

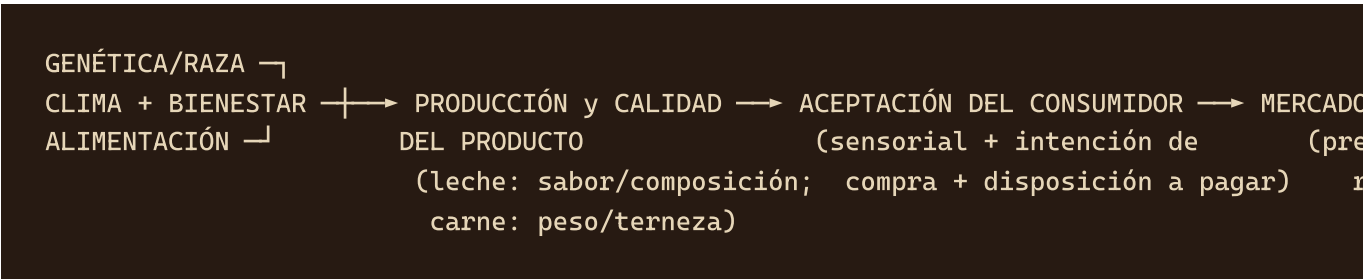
Diseño de estudios, hipótesis y plan analítico

De la finca a la aceptación en el mercado — Unidad de Ovinos y Caprinos (SENA · CBA)

Documento de trabajo v1 · Convierte los pilotos de la unidad en un programa de investigación con hipótesis contrastables, cuya variable norte es la aceptación del producto ovino-caprino por el cliente final. A refinar con el equipo, el profesor de genética aliado y el hato.

0 Marco: la cadena causal y el diseño de datos

La lógica que une la finca con el mercado, y que ordena todo el programa:



Cada piloto aporta variables en alguno de los tres bloques de entrada. La **aceptación** es la variable de resultado (Y) que hay que operacionalizar y medir. La ciencia consiste en estimar los eslabones de esa cadena con datos.

Espina dorsal. La conclusión de la reunión es que todo avance depende de la **toma de datos constante**. Por eso el diseño de datos es el capítulo 0, no un anexo: sin captura individual y con marca de tiempo, ninguna hipótesis es contrastable.

0.1 · Taxonomía de variables

BLOQUE	VARIABLE	TIPO	INSTRUMENTO / FUENTE
Genética	Raza/línea (Saanen, Alpina · Dorper, Romney Marsh)	Categórica	Registro / pedigrí
Clima	Radiación, T°, HR, precipitación; THI derivado	Continua · serie de tiempo	Estación / antenas-sensores
Bienestar	Cortisol (suero/saliva/leche/pelo)	Continua	Laboratorio (ELISA)
Bienestar	Comportamiento: actividad, tiempo de pastoreo	Continua · serie	Acelerómetro / GPS
Alimentación	Dieta base; tratamiento yacón (hoja/tallo/tubérculo, dosis); consumo (CMS)	Factorial / continua	Diseño experimental, bromatología
Producción	Leche (L/día) y curva de lactancia; GMD, peso destete/sacrificio	Continua · serie	Control lechero, báscula/cinta
Calidad leche	Composición (grasa, proteína, MUN, RCS); ácidos grasos ramificados/medios; lipólisis (AGL)	Continua	MIR/FTIR, GC-MS
Calidad carne	pH, color L*a*b*, terneza (WBSF), retención de agua, grasa	Continua	Colorímetro, texturómetro
Reproducción / timing	Peso al nacer; consumo de sólido (g/día); tipo de destete; peso/edad al destete; BCS; fecha/peso a 1ª monta; preñez; intervalo entre partos; días no productivos; región/finca (niveles jerárquicos)	Continua/serie · categórica · binaria	RFID, báscula/cinta, app del hato, diagnóstico de gestación
Sensorial	Intensidad de off-flavor ("sabor a cabra/oveja")	Ordinal/continua	Panel entrenado (QDA)
Aceptación (Y)	Agrado hedónico, JAR, CATA; intención de compra, WTP; recompra, precio	Mixta	Panel consumidores, DCE, BDM, ventas

0.2 · Diseño de la base de datos (mínimo viable)

Esquema relacional con llave = **ID animal (RFID)**: animal · evento · control_lechero · pesaje · clima · comportamiento · muestra · lab · sensorial · consumidor. Reglas mínimas: identificación individual obligatoria, marca de tiempo en todo, trazabilidad muestra↔animal/lote↔etapa.

0.3 · Operacionalización de la aceptación (Y)

La "aceptación" no es una sola variable; se mide en tres capas crecientes de realismo:

- **Sensorial** – escala hedónica de 9 puntos; JAR (Just-About-Right); CATA; umbral de detección del off-flavor.
 - **Conductual declarada** – intención de compra; disposición a pagar (WTP) vía experimento de elección discreta (DCE/conjoint) y subasta BDM incentivada.
 - **De mercado** – prueba de uso en casa (HUT) → recompra; volumen y precio si hay ventas.
-

A Selección genética asistida por datos

Pregunta. ¿Qué animales seleccionar (y cuánto pesa la raza) usando datos productivos y de comportamiento, dado que intervenir el genoma directamente no es viable ni económico?

HIPÓTESIS

- **H-A1** La raza/línea explica una fracción significativa de la varianza en leche, GMD y pesos (destete/sacrificio).
- **H-A2** Existe varianza aditiva heredable y repetibilidad individual suficientes para que la selección por datos genere ganancia.
- **H-A3** La eficiencia (kg leche o ganancia / kg MS) se asocia con patrones de comportamiento (actividad/movilidad) medibles.

Diseño. Panel longitudinal por animal (medidas repetidas): control lechero de días de prueba, pesajes seriados, pedigrí, consumo y actividad.

Técnicas. Modelos mixtos lineales (efecto raza controlando confusores); **modelo animal / BLUP con REML** → heredabilidad, repetibilidad y valores genéticos (EBV); **curva de lactancia** (modelo de Wood o regresión aleatoria con polinomios de Legendre); **curvas de crecimiento** (Gompertz/logístico/von Bertalanffy); índices de selección, correlaciones genético-fenotípicas y PCA.

B Agroclima, estrés y bienestar (series de tiempo)

Pregunta. ¿Cómo modulan las condiciones agroclimáticas el comportamiento y el estrés (cortisol), y a través de ellos la producción y la calidad?

HIPÓTESIS

- **H-B1** A mayor radiación/THI, menor tiempo de pastoreo/actividad diurna (los animales "salen menos").
- **H-B2** El cortisol aumenta con el estrés térmico y se asocia negativamente con producción y calidad.

- **H-B3** La relación clima→producción es no lineal, con un umbral (breakpoint) de THI.
- **H-B4** El efecto del clima sobre la producción está mediado por comportamiento y cortisol.

Diseño. Series de tiempo sincronizadas: clima horario + biologgers de actividad + cortisol programado (incluye pelo para estrés crónico) + control lechero/pesaje; ventana ≥ 6–12 meses.

Técnicas. **Descomposición STL**; correlación cruzada (CCF) con rezagos; **modelos de rezago distribuido no lineal (DLNM)**; **ARIMAX/SARIMAX** o regresión con errores ARMA; **GAM** para no linealidades y **regresión segmentada** para el umbral; LMM con autocorrelación AR(1); **mediación/SEM** para H-B4.

C Sabor de la leche ("sabor a cabra"): causa, control y aceptación · ESTUDIO INSIGNIA

Es el estudio con vínculo más directo con la aceptación: un off-flavor por encima del umbral significa rechazo del cliente. Replica el evento reportado (semana normal → semana con fuerte olor/sabor tras pastoreo extensivo).

HIPÓTESIS

- **H-C1** La intensidad sensorial del off-flavor se correlaciona con los ácidos grasos ramificados/medios (4-metiloctanoico, 4-etiloctanoico; C6/C8/C10) y con la lipólisis (AGL).
- **H-C2** El manejo y la cadena de frío (higiene de ordeño, proximidad de machos, tiempo/temperatura de almacenamiento) modifican el off-flavor.
- **H-C3** La dieta/forraje del pastoreo extensivo modula el off-flavor.
- **H-C4** Existe una etapa específica del proceso (ubres→tanque→enfriamiento→almacenamiento→procesado) donde el sabor se altera.
- **H-C5** Por encima de un umbral de intensidad, el off-flavor reduce el agrado hedónico y la WTP (dosis-respuesta).

Diseño. (1) *Trazado del proceso*: muestreo pareado por etapa del mismo lote → localiza dónde aparece. (2) *Longitudinal semanal*: replica normal→alterada con trazabilidad → serie de tiempo con control de proceso. (3) *Factorial confirmatorio* 2^k sobre los factores candidatos.

Pruebas. Sensorial: panel entrenado (QDA de intensidad, ISO 13299), umbral de detección; consumidores (hedónica, JAR, CATA). Química: **GC-MS / GC-olfatometría** de volátiles, FTIR/MIR, índice de acidez/AGL, RCS, microbiología.

Técnicas. **Cartas de control de proceso (CUSUM/EWMA)** sobre la serie semanal → detecta cuándo cambia el proceso; ANOVA/mixtos para etapa y factorial; **quimiometría (regresión PLS; PLS-DA)** química↔sensorial; mediación (forraje/manejo→compuestos→sensorial→aceptación); para el consumidor: **mapas de preferencia (PREFMAP)**, penalty analysis (JAR) y **regresión logística** de rechazo vs intensidad (umbral, H-C5).

D Crecimiento y calidad de la carne por raza

Pregunta. ¿Cómo influye la raza en edad, peso al destete y peso al sacrificio, y cómo se traduce en rendimiento, calidad y aceptación de la carne? (línea coordinada con el profesor universitario de genética).

HIPÓTESIS

- **H-D1** La raza afecta GMD, peso al destete y al sacrificio, controlando sexo, tipo de parto y edad de la madre.
- **H-D2** La edad/peso al sacrificio y la raza afectan la calidad (terneza WBSF, color, grasa) y la aceptación sensorial.
- **H-D3** Existe un punto óptimo de sacrificio (edad/peso) que maximiza aceptación × rentabilidad.

Diseño. Cohortes por raza con pesajes seriados; faena escalonada a distintos pesos/edades; evaluación de canal, carne y panel sensorial.

Técnicas. Curvas de crecimiento no lineales (Gompertz/logístico) por raza; LMM para pesos; **análisis de supervivencia** (días hasta peso objetivo); ANOVA/mixtos para calidad; **superficie de respuesta (RSM)** + análisis económico para el óptimo.

E Yacón como alimento alternativo (dosis-respuesta)

Pregunta. ¿Es viable incluir yacón (hoja/tallo/tubérculo) en la dieta ovina, con qué metodología y dosis, y con qué efecto en producción, salud, calidad y aceptación?

El tubérculo es rico en **fructooligosacáridos (FOS)/inulina** (carbohidrato fermentable, efecto prebiótico y energético en rumen); las hojas aportan compuestos fenólicos. Vigilar efecto osmótico/laxante por exceso de FOS.

HIPÓTESIS

- **H-E1** La fracción y dosis de yacón afectan la palatabilidad/consumo de la dieta.
- **H-E2** El yacón modifica parámetros productivos y de salud (fermentación ruminal, glucemia) según dosis-respuesta.
- **H-E3** Existe una fracción óptima (hoja vs tallo vs tubérculo) × dosis que maximiza respuesta sin efectos adversos.
- **H-E4** El yacón no deteriora –o mejora– el perfil sensorial, habilitando un atributo de diferenciación ("alimentado con yacón") que sube la WTP.

Diseño. Prueba de cafetería (preferencia); dosis-respuesta (0/X/2X/3X %) × fracción; para leche **cuadrado latino/cross-over** por periodos, para engorde bloques al azar; digestibilidad in situ/in vitro.

Técnicas. ANOVA factorial / modelos mixtos de cuadrado latino; **regresión dosis-respuesta (broken-line/plateau)** y contrastes polinomiales para el óptimo; análisis sensorial + mapa de preferencia y DCE para el claim "yacón".

F Integración: del dato de finca a la aceptación de mercado

Pregunta. ¿Se puede predecir la aceptación/mercado a partir de las variables de finca, y cómo valora el consumidor los atributos (incluido el "sabor a cabra" y los sellos de bienestar/sostenibilidad/yacón)?

HIPÓTESIS

- **H-F1** La aceptación (hedónica, WTP) se predice desde atributos del producto que dependen de genética + clima/bienestar + dieta (modelo causal completo).
- **H-F2** Los consumidores se segmentan: hay quienes rechazan el sabor caprino y quienes lo aprecian.
- **H-F3** Los atributos de proceso (bienestar, silvopastoril/sostenible, yacón, raza/origen) aumentan la WTP.

Diseño. Prueba hedónica en local central (CLT, $n \geq 100$) y de uso en casa (HUT); **experimento de elección discreta (DCE)/conjoint**; subasta BDM para WTP incentivada.

Técnicas. Mapas de preferencia y **clustering (k-means / clases latentes)** para segmentar; **logit multinomial / mixed logit / logit de clases latentes** para el DCE → WTP por atributo; **SEM/PLS-SEM** para el modelo causal; modelos predictivos (random forest / gradient boosting) con validación cruzada.

G Timing óptimo: destete del cabrito y primera monta de la cabra

• macro por
región·raza·finca

Cierra el ciclo de la hembra: pone número a **cuándo cortar la leche del cabrito y cuándo dar el primer servicio a la cabra** – no por regla de dedo fija, sino con un umbral estimado por raza/finca/región y anclado a una función-objetivo económica. Su gracia: una finca con 8 cabras recibe una recomendación tan robusta como una de 200, porque el modelo le presta fuerza a su raza/región (*partial pooling*). Es la línea de **ganadería de precisión** del programa.

Pregunta. ¿Cuál es el momento matemáticamente óptimo para (a) destetar al cabrito/cordero y (b) dar la primera monta a la hembra, y cómo cambia ese óptimo por región, raza o finca?

HIPÓTESIS

- **H-G1** El destete disparado por **umbral fisiológico** ($PV \geq 2.5-3 \times$ el peso al nacer y consumo de sólido $\geq 1\%$ del PV/día, o *starter* ≥ 250 g/día) supera en GMD y supervivencia al destete por **edad de calendario fija**.

- **H-G2** El destete **gradual** (*step-down* de leche) gana al abrupto: más consumo de *creep* (≈ 182 vs 58 g/día), más GMD (≈ 0.25 vs 0.21 kg/día) y menos estrés.
- **H-G3** El **peso al destete** tiene relación dosis-respuesta con la supervivencia post-destete; hay un peso mínimo seguro por raza (referencia ovina: 14 kg $\rightarrow$ ~ 34 % menos riesgo que 12 kg).
- **H-G4** La primera monta la gobierna el **peso como fracción del peso adulto** (60 – 70 % en cabras; 65 – 70 % en ovejas) y el BCS (~ 2.5 – $3.0/5$), no la edad. Ceder al primer celo antes del umbral frena el crecimiento.
- **H-G5** La edad/peso a primera monta tiene un **óptimo interior en U**: muy temprano frena el crecimiento y eleva distocia; muy tardío acumula días no productivos (Alpina: $+1$ mes de edad $\rightarrow$ $+13.3$ kg de leche en 1^a lactancia, pero puede bajar la eficiencia vitalicia).
- **H-G6** El óptimo **varía por región** $\rightarrow$ **raza** $\rightarrow$ **finca**; un modelo **jerárquico con partial pooling** da recomendaciones por-finca con menor error fuera de muestra que un umbral fijo de manual o un ajuste finca por finca, sobre todo en hatos de 5 – 15 animales.
- **H-G7** En el **trópico ecuatorial** (fotoperiodo débil, ovulación casi continua) un disparador de **estado** ($\text{peso} \cdot \text{BCS} \cdot \text{madurez} = W/A$) predice mejor que cualquier ventana estacional fija.
- **H-G8** El óptimo **económico** (ingreso marginal = costo marginal; VPN) ocurre antes que el biológico, y difiere entre **lechero** (maximiza margen leche-vendible + valor del cabrito) y **cárnico** (maximiza kg al destete sujeto a mortalidad).

Diseño. Panel longitudinal por animal (llave RFID) con estructura anidada $\text{animal} \in \text{finca} \in \text{región}$ cruzada por raza, en dos submódulos acoplados: **(1) destete** –peso al nacer, pesajes seriados, gramos de sólido/día, inicio de *creep* y tipo de destete (rama cuasi-experimental gradual vs abrupto), diferenciando lechero (separación materna $\neq$ corte de leche) de cárnico (coinciden; objetivo máximo peso al destete: Dorper ~ 24 kg a ~ 62 días); **(2) primera monta** –curva de crecimiento individual, BCS, fecha de servicio y resultado (preñez/parto) e historial para longevidad. Ambos comparten la misma curva jerárquica y función-objetivo, porque un buen destete es el insumo de una monta a tiempo.

Pruebas. Arete/RFID, báscula o cinta de pesaje torácica (*walk-over-weighing* de bajo costo), peso al nacer y tipo de parto, consumo de sólido (oferta-rechazo), BCS 0 – 5 , fecha de servicio/parto, THI de la estación (enlaza con B); app del hato *offline-first*. Opcional (maduración): acelerometría + clasificador ML para estro.

Técnicas. **Curvas de crecimiento no lineales** (Gompertz/logístico/Brody/von Bertalanffy, selección por AIC/BIC) $\rightarrow$ asíntota A (peso adulto), tasa k y madurez $u=W/A$; **modelo no lineal de efectos mixtos (NLME) jerárquico con partial pooling** –efectos aleatorios en A y k anidados finca(región) $\times$ raza, shrinkage tipo BLUP – es el corazón del objetivo macro (brms/Stán o nlme/saemix/BLUPF90); **regla de decisión de destete** binaria y registrable en la app; **broken-line / linear-plateau con breakpoint aleatorio por finca** (reusa el motor del Estudio E) para el umbral de peso a la monta y de consumo de sólido; **modelo umbral (probit/logit) de efectos mixtos** para $P(\text{preñez} \mid \text{peso, edad, BCS})$; **supervivencia con frailty por finca** (Cox/Weibull-AFT) para días-a-peso-objetivo, edad al primer parto y longevidad; **función-objetivo económica** explícita (índice MDY con el intervalo entre partos en el denominador; VPN penalizando días no productivos; **optimal stopping / MDP de reemplazo** para la política por estado); **RSM (CCD)** si se corre un experimento para co-optimizar dos palancas.

Dos advertencias que cambian el criterio. (1) La *inflexión* de la curva de crecimiento NO es criterio de destete: en ovinos ocurre ~90 días antes de la pubertad y no correlaciona con ella (la "ley de Brody" no se sostiene). El destete se decide por peso + consumo de sólido. (2) La regla del % del peso adulto se justifica por un umbral de reservas corporales, no por la inflexión, y se aplica al **peso adulto real de cada línea de la finca**, no a una tabla fija (un Saanen se monta a ~40–45 kg, no a 32 kg). Los rasgos de precocidad tienen h^2 baja (edad a 1er parto ≈ 0.07), por eso la palanca es el manejo por-finca informado por el nivel raza/región – no la selección directa del rasgo.

7 Plan analítico transversal

TEMA	DEFINICIÓN OPERATIVA
Tamaño muestral / potencia	Cálculo de potencia por estudio (efecto mínimo detectable, $\alpha=0.05$, potencia 0.8); priorizar medidas repetidas.
Datos faltantes	Diagnóstico MCAR/MAR; imputación múltiple (MICE) o modelos que la toleran (mixtos).
Supuestos	Normalidad/homocedasticidad; transformaciones (log, logit); GLMM robustos como alternativa.
Múltiples hipótesis	Control por familia: FDR (Benjamini-Hochberg) o Bonferroni; preregistrar primarias vs exploratorias.
Series de tiempo	Estacionariedad (ADF/KPSS), autocorrelación (ACF/PACF), sincronización de relojes, agregación coherente.
Reproducibilidad	R/Python versionado: lme4/nlme, mgcv, forecast/fable, dlnm, segmented, brms; SensoMineR/FactoMineR/pls; mlogit/gmnl; agricolae.
Ética/bienestar	Cortisol mínimamente invasivo (saliva/leche/pelo); protocolos de bienestar; consentimiento de datos (Ley 1581).

7.1 • Mapa rápido: hipótesis → técnica

ESTUDIO	NÚCLEO	TÉCNICA PRINCIPAL
A	Raza/genes explican producción; heredabilidad	LMM, BLUP/REML, Wood, Gompertz
B	Clima→comportamiento/estrés→producción	STL, DLNM, SARIMAX, GAM, SEM
C	Off-flavor: causa, etapa y umbral de aceptación	CUSUM/EWMA, PLS, PLS-DA, logit dosis-respuesta, PREFMAP
D	Raza→crecimiento→calidad→aceptación; óptimo faena	Curvas no lineales, LMM, supervivencia, RSM
E	Yacón: dosis-respuesta y diferenciación	ANOVA factorial, broken-line, DCE
F	Predecir aceptación; segmentar; WTP	Mixed logit, clases latentes, PLS-SEM, ML
G	Timing óptimo: destete (peso+consumo) y 1ª monta (% peso adulto); óptimo por región/raza/finca	NLME jerárquico (partial pooling), broken-line, umbral probit, supervivencia con frailty, optimal stopping/VPN

8 Cronograma por fases (arranque en ~1,5 semanas)

FASE	VENTANA	QUÉ OCURRE
0 • Instrumentación	Semanas 0–1,5	Base de datos, protocolos, formatos de captura, capacitación de los estudiantes, calibración de sensores.
1 • Línea base	Meses 1–3	Registro individual, estación agroclimática, primeras series, muestreo inicial de off-flavor (trazado de proceso).
2 • Contrastes	Meses 3–9	Factorial de off-flavor (C), dosis-respuesta de yacón (E), faena escalonada (D), cortisol×clima (B).
3 • Consumidor	Meses 6–12	Panel entrenado + estudios de consumidor (CLT/HUT/DCE/BDM).
4 • Integración	Meses 10–14	Modelo finca→aceptación (F), informe y decisiones de selección/manejo/producto.

9 Priorización (qué mueve la aguja del mercado primero)

- **Estudio C (off-flavor) + módulo consumidor de F.** El vínculo más corto y directo con la aceptación: resolver el sabor de la leche desbloquea la comercialización. Quick win: el trazado de proceso puede identificar la etapa culpable en semanas.
- **Estudio D (carne por raza + óptimo de faena).** Segundo flujo de ingreso; efecto económico inmediato.
- **Estudio G (timing óptimo: destete + primera monta).** Retorno económico rápido con costo de implementación bajo –reutiliza curvas, broken-line y supervivencia de A/D/E–: –20 días de intervalo entre partos ya valen +9 % de kg destetados/hembra/año, y evita el daño permanente de montar por debajo del umbral de peso. Consume los datos (RFID + pesajes) que A y D ya obligan a capturar.
- **Estudio A (selección).** Ganancia acumulativa de largo plazo; exige el mayor volumen de datos → empezar la captura ya.
- **Estudios B y E.** Habilitan diferenciación (bienestar, sostenibilidad, "alimentado con yacón") que sube la WTP en F.

10 Supuestos y riesgos

- **Riesgo de dato.** Sin captura constante e individual, ninguna hipótesis es contrastable → el diseño de datos es condición previa.
- **Confusión.** Clima, dieta y manejo covarían en pastoreo extensivo; se combinan estudios observacionales (B) con experimentales controlados (C, E, D) para inferir causalidad.
- **Tamaño de hato.** Con pocos animales, priorizar medidas repetidas y diseños intra-sujeto (cross-over). En el Estudio G, el *partial pooling* es justo lo que permite dar recomendación a fincas con 5–15 animales, tomando fuerza de su raza/región.
- **Timing (Estudio G).** La regla del % del peso adulto se aplica al **peso adulto real de cada línea**, no a tablas fijas; la inflexión de la curva no es criterio de destete (en ovinos precede a la pubertad). Casi toda la evidencia numérica viene de razas/entornos ajenos (Boer, Merino, Alpina europea): sirve para calibrar los *priors* del modelo jerárquico, pero los umbrales definitivos se re-estiman con los datos locales del hato tropical – ese es el aporte del partial pooling.
- **Sensorial.** El panel entrenado debe calibrarse (referencias de off-flavor) antes de generar datos comparables.
- **Segmentación de mercado.** "Aceptación" no es única: definir el cliente final objetivo (nicho gourmet vs masivo) cambia qué atributos optimizar.

Diseñado a partir de la memoria técnica de la Unidad de Ovinos y Caprinos (SENA · CBA). Alinea con el proyecto de la columna digital: la captura de datos de baja fricción es, también aquí, el habilitador de toda la investigación.