de transformar la enseñanza en las facultades de Ciencias Agrarias y afines, para lo cual se necesitan nuevas herramientas y modalidades de trabajo y de investigación diferentes a las estrictamente cuantitativas. Por ello es necesario explorar nuevas formas de ver las Ciencias Agrarias desde la transdisciplinariedad del conocimiento con ayuda de herramientas propias de la investigación cualitativa.

5. Conclusiones

Los resultados presentados permiten concluir que la sistematización de experiencias del ejercicio profesoral, como aplicación de la perspectiva de investigación cualitativa para la gestión del conocimiento en las Ciencias Agrarias, es una estrategia importante no solo para la generación y transferencia de nuevo conocimiento, sino como fuente de aprendizaje a través del análisis crítico de lo vivido y el planteamiento de nuevos caminos para el mejoramiento de las prácticas docentes e institucionales en los ejes misionales de docencia, investigación y extensión.

Adicionalmente, se concluye que la sistematización de experiencias permite promover el trabajo colaborativo y la generación de redes de conocimiento, al tiempo que mejora la confianza de los docentes al momento de utilizar esta herramienta para mejorar su labor, combinando sus metodologías tradicionales con otras que les posibiliten convertirse en generadores y difusores de conocimiento que aporte al mejoramiento del quehacer de la propia institución y a la sociedad.

Para ello se requiere que las universidades incorporen procesos de gestión del conocimiento generado por docentes y estudiantes en sus planes estratégicos, con el fin de contribuir al desarrollo humano y social que requiere el sector agropecuario nacional para mejorar las condiciones de vida de los pobladores rurales, objetivo para el que la investigación cualitativa puede aportar de manera importante. No obstante, es imperativo que el docente reconozca la necesidad de obtener información sobre su quehacer utilizando otros campos de investigación diferentes al predominante (cuantitativo) para que pueda enseñarlo y co-construirlo con sus estudiantes.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, Y., Aristizábal, C., Valencia, A. & Bran, L. (2020). Formulación de modelos de gestión del conocimiento aplicados al contexto de instituciones de educación superior. *Información tecnológica*, 31(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100103>
- Acosta, L. (2005). *Guía práctica para la sistematización de proyectos y programas de cooperación técnica*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe.
- Asma, K. & Abdellatif, M. (2016). A New Model for the Impact of Knowledge Management on University Performance. *Journal of Information & Knowledge Management*, 15(4). <https://doi.org/10.1142/S0219649216500416>.
- Bermúdez, O. (2005). *El diálogo de saberes y la educación ambiental*. Instituto de estudios ambientales. Universidad Nacional de Colombia.



- Castro, J., Castellanos, E., Fonseca, L. & Lugo, J. (2019). Gestión del conocimiento en universidades públicas. *Revista Cientific*, 4(14), 182-204
- Combesse, J. (1998). *Investigación educativa e innovación: un aporte a la transformación escolar*. Memorias Seminario. Editorial Magisterio.
- De Molero, N., Contreras, G. & Casanova, R. (2017). Knowledge management as a tool for the productivity of research in the university sector. *REDHECS*, (21), 147-165.
- Francés, G. (2017). *Técnicas de investigación social para el trabajo social*. Departamento de Sociología II. Universidad de Alicante.
<https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-1-la-investigacion-social>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. Sexta Edición. Editorial McGraw Hill.
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ley 1876 de 2017. Por medio de la cual se crea el Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria. 29 de diciembre de 2017. D.O. No. 50461. 29
- Mera, A. (2019). La sistematización de experiencias como método de investigación para la producción del conocimiento. *Rehuso*, 4(1), 99-108.
<https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Rehuso/article/view/1684>
- Michelino, F., Lamberti, E., Cammarano, A. & Caputo, M. (2015), Open models for innovation: an accounting-based perspective. *International Journal of Technology Management*, 68(1-2), 99-121. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2015.068778>.
- Rodríguez E., Cohen, W., Pedraja, L., Araneda, C. & Rodríguez, J. (2014). La gestión del conocimiento y la calidad de la docencia de postgrado en las universidades: un estudio exploratorio. *Innovar*, 24 (52), 59-66. <https://doi.org/10.15446/innovar.v24n52.42506>.
- Salas, V. (2009). Estrategia pedagógica para el proceso de formación de gestores locales de proyectos de ciencia e innovación. *Cuadernos de evaluación y desarrollo* V. 1 No. 7. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.
- Van't Hooft, K. (2004). *Gracias a los animales*. Cochabamba: CIGAC-AGRUCO, UMSS, a.

orientación productiva
lechería

peso vivo, kg
0

producción, l/día
0

porcentaje de grasa en leche
3.5

días en leche
0

El consumo de materia seca (kg/día) ordeño es:

0

Requerimiento Energía neta para mantenimiento, Mcal/día
2.3578

Requerimiento proteína mantenimiento, g/día
132.11

Requerimiento Energía neta para producción, Mcal/día
0

Requerimiento proteína para producción, g/día
0

Capítulo 6.

Desarrollo de una aplicación web: herramienta para facilitar el proceso de aprendizaje

Ricardo Rosero Noguera

Zoot., Esp, MSc., D.Sc. Profesor asociado, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo GRICA

Sandra Posada Ochoa

Zoot., Esp., MSc, D.Sc. Profesora asociada, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Grupo GRICA

Resumen

El objetivo de este documento es permitir a profesores y estudiantes explorar paso a paso el desarrollo de una aplicación web interactiva orientada a fortalecer y facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la virtualidad. Adicionalmente se discuten las ventajas y desventajas de la implementación de este tipo de tecnologías y se relata nuestra percepción como docentes y la percepción de los estudiantes sobre el empleo de estas en el curso Nutrición de rumiantes.

Palabras clave: *internet, navegador web, software, TIC, ambiente virtual de aprendizaje*

1. Introducción

El año 2020 será recordado como el año de la pandemia que encerró al mundo, pero también como el año que cambió la forma de trabajar, de interactuar, de hacer comercio y de enseñar. La necesidad de mantener el aislamiento y la distancia social obligó a los diferentes sectores de la economía y la sociedad a buscar nuevas alternativas para continuar con su tan necesaria actividad. En este escenario, las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) cobraron mayor relevancia, pues permitieron la interacción humana a todo nivel entregando información confiable en tiempo real, evitando la interacción física y, de esta manera, desacelerando el ritmo de expansión del virus.

En la educación, la suspensión de clases presenciales modificó el sistema educativo al desplazar las aulas de clase de las escuelas a los hogares. Frente a este desafío, el gobierno nacional promovió iniciativas para la enseñanza remota y dar así continuidad al proceso educativo (Laboratorio de Economía de la Educación -LEE, 2021). La implementación de estas iniciativas a nivel nacional puso en evidencia debilidades en el sistema asociadas con el acceso a internet, el número y disponibilidad de los dispositivos electrónicos y la falta de competencias de los docentes y estudiantes en el manejo de las nuevas tecnologías.

A pesar de lo anterior, resulta innegable el importante papel que juegan las TIC en la educación. Para nosotros, internet es una herramienta educativa porque sus características coinciden en gran medida con los intereses centrales de la educación, como son el intercambio de información, la comunicación y la generación de conocimiento. En este contexto, el objetivo de este documento es ofrecer a profesores y estudiantes un paso a paso para el desarrollo de una aplicación web interactiva orientada a fortalecer y facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la virtualidad. Para ello se presenta un estudio de caso.

2. Metodología

El paquete *Shiny* de *R* fue empleado para desarrollar una aplicación web orientada al apoyo del desarrollo del curso Nutrición de rumiantes del programa de Zootecnia de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia. Uno de los objetivos de este curso es que los estudiantes establezcan las necesidades diarias de proteína y energía de vacunos lecheros mediante el empleo de las tablas de requerimientos nutricionales publicadas por el NRC (1989, 2001). Para alcanzar este objetivo el estudiante debe manejar los conceptos de consumo de materia seca (kg/día), peso vivo (kg), peso vivo metabólico (kg^{0.75}), producción y composición de la leche, producción de leche corregida al 4% de grasa (l/día) y fisiología de la lactancia.

Por lo general, los estudiantes reciben en el salón de clase la explicación de cada uno de los conceptos antes descritos y su aplicación mediante el desarrollo de ejercicios prácticos. Durante nuestros años como docentes hemos notado que los estudiantes tienen dificultades en la aplicación de modelos matemáticos orientados a calcular el consumo de materia seca y determinar los requerimientos diarios de proteína y energía de vacas lactantes. Estas dificultades hacen que su desempeño en el componente práctico de esta asignatura no sea óptimo.

Ante las dificultades ocasionadas por la pandemia, los profesores del área de nutrición decidimos buscar alternativas innovadoras que facilitaran el proceso de adopción y aplicación de conceptos por parte de los estudiantes. Una de las alternativas fue el desarrollo de aplicaciones web orientadas a facilitar el proceso de aprendizaje.

A continuación se describe paso a paso la construcción de una aplicación web que, más que convertirse en un tutorial, busca motivar a profesores de cualquier área a desarrollar este tipo de herramientas. Finalmente, se



relata nuestra percepción como docentes y la percepción de los estudiantes en el empleo de estas aplicaciones en el curso Nutrición de rumiantes.

3. Resultados y discusión

3.1. Shiny

La aplicación web fue desarrollada en *Shiny*, un paquete de *R* de código abierto que proporciona un marco web elegante y potente para crear aplicaciones web utilizando el paquete estadístico *R* (R Studio, 2020). Esta herramienta permite el desarrollo de aplicaciones web sin necesidad de conocimientos previos de HTML, CCS o JavaScript (Beeley, 2013; Resnizky, 2015).

El primer paso consistió en la instalación del paquete estadístico *R*, para lo cual es necesario que el lector se dirija a la página: <https://cran.r-project.org>, donde encontrará la última versión de *R*, así como sus versiones previas. *R* puede ser instalado en los sistemas operativos Linux, Windows y Mac OS X. Para hacer el entorno de trabajo más amigable se recomienda instalar *RStudio*, un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación *R*. *RStudio* puede ser descargado de forma gratuita en la página: <https://rstudio.com/products/rstudio/download/>.

El segundo paso corresponde a la instalación del paquete *Shiny*, lo que puede ser realizado directamente desde la consola de *R Studio* mediante el comando: `install.packages("shiny")`

De acuerdo con Gómez et al. (2016), algunas de las características de *Shiny* son:

- Las aplicaciones se programan empleando código *R*, pero también pueden ser programadas en HTML, CSS y JavaScript, dependiendo de las preferencias del usuario.

- Programación reactiva que posibilita el desarrollo de aplicaciones interactivas, permitiendo al usuario manipular los componentes de la aplicación sin recurrir a la modificación del código de programación.
- Las aplicaciones emplean el framework *Bootstrap*, el cual permite desarrollar aplicaciones que se adaptan a cualquier dispositivo.
- *Shiny* incorpora una amplia variedad de widgets, los cuales permiten la entrada de valores por parte del usuario de forma amigable.
- Permite compartir las aplicaciones de forma gratuita a través del servidor de *RStudio* (*ShinyApps.io*).

3.1.1. Estructura de una aplicación en *Shiny*

Cuando se crea una aplicación en *Shiny*, se crea una carpeta que contiene dos archivos (Figura 1):

ui.R: este archivo corresponde a la interfaz del usuario (UI) y es aquí donde se programa la presentación de la aplicación. La UI permite controlar la presentación visual de la aplicación y la distribución de cada uno de sus componentes, los cuales pueden incluir: texto, widgets, gráficas, barras de navegación, pestañas y cuadros de texto.

server.R: es un archivo en el que se programa la lógica de la aplicación, recibe los inputs del UI y con ellos genera los outputs, permitiendo controlar los datos que se mostrarán a través de la interfaz del usuario.

Aunque es posible crear en un solo archivo la UI y el server, es una buena práctica separarla en dos archivos para facilitar cualquier cambio en la programación y futuros mantenimientos o actualizaciones de la aplicación.

3.1.2. Desarrollo de la aplicación web

En primera instancia se debe abrir *Rstudio*. En el menú "File" desplazarse a "New File" y seleccionar la opción "Shiny Web App..." (Figura 2).

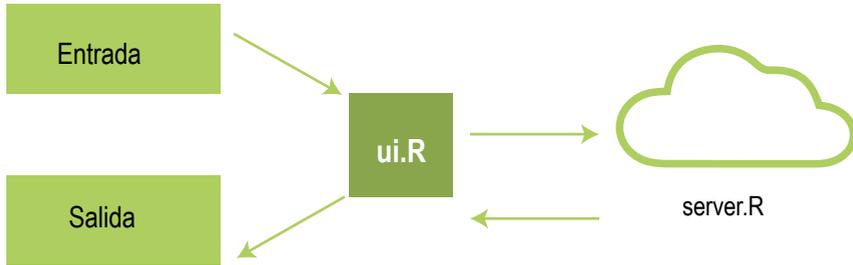


Figura 1. Esquema de una aplicación creada en Shiny

Fuente: elaboración propia

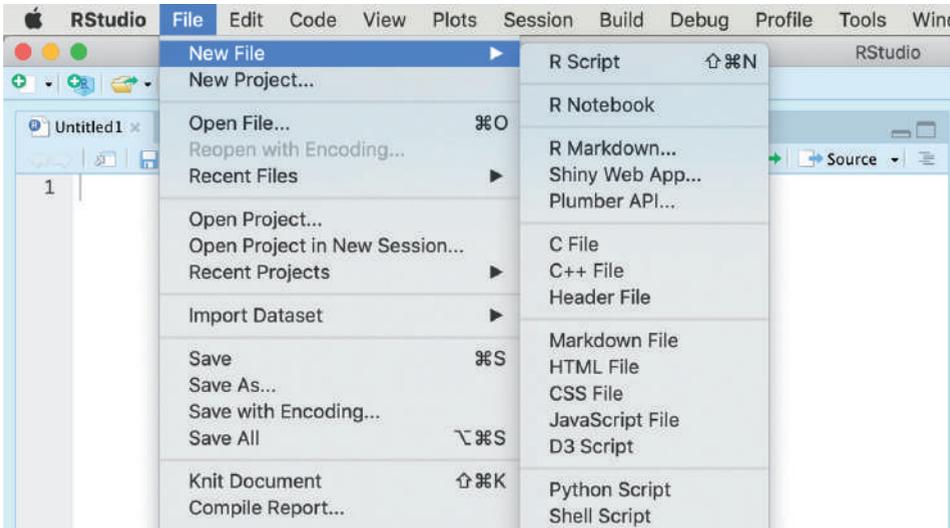


Figura 2. Menú para iniciar el desarrollo de la aplicación web [captura de pantalla]

Fuente: elaboración propia

Al seleccionar la opción “Shiny Web App...” se despliega un nuevo menú en el que se solicita el nombre de la aplicación y el lugar donde se desea guardar en el computador (Figura 3). Para el ejemplo se seleccionó el nombre “BALANCE” y el directorio donde se almacenará la aplicación será en el escritorio (“Desktop”). En este punto es recomendable marcar la opción “Multiple File (ui.R/server.R)” para crear dos archivos separados co-

rrespondientes a la interfaz de usuario (UI) y el server. Automáticamente, *Rstudio* crea dos archivos y carga un ejemplo llamado “Old Faithful Geyser Data”. En tanto nuestro objetivo es construir una aplicación desde cero, procedemos a borrar el contenido completo de los archivos `ui.R` y `server.R`.

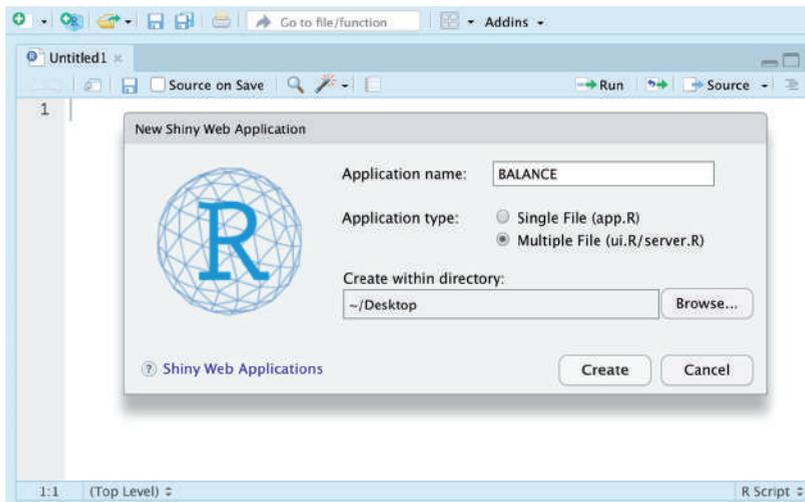


Figura 3. Creación y ubicación de la aplicación [captura de pantalla]

Fuente: elaboración propia

Para empezar con nuestra aplicación, cargamos la librería *Shiny* en la UI mediante el comando: `library(shiny)`

Luego procedemos a definir la UI, pero para ello primero necesitamos conocer algunos elementos de la UI:

- ***fluidPage***: función que permite definir el layout general.
- ***titlePanel***: función requerida para definir el título de la aplicación.
- ***sidebarLayout***: definimos que el diseño de la app va a ser con una barra lateral (`sidebarPanel`) y un panel central (`mainPanel`).
- ***sidebarPanel***: dentro del `sidebarPanel` definimos los elementos que van en la barra lateral.

- **sliderInput:** definimos que el input será ingresado desde un widget que puede ser de diferente tipo, dependiendo de la necesidad y preferencias del programador (Figura 4).
- **mainPanel:** dentro del *mainPanel* definimos los elementos que van a aparecer en el panel central y contiene las salidas que cambian conforme el usuario modifica los valores de entrada. Las salidas posibles pueden incluir texto, gráficos y mapas.

La Figura 4 muestra el diseño general de la aplicación. En esta figura se puede apreciar el título de la app (titlePanel), la sección destinada a registrar las entradas de información por parte del usuario (sidebarPanel) con múltiples ejemplos de los posibles widgets que permiten registrar las entradas de información y, finalmente, la sección del panel principal (mainPanel), donde se registran las salidas de la aplicación que incluyen valores numéricos, texto, gráficos y mapas.

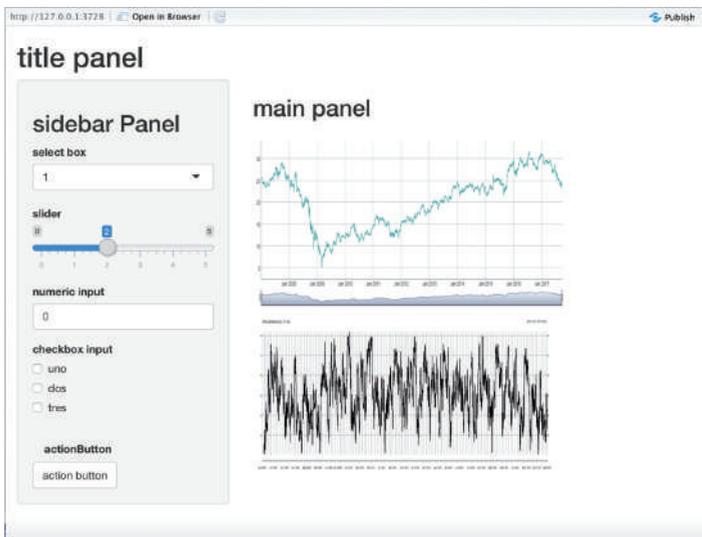


Figura 4. Esquema general de la aplicación web [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

Conocidos los elementos de la UI, procederemos a programar nuestra aplicación. Para facilitar la comprensión del proceso de programación se seguirá el esquema presentado en la Figura 4.

titlePanel: empezamos definiendo en el archivo ui.R el layout general y el título de nuestra aplicación con el siguiente código de programación:

```
ui.R x server.R x
1 library(shiny)
2 ui<-fluidPage(
3   titlePanel("BALANCE NUTRICIONAL PARA VACUNOS LECHEROS"),
```

Ahora necesitamos definir el diseño de nuestra aplicación. Para este ejemplo dividiremos el layout general en dos secciones: sidebarPanel y mainPanel (Figura 4). Procedemos de la siguiente manera:

```
4   sidebarLayout(
5     sidebarPanel(
6       selectInput("animal", "orientación productiva",
```

sidebarPanel: en esta sección programaremos las entradas que el usuario debe aportar para alimentar a la aplicación y, de esta forma, proceder a procesar la información y entregar el resultado. El código requerido es el siguiente:

```
5     sidebarPanel(
6       selectInput("animal", "orientación productiva",
7         c("lecheria", "doble propósito")),
8
9       numericInput("BW", "peso vivo, kg", value = 0),
10
11      numericInput("prod", "producción, l/día", value=0),
12
13      sliderInput("grasa", "porcentaje de grasa en leche",
14        value = 4, min = 2, max = 6, step = 0.1 ),
15
16      sliderInput("dim", "días en leche",
17        value = 0, min = 0, max = 365, step = 1),
18    ),
19    mainPanel(
```

Como puede verificarse dentro de sidebarPanel, hemos programado varios widgets que permiten al usuario entrar la información a la aplicación. Describamos cada uno de ellos:

selectInput: nos permite crear una caja de selección de variables. La variable recibirá el nombre de "animal", el título de la caja de selección será "orientación productiva" y, dentro de la caja, las opciones que el usuario podrá escoger son "lechería" y "doble propósito".

numericInput: permite una entrada numérica. En el sistema el nombre de la variable será "BW" (abreviación de *Body Weight*). Es importante aclarar que el programador determina el nombre de las variables. El título de la entrada numérica que orienta al usuario sobre la variable que debe ingresar y sus unidades es "peso vivo, kg" y el valor de inicio para esta variable es cero (value = 0).

sliderInput: nos permite crear una barra deslizante. El nombre de la variable para el sistema será "grasa", el título de la barra será "porcentaje de grasa en leche" y los códigos value = 4, min = 2, max = 6, step = 0.1. Los códigos indican que el valor de inicio para esta variable es 4, que puede tomar valores entre 2 y 6 y que los incrementos o decrementos en el valor serán de 0.1 unidades.

mainPanel: en esta sección programaremos los espacios donde la aplicación reportará los resultados para el usuario. Para programar las salidas emplearemos el siguiente código de programación:

```

20     "El consumo de materia seca (kg/día) predicho es:",
21     verbatimTextOutput("CMS"),
22
23     "Requerimiento Energía neta para mantenimiento, Mcal/día ",
24     verbatimTextOutput("ENIm"),
25
26     "Requerimiento proteína mantenimiento, g/día",
27     verbatimTextOutput("PBm"),
28
29     "Requerimiento Energía neta para producción, Mcal/día",
30     verbatimTextOutput("ENIp"),
31
32     "Requerimiento proteína para producción, g/día",
33     verbatimTextOutput("PBp"),
34     ),
35 )
36 )

```

Para facilitar la comprensión de la programación, tomaremos como ejemplo la primera parte del código. El texto entre comillas (“El consumo de materia seca (kg/día) predicho es:”) identifica la información que se presenta en la salida. `verbatimTextOutput` representa una variable de salida reactiva como texto literal dentro de la página de aplicación. Finalmente, el texto “CMS” corresponde al nombre con que el servidor de *Shiny* reconocerá la variable de salida.

Hasta aquí hemos programado la interfaz de usuario UI y nuestra aplicación debería verse como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Vista previa de la aplicación [captura de pantalla]

Fuente: elaboración propia

El paso final es programar las salidas reactivas en el archivo `server.R`. Se llaman salidas reactivas porque cualquier modificación que el usuario realice en la UI automáticamente modifica la salida.

El código de programación para el archivo `server.R` es el siguiente:

```

1 server<- function (input, output, session){
2
3   output$CMS<- renderText({
4     ((0.372* ((0.4*input$prod)+15*(input$prod)*((input$grasa)/100)))+
5     (0.0968*(input$BW^0.75)))*
6     (1-(exp(-0.192*((input$dim/7)+3.67))))
7   })
8   output$ENlm<- renderText({
9     ((0.0122*input$BW)+2.3578)
10  })
11  output$PBm <- renderText({
12    ((0.4217*input$BW)+152.11)
13  })
14  output$ENlp<- renderText({

```

Las funciones del servidor *Shiny* incluyen los parámetros de entrada, salida y sesión (input, output, sesion). La sesión es un entorno que se utiliza para acceder a la información y funcionalidad de la aplicación. Input y output corresponden a las entradas y salidas.

Para comprender la programación tomaremos nuevamente como ejemplo una fracción del código, el cual se aplica de la misma manera para las fracciones restantes. El código que describiremos busca calcular el consumo de materia seca (CMS) en vacas lecheras, según el modelo matemático del NRC (2001).

```

2   output$CMS<- renderText({

```

El código `output$CMS<-` crea una salida para la etiqueta "CMS" definida previamente en la UI. `renderText({`, le indica a nuestra aplicación que se trata de una salida reactiva tipo texto que debe ejecutarse automáticamente cada vez que el input cambie.

El modelo propuesto por el NRC (2001) para predecir el CMS en vacas lecheras es el siguiente:

$$MS = ((0.372 * PLC4\%) + (0.0968 * BW^{0.75})) * (1 - \exp(-0.192 * (SL + 3.67)))$$

Donde:

CMS = consumo de materia seca, kg/día

PLC4% = producción de leche corregida al 4% de grasa*

BW^{0.75} = peso vivo metabólico, kg

SL = semana de lactancia

*Para calcular la producción de leche corregida al 4% de grasa se emplea la siguiente expresión matemática: PLC4% = 0.4 * producción de grasa en leche (kg/día) + 15 * producción de leche (l/día)

Conocido el modelo, procedemos a programarlo en el server:

```
4 ((0.372* ((0.4*input$prod)+15*(input$prod)*((input$grasa)/100)))+
5 (0.0968*(input$BW^0.75)))*
6 (1-(exp(-0.192*((input$dim/7)+3.67))))
```

En el código podemos notar que las variables del modelo PLC4%, BW y SL son calculadas tomando como valores las entradas proporcionadas por el usuario en la UI (input\$prod, input\$grasa, input\$BW, input\$dim).

Los requerimientos de energía neta para mantenimiento (ENm) y producción (ENp), expresados en Mcal/día, y los requerimientos de proteína bruta para mantenimiento (PBm) y producción (PBp), expresados en g/día, fueron calculados a través de ecuaciones de regresión establecidas de acuerdo con las recomendaciones para vacunos lecheros del NRC (1989).

El código completo de programación de los archivos ui.R, server.R y la vista definitiva de nuestra aplicación se encuentra en las Figuras 6 y 7.

Ahora nuestro aplicativo está listo para ser empleado en el momento que se requiera. La aplicación está alojada en nuestro computador, que actúa como servidor y permite su ejecución cada vez que nosotros

```

1 library(shiny)
2 ui<-fluidPage()
3 titlePanel("BALANCE NUTRICIONAL PARA VACUNOS LECHEROS"),
4 sidebarLayout(
5   sidebarPanel(
6     selectInput("animal", "orientación productiva",
7       c("lechERIA", "doble propósito")),
8     numerInput("BW", "peso vivo, kg", value = 0),
9     numerInput("prod", "producción, l/día", value=0),
10    sliderInput("grasa", "porcentaje de grasa en leche",
11      value = 4, min = 2, max = 6, step = 0.1 ),
12    sliderInput("din", "días en leche",
13      value = 0, min = 0, max = 365, step = 1),
14  ),
15  mainPanel(
16    "El consumo de materia seca (kg/día) predicho es:",
17    verbatimTextOutput("MS"),
18    "Requerimiento Energía neta para mantenimiento, Mcal/día ",
19    verbatimTextOutput("ENm"),
20    "Requerimiento proteína mantenimiento, g/día",
21    verbatimTextOutput("Pm"),
22    "Requerimiento Energía neta para producción, Mcal/día",
23    verbatimTextOutput("ENp"),
24    "Requerimiento proteína para producción, g/día",
25    verbatimTextOutput("Pp"),
26  )
27 )
28
29
30
31
32
33
34
35
36 )

```

```

1 server<- function (input, output, session){
2
3   output$MS<- renderText({
4     ((0.372*((0.4*input$prod)+15*(input$prod)*((input$grasa)/100)))+
5     (0.0968*(input$BW^0.75)))^2
6     (1-(exp(-0.192*((input$din/7)+3.67))))
7   })
8   output$ENm<- renderText({
9     ((0.0122*input$BW)-2.3578)
10  })
11  output$Pm <- renderText({
12    ((0.4217*input$BW)-152.11)
13  })
14  output$ENp<- renderText({
15    ((0.4*input$prod)+15*(input$prod)*((input$grasa)/100))*0.74
16  })
17  output$Pp<- renderText({
18    ((0.4*input$prod)+15*(input$prod)*((input$grasa)/100))*90
19  })
20  output$ix<- renderText({
21    data.frame(cbind(output$ENm, output$ENp))
22  })
23  })

```

Figura 6. Código de programación de los archivos ui.R y server.R en Shiny [captura de pantalla]

Fuente: elaboración propia

como usuarios la invoquemos. Sin embargo, el objetivo de una aplicación es compartir su contenido con múltiples usuarios sin importar la hora, el lugar o el tipo de dispositivo.

En una aplicación web, el proceso usual es que el usuario abre el navegador de su preferencia y señala la dirección de la página. Al especificar la dirección, el navegador se conecta al servidor y obtiene el contenido que se ejecuta en el navegador. Cada vez que el usuario interactúa con la aplicación web se generan nuevas llamadas al servidor, usualmente para solicitar alguna información. El servidor recibe la llamada, la procesa y genera un resultado que luego el navegador del usuario recibe y muestra en pantalla con el formato apropiado (Ramírez, 15 de agosto de 2017).

Para que nuestro aplicativo esté completo necesitamos alojarlo en la nube. RStudio ofrece la posibilidad de alojarlo en los servidores de R de



Figura 7. Vista final del aplicativo creado en *Shiny* [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

forma gratuita. Para ello es necesario remitirse a la página web <https://www.shinyapps.io>, en la que se debe crear una cuenta y escoger diferentes planes para alojar sus aplicaciones. En nuestro caso escogeremos la opción gratuita que permite mantener simultáneamente cinco aplicaciones con 25 horas de actividad por mes.

El procedimiento es el siguiente:

En la parte superior del editor de *RStudio* encontramos un ícono que nos muestra las opciones de publicación (Figura 8). En este menú hacemos clic en “Publish Application” e inmediatamente se nos solicita conectar nuestro computador con una cuenta de *ShinyApps* previamente creada.

Para realizar la conexión es necesario solicitar un “token” y un código secreto “show secret” (Figura 9).

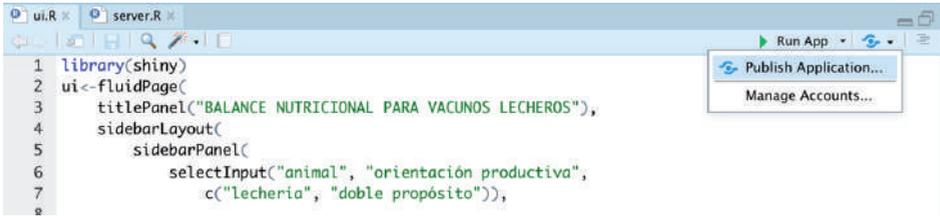


Figura 8. Publicación de la aplicación web [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

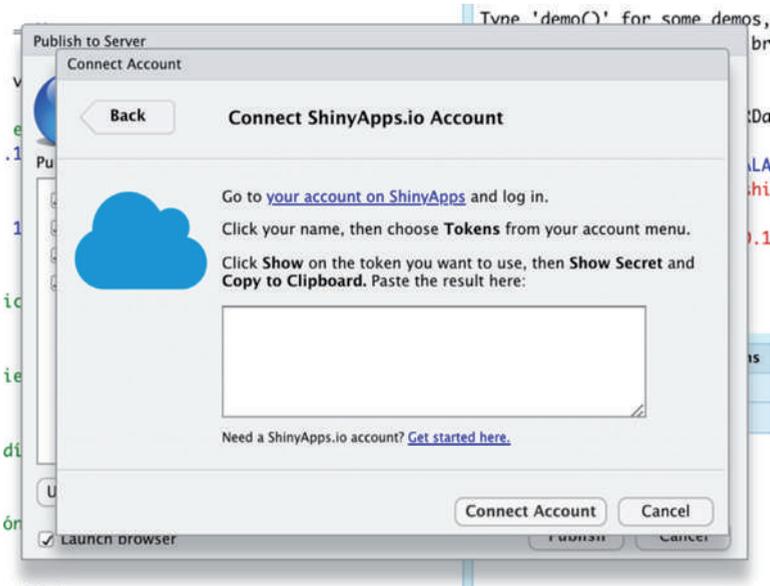


Figura 9. Ventana emergente para registrar token y código secreto [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

El token y el código secreto se solicitan desde la cuenta en *ShinyApps* haciendo clic en Account > Tokens > Add Tokens (Figura 10).

Al hacer clic en Add Tokens se genera automáticamente un token y el código secreto. Hacemos clic en "Show secret" y en "Copy to clipboard" (Figura 11)

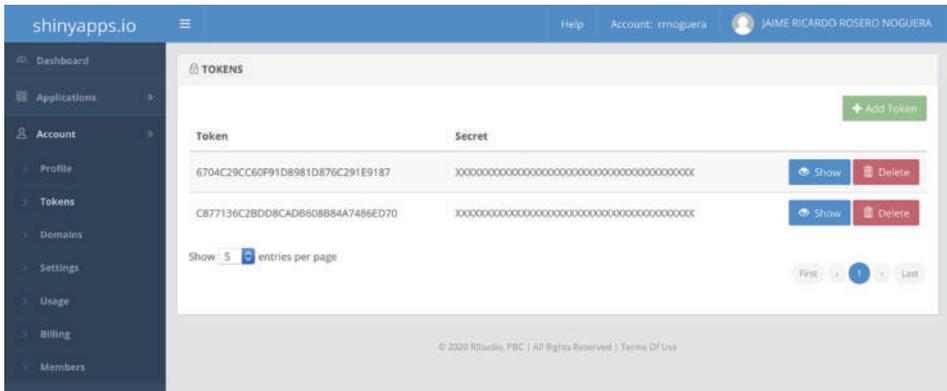


Figura 10. Solicitud token y código secreto en *ShinyApps* [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

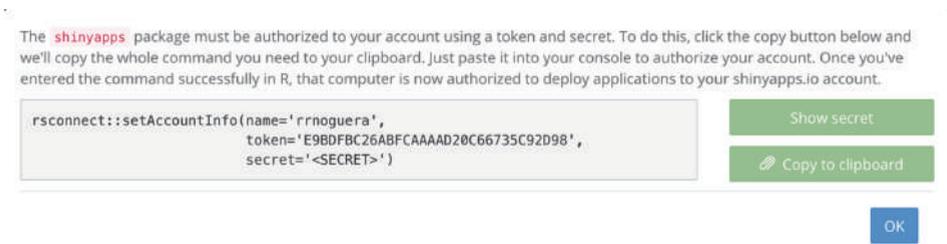


Figura 11. Token y código secreto [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

Ahora regresamos al menú de *RStudio* donde se nos solicitaba pegar el token y el código secreto (Figura 9). Pegamos la información en el espacio indicado y hacemos clic en “Connect Account” (Figura 12).

Inmediatamente después se despliega un menú que nos muestra los archivos de *RStudio* que migrarán a nuestra cuenta en *ShinyApps* (Figura 13).

Finalmente, hacemos clic en “Publish” y de inmediato la aplicación aparece publicada en nuestra cuenta *ShinyApps* (Figura 14). Ahora nuestra aplicación está alojada en un servidor de *RStudio* y estará disponible para cualquier usuario con conexión a internet y un navegador, simplemente digitando el siguiente link: <https://rrnoguera.shinyapps.io/BALANCE/>

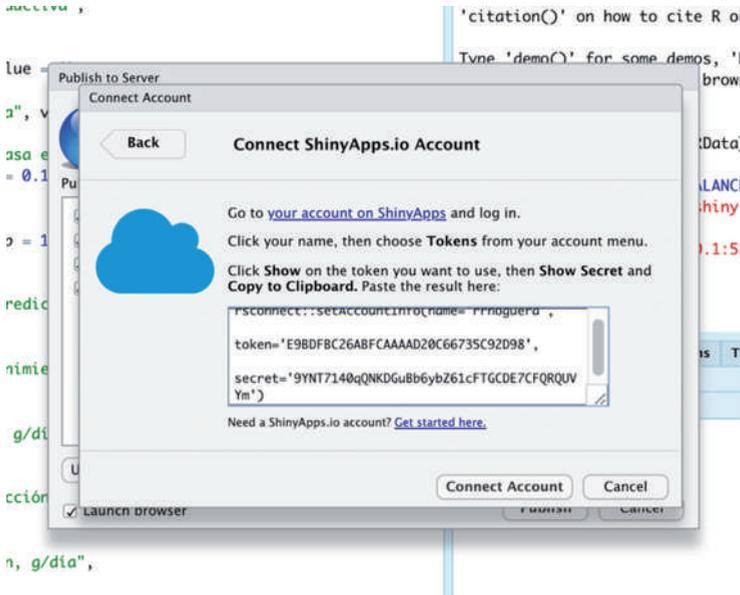


Figura 12. Conexión de la aplicación con la cuenta de *ShinyApps* mediante token y código secreto [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

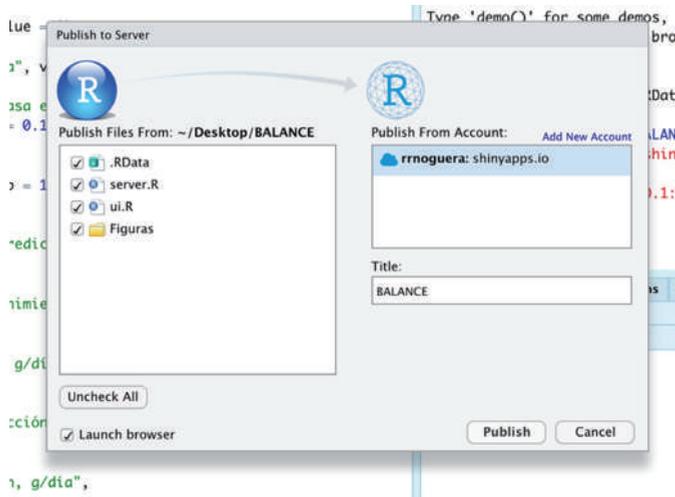


Figura 13. Archivos de *RStudio* que migrarán a cuenta *ShinyApps* [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

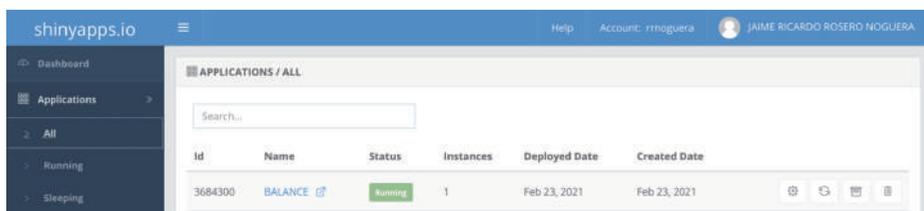


Figura 14. Aplicación web alojada en servidor de *RStudio* [captura de pantalla]
Fuente: elaboración propia

3.2. Ventajas de las aplicaciones web en el proceso de aprendizaje

Entre las ventajas que estas tecnologías ofrecen para profesores y estudiantes podemos destacar su disponibilidad de acceso: la aplicación puede ser consultada en cualquier momento una vez se aloja en un servidor web. Otro punto a destacar es su interactividad, ya que los estudiantes pueden simular diferentes escenarios y evidenciar cómo los cambios en las entradas de información provocan cambios en las salidas, lo cual ayuda a comprender relaciones de dependencia y asociación entre variables y procesos.

Por otra parte, las aplicaciones web son muy prácticas dado que se pueden acceder desde cualquier navegador web sin importar el sistema operativo o tipo de dispositivo empleado. Son fáciles de actualizar y mantener, puesto que no es necesario distribuir o instalar software entre los usuarios potenciales. El consumo de recursos informáticos es bajo porque no es necesario instalar software en nuestro computador y las operaciones y procesos se realizan de forma remota en un servidor externo.

Otro aspecto importante es la portabilidad: las aplicaciones web solo requieren de una conexión a internet y un navegador web para funcionar, se puede acceder a ellas desde cualquier computador, tablet o celu-



lar. Dado que no es necesario instalar software en nuestro dispositivo, el riesgo de ser atacados por virus o malware (software malicioso) es menor.

Finalmente, y tal vez una de las mayores ventajas de las aplicaciones web, es que permiten la colaboración entre usuarios. Al estar alojada en la nube, la aplicación permite el acceso multiusuario, lo cual posibilita compartir y comparar datos y resultados.

3.2. Desventajas de las aplicaciones web

Como toda herramienta, las aplicaciones web también tienen desventajas:

- Las aplicaciones web desaparecen si así lo requiere el desarrollador.
- El usuario no tiene libertad para elegir la versión de la aplicación web que quiere usar, pues siempre emplea la versión más actualizada.
- Las aplicaciones web generalmente ofrecen menos funcionalidades que las aplicaciones de escritorio. Esto se debe a que las funcionalidades que se pueden realizar desde un navegador son más limitadas que las que se realizan directamente desde el sistema operativo.
- La disponibilidad de la aplicación depende de un tercero, que es quien ofrece el servicio de conexión o quien aloja la aplicación en el servidor.

3.3. Experiencias en el empleo de aplicaciones web en el proceso de enseñanza

Antes de relatar nuestra experiencia en el empleo de aplicaciones web, es necesario describir algunas características del estudiante universitario del siglo XXI. La generación actual de estudiantes universitarios



nació y creció en ambientes bombardeados de tecnología. De acuerdo con Ibañez et al. (2008), los estudiantes actuales consideran a la educación como una mercancía que puede ser consumida y adquirida, por lo que esperan que el aprendizaje sea rápido, sencillo y entretenido. Desde esta percepción, el estudiante actual busca recibir la información de forma ágil e inmediata y tiene preferencia por los contenidos interactivos, gráficos, multimedia y colaborativos.

Cuando a los estudiantes del curso de nutrición se les presentó la posibilidad de practicar los conceptos de clase en un aplicativo web, mostraron gran interés y motivación. Argumentaron que este tipo de herramientas les permite mayor flexibilidad en el manejo del tiempo, puesto que pueden acceder a los contenidos en cualquier lugar y horario. Además, manifestaron que dedicaron más horas al estudio, ya que el aplicativo les permitía simular diferentes escenarios y revisar los contenidos cuantas veces desearan. El contenido interactivo de la aplicación les permitió comprender las relaciones de dependencia entre las diferentes variables y fortalecer los conceptos teóricos de la clase.

Como docentes, la oportunidad de ofrecer una nueva herramienta didáctica en el curso de nutrición nos permitió comprender que:

- Los estudiantes actuales necesitan ser partícipes activos de su proceso formativo.
- Es necesario incrementar el número de metodologías que promuevan el aprendizaje activo y colaborativo.
- Las actividades de clase deben acompañar los conceptos teóricos con aplicaciones prácticas que le permitan al estudiante la apropiación del concepto y faciliten su utilización y aplicación práctica en la solución de problemas.



Los aplicativos web interactivos facilitan los métodos de enseñanza centrados en el desarrollo de competencias.

4. Conclusión

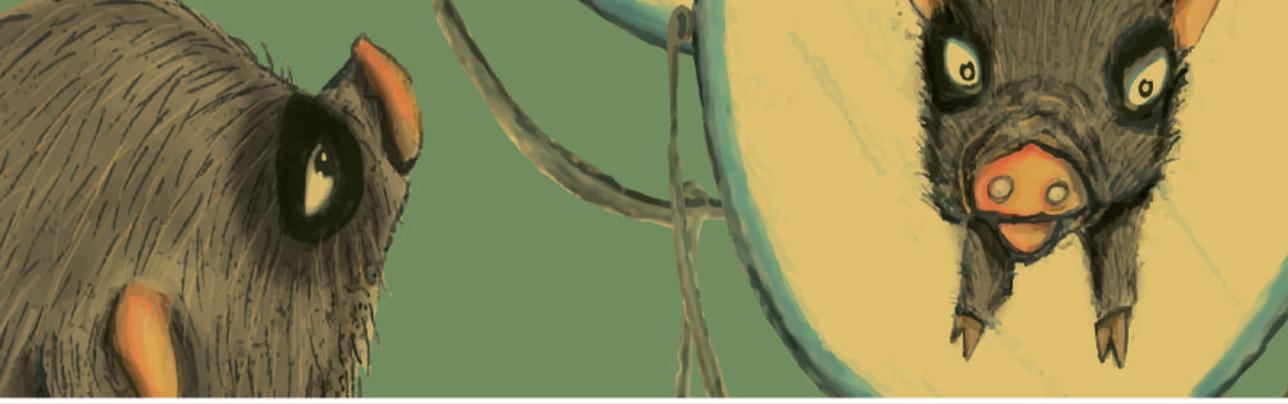
El surgimiento de nuevas tecnologías de la información y la comunicación han impactado profundamente a la sociedad humana y el proceso educativo no es ajeno a este cambio. El avance vertiginoso de la tecnología ha propiciado el surgimiento de nuevas formas de educación. Hoy estudiantes y profesores poseen otros escenarios de encuentro e interacción diferentes al aula de clase, en estos escenarios se debate, se comparte información, se crea conocimiento. El reto para los docentes del siglo XXI es adoptar estas herramientas tecnológicas buscando motivar a esta nueva generación de estudiantes en la apropiación de conocimientos, su integración y aplicación práctica orientada a la solución de problemas y centrada en el desarrollo de saberes: saber pensar, saber interpretar, saber desempeñarse y saber actuar en diferentes escenarios.

En nuestra experiencia, la creación de aplicativos web en conjunto con los estudiantes ha demostrado ser un medio útil para que los estudiantes sean agentes activos de su proceso de formación, comprendan más fácilmente procesos biológicos explicados desde la creación de algoritmos, que paso a paso explican el comportamiento de variables complejas.

La crisis generada por la pandemia nos ha enseñado que es posible apoyar los ejes misionales de las universidades con la adopción de las TIC en los procesos educativos, lo cual nos permite superar las barreras de espacio y tiempo, promover el trabajo cooperativo y hacer más fácil y equitativo el acceso a la información.

Referencias bibliográficas

- Beeley, C. (2013). *Web Application Development with R Using Shiny*. Birmingham: Packt Publishing.
- Gómez, D.S., Molina, M.D., Mulero, J., Nueda, M.J., Pascual, A. (2016). Aplicaciones diseñadas con Shiny: un recurso docente para la enseñanza de la estadística, XIV Jornadas de redes de Investigación en Docencia Universitaria, Alicante. Recuperado de <https://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes-2016/documentos/tema-2/807250.pdf>
- Ibáñez, E., Cuesta, M., Taglibaue, R. & Zangaro, M. (2008). La generación actual en la universidad: el impacto de los millennials. V Jornadas de Sociología de la UNLP. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología. La Plata. Recuperado de <https://www.aacademica.org/000-096/261.pdf>
- Laboratorio de Economía de la Educación -LEE. (2021). Cambios y retos que enfrentaron los docentes durante el cierre de colegios por la pandemia. Pontificia Universidad Javeriana. Recuperado de <https://economydelaeeducacion.org/docs/>
- Ramírez A. (15 de agosto de 2017). Aplicaciones web en R con Shiny. <https://synergy.vision/corpus/shiny/2017-08-15-shiny.html>
- Resnizky, C. (2015). *Learning Shiny*. Birmingham: Packt Publishing.



Capítulo 7.

Porcópolis: una experiencia transdisciplinaria de ciencia, tecnología, arte y educación para el sector agrario

Berardo de J. Rodríguez

*MV, Esp., PhD. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Juliana Zapata

*MV, MSc, PhD (c). Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Diana Margot López

*Ing., Esp., M. Eng, Facultad de Ingeniería,
Universidad de Antioquia, Grupo ITOS*

Verónica Bermúdez

*MV. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Andrés A. Martínez

*Eng. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Santiago Duque

*MV. Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Natalia Álvarez

*MV, MSc, PhD (c). Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad de Antioquia, Grupo QUIRON*

Edimer D. Jaramill

*Zoot., Esp. Grupo de Investigación Nutri-Solla,
SOLLA S.A. Itagüí, Colombia*

Resumen

Este artículo sistematiza una experiencia de creación e incubación de una *spin-off* y de un programa educativo que denominamos *Porcópolis*, dirigido a niños y jóvenes de planteles educativos rurales. La sistematización describe cinco momentos: el punto de partida, las preguntas iniciales, la recuperación del proceso vivido, la reflexión de fondo y los puntos de llegada. Relatamos la experiencia de transformación de un conocimiento generado a partir de investigación básica y desarrollo tecnológico, en sustrato para la enseñanza de bienestar animal y habilidades sociales para la construcción de paz. Integramos saberes de múltiples disciplinas en la identificación de los elementos acústicos y musicales, que inducen estados emocionales en animales, los utilizamos para producir música funcional veterinaria, luego esos resultados se incorporaron en ambientes de aprendizaje gamificados para niños y jóvenes de la ruralidad. El punto de llegada de esta experiencia fue la creación de *Porcópolis*, un programa educativo para fomentar habilidades sociales para la construcción de paz en la juventud rural. Para ello, se trabajó de manera transdisciplinaria alrededor de preguntas orientadoras, abordadas desde hipótesis, a partir de indicios o evidencias singulares, para generar abducciones o conjeturas espontáneas, que se expresaron en términos de probabilidades, tendencias o posibilidades. Esta mixtura de razonamiento inductivo y abductivo incorporó la creatividad permitiendo arriesgar conclusiones innovadoras que, si bien no eran fácilmente demostrables, se sometieron a consideraciones, pruebas y mecanismos de validación que posteriormente condujeron a resultados verificables. Así métodos contrapuestos al deductivo analítico predominante en ciencias agrarias favoreció la transdisciplina.

Palabras clave: *biomusicología, bienestar animal, música en animales, TIC, violencia*

1. Introducción

En este documento plasmamos el proceso de sistematización de la experiencia transdisciplinar *Porcópolis*. De manera general, la “experiencia” consistió en la creación de un programa educativo para el fomento de la paz, la cultura, la ciencia, la tecnología y la innovación en niños y jóvenes de áreas rurales. Este programa constituye una estrategia de apropiación social del conocimiento.

El gobierno colombiano ha optado por utilizar oficialmente la denominación de apropiación social de la ciencia, la tecnología y la innovación para referirse a los proyectos que se adelantan a través de diversas estrategias integradoras de comunicación científica (Pabón, 2018). La apropiación social del conocimiento, por su parte, es entendida como un proceso de comprensión e intervención de las relaciones entre tecnología y sociedad, que se construye a partir de la participación activa de los diversos grupos sociales que generan conocimiento (Straw, 2017; Barrio Alonso, 2008).

La apropiación social del conocimiento es un tema de reciente preocupación para las comunidades científicas, los gobiernos y los medios de comunicación, quienes lo han asumido como un compromiso social (Jona-Lasinio et al., 2019). Esta publicación entrega un aporte al tema pues, mediante la recuperación de nuestra experiencia, pretendemos proporcionar elementos conceptuales y metodológicos para aquellos que en el futuro se aventuren a emprender procesos similares.

Porcópolis es un programa educativo dirigido a niños y jóvenes relacionados con el sector agrario; tiene como objetivo prevenir la violencia a través de la creación de un ambiente gamificado para la enseñanza contextualizada de competencias sociales. Utiliza una estrategia didáctica

que motiva la generación de empatía entre especies y bienestar animal para el aprendizaje de habilidades sociales. Proponemos el desarrollo de estas habilidades como un factor de protección frente a conductas de riesgo.

El programa educativo *Porcópolis* se originó de la articulación transdisciplinaria de los grupos de investigación ITOS de la Facultad de Ingeniería, Patobiología Quirón de la Facultad de Ciencias Agrarias y Nutri-Solla de la empresa SOLLA S.A. Las experiencias e intereses del Grupo ITOS sobre la enseñanza de la ingeniería y el desarrollo de videojuegos, del grupo de Quirón sobre biomusicología, patobiología y bienestar animal y de Nutri-Solla sobre nutrición animal, se unieron para diseñar el programa educativo con recursos de la convocatoria “Con TIC Investigo 2019” de la Universidad de Antioquia.

Para la construcción de *Porcópolis* se incorporaron producciones musicales originales que fueron compuestas durante investigaciones psicoacústicas en porcinos; se abordaron problemas reales de la ruralidad y del sector agrícola como ejes problematizadores para la formación de valores en los niños y jóvenes y se utilizó la imagen del cerdo como modelo para desarrollar empatía en los niños. Todo esto fue motivado por el conocimiento previo generado por los grupos de investigación sobre el bienestar de esta especie a partir de la estructuración y ejecución de varios proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Ese conocimiento se reinterpretó y se tradujo para ser transferido de manera dosificada al contexto escolar.

Los proyectos que originaron esta experiencia fueron:

1. “Valoración de un prototipo bioneuromusical de enriquecimiento ambiental y de su protocolo de uso para disminuir el estrés, mejorar la

salud, el bienestar animal y la productividad en la porcicultura”, financiado por el Fondo de Innovación de la Universidad de Antioquia, en el marco de la convocatoria “Gestiones relacionadas con el proceso de valorización de los resultados de Investigación - Prueba de concepto 2018” (Acta de registro y propiedad intelectual N° 103 de 2018). Este proyecto evaluó los efectos positivos sobre el bienestar de los cerdos de un prototipo de enriquecimiento sensorial con señales acústicas y musicales desarrolladas por el grupo Patobiología Quirón. Además, se evaluaron las respuestas fisiológicas y neuroendocrinas asociadas al estrés de cerdos en producción. Se diseñaron métodos preventivos y terapéuticos para paliar los efectos negativos del estrés crónico y mejorar las condiciones de bienestar porcino en producciones intensivas.

2. “Evaluación del cerdo como modelo animal para el estudio de la biomusicología y el estrés crónico”, financiado con recursos de la “Convocatoria Programática Área Ciencias Sociales, Humanidades y Artes 2018”. Este proyecto demostró que los lechones expuestos a estímulos musicales originales mostraron una amplia variedad de respuestas emocionales con diversas valencias afectivas que dependían de la estructura armónica del estímulo. Así, se proporcionó evidencia científica del uso potencial de la música como estrategia de enriquecimiento ambiental para esta especie y del uso del cerdo como modelo para futuros estudios.

3. “Creación de una empresa de base tecnológica *spin-off* para la comercialización de música funcional veterinaria, accesorios y servicios relacionados, financiado en el marco de la “Convocatoria de Creación y Fortalecimiento de *Spin-off* 2020” realizada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y Créame. En este proyecto se realizó la planeación, incubación y consolidación de una empresa de base tecnológica (*spin-off*) que ofrece programas de enriquecimiento sensorial basados en música funcional veterinaria valorada científicamente, soluciones



psicoacústicas, material audiovisual y asesoría especializada para disminuir el estrés y mejorar la salud y el bienestar de los animales.

Los autores consideramos el diseño y desarrollo del programa *Porcópolis* como una experiencia transdisciplinaria debido a que generó un trabajo colectivo para la interpretación, entendimiento e intervención de la violencia y del bienestar animal. Estos problemas, al ser complejos, cambiantes y relacionados, requieren un enfoque más allá de las disciplinas que logre extraer conocimiento nuevo y fomentar cambios significativos en la aplicación de su investigación.

En el proceso de desarrollo de los diferentes proyectos enfrentamos cierta reticencia y dificultad para la aplicación de un abordaje transdisciplinar, ocasionada en parte por nuestra falta de experiencia en el quehacer transdisciplinario y por el desconocimiento de las maneras de incorporar este enfoque en los proyectos en curso. De igual forma, el prejuicio en el entorno académico y social frente a los enfoques disruptivos, como los abordados en nuestras investigaciones, dificultó el trasegar transdisciplinario. Algunos de estos enfoques fueron: las emociones e inteligencia de los animales, el vínculo de la violencia sociocultural y la violencia contra los animales y el especismo versus la empatía hacia los animales de producción.

Decidimos sistematizar nuestra experiencia motivados por la idea de que el reconocimiento de la importancia de la transdisciplinariedad para el fomento de una ciencia, tecnología e innovación (CTI) puede generar cambios positivos y soluciones oportunas, así como para afianzar el desarrollo de la sociedad. Nos interesa compartir nuestro precedente para orientar a quienes deseen incursionar en este tipo de abordaje o estén desarrollando experiencias similares de investigación, desarrollo tecnológico e innovación.

Los autores comprendemos la “sistematización de la experiencia” (*Porcópolis*) como un ejercicio intencionado que busca penetrar en la trama de nuestra construcción transdisciplinaria, con el fin de recrear los saberes alcanzados en un acto interpretativo de teorización y de apropiación consciente de lo vivido. En tanto concebimos esta sistematización como un proceso que abarca un conjunto de dimensiones objetivas y subjetivas de la realidad histórico-social en que se desarrolló, encontramos pertinente realizar una interpretación, a partir de su ordenamiento y reconstrucción, que haga explícito el proceso vivido, los factores que intervinieron, las relaciones establecidas y sus motivos.

Los actores de la experiencia sistematizada fueron: el rector, profesores y estudiantes de la escuela rural Héctor Higinio Bedoya Vargas del municipio de Heliconia en el departamento de Antioquia, dos investigadores senior con formación disciplinar en patología animal, inmunología, música e ingeniería de sistemas; tres estudiantes de los programas de doctorado y de maestría en Ciencias Veterinarias y estudiantes del pregrado de Medicina Veterinaria e Ingeniería de Sistemas pertenecientes a semilleros de investigación de los grupos de investigación Patobiología Quirón de la Facultad de Ciencias Agrarias e ITOS de la Facultad de Ingeniería, ambos de la Universidad de Antioquia. También participó una médica veterinaria e ilustradora egresada del programa de Medicina Veterinaria de la Universidad de Antioquia, un ingeniero de sonido egresado de la Universidad San Buenaventura, un ingeniero de sistemas de la Universidad de Antioquia y un zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia perteneciente al grupo de investigación Nutri-Solla de la empresa Solla S.A.

El ordenamiento presentado de la construcción de *Porcópolis*, aunque tiene un trasfondo cronológico, fue establecido a partir de las preguntas que surgieron en medio del diálogo de saberes de los actores. Estas



preguntas permitieron vencer obstáculos inherentes al saber-poder-disciplina propio de cada especialidad que dificultaron el diálogo multi, inter y transdisciplinario.

Así, decidimos sistematizar la experiencia a partir de las siguientes preguntas orientadoras: ¿cómo conciliar arte y ciencia?, ¿cómo armonizar esas dos formas de pensamiento cuando el arte es creativo y trasciende las reglas, mientras que la ciencia define reglas y desde su positivismo evita fantasear?, ¿pueden los conceptos de musicalidad y bienestar animal articularse para hacer una investigación transdisciplinaria que cree, innove, genere tecnología y propicie la apropiación social del conocimiento?

Lo expresado en este capítulo no es una sistematización de información en tanto clasificación y catalogación de distintos tipos de datos o presentación de resultados de investigación. En esta experiencia están presentes las percepciones, sensaciones, emociones e interpretaciones de los protagonistas sobre lo “vivido”.

2. Metodología

Siguiendo los lineamientos descritos por Bradbury, Falkembach y Carrillo (2017), la metodología utilizada para sistematizar esta “experiencia” ocurre en cinco momentos: el punto de partida, las preguntas iniciales, la recuperación del proceso vivido, la reflexión de fondo y los puntos de llegada. Esta metodología fue elegida considerando que, para nosotros, la sistematización contiene dos elementos muy importantes: un proceso que permite organizar la experiencia para comunicarla y una herramienta que contribuye al mejoramiento de las prácticas. Esta metodología nos permitió un acercamiento a la realidad y a los elementos de la misma para analizarla y comprenderla.

Para la sistematización consideramos fuentes de información recopiladas durante la elaboración y ejecución de cuatro proyectos de investigación y sus respectivos momentos de apropiación social del conocimiento, al igual que documentos de carácter público a nivel nacional relacionados. Así, realizamos una evaluación reflexiva de las actividades consignadas en los cuadernos de trabajo, los diarios de campo, las actas de reuniones, las preguntas para la reflexión a fondo y, por supuesto, los saberes que poseían los investigadores, los estudiantes de los semilleros de investigación y la comunidad intervenida.

3. Resultados

3.1. *La experiencia Porcópolis*

La experiencia *Porcópolis* se relata a partir de los análisis de cuadernos de trabajo, las actas y las grabaciones de reuniones de los proyectos construidos por los equipos de investigación durante cinco años (2018 a 2022), así como las publicaciones realizadas. También se exponen reflexiones realizadas con los estudiantes y las conclusiones del colectivo involucrado.

3.2. *El punto de partida*

En una primera etapa, la investigación nació como un trabajo solitario del profesor Berardo Rodríguez, coordinador del grupo de investigación en patobiología Quirón, que buscaba, por un lado, articular algunas ideas distantes y, por otro, expresar su musicalidad ancestral. Esta musicalidad se refiere a las enseñanzas rítmicas, melódicas y dancísticas transmitidas por sus abuelos, quienes en su niñez constituyeron un puente entre las prácticas musicales de sus ancestros esclavizados y su realidad actual como afrodescendiente nativo de las montañas del valle del río Porce en Antioquia. Dicha musicalidad, que fue inhibida por



las posturas positivistas de las ciencias naturales durante sus 20 años de desempeño como docente e investigador en patología veterinaria, inició con los cantos y bailes de su abuela Carmelina y generaron una energía creadora presente desde una edad temprana. Esta energía se transformó en una espiral cognitiva alimentada por sus experiencias e interacciones humano-animal como profesor investigador en una universidad pública.

La semilla musical ancestral, la necesidad de compartir conocimiento desde perspectivas variadas con la sociedad y el deseo de continuar creciendo como persona desde diferentes ámbitos impulsaron al profesor Rodríguez a construir lo que él llama su “formación integral”. Esta formación o construcción multidimensional de la persona, unida a la necesidad del profesor de compartir su formación humanista de manera responsable y transformarla en un legado para sus estudiantes, fueron las motivaciones para emprender la experiencia colectiva que aquí se relata.

En un principio el profesor compuso una obra musical en la que se articuló el arte, sus experiencias veterinarias y su investigación sobre una nueva disciplina denominada biomusicología (Fitch, 2015). Esa obra musical, denominada “cognición *Suina*”, constituyó un punto de partida, un ensayo para realizar una alianza, una comunicación entre las especies animales humana y porcina, una obra musical funcional veterinaria y con motivaciones estéticas cuyos objetivos trascienden el arte y tienen una función: la de enriquecer el ambiente de los sistemas de producción intensiva para disminuir el estrés crónico y mejorar la salud de los porcinos confinados. Esta obra, y otras derivadas de la misma, se utilizaron en los primeros experimentos para implementar metodologías que valoraran su efecto sobre los estados emocionales y la conducta en los porcinos.

En una segunda etapa se creó una línea de investigación denominada “biomusicología, patobiología y salud” en el seno del grupo de investigación en patobiología Quirón, la cual se inscribió posteriormente en el programa de Doctorado en Ciencias Veterinarias de la Universidad de Antioquia. Luego, dos estudiantes de doctorado, uno de maestría y el director de sus tesis de grado empezaron a construir preguntas en torno a la musicalidad animal. Las primeras preguntas fueron ¿cómo articular el arte, específicamente la música, a una investigación en ciencias veterinarias? y ¿puede la música utilizarse para mejorar la salud animal?

Es importante aclarar que en estos primeros momentos se entendió la música como “un arte que organiza el sonido y el silencio y utiliza como componentes estructurales la melodía, la armonía y el ritmo para disponerlos en el tiempo y generar procesos neurofisiológicos en los oyentes” (Conrad, 2010). A través de la historia, a la música se le ha conferido un uso artístico, es decir, un uso estético en el que la “belleza” surge de la organización del sonido e impacta diferentes esferas del ser, como las emociones y el comportamiento. Por otro lado, la música ha tenido una función comunicativa: algunos autores (Nikolsky, 2020; Mithen, 2007) sugieren que antes de la aparición del lenguaje, nuestros antepasados ya realizaban gestos, vocalizaciones y ritmos. En este sentido, la música permitió al animal humano disponer de un vehículo para comunicar emociones y generar contagio emocional. Es así que en la actualidad una obra musical puede generar la misma reacción emocional en personas de diferentes etnias, con lenguas y costumbres disímiles. En el caso de los animales no humanos, principalmente en los mamíferos, se conoce que comparten estructuras anatómicas y procesos funcionales con el humano, las cuales les permite procesar la información acústica presente en la música (Hoeschele et al., 2015).

Hacer música es una práctica antigua, desde los orígenes de la humanidad se realiza música con propósito, es decir, música funcional. La

música desde su origen ha sido útil, esto la convierte en un desarrollo tecnológico humano (Patel, 2010). Entre sus usos están el pastoreo en algunas etnias y la ambientación de espacios, circunstancias, rituales y ceremonias. La música para cine y otros productos audiovisuales combina lo estético y lo funcional con el propósito de generar emociones que refuercen el mensaje de las escenas.

3.3. Las preguntas iniciales

Durante las discusiones temáticas del grupo Patobiología Quirón, en los primeros momentos de nuestro proceso de investigación, surgieron las siguientes preguntas con respecto al uso de la música en animales: ¿la medicina veterinaria utiliza música?, ¿existe música funcional veterinaria?, ¿los animales responden emocional y conductualmente a la música?

En las revisiones de literatura sobre el tema, así como en la búsqueda de plataformas de música en *streaming*, encontramos que la música se ha utilizado principalmente en animales de compañía y que existen experiencias y plataformas digitales que ofrecen música para diferentes usos en las mascotas. Sin embargo, encontramos escasos estudios científicos que verificaran los beneficios atribuidos a estas producciones. Tampoco encontramos descripciones documentadas de los procedimientos para producir música con propósitos veterinarios. En un estudio de 2020 se identificaron únicamente nueve publicaciones a nivel mundial que valoraran el uso de música en animales de compañía utilizando métodos clínicos y etológicos (Lindig et al., 2020).

Posteriormente, los investigadores del grupo de investigación Quirón realizamos la siguiente pregunta: ¿tiene la música efectos sobre la patobiología de la enfermedad? La búsqueda de literatura científica relacionada reveló escaso conocimiento y carencia de desarrollos tecnológicos para

realizar musicoterapia veterinaria y para diseñar estrategias orientadas a mejorar el bienestar y la salud animal. Esto motivó a los integrantes del grupo Quirón a realizar la reproducción musical de ocho composiciones originales recopiladas en el trabajo “Espiral de alianza”. Este trabajo musical, que se planteó como una base acústica y conceptual para el estudio de la musicalidad y sus efectos sobre los mecanismos de la enfermedad en animales, permitió identificar componentes susceptibles de intervención para diseñar y desarrollar un prototipo bioneuromusical psicoacústico para disminuir el estrés y mejorar el bienestar animal, la salud y la productividad.

En un siguiente momento se realizó una nueva pregunta: ¿cómo puede clasificarse el nivel tecnológico de esta iniciativa? La respuesta llegó de la Unidad de Gestión Técnica de la Universidad de Antioquia, pues sus funcionarios nos hablaron sobre el Technology Readiness Level (TRL), una forma de medir y describir la madurez de una tecnología. El TRL fue un concepto implementado en primer lugar por la NASA y su uso se expandió y actualmente se aplica a una diversidad de proyectos desde el momento en que surge la idea original hasta que se realiza su despliegue comercial. Por lo tanto, si consideramos una tecnología particular y conocemos la información del TRL, o la clasificación en que se encuentra según este, podemos hacernos una idea de su nivel de madurez (NASA, 2015). De los nueve niveles posibles, en su momento nuestro prototipo clasificó en un nivel tecnológico TRL4. Contar con ese prototipo llevó a la ejecución del proyecto “Validación de un prototipo bioneuromusical de enriquecimiento ambiental y de su protocolo de uso para disminuir el estrés, mejorar la salud, el bienestar animal y la productividad en la porcicultura”.

La investigación para validar el prototipo se realizó en porcinos, animales que sirven como modelo de investigación por sus semejanzas anatómicas, fisiológicas y de comportamiento con los humanos. Además,



están expuestos rutinariamente a estrés debido a las condiciones intensivas de producción a las que son sometidos, las cuales tienen efectos negativos en su bienestar (Lind et al., 2007). Esta investigación demostró que el programa de estimulación musical que desarrollamos es una herramienta útil para el enriquecimiento ambiental en animales (Zapata Cardona et al., 2022). El prototipo generó efectos benéficos sobre el estado emocional, la conducta y la homeostasis, favoreciendo la salud y el bienestar de los animales. El prototipo fue validado experimentalmente en condiciones reales de producción y constituyó un avance en ciencia, tecnología e innovación para el sector pecuario. El nivel de madurez asignado a la tecnología en ese momento fue TRL7. Esta tecnología fue incluida en el portafolio tecnológico de la Universidad de Antioquia, en la sección de alimentos y agroindustria.¹

Para continuar la experiencia nos apoyamos en la biomusicología, una nueva disciplina que estudia la musicalidad y plantea que este rasgo o característica atribuida al animal humano, y que consiste en su capacidad de crear y apreciar estéticamente la música, se explica como un proceso biológico con bases en la evolución y el desarrollo de los procesos neurocognitivos en las especies animales (Fitch, 2015).

La evidencia empírica de nuestra investigación reveló que los porcinos presentan respuestas emocionales, fisiológicas y conductuales a la música desarrollada si se consideran sus preferencias psicoacústicas. Esto nos llevó a formular la pregunta: ¿es posible realizar estudios comparados entre las especies porcina y humana con respecto a los mecanismos que inducen las respuestas a la música?

1 Ver: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/extension/portafolio-tecnologico>

Para responder este interrogante se formuló el proyecto de investigación titulado “Evaluación del cerdo como modelo animal para el estudio de la biomusicología y el estrés crónico”, financiado con recursos de la “Convocatoria Programática Área Ciencias Sociales, Humanidades y Artes 2018” de la Universidad de Antioquia. Durante su ejecución se determinó que los porcinos perciben los parámetros acústicos de una obra musical, lo cual genera respuestas emocionales específicas (Zapata Cardona et al., 2022).

Mientras buscábamos explicación para estos hallazgos ingresamos en otros campos del conocimiento, los cuales nos llevaron a formular nuevas preguntas como: ¿existe evidencia científica de inteligencia porcina? En ese momento, los hallazgos de nuestro equipo sobre la relación entre música y emociones en los cerdos aumentaron el interés por esta especie; la vislumbramos como un posible modelo para estudiar el efecto de la música en animales y sus posibles aplicaciones.

A diferencia de los roedores utilizados comúnmente en investigación biomédica, la especie porcina posee una anatomía del sistema nervioso central similar a la de los humanos. Recientemente esta especie ha despertado un interés que se expresa en un aumento en las publicaciones que proveen información sobre sus capacidades mentales. Entre ellas, se documenta un espectro de funciones cognitivas importantes (Marino & Colvin, 2015); una especie porcina vietnamita fue vista utilizando herramientas, una cualidad propia de algunas especies consideradas de mayor inteligencia como los grandes primates (Root-Bernstein et al., 2019); también se documenta que los porcinos se reconocen en el espejo, lo que es interpretado por los etólogos como un rasgo indicador de consciencia de sí mismos (Broom, et al., 2009) (Figura 1).

La música, como sonido organizado, es percibido e interpretado como información por los porcinos, humanos y otras especies. Esta informa-



Figura 1. Ilustración de cerdo en el espejo incluido en la cartilla para estudiantes del programa educativo *Porcópolis*

Autora: Verónica Bermúdez

ción acústica es llevada del oído al sistema nervioso central, donde es conducida por diferentes rutas neuronales que generan emociones e inician la regulación de las actividades de los sistemas nervioso autónomo, neuroendocrino e inmunológico (Brefczynski-Lewis & Lewis, 2016; Paul et al., 2005; Paul et al., 2020). De esta manera, el estado emocional generado por la música impacta el comportamiento, el estrés y, de manera consecuente, la salud, pero: ¿puede la música regular conductas agresivas en la especie porcina?

Los resultados de nuestras investigaciones evidenciaron que el uso de música original, compuesta y producida con base en las preferencias psicoacústicas de los porcinos, reduce significativamente la cantidad y gravedad de lesiones en la piel producidas por conductas agresivas (Duque, 2021). La valoración de la disminución en la cantidad de este tipo de lesión se considera un indicador del efecto benéfico de la música sobre el bienestar animal en nuestros estudios.

3.4. *Incubación de una empresa spin-off*

Las preguntas anteriores, así como los proyectos de investigación que originaron, permitieron el escalonamiento de la tecnología desarrollada a un nivel de madurez TRL7, como se mencionó anteriormente. Este escalonamiento indica que un prototipo funcional y su protocolo de aplicación fueron validados en un ambiente productivo relevante; en nuestro caso, la granja de producción porcina de la Universidad de Antioquia. Esta granja es un sistema productivo comercial que permite evaluar las tecnologías que requiere el sector agrario regional en condiciones de campo.

En ese momento nos preguntamos: ¿cuál es la vía más apropiada para entregar este conocimiento a la comunidad y realizar apropiación del conocimiento? Decidimos enfocarnos en la creación de una *spin-off*. Las *spin-off* son empresas que ofrecen productos y servicios basados en resultados de investigación y desarrollos protegidos por derechos de propiedad intelectual a favor de la universidad con cuyo licenciamiento se pueden obtener regalías (Walter et al., 2006).

En el marco de la convocatoria para la creación y el fortalecimiento de *spin-offs* del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación y Créame del 2020, nuestro equipo participó por la Universidad de Antioquia con un proyecto titulado “Voluta - Soluciones tecnológicas basadas en crea-



ciones musicales para la disminución del estrés en animales de granja”. Este proyecto fue favorecido y recibió acompañamiento en la estructuración y fortalecimiento de la iniciativa empresarial durante el 2021.

La nueva *spin-off* pretende generar soluciones tecnológicas benéficas para la salud y el bienestar animal, al igual que relacionarse con los usuarios a través de un ecosistema digital para llegar a diferentes segmentos (productores, gremios, clínicas veterinarias, empresas del sector pecuario, entre otras). Esta *spin-off* continuará conciliando el binomio ciencia y arte que la originó.

3.5. La recuperación del proceso vivido para la creación de Porcipolís

Tras observar que la música en nuestros experimentos generó disminución de conductas agresivas en el modelo porcino nos interesamos por la violencia, que entendemos como un tipo de interacción por medio de la cual un animal o grupo de animales intencionalmente causa daño o impone una situación a otro u otros animales (Byrne & Whiten, 1988; Whiten & Byrne, 1997). La habilidad de tomar la perspectiva de otro individuo se considera una capacidad mental compleja que puede formar la base de un tipo específico de cognición social conocida como Inteligencia Maquiavélica (Whiten & Byrne, 1997). La inteligencia maquiavélica se define por las maniobras políticas, por ejemplo, el engaño y la manipulación, y se supone que es un importante impulsor de la inteligencia en los primates y algunas otras especies, como los perros (Byrne & Whiten, 1988; Whiten & Byrne, 1997).

La violencia es un factor que genera estrés crónico y tiene un impacto negativo en la arquitectura del cerebro en su proceso de maduración, ya que, como afirma Pinheiro (2006),

[...] la exposición prolongada a la violencia en el animal humano, inclusive como testigo, conlleva a una perturbación de los sistemas nervioso e inmunológico que puede provocar limitaciones sociales, emocionales y cognitivas, así como dar lugar a comportamientos que causan enfermedades, lesiones y problemas sociales. (p.14)

Debido a que se ha mostrado que promover interacciones positivas con los animales enseña a los niños aspectos importantes de las relaciones con los demás, como el respeto, la comprensión de límites y el respeto mutuo (Sanders, 2003; DeLisle & Ilte-Clark, 2011), consideramos que enseñar a los niños del sector rural sobre bienestar animal puede generar empatía dirigida también a los humanos y una reducción general concomitante de la conducta agresiva como se ha reportado previamente (Nicoll et al., 2008; Thompson & Gullone, 2003). Con esa motivación formulamos nuevas preguntas para ese momento: ¿puede utilizarse la música para modular la expresión de conductas violentas en humanos y animales? y ¿cómo utilizar el conocimiento logrado previamente en el grupo de investigación para interactuar con la sociedad y contribuir en la construcción de paz?

Revisando literatura sobre el tema encontramos que la exposición a la violencia durante la niñez puede provocar mayor predisposición a sufrir limitaciones sociales, emocionales y cognitivas durante toda la vida, a la obesidad y a adoptar comportamientos de riesgo para la salud como uso de sustancias adictivas, relaciones sexuales precoces y consumo de tabaco (Pinheiro, 2006). Otros problemas sociales y de salud mental relacionados con la exposición a la violencia incluyen trastornos de ansiedad, depresión, alucinaciones, bajo desempeño laboral, trastornos de memoria y comportamiento agresivo (Fortin & Favre, 1999).

Algunos autores informan que la violencia doméstica se asocia a comportamientos de abuso o violencia contra las mascotas en la niñez o

juventud (Thompson & Gullone, 2006). Otros estudios mostraron que el abuso de las mascotas por parte de los niños es un síntoma de trastorno psicológico causado por eventos disruptivos que puede conducir a la inhibición o a una distorsión de la empatía (Viñas, 2008). Hay estudios que demuestran que la violencia es gradual, pues afirman que las personas violentas suelen iniciar los abusos en la infancia y dirigirlos a los animales antes de cometer tales acciones contra personas de su familia, o por fuera de esta en caso de que no se intervenga (Newberry, 2017; Sueur & Pelé, 2018). Por lo anterior, consideramos que luchar contra el maltrato animal es un paso crucial para poner fin a todo tipo de violencia.

Con esos antecedentes tomamos la decisión de construir el programa educativo *Porcópolis*. La financiación para su creación se obtuvo de la convocatoria “Con TIC Investigo 2019-2” de la vicerrectoría de docencia de la Universidad de Antioquia.

3.6. El diseño del programa

El desarrollo de esta propuesta integró conocimientos de manera transdisciplinar para modelar un ambiente de aprendizaje basado en el sistema de producción porcina con problemas asociados al bienestar animal y al deterioro ambiental y social. Este ambiente incorporó composiciones musicales originales realizadas en las investigaciones previas. Mediante el uso de TIC para la innovación en educación se abordaron problemas reales de la ruralidad y del sector agrícola como ejes problematizadores para la formación de valores en niños y jóvenes de primaria y bachillerato del sector rural. El programa está concebido para ser aplicado por los profesores de las escuelas y colegios rurales por medio de herramientas para la planificación que se encuentran consignadas en un manual que se describirá posteriormente.



El programa educativo propone la formación en bienestar animal como una estrategia educativa para generar empatía entre especies en tanto favorece actitudes y comportamientos positivos a partir de la preocupación por el otro, tanto en las relaciones humanas como en las relaciones entre especies (Hoffman, 2000). La empatía puede integrar fenómenos como la adquisición de perspectiva, sinónimo de empatía cognitiva, de contagio emocional, pero también sentimiento de culpa, o comportamiento de ayuda o solidaridad. La percepción y la representación del otro puede entonces generar fenómenos afectivos, cognitivos y motores. La empatía se considera un atributo propio del humano y de muchos mamíferos superiores (De Waal, 2007).

Los principios pedagógicos que orientan este programa son: un enfoque en el aprendizaje que pone al alumno en el centro del proceso, considera los aprendizajes previos del alumno y promueve la motivación intrínseca del estudiante. Se reconoce la naturaleza social del conocimiento que implica un aprendizaje compartido con el profesor y los compañeros, lo cual favorece la cultura del autoaprendizaje. Se propende por el aprendizaje informal en fuentes diversas de información. Todo lo anterior se modela mediante estrategias didácticas contextualizadas, utilizando la gamificación apoyada por la tecnología.

Comprendemos la gamificación como una técnica que consiste en trasladar la mecánica de los juegos a la práctica educativa, con lo cual las actividades rutinarias se convierten en un proceso lúdico de aprendizaje que impulsa la forma natural de aprender. Con esta técnica pretendemos dar al estudiante la oportunidad de hacer elecciones y tomar decisiones a través del juego. Se busca generar una dinámica progresiva “mediante pequeños logros” que desarrolle habilidades sociales (competir, colaborar, compartir), genere hábito, cree lealtad y expectativa.

3.7. ¿Por qué el nombre *Porcópolis*?

Esta propuesta nace de una narrativa creada a partir de reflexiones colectivas de los actores e investigadores. Las ideas fueron articuladas por el profesor Berardo Rodríguez en una ficción que gravita en torno a una analogía entre *Porcópolis* y la metrópolis griega, ciudad madre de la que se originaron colonias. En la ficción se representa la formación de migraciones y asentamientos dispersos en el universo habitados por especies biológicas con un origen evolutivo común, pero con roles diferentes (dominantes y serviles) e influidas por el prejuicio y diferentes conflictos. A través de la observación que realizan de las conductas humanas, los personajes de *Porcópolis* cuestionan y enseñan cómo utilizar la empatía y otras habilidades sociales para resolver conflictos. Esta narrativa se articula en una transmedia gamificada que se expande por medio de diferentes sistemas de significación y experiencias interactivas inmersivas para involucrar a los alumnos y motivar su participación, colaboración y creatividad (Burke, 2012). La ludificación del programa los entrena para el desarrollo de valores y habilidades sociales mientras que descubren animales mitológicos y la historia de la humanidad asociada a la domesticación.

3.8. ¿Cuál es la estructura del programa?

El programa se estructura en cinco grandes bloques o unidades: el primero consta de tres sesiones en las que se trabaja la fundamentación del concepto de empatía y se hace un diagnóstico que refuerza los resultados obtenidos en encuestas previamente realizadas a los estudiantes. El segundo, denominado “hermanos biológicos”, consta de cuatro sesiones que abordan las semejanzas y diferencias generales entre los mamíferos y reconoce al animal humano como un pariente cercano de los grandes primates. En el tercer bloque se trabajan la inteligencia y

las emociones de los animales como una forma de desmitificar, desde la biología, los prejuicios culturales sobre las capacidades cognitivas y emocionales de los animales. En el cuarto se exponen evidencias de comportamientos sociales en los animales y en el quinto se estudia el derecho de los animales (incluidos los humanos) al bienestar, el cual resulta de la evolución de los procesos de empatía, fundamento de la moral y la justicia.

Como puede verse, todos los temas y actividades que se abordan están guiados por un concepto articulador: la empatía, la cual definimos como una disposición para reconocer a los demás como una posible versión de sí mismo. En otras palabras, la empatía es la voluntad de participar en un proceso que consiste en percibir el marco interno de referencia de otro ser para sentir, “en nuestro interior” y sin confundirnos, como si fuéramos ese ser. Esto debe generar un estilo de vida que se fundamente y arraigue en la experiencia y que permita reconocer directamente a los “otros” como seres sensibles.

3.9. Las etapas de la construcción del programa

3.9.1. Etapa 1: análisis de la relación humano-animal en la región.

Evaluamos la empatía interespecie en el contexto social de la educación rural mediante la adaptación y aplicación de un instrumento que permitió evaluar las actitudes, la empatía y el apego hacia los animales en niños y adolescentes de la institución rural Héctor Higinio Bedoya Vargas en el municipio de Heliconia, Antioquia. El instrumento consistió en un cuestionario que incluyó datos de carácter social y una evaluación psicométrica basada en la escala de Likert con diferentes enunciados relativos a las actitudes, el apego y la empatía hacia los animales (Joshi et al., 2015).



Los datos obtenidos se sometieron a evaluación estadística y se generaron parámetros descriptivos como distribuciones porcentuales, medias, modas y desviación estándar. La relación entre las respuestas se analizó mediante la correlación de Spearman y se usó el Anova de una y dos vías para describir las interacciones con variables como sexo y edad. También se analizó el Alpha de Cronbach, coeficiente que evalúa la consistencia interna del cuestionario (Confiabilidad y Coeficiente Alpha de Cronbach, 2010). De esta investigación se concluyó que la población de niños y jóvenes encuestados, en su contexto particular, presentaron actitudes positivas hacia los animales. Sin embargo, el apego y la empatía tuvieron menor calificación, específicamente en lo relativo a especies de producción como el cerdo.

3.9.2. Etapa 2: análisis de la relación humano-animal presente en las estrategias didácticas y en los textos escolares utilizados en la región.

Se visitó la institución educativa rural Héctor Higinio Bedoya Vargas para identificar los textos escolares, la disponibilidad y el uso de herramientas TIC y los componentes de la propuesta de lectoescritura que tienen implementada allí (Vargas García, 2015). Luego se realizó un metaanálisis de textos y artículos relacionados con varias dimensiones del bienestar animal y el relacionamiento histórico del humano con los animales. También se realizó una revisión detallada de la malla curricular entre el grado sexto y once, teniendo en cuenta los ejes generadores y los objetivos de cada nivel. Los documentos revisados en el metaanálisis fueron integrados a la malla curricular como una propuesta para que la institución cuente con materiales de estudio adicionales que faciliten la integración de la temática del bienestar animal y la empatía interespecie en el programa de estudio.

3.9.3. Etapa 3: diseño de estrategias didácticas basadas en las TIC para la formación en valores.

Del desarrollo de esta etapa se obtuvieron cuatro productos integrados que, en conjunto, promueven el desarrollo de habilidades sociales en los niños (Figura 2).

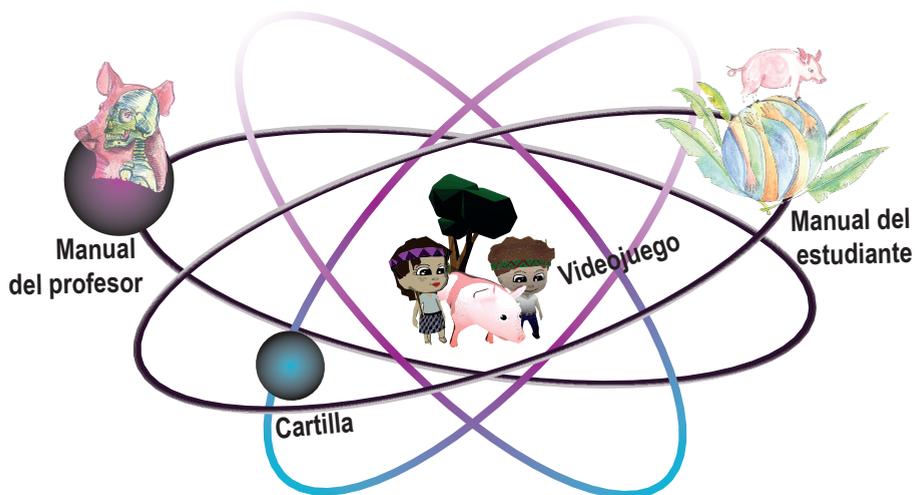


Figura 2. Ilustración que representa las herramientas didácticas de *Porcópolis* articuladas de manera sistémica por la gamificación

Autora: Verónica Bermúdez

Los productos desarrollados fueron:

a. Manual del profesor

Este documento es una guía para que el profesor diseñe y planifique las actividades que realizará en el aula y retroalimente otras actividades que los estudiantes realizarán fuera de ella. El manual ofrece orientación con respecto a: (i) la competencia o destreza que se desea generar; (ii) el nivel de pensamiento y reflexión que se generará en los niveles del

juego; (iii) el grado de alfabetización digital tanto del docente como del alumno; (iv) la herramienta tecnológica para desarrollar la actividad y (v) los métodos para medir los logros obtenidos al finalizar la actividad.

b. Videojuego

La educación actual debe recurrir a nuevas herramientas didácticas que motiven y dinamicen el aprendizaje. Por este motivo se desarrolló un videojuego en formato aplicación (*app*) para dispositivos móviles con sistema operativo Android 6.0 o superior, el cual puede ser usado dentro y fuera del aula de clase (Figura 3). El videojuego presenta un mundo virtual llamado *Porcópolis* en el que el jugador debe procurar garantizar la vida de un cerdo y su bienestar a partir de actividades como alimentarlo, bañarlo, acariciarlo y componerle música. Al mismo tiempo hay una actividad conjunta entre los jugadores que consiste en vincular el dispositivo electrónico de dos jugadores para que interactúen, compartiendo el encuentro y relacionamiento de sus cerdos en una granja en la que comparten frutas para su alimentación. A través de este mundo virtual se pretende generar empatía con los animales usando un lenguaje que dialoga con la cultura visual de los estudiantes. Además, permite a los niños y jóvenes asumir papeles contextualizados, es decir que se enfrentan a desafíos como alimentar, compartir, aprender de su experiencia de juego y de los resultados de sus compañeros. Con esto se busca que los estudiantes tengan alta motivación por el logro, mayor tolerancia a la frustración y que mejoren su capacidad para tomar riesgos, resolver problemas y tomar decisiones.

c. Manual del estudiante

Como herramienta de apoyo al manual del profesor, se presenta un manual para los estudiantes que incluye una narrativa sobre una civilización del futuro de seres quimera humano y porcino que realizan viajes



Figura 3: Ilustración del logo del videojuego y código para acceder a su tráiler
Autores: semillero de desarrollo de videojuegos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia

en el tiempo para revivir la historia de su origen (Figura 4). Estos seres interactúan en diferentes momentos históricos y mitológicos con los humanos y en cada uno van identificando los roles de los seres sociales, dominantes y serviles, influidos por el prejuicio y los conflictos. En este manual se incluyen diferentes juegos y actividades que los estudiantes pueden desarrollar en el aula con el acompañamiento del profesor o de manera extracurricular.

d. Cartilla para el estudiante

Este material incluye cuentos, infografías y diferentes actividades que contextualizan y exponen problemas sobre los derechos y libertades de los animales silvestres y problemas medioambientales; además, presenta la emocionalidad en los animales y la necesidad de promover su cuidado y su bienestar. Es un material enfocado a la empatía como una forma de garantizar un mejor relacionamiento del ser humano con sus congéneres, con otros animales y un camino para la reconciliación con la naturaleza.



3.9.4. Etapa 4: elaboración de iteraciones de la transmedia gamificada.

Para la construcción de los diferentes elementos de la transmedia gamificada se realizaron las siguientes etapas de producción: ideación, creación de los mundos virtuales, programación de un tamagotchi, desarrollo de minijuegos, desarrollo del módulo de música (compositor), desarrollo del módulo de interacción entre dispositivos y composición y producción de música original para las escenas.

El desarrollo de esta transmedia gamificada utilizó una metodología *Scrum*,² una metodología japonesa de organización de actividades y tareas en el desarrollo de un proyecto de esta naturaleza (Lei et al., 2017). Esta se adaptó a las necesidades específicas del proyecto a través de una serie de *sprints*³ con entregas de actividades puntuales que se despliegan de cada tarea tomada de un tablero *Kanban*.⁴

Discusión

A continuación, realizaremos una reflexión con el propósito de recuperar los aspectos metodológicos de la experiencia *Porcópolis* y expondremos la comprensión de las causas de lo sucedido, las particularidades y los factores claves en la experiencia.

-
- 2 Es un proceso que permite abordar un conjunto de tareas con el fin de fomentar el trabajo colaborativo. Asimismo, pretende potenciar la coordinación de los equipos de trabajo y dar solución a las situaciones complejas que se puedan presentar en un proyecto.
 - 3 Dentro de la metodología *Scrum*, los *sprints* son los núcleos de trabajo basados en miniproyectos de no más de un mes de ejecución en los que se planifican los productos y objetivos. Al finalizar se realiza un *feedback*.
 - 4 Es una herramienta visual para la organización y gestión del trabajo, se divide en columnas que representan las fases del proyecto y el estado en el que se encuentran.



Figura 4. Ilustración de la quimera porcino humano, representación de la evolución tecnológica de la civilización y la naturaleza animal contenida en la inteligencia humana

Autora: Verónica Bermúdez

Cuando iniciamos este proceso en 2018 la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia no contaba con un acercamiento previo a una experiencia que articulara investigación entre disciplinas procedentes del arte, las ciencias humanas, las ciencias naturales y la ingeniería. Hacerlo requirió un abordaje transdisciplinario, un tema insólito en el contexto habitual de nuestro quehacer como investigadores de las ciencias agrarias en Colombia, por lo que ponerla en práctica en nuestros grupos de investigación exigió romper paradigmas.

Tocar diversas áreas del conocimiento articuladas armónicamente por problemas comunes hizo que la transdisciplinariedad trascendiera la postura jerárquica de la interdisciplina, transformando la estructura de



pensamiento de los actores y de las prácticas realizadas (Cohen & Lloyd, 2014). La intención tras el enfoque transdisciplinar fue superar la parcelación y fragmentación del conocimiento que reflejaban las disciplinas particulares y la consiguiente especialización y aislamiento reinante en las prácticas investigativas habituales, las cuales causan dificultad para comprender realidades complejas caracterizadas por la multiplicidad de sus nexos y de las interconexiones que las constituyen.

Al principio el equipo experimentó temor al error, al fracaso, al ridículo, al cuestionamiento por otros interlocutores desde otras miradas y desde sus saberes, situación que dificultó mover el engranaje y comenzar a actuar. El hecho de que la medicina veterinaria utilice un estilo de pensamiento basado en el método deductivo, cuyo razonamiento parte de observaciones generales para encontrar respuestas particulares, hizo aún más complejo el inicio de un emprendimiento dominado por un estilo de pensamiento inductivo. La presión de los colectivos disciplinares, que a modo de tribus urbanas observaron con curiosidad las actividades de los investigadores en formación, incrementó el miedo al fracaso. Sin embargo, el ejercicio de argumentación constante en espacios inusuales, la confianza y la motivación fueron herramientas que contribuyeron para aprender a manejar el temor. El equipo priorizó una cultura de aprendizaje amable, afectuoso y lúdico y rechazó los estereotipos de la amenaza y el chantaje propios de las posturas egocéntricas del trabajo monodisciplinar. Así, generamos un entorno amigable que no castigó el error; por el contrario, lo entendimos como una oportunidad para aprender y para adquirir herramientas para gestionar la derrota de manera útil. El cambio hacia el enfoque transdisciplinar promovió que los investigadores ejercieran una democracia desde el diálogo activo.

Las ideas y experiencias de estos actores permitieron el desarrollo de un acervo de capacidades policompetentes para adaptarse y derivar hacia



nuevas visiones de la realidad. Esto permitió realizar un análisis crítico de los hallazgos, formular nuevas preguntas con grado ascendente de complejidad y diseñar soluciones para los múltiples y variados problemas que surgieron. Las preguntas y reflexiones no se realizaron desde el aislamiento de las disciplinas, sino desde la necesidad del conocimiento requerido en cada momento. Esto propició ejercicios de metaanálisis que generaron nuevas deliberaciones frente a la intencionalidad y pertinencia de nuestro proceder.

Durante el proceso se dio prelación al razonamiento inductivo (Woiceshyn & Daellenbach, 2018), partiendo de la hipótesis de que a partir de una evidencia singular surgía la posibilidad de una conclusión general que se expresaba en términos de probabilidades, tendencias o posibilidades, aunque inicialmente estas últimas no permitieran afirmar nada de manera contundente. Esta forma de razonamiento fue valiosa pues incorporó la creatividad y permitió arriesgar conclusiones innovadoras que, si bien no eran fácilmente demostrables, podían someterse a consideraciones, pruebas y mecanismos de validación que posteriormente condujeron a resultados verificables. El método sirvió para expandir el conocimiento sobre la realidad compleja estudiada.

Los pasos del método inductivo se aplicaron de la siguiente manera: inicialmente se observaron los fenómenos de interés, luego se establecieron patrones posibles. Esto significa que, a partir de la comparación de los datos, se buscó en ellos alguna relación o indicio que resultara revelador o que fuera lo suficientemente común para suponerlo general. Finalmente, basándonos en los patrones trazados, se construyeron conclusiones generalizadoras que dieron cuenta de todos los posibles fenómenos similares. Esta estrategia también se utilizó para la creación de las obras musicales que constituyen el programa de enriquecimiento ambiental para porcinos y del videojuego *Porcópolis*.



La creación articuló y catalizó el desarrollo de una obra musical desde diferentes medios y laboratorios a partir de la noción de la autorreferencia, entendida como un sistema de apropiación del conocimiento basado en la relación creación-investigación. El proceso creativo fue semiestructurado y flexible y se modificó y construyó de manera simultánea con el proceso investigativo, del cual se retroalimentó. Así, no se trató de un proceso lineal, sufrió modificaciones propias del proceso de improvisación y de exploración creativa, características que en ningún momento significaron falta de rigurosidad sino, más bien, una forma de reflexión, análisis y observación creativa.

Este abordaje transdisciplinario, que implicó la creación artística y la generación de una tecnología para producir música con efectos verificables sobre el bienestar, la salud y la productividad animal, transitó desde la musicalidad y sus orígenes biológicos, hacia el efecto de la música sobre las emociones, pasando por estudios comparativos entre humanos y animales e incluso por una exploración de la naturaleza emocional de la violencia.

Nuestro punto de llegada fue la creación de una *spin-off* para generar soluciones tecnológicas y *Porcópolis*, un programa educativo para fomentar habilidades sociales, empatía por los animales, bienestar y construcción de paz en niños y jóvenes. Continuaremos articulando estos emprendimientos y creando valor compartido con la comunidad, los futuros empleados, profesionales y empresarios del sector agrario colombiano, pero en especial en merced de los animales que estarán bajo su responsabilidad.

Agradecimientos

Damos las gracias a MinCiencias y Créame por el acompañamiento y los recursos financieros para la creación de nuestra *spin-off*. A la oficina de

Gestión Tecnológica, al Fondo de Innovación, al Comité de Desarrollo de Investigación (CODI) y a la vicerrectoría de docencia de la Universidad de Antioquia por su apoyo financiero y humano. A la administración de la Facultad de Ciencias Agrarias, al Departamento de Formación de Haciendas y su personal por la ayuda logística. Al profesor Ariel Tarazona de la Universidad Nacional de Colombia y a los investigadores Yadira Iburgüen de la Universidad de Orleans y Alexandre Surguet de la Universidad de Tours en Francia por su apoyo y consejo constante.

Referencias bibliográficas

- Barrio Alonso, C. (2008). La apropiación social de la ciencia: nuevas formas. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 4(10), 213-225.
- Byrne, R. W., & Whiten, A. (1988). *Machiavellian intelligence: social expertise and the evolution of intellect in monkeys, apes, and humans*. Oxford University Press.
- Bradbury, H., Falkembach, E. & Carillo, A. T. (2017). Systematization of Experiences: A Practice of Participatory Research from Latin America. In *The SAGE Handbook of Action Research*. <https://doi.org/10.4135/9781473921290.n8>
- Brefczynski-Lewis, J. A. & Lewis, J. W. (2016). Auditory object perception: A neurobiological model and prospective review. *Neuropsychologia*, April, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.04.034>
- Broom, D. M., Sena, H. & Moynihan, K. L. (2009). Pigs learn what a mirror image represents and use it to obtain information. *Animal Behaviour*. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2009.07.027>
- Burke, B. (2012). Gamification 2020: what is the future of gamification. *Gartner, Inc.*, Nov, 5.
- Cohen, E. & J. Lloyd, S. (2014). Disciplinary Evolution and the Rise of the Transdiscipline. *Informing Science: The International Journal of an Emerging Transdiscipline*. <https://doi.org/10.28945/2045>
- Conrad, C. (2010). Music for healing: From magic to medicine. *The Lancet*, 376(9757), 1980–1981. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)62251-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)62251-9)
- DeLisle, S. & Ilte-Clark, C. (2011). *Humane education: A way to empower youth, enhance humane behaviors, and promote animal welfare*. Silhouettes, (3).



- Duque, A.S. (2021). *Efecto del enriquecimiento sensorial con estímulos sonoros, sobre las manifestaciones clínicas, las lesiones anatomopatológicas y parámetros*. [Tesis de maestría, Universidad de Antioquia]. <http://hdl.handle.net/10495/19602>
- Fitch, W. T. (2015). Four principles of bio-musicology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0091>
- Fortin, L. & Favre, D. (1999). Caractéristiques psychosociales et cibles de la violence d'élèves français et canadiens du secondaire. *Enfance*, 52(2), 171–189. <https://doi.org/10.3406/enfan.1999.3138>
- Hoeschele, M., Merchant, H., Kikuchi, Y., Hattori, Y. & ten Cate, C. (2015). Searching for the origins of musicality across species. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 370(1664), 20140094. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0094>
- Hoffman, M. L. (2000). *Empathy and moral development: Implications for caring and justice*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805851>
- Jona-Lasinio, C., Manzocchi, S. & Meliciani, V. (2019). Knowledge based capital and value creation in global supply chains. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.07.015>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S. & Pal, D. (2015). Likert Scale: Explored and Explained. *British Journal of Applied Science & Technology*. <https://doi.org/10.9734/bjast/2015/14975>
- Lei, H., Ganjezadeh, F., Jayachandran, P. K. & Ozcan, P. (2017). A statistical analysis of the effects of Scrum and Kanban on software development projects. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2015.12.001>
- Lind, N. M., Moustgaard, A., Jelsing, J., Vajta, G., Cumming, P. & Hansen, A. K. (2007). The use of pigs in neuroscience: Modeling brain disorders. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 31(5), 728–751. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.02.003>
- Lindig, A. M., McGreevy, P. D. & Crean, A. J. (2020). Musical dogs: A review of the influence of auditory enrichment on canine health and behavior. In *Animals*. <https://doi.org/10.3390/ani10010127>
- Marino, L. & Colvin, C. M. (2015). *Thinking pigs: A comparative review of cognition, emotion, and personality in Sus domesticus*. International Journal of Comparative Psychology.
- Mithen, S. (2007). *The Singing Neanderthals: The Origins of Music, Language, Mind, and Body*. Harvard University Press.
- NASA. (2015). Definition Of Technology Readiness Levels. *NASA Technology Readiness Level*.

- Nicoll, K., Samuels, W. E., & Trifone, C. (2008). An in-class, humane education program can improve young students' attitudes toward animals. *Society & Animals*, 16(1), 45-60.
- Nikolsky, A. (2020). The pastoral origin of semiotically functional tonal organization of music. *Frontiers in psychology*, 11, 1358. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01358>
- Newberry, M. (2017). Pets in danger: Exploring the link between domestic violence and animal abuse. *Aggression and Violent Behavior*. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2016.11.007>
- Pabón, R. (2018). Apropiación social del conocimiento: una aproximación teórica y perspectivas para Colombia. *Educación y Humanismo*, 20(34), 116-139.
- Patel, A. D. (2010) Music, Biological Evolution, and the Brain. En Melissa Bailar (Ed.) *Emerging Disciplines: Shaping New Fields of Scholarly Inquiry in and beyond the Humanities* (1° ed., Vol. 1. 41-64). Rice University Press.
- Paul, E. S., Harding, E. J. & Mendl, M. (2005). Measuring emotional processes in animals: The utility of a cognitive approach. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 29(3), 469–491. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2005.01.002>
- Paul, E. S., Sher, S., Tamietto, M., Winkielman, P. & Mendl, M. T. (2020). Towards a comparative science of emotion: Affect and consciousness in humans and animals. In *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.11.014>
- Pinheiro, P.S. (2006). *Informe mundial sobre la violencia contra los niños*. Naciones Unidas. Disponible en: https://violenceagainstchildren.un.org/sites/violenceagainstchildren.un.org/files/document_files/world_report_on_violence_against_children_sp.pdf
- Sanders, C. R. (2003). Actions Speak Louder than Words: Close Relationships between Humans and Nonhuman Animals. *Symbolic Interaction*, 26(3), 405–426. <https://doi.org/10.1525/si.2003.26.3.405>
- Sueur, C. & Pelé, M. (9 de marzo de 2018). *Lien entre violence domestique et violence sur animaux*. La Fondation Droit Animal. <https://www.fondation-droit-animal.org/96-lien-entre-violence-domestique-et-violence-sur-animaux/>
- Thompson, K. L. & Gullone, E. (2003). Promotion of empathy and prosocial behaviour in children through humane education. *Australian Psychologist*, 38(3), 175-182.
- Thompson, K. & Gullone, E. (2006). An investigation into the association between the witnessing of animal abuse and adolescents' behavior toward animals. *Society & Animals*, 14(3), 221-243.



- Root-Bernstein, M., Narayan, T., Cornier, L. & Bourgeois, A. (2019). Context-specific tool use by *Sus cebifrons*. *Mammalian Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2019.08.003>
- Straw, W. (2017). The Mediated City: The News in a Post-Industrial Context. *Journal of Communication*. <https://doi.org/10.1111/jcom.12309>
- Vargas García, D. (2015). Las TIC en la educación. *Plumilla Educativa*. <https://doi.org/10.30554/plumillaedu.16.1598.2015>
- Viñas, N. Q. (2008). Violencia Hacia Animales por Menores... ¿Cosas de Niños?. *Rev. Bioética & Derecho*, 13(12)
- Virla, M. Q. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12(2), 248-252.
- Walter, A., Auer, M, & Ritter, T. (2006). The impact of network capabilities and entrepreneurial orientation on university spin-off performance. *Journal of Business Venturing*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2005.02.005>
- Whiten, A., & Byrne, R. W. (Eds.). (1997). *Machiavellian intelligence II: Extensions and evaluations*. Cambridge University Press.
- Woiceshyn, J. & Daellenbach, U. (2018). Evaluating inductive vs deductive research in management studies. *Qualitative Research in Organizations and Management: An International Journal*. <https://doi.org/10.1108/qrom-06-2017-1538>
- de Waal, F. B. (2007). Do animals feel empathy? *Scientific American Mind*, 18(6), 28-35.
- Zapata Cardona, J., Ceballos, M. C., Tarazona Morales, A. M., David Jaramillo, E., & Rodríguez, B. de J. (2022). Music modulates emotional responses in growing pigs. *Scientific Reports*, 12(1), 3382. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07300-6>

Este texto recopila diversas experiencias en el uso de enfoques metodológicos innovadores en la investigación agropecuaria. Se destacan, entre otras, las revisiones sistemáticas y la sistematización de experiencias, el análisis multivariado y el desarrollo de aplicaciones educativas.

Con ello, este libro espera inspirar a los docentes a mejorar sus capacidades para la generación de nuevo conocimiento a través de abordajes metodológicos innovadores para la investigación.

Argentina (n = 169; 8,1%)
Chile (n = 169; 8,1%)
Colombia (n = 7; 0,3%)
Venezuela (n = 1; 0,05%)
Mexico (n = 1; 0,05%)