

## Medición de cortisol en lana ovina durante la esquila: avances hacia un biomarcador de bienestar animal en La Pampa

Cortisol measurement in sheep wool during shearing: progress toward an animal welfare biomarker in La Pampa

Avaliação do cortisol na lã ovina durante a tosquia: avanços em direção a um biomarcador de bem-estar animal em La Pampa

Gómez MB<sup>1</sup>, Palermo PV<sup>1</sup>, Ramirez P<sup>1</sup>, Welch ML<sup>1</sup>, Torres JE<sup>1</sup>, Moreno GM<sup>1</sup>, Ávila L<sup>1</sup>, Guizzardi NH<sup>1</sup>, Insaurrealde L<sup>1</sup>, Garat J<sup>1</sup>, Lara L<sup>1</sup>, Nuñez EM<sup>1</sup>, Bilbao MG<sup>2-1</sup>, Moran KD<sup>2-1</sup>, Hick MVH<sup>3-4</sup>, Castillo MF<sup>3</sup>, González DJ<sup>5</sup>, Fortuna F<sup>5</sup>, Jamardo JJ<sup>5</sup>, Fabre BR<sup>5</sup>, Frank EN<sup>4</sup>; Cerutti DA<sup>1</sup>

Gómez MB<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2456-4965>, Palermo PV<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9001-5094>, Ramirez P<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0005-9402-5130>, Welch ML<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0009-0033-7141>, Torres JE<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0001-6150-6430>, Moreno GM<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4617-8618>, Ávila L<sup>1</sup>, Guizzardi NH<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0005-4617-8618>, Insaurrealde L<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0000-2479-8326>, Garat J<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0004-7889-4195>, Lara L<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0000-9044-0314>, Nuñez EM<sup>1</sup> <https://orcid.org/0009-0003-4636-6294>, Bilbao MG<sup>2-1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8324-4355>, Moran KD<sup>2-1</sup> <https://orcid.org/0009-0004-4121-1530>, Hick MVH<sup>3-4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-9321-9313>, Castillo MF<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1417-0417>, González DJ<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9670-4827>, Fortuna F<sup>5</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1584-8218>, Jamardo JJ<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6138-6838>, Fabre BR<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4400-2967>, Frank EN<sup>4</sup>; Cerutti DA<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2748-3578>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Pampa, calle 5 esquina 116, General Pico (6360), La Pampa.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro Científico Tecnológico (CCT) "Patagonia Confluencia".

<sup>3</sup> Instituto de Investigación en Recursos Naturales y Sustentabilidad (IRNASUS), CONICET- Universidad Católica de Córdoba, Avenida Armada Argentina 3555, Córdoba Capital (X5000IYG), Córdoba. <sup>4</sup> INDELLAR, Sede Universitaria Chemical, Universidad Nacional de La Rioja. Castro Barros 557 Chemical (5380), La Rioja.

<sup>5</sup> Facultad de Farmacia y Bioquímica. UBA. Junín 956. C1113AAD. CABA.

Correo electrónico: [mgomez@vet.unlpam.edu.ar](mailto:mgomez@vet.unlpam.edu.ar)

DOI: <https://doi.org/10.19137/cienvet.v28.9548>

**Fecha de recibido:** 11 de diciembre de 2025 **Fecha aceptado para su publicación:** 26 de febrero de 2026

### Resumen

El bienestar animal en los sistemas de producción ovina es un componente clave para promover prácticas competitivas y sostenibles. El cortisol, hormona vinculada a la respuesta al estrés, se



determina frecuentemente en sangre. Esta matriz refleja situaciones agudas. La lana, en cambio, permite recuperar información acerca de la exposición al estrés a lo largo del tiempo. El objetivo de este estudio fue evaluar si la medición de cortisol en lana puede actuar como un indicador retrospectivo de estrés y compararla con los niveles plasmáticos. El trabajo se realizó en dos establecimientos del norte de La Pampa, donde se muestrearon treinta y ocho ovejas adultas. Un mes después de la esquila se recolectaron muestras de lana, que fueron seccionadas en base, porción que no refleja el evento esquila y punta, que sí incorpora su efecto. Resultados preliminares de la esquila 2023 mostraron un valor promedio de cortisol plasmático de 208,12 nmol/L. En la lana, la media del segmento base fue de 6,72 pg/mg, mientras que el segmento punta alcanzó 13,45 pg/mg. La diferencia entre ambos fue significativa ( $p < 0,001$ ) y presentó un tamaño del efecto elevado ( $DE = 1,72$ ). No se observó correlación entre el cortisol plasmático y los valores en lana ( $r = -0,14$ ;  $p = 0,41$ ). Estos hallazgos indican que la fibra permite recuperar información retrospectiva del estrés asociado a la esquila y perfilarse como un biomarcador no invasivo de sistemas reales. El análisis de las muestras de 2024 permitirá consolidar estos valores y avanzar hacia su estandarización.

**Palabras clave:** Estrés, Bienestar, Producción sustentable, Esquila responsable, Indicadores

### *Abstract*

Animal welfare in sheep production systems is a key component for promoting competitive and sustainable practices. Cortisol, a hormone linked to the stress response, is frequently measured in blood, a matrix that reflects acute situations. Wool, in contrast, allows recovery of information regarding exposure to stress over time. The aim of this study was to evaluate whether measuring cortisol in wool can act as a retrospective indicator of stress and to compare it with plasma levels. The study was conducted in two farms in northern La Pampa, where thirty-eight adult ewes were sampled. One month after shearing, wool samples were collected and sectioned into base, the portion that does not reflect the shearing event, and the tip, which does incorporate its effect. Preliminary results from the 2023 shearing showed an average plasma cortisol value of 208.12 nmol/L. In wool, the mean of the base segment was 6.72 pg/mg, while the tip segment reached 13.45 pg/mg. The difference between them was significant ( $p < 0.001$ ) and showed a large effect size ( $ES = 1.72$ ). No correlation was observed between plasma cortisol and wool values ( $r = -0.14$ ;  $p = 0.41$ ). These findings indicate that fiber allows retrospective recovery of stress information associated with shearing and may serve as a non-invasive biomarker for real production systems. Analysis of the 2024 samples will help consolidate these values and advance toward their standardization.

**Keywords:** Stress, Well-being, Sustainable production, Responsible shearing, Indicators

### *Resumo*

O bem-estar animal nos sistemas de produção ovina é um componente fundamental para promover práticas competitivas e sustentáveis. O cortisol, hormônio associado à resposta ao estresse, é frequentemente determinado no sangue. Essa matriz reflete situações agudas. A lã, por outro lado, permite recuperar informações sobre a exposição ao estresse ao longo do tempo. O objetivo deste estudo foi avaliar se a medição de cortisol na lã pode atuar como um indicador retrospectivo de estresse e compará-la com os níveis plasmáticos. O trabalho foi realizado em dois

establecimientos do norte de La Pampa, onde foram amostradas trinta e oito ovelhas adultas. Um mês após a tosquia, coletaram-se amostras de lã, que foram seccionadas em base — porção que não reflete o evento de tosquia — e ponta, que incorpora seu efeito. Resultados preliminares da tosquia de 2023 mostraram um valor médio de cortisol plasmático de 208,12 nmol/L. Na lã, a média do segmento base foi de 6,72 pg/mg, enquanto o segmento ponta atingiu 13,45 pg/mg. A diferença entre ambos foi significativa ( $p < 0,001$ ) e apresentou um tamanho de efeito elevado ( $TE = 1,72$ ). Não se observou correlação entre o cortisol plasmático e os valores na lã ( $r = -0,14$ ;  $p = 0,41$ ). Esses achados indicam que a fibra permite recuperar informações retrospectivas do estresse associado à tosquia e pode se configurar como um biomarcador não invasivo em sistemas reais. A análise das amostras de 2024 permitirá consolidar esses valores e avançar em direção à sua padronização.

**Palavras-chave:** Estresse, Bem-estar, Produção sustentável, Tosquia responsável, Indicadores

---

## *Introducción*

El Bienestar Animal (BA) ha adquirido una creciente relevancia en la producción ganadera a nivel internacional, impulsado por la preocupación social, económica y ambiental respecto del trato que reciben los animales de producción. En las últimas décadas, los consumidores han manifestado un interés creciente por la calidad de vida de los animales destinados a la obtención de alimentos y fibras, mientras que los productores reconocen al BA como un atributo esencial de calidad y sostenibilidad. En este sentido, las buenas prácticas de BA no deben considerarse meramente como requisitos normativos o comerciales, sino como herramientas estratégicas que promueven la calidad, la inocuidad y la sustentabilidad de los sistemas productivos <sup>(1)</sup>.

Las políticas europeas recientes, como el Pacto Verde y la estrategia "De la granja a la mesa", promueven la sostenibilidad en la producción agropecuaria, lo que incluye la producción ovina y de lana. Estas políticas buscan equilibrar la rentabilidad del productor, la satisfacción del consumidor y la protección ambiental, aspectos clave en la cadena de valor de la lana y los ovinos <sup>(2)</sup>. A nivel global, organismos como la Unión Europea han destacado la necesidad de vincular la producción animal con la preservación del ambiente y la salud humana, promoviendo sistemas sustentables que aseguren la satisfacción del consumidor, la rentabilidad del productor y el cuidado de los recursos naturales <sup>(3)</sup>.

El BA es un concepto que considera los estados físicos, emocionales y mentales del animal, evaluados en un continuo de pobre a bueno. Se enfatiza la importancia de monitorear múltiples indicadores de salud conductual, psicológica y fisiológica para asegurar el bienestar, y se recomienda un enfoque multifacético que incluya medidas físicas y comportamentales para evaluar la armonía del animal con su entorno <sup>(4)</sup>.

En Argentina, la preocupación por las condiciones de manejo en los sistemas de producción ovina se ha incrementado notablemente, acompañada por demandas sociales y de grupos proteccionistas. En este marco, la Mesa Ovina Nacional y organismos estatales impulsaron la elaboración de estándares prácticos para la cría, faena y transporte de ovinos, de fácil implementación y bajo costo para los productores <sup>(5-6)</sup>. Durante la cumbre del G7, se lanzó el "Fashion Pact", una coalición global de empresas de la moda comprometidas con la reducción del impacto ambiental, la protección de la biodiversidad y el respeto por los animales, promoviendo la trazabilidad y la adopción de prácticas sostenibles en toda la cadena de valor <sup>(6)</sup>.

La relación entre bienestar, productividad y sostenibilidad es indiscutible. Factores como el estrés

tienen efectos directos sobre la eficiencia productiva y la calidad de la fibra. En este contexto, en ovinos, prácticas como la esquila son necesarias para la salud y el confort, pero pueden ser eventos estresantes debido a la manipulación y el aislamiento, por lo que es fundamental evaluar objetivamente su impacto para garantizar un manejo ético y eficiente <sup>(7)</sup>. El estrés activa el eje hipotálamo-hipofisario-adrenal (HHA), lo que induce la liberación de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) por la hipófisis anterior, que a su vez estimula la corteza suprarrenal para sintetizar y liberar glucocorticoides, principalmente cortisol. Además de los parámetros endocrinos (cortisol), se utilizan indicadores fisiológicos (frecuencia cardíaca, presión arterial) y conductuales para evaluar el estrés (aumento de excitación, vigilancia, respuestas de lucha/huida y modificaciones en la ingestión) <sup>(8)</sup>. Tradicionalmente, se ha determinado en sangre, saliva u orina, pero estos métodos presentan limitaciones para evaluar el estrés crónico y pueden generar variaciones asociadas al ritmo circadiano o a la manipulación misma del animal <sup>(9)</sup>.

Ante estas limitaciones, la medición de cortisol en matrices queratínicas, como el cabello humano o la lana ovina, ha surgido como una herramienta no invasiva y retrospectiva de gran potencial <sup>(10)</sup>. Estudios han demostrado que el cortisol se incorpora a lo largo del crecimiento del cabello y la fibra, ofreciendo una “memoria biológica” de la exposición al estrés <sup>(11-12)</sup>. En humanos, esta técnica se consolidó como un biomarcador válido del estrés crónico <sup>(13)</sup>, mientras que, en ovinos, los resultados preliminares muestran su factibilidad <sup>(14-15)</sup>.

La medición de cortisol en cabello se ha convertido en un biomarcador válido del estrés crónico, permitiendo la evaluación retrospectiva de la exposición al estrés a lo largo del tiempo <sup>(16)</sup>. En 2022, el equipo de la Dra. Fabre Bibiana, analizó fibras caprinas y lana ovina remitidas para ensayo, obteniendo resultados satisfactorios en la cuantificación de cortisol. En una comunicación personal posterior, la investigadora señaló que la incorporación de cortisol a lo largo del crecimiento de la fibra permite una lectura retrospectiva del estrés crónico en ovinos <sup>(17)</sup>.

La utilización de la lana como matriz para la cuantificación de cortisol presenta ventajas claras dado su crecimiento continuo y el almacenaje del cortisol a lo largo de la fibra, la lana permite reconstruir cronologías hormonales con resolución temporal aplicada al ciclo productivo completo, lo que favorece la evaluación retrospectiva del estado de estrés y del bienestar animal en distintos momentos productivos <sup>(14-10)</sup>. No obstante, varios trabajos recientes señalan una variabilidad importante entre métodos analíticos (procedimientos de lavado, molienda/segmentación, protocolos de extracción y técnicas analíticas: inmunoensayo vs LC MS/MS) que condiciona la comparabilidad entre estudios y dificulta el establecimiento de valores de referencia universales. Revisiones y estudios metodológicos recientes advierten la falta de estándares aceptados y proponen listas de comprobación y mejoras analíticas para aumentar la reproducibilidad <sup>(18-19)</sup>. Por todo ello, resulta imprescindible desarrollar protocolos estandarizados y realizar estudios locales que contemplen la variabilidad de manejo propia de cada región para consolidar la aplicabilidad práctica de la medición de cortisol en lana en contextos de producción; investigaciones sobre correlaciones con variables productivas y ambientales muestran que factores locales (estación, fenotipo, manejo) influyen en las concentraciones de cortisol en la fibra, por lo que la validación regional fortalecerá la interpretación biológica y la utilidad del método para la toma de decisiones en ganadería ovina <sup>(20)</sup>.

En este contexto, el proyecto “Determinación de cortisol en fibras animales para la sustentación del bienestar animal en momentos críticos de producción” <sup>(21)</sup>, se propuso establecer valores de referencia para el cortisol en lana de ovinos bajo condiciones productivas reales en la región del

Norte de la provincia de La Pampa. La investigación busca identificar los niveles de estrés asociados al evento esquila mecánica, mediante un método no invasivo que permita validar esta escena de estrés y contribuir al desarrollo de métodos de certificación de bienestar animal. De manera preliminar, se determinó una tasa promedio de crecimiento de la mecha de lana de 0,93 cm por mes <sup>(22-23)</sup>, lo que posibilita establecer la correlación temporal entre el crecimiento de la fibra y la acumulación de cortisol.

En este marco, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la factibilidad del uso de la lana como matriz biológica para la determinación de cortisol en ovinos durante la esquila, comparando sus resultados con los obtenidos en plasma. Este enfoque busca consolidar un biomarcador confiable, no invasivo y de bajo costo que permita medir la respuesta fisiológica al estrés, fortaleciendo la base científica para la certificación del bienestar animal y la promoción de una producción ovina responsable y sustentable en La Pampa.

---

## *Materiales y Métodos*

El estudio se realizó en dos establecimientos del norte de la provincia de La Pampa. Se muestrearon en cada predio 21 ovinos Raza Texel, biotipo carnícer, de lana blanca. Se seleccionaron hembras adultas de seis a ocho dientes, no gestantes al momento de la esquila, con el fin de garantizar condiciones fisiológicas homogéneas entre los individuos.

Cada animal fue identificado individualmente mediante caravanas electrónicas Datamars y de forma complementaria, se le aplicó un tatuaje numérico en la oreja izquierda para asegurar la trazabilidad durante todo el período experimental.

Las ovejas permanecieron a campo bajo un mismo sistema de alimentación en ambos establecimientos. El manejo fue de tipo semiextensivo combinando pastoreo libre sobre pasturas implantadas y campos naturales con prácticas de manejo controlado, encierres nocturnos, orientadas a maximizar el rendimiento productivo y asegurar el bienestar de los animales. La base alimenticia estuvo compuesta principalmente por pasturas de alfalfa (*Medicago sativa*) y, durante el parto y la lactancia recibieron suplantación con maíz (400 gr/día/ por animal), y piedras minerales.

Las instalaciones incluyeron corrales fijos y móviles, diseñados para facilitar las tareas de manejo diario, y una casilla de trabajo móvil marca Farmquip, que permitió realizar las actividades de forma segura y eficiente.

En cuanto a la sanidad, se realizaron desparasitaciones estratégicas (vía oral subcutánea e intramuscular) y vacunación preventiva de Mancha Gangrena y Enterotoxemia.

Respecto al BA, se garantizó la disponibilidad de refugios limpios y protegidos, comederos adecuados y agua fresca permanente. Se procuró, además, minimizar las situaciones de estrés durante las rutinas de manejo, a fin de prevenir alteraciones sanitarias o comportamentales que pudieran afectar el estado general o el desempeño productivo de los animales.

Todos los procedimientos y métodos utilizados fueron evaluados y aprobados por la Comisión Asesora Interna para el Cuidado y Uso de los Animales de Experimentación de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), conforme a la Resolución N° 233/2018 del Consejo Superior y el Acta N° 37/2025 de la FCV-UNLPam.

## 1. Medición del Crecimiento de Fibra

Para medir el crecimiento mensual de la fibra, se realizó durante 12 meses una medición en la región del flanco derecho de cada animal. Las muestras se obtuvieron acorde lo expuesto por Fürtbauer et al. <sup>(11)</sup>, quienes resaltan la importancia de tomar muestras de la misma ubicación corporal para mediciones repetidas. Se utilizó una regla metálica de acero inoxidable de 30 cm y las mediciones fueron realizadas por el mismo operador para garantizar la consistencia. Los datos de crecimiento se registraron mensualmente en una planilla, y el lector de caravanas TRU-TEST® SRS2, de baja frecuencia, se configuró previamente para mostrar las observaciones relevantes (edad, raza, largo de mecha).

## 2. Esquila

Los animales fueron esquilados con esquiladora mecánica, bajo sistema tradicional con los animales maneados (manea de tres miembros y uno libre). Se procedía a manearlos en grupos de 8 animales (2 por esquilador y manija por vuelta). Una vez maneadas las 8 ovejas se encendía la maquina hasta finalizar la esquila.

## 3. Recolección y acondicionamiento de muestras de lana

Las muestras de lana se obtuvieron con tijera manual para ovinos, del centro del flanco derecho, a un través de mano por debajo de la línea dorsal. Se realizó un corte a nivel de la base de mecha siendo la misma de entre 10 y 30 gramos <sup>(24-25)</sup>. El momento de obtención se realizó de 2 meses post esquila. Una vez realizado el corte de la muestra de vellón, esta fue extraída con la mano tomando las mechas por la base y manteniendo la estructura de las mismas lo más inalterable posible. Las mechas fueron colocadas en bolsas de polietileno numeradas con el orden de selección correspondiente al de la planilla de campo. Finalmente, fueron remitidas a laboratorio IRNASUS (Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales y Sustentabilidad José Sánchez Labrador S.J.) de la Universidad Católica de Córdoba donde se lavaron para eliminar restos de grasa, polvo y contaminantes externos. Allí se realizaron 4 pasajes por agua con detergente a 60°C, para finalmente ser lavadas en bateas con isopropanol al 100 %, mediante inversión suave durante 3–5 min. Luego, el solvente fue decantado y las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente durante al menos 12 h, hasta su completa evaporación. Una vez secas, se prepararon todas de igual manera (1cm de largo, marcando la base y punta) y se remitieron a Bioquímica Clínica. Fac. de Farmacia y Bioquímica. UBA para la determinación de cortisol.

## 4. Extracción y detección de cortisol en lana

Una vez llegadas las muestras al Departamento de Bioquímica Clínica. Facultad de Farmacia y Bioquímica. UBA, se midieron y tomaron, 1 cm de longitud (desde el supuesto evento de stress hacia atrás) de un grupo de fibras hasta completar al menos 50 mg como peso mínimo por cada muestra. Las mismas fueron lavadas nuevamente en 2 ml de isopropanol en tubos de vidrio con rotación lenta durante 2 minutos. Luego se decantó el isopropanol y se secaron durante la noche a temperatura ambiente. Finalmente se fraccionaron y molieron hasta formar un polvo. Fueron incubadas en metanol y se transfirió el sobrenadante transparente a un vial de vidrio. El cortisol se extrae con metanol de los fragmentos o del polvo, el metanol aumenta la solubilidad del cortisol y luego se evapora. Con posterioridad a la evaporización del solvente orgánico, el extracto es reconstituido en un medio apropiado y se analiza su contenido de cortisol. Luego se tomó una alícuota del extracto y el solvente evaporado antes de ser reconstituido y procesado por un método automatizado (autoanalizador Immulite 2000, Siemens, Alemania). Los resultados se

expresaron en pg/mg.



La imagen muestra una bolsa transparente identificada con datos del animal y la fecha donde se observa la lana previamente lavada almacenada para su procesamiento en laboratorio (Imágenes propias).

## 5. Detección cortisol en plasma

### 5.1 Recolección de muestras de Sangre para Cortisol en Plasma

Se tomaron muestras de sangre, correspondientes a 42 ovejas (3 ml por animal), obtenidos por venopunción. 1 a 2 minutos después de la esquila. Tras la esquila, los animales se dejaron poner de pie. Un operador se situó de modo que sostenía al animal para estabilizarlo sin uso de maneas adicionales, y otro operador efectuó la venopunción. Se situó al animal de modo que el cuello quedase accesible en la fosa yugular (localización anatómica de la vena yugular externa en el surco yugular del cuello). Inmediatamente después de la extracción, las muestras fueron colocadas en recipientes adecuados (tubo de recolección). Se transportaron refrigeradas (con conservantes en heladera) hasta su llegada al laboratorio. En laboratorio se centrifugaron y se procedió a la extracción y almacenamiento de plasma. Tras la centrifugación, se recogió cuidadosamente el sobrenadante (plasma) sin perturbar el cúmulo de células/eritrocitos en el fondo del tubo. El plasma fue alicuotado en tubos de plástico tipo Eppendorf (microtubos) previamente rotulados con código de muestra, fecha y hora de extracción. Las alícuotas fueron almacenadas inmediatamente en un congelador común de laboratorio (temperatura típica  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) hasta su análisis posterior. Las heladeras y freezer contaban con termómetros de temperatura y se realizó un registro periódico de la temperatura del congelador para asegurar que no se produzcan fluctuaciones que puedan comprometer.



Secuencia de imágenes que muestra la identificación de los animales, la venopunción en la región yugular inmediatamente después de la esquila, la recolección de sangre en tubos, su centrifugación en laboratorio para obtener el plasma, el fraccionamiento en alícuotas rotuladas en microtubos Eppendorf y sus registros (Imágenes propias).

## 5.2 Cortisol en plasma

La cuantificación de los niveles de cortisol en plasma se realizó mediante radioinmunoanálisis (RIA) en el Laboratorio de Reproducción, FCV UNLPam. Se utilizó un kit comercial (Beckman Coulter IM 1841, Immunotech s.r.o., Praga, República Checa) para la determinación *in vitro* de cortisol en suero, plasma y orina humanos, siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante. El kit constaba de 100 tubos de ensayo recubiertos con anticuerpo monoclonal, cortisol marcado con  $^{125}\text{I}$ , calibradores y un control. Brevemente, se colocaron 50  $\mu\text{L}$  de calibrador, control o muestra en cada tubo, seguidos de la adición de 500  $\mu\text{L}$  de trazador. Los tubos se incubaron con agitación a 240 rpm durante 1 hora a temperatura ambiente. Transcurrido ese tiempo, el sobrenadante fue descartado y se procedió a la lectura del conteo por minuto (cpm) de cada tubo en contador de centelleo MultyCristal (Berthold Bio@ LB2111, Bad Wildbad, Alemania). Los valores de cortisol para cada muestra se estimaron por interpolación con la curva de calibración. El coeficiente de variación porcentual intraensayo calculado con los triplicados del control de referencia fue de 8,89%. El límite de detección reportado por el sistema fue de 34,65 nM.



Imágenes de la bancada, pipeteo y equipo empleado en el procesamiento de muestras y en la técnica de radioinmunoanálisis (RIA). Ilustran la instrumentación y la operatoria del laboratorio responsable de la cuantificación (Imágenes propias).

## 6. Análisis estadístico

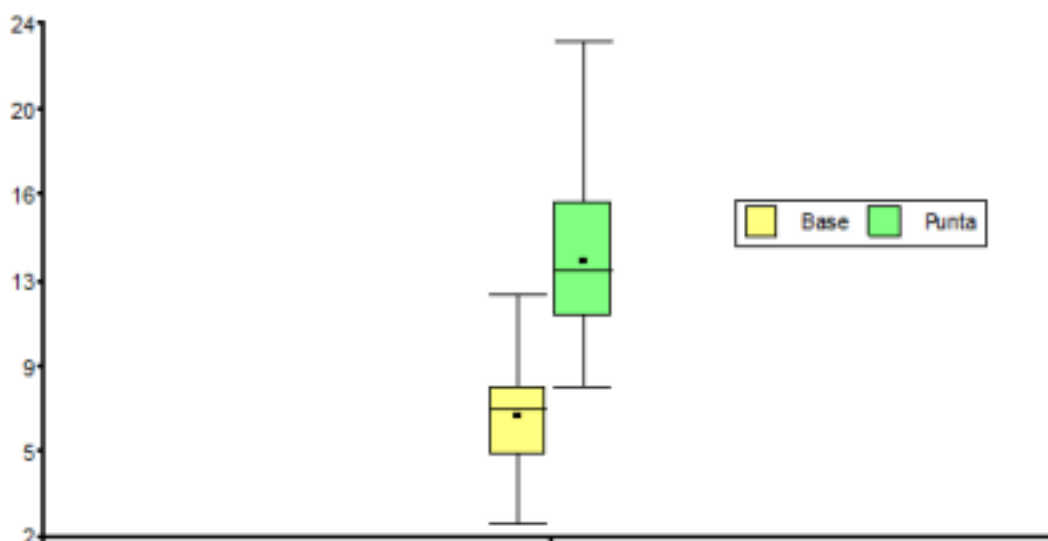
Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat, versión 2020 <sup>(26)</sup>. Se aplicó estadística descriptiva (media  $\pm$  desvío estándar). La comparación entre los segmentos de lana (base y punta) se efectuó mediante prueba t para muestras apareadas, y la asociación entre cortisol plasmático y cortisol en lana se evaluó mediante análisis de correlación (coeficiente r). Asimismo, se calculó el tamaño del efecto mediante el coeficiente de Cohen. En todos los casos se adoptó un nivel de significancia de  $\alpha = 0,05$ .

## *Resultados*

Se analizaron muestras de 38 ovejas adultas provenientes de dos establecimientos del norte de La Pampa. La concentración, expresada en nanomoles por litro (nM), correspondiente a la esquila 2023, fue de  $208,12 \pm 8,68$ .

Las concentraciones de cortisol en lana mostraron diferencias marcadas entre los segmentos analizados. El segmento base (representativo del periodo sin efecto esquila) presentó una media de  $6,72 \pm 0,35$  pg/mg, mientras que el segmento punta (crecido después del evento esquila) registró  $13,45 \pm 0,53$  pg/mg.

El análisis descriptivo evidenció que, todos los animales mostraron valores más elevados en la punta respecto de la base. El diagrama de caja correspondiente (Figura 1) muestra esta separación clara entre distribuciones.



**Figura 1:** Compara los dos segmentos de mecha analizados (base vs. punta). Eje Y: concentración de cortisol ( $\text{pg}\cdot\text{mg}^{-1}$ ). Eje X: segmento de la mecha (Base / Punta).

Para evaluar estadísticamente la diferencia entre ambos segmentos se aplicó una prueba t para muestras apareadas. Al revisar los resultados, se observó un aumento claro en la concentración de cortisol desde la base hacia la punta de la mecha. En la mayoría de los animales, la punta mostró valores más altos que la base, y este comportamiento se repitió prácticamente en todas las muestras. La prueba estadística arrojó una media de las diferencias de  $-6,74 \pm 3,91$  y un valor  $p < 0,0001$ , lo que confirma que la variación registrada no fue producto del azar.

La comparación entre los valores en la concentración de cortisol entre base y punta de las muestras de mecha evidencia un incremento claro a lo largo del crecimiento de la mecha. En la mayoría de los animales, la punta mostró niveles superiores a los registrados en la base, y este patrón se mantuvo de manera consistente en el conjunto de la majada.

El análisis evidencia un incremento marcado de cortisol acumulado en la punta de la mecha respecto de la porción base. Esta diferencia no sólo resultó estadísticamente consistente, sino también relevante desde el punto de vista práctico. Al estimar el tamaño del efecto mediante el coeficiente de Cohen ( $DE = 1,72$ ), se confirmó que la distancia entre ambos segmentos supera ampliamente la variación natural dentro de cada grupo. En términos concretos, la punta presentó, en promedio, 6,69 unidades más de cortisol que la base de mecha.

## Discusión

El uso de la lana como matriz para evaluar cortisol en ovinos se ha ido fortaleciendo como una alternativa atractiva para estudiar procesos de estrés de mediano plazo, aunque todavía quedan aspectos por aclarar respecto de su comportamiento fisiológico y sus limitaciones. En este trabajo, la diferencia marcada entre la base y la punta de la mecha fue una característica constante: la punta mostró concentraciones significativamente más altas de cortisol, mientras que la base, mantuvo valores sensiblemente menores. Esta organización a lo largo de la mecha sugiere que el estrés asociado al manejo queda “inscripto” en la fibra que crece después del evento (esquila),

funcionando como un registro lineal de la actividad del eje HHA.

Si bien la incorporación del cortisol a matrices queratínicas ocurre de forma progresiva durante el crecimiento, estudios en pelo humano estiman un retardo aproximado de una semana desde el aumento circulante hasta su deposición detectable en la fibra <sup>(12)</sup>. Esta dinámica temporal contribuye a explicar que la punta, formada tras la esquila, refleje el evento de manejo, mientras que la base conserva el estado previo.

Más allá de sus limitaciones, la lana ofrece ventajas difíciles de ignorar en sistemas extensivos: es fácil de obtener, no requiere infraestructura compleja y permite recuperar lo ocurrido semanas atrás, en momentos donde la recolección de sangre no siempre es posible. En este sentido, nuestros resultados aportan un primer paso hacia la generación de valores de referencia locales y hacia la consolidación de la lana como biomarcador útil para evaluar bienestar en condiciones reales de producción. Estos planteos coinciden con lo señalado por Fürtbauer et al. <sup>(11)</sup>, quienes demostraron que la concentración de cortisol en lana es repetible y capaz de reflejar la actividad histórica del eje HHA, siempre que se controle la región de muestreo y la velocidad de crecimiento de la fibra.

De forma complementaria, Weaver et al. <sup>(27)</sup>, mostraron que cuando los niveles de glucocorticoides circulantes se sostienen en el tiempo, en su caso, mediante un tratamiento prolongado con glucocorticoides, ese aumento finalmente se refleja también en la lana. La coherencia de estos hallazgos con nuestros resultados apunta a una misma conclusión: la lana integra la información hormonal de periodos extendidos y la deposita, tramo a tramo, en su crecimiento. Asimismo, Fürtbauer et al. <sup>(11)</sup>, documentaron diferencias importantes a lo largo de la fibra y entre regiones corporales, reforzando la idea de que la lana puede funcionar como una verdadera “línea de tiempo” fisiológica, siempre que se respeten criterios consistentes de muestreo.

Un aspecto relevante de nuestro estudio fue la falta de correlación entre el cortisol plasmático y el cortisol presente en la fibra. Esta situación coincide con lo informado por Ghassemi et al. <sup>(28)</sup>, quienes tampoco hallaron correspondencia entre ambas matrices bajo condiciones de estrés térmico y restricción hídrica. Además, adquiere mayor sentido al considerar con detalle el manejo al que fueron sometidos los animales: primero fueron encerrados, luego maneados durante algunos minutos, después esquilados y, finalmente, muestreados a los pocos minutos. La literatura señala que tanto el encierro como la restricción física y el aislamiento generan incrementos notables de cortisol plasmático, con picos que pueden oscilar entre aproximadamente 143,4 y 328,2 nmol/L según la reactividad individual <sup>(29)</sup>, y que incluso animales tranquilos pueden presentar valores basales pre-esquila cercanos a 262,0 nmol/L <sup>(8)</sup>. En este marco, el valor plasmático registrado en nuestro trabajo 208,12 nmol/L refleja de manera coherente la suma de estresores previos al muestreo y no contradice los rangos descritos en estudios previos.

La fibra, en cambio, captura otra dimensión temporal: conserva el estado previo en la base y acumula la huella del manejo en la punta. No es razonable esperar que ambas matrices se muevan al unísono porque describen ventanas temporales completamente distintas. En este sentido, la lana no compite con el plasma; lo complementa desde otra perspectiva, aportando una lectura más amplia y valiosa para reconstruir eventos de manejo que dejaron su marca en el organismo.

---

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en este primer año de trabajo (esquila 2023) muestran que la lana puede

ofrecer información retrospectiva valiosa sobre el estrés que experimentan los ovinos durante el manejo. La diferencia marcada entre la base y la punta, junto con la magnitud del efecto observado, indica que la fibra registra de manera reconocible los cambios fisiológicos asociados a la esquila.

En particular, se confirmó un patrón claro: la porción que crece después del manejo acumula más cortisol, mientras que la base —formada antes del evento— conserva valores considerablemente más bajos. Esta organización longitudinal reafirma que la lana puede funcionar como un indicador retrospectivo de la actividad del eje HHA. La ausencia de correlación con el cortisol plasmático refuerza que ambas matrices responden a escalas temporales distintas: la sangre captura el momento agudo; la lana conserva la historia reciente del animal.

En conjunto, estos hallazgos respaldan el potencial de la lana como un biomarcador práctico, accesible y aplicable en sistemas extensivos, y aportan un primer paso hacia la construcción de protocolos sólidos y valores de referencia regionales.

Finalmente, es importante señalar que este estudio corresponde únicamente al primer ciclo de muestreo. En la actualidad estamos finalizando el procesamiento y análisis de las muestras correspondientes a la esquila 2024, obtenidas bajo el mismo diseño experimental. La incorporación de este segundo año permitirá comparar patrones, fortalecer la consistencia de las tendencias observadas y avanzar hacia una comprensión más completa del comportamiento del cortisol en lana como indicador de bienestar animal.

## Bibliografía

1. SENASA. (2022). Normas y prácticas para el bienestar animal en la producción ganadera. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Recuperado de <https://www.senasa.gob.ar/>
2. Suárez J. (2024). Seguridad y soberanía alimentaria en el contexto del Derecho administrativo global: una aproximación jurídico-administrativa a la estrategia europea «de la granja a la mesa». *Actualidad Jurídica Ambiental*. <https://doi.org/10.56398/ajacieda.00380>
3. Paranhos da Costa MJ, Huertas SM., Gallo C, Dalla Costa OA. (2012). Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits, *Meat Science*, Volume 92, Issue3, 2012, Pages 221-226, ISSN 0309-1740, <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67248/1/strategies-to-promote-farm-animal-welfare-in-latin-america.pdf>
4. Whitham J, Bryantn J, Miller L. (2020). Beyond Glucocorticoids: Integrating Dehydroepiandrosterone (DHEA) into Animal Welfare Research. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 10. <https://doi.org/10.3390/ani10081381>.
5. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). (2019). Estándares de bienestar animal para la cría, faena y transporte de ovinos[Manual].[https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d\\_ovinos/bienestar/\\_archivos/200507\\_Est%C3%A1ndares%20Nacionales%20de%20Bienestar%20Animal%20Ovino.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/d_ovinos/bienestar/_archivos/200507_Est%C3%A1ndares%20Nacionales%20de%20Bienestar%20Animal%20Ovino.pdf)
6. De Oliveira Ferraz Martins A, Costaldello A, Bacellar R, Bezerra S, Wolff Y. (2023). A call for a fashion pact: challenges and opportunities for circular economy in the brazilian fashion industry. *OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA*. <https://doi.org/10.55905/oelv21n7-018>.
7. Ungerfeld R. (2020). Bienestar en animales de producción: la investigación nacional, acompaña las exigencias internacionales en el tema. *Veterinaria*, 56, 1-6. <https://doi.org/10.29155/vet.56.213.1>
8. Romero E, Young J, Salado-Castillo R. (2020). Fisiología del estrés y su integración al sistema nervioso y endocrino. 32, 61-70. <https://doi.org/10.37416/rmc.v32i1.535>
9. Odeón MM, Cancino AK, Garramuño J, Romera A. (2020). Bienestar animal en la esquila. *Inta Digital*. Repositorio institucional. Biblioteca digital. N°74. [https://repositorio.inta.gob.ar/xmloi/bitstream/handle/20.500.12123/8684/INTA\\_CRPatagoniaNorte\\_EEABarioche\\_Odeon\\_MM\\_Bienestar\\_Animal\\_En\\_La\\_Esquila.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.inta.gob.ar/xmloi/bitstream/handle/20.500.12123/8684/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABarioche_Odeon_MM_Bienestar_Animal_En_La_Esquila.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
10. Zeinstra EC, Vernooij JC, Bentvelzen M, Van der Stay FJ, Nordquist RE. (2023). Wool cortisol as putative retrospective indicator of stress in ewes during the third trimester of pregnancy, and their newborns: effects of parity and litter size — an exploratory study. *Frontiers in Animal Science*, 4:1056726. DOI: 10.3389/fanim.2023.1056726 <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fanim.2023.1056726/full>
11. Fürtbauer I, Solman C, Fry A. (2019). Sheep wool cortisol as a retrospective measure of long-term HPA-axis activity and links to body mass, *Domestic Animal Endocrinology*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2018.12.009>
12. Maimon L, Milo T, Moyal RS, Mayo A, Danon T, Bren A, Alon U. (2020). Timescales of Human Hair Cortisol Dynamics. *iScience*. 2020 Aug 26;23(9):101501. doi: 10.1016/j.isci.2020.101501. PMID: 32911331; PMCID: PMC7490542.
13. Lawes M, Hetschko C, Schöb R. (2022). Unemployment and hair cortisol as a biomarker of chronic stress. *Sci Rep* 12, 21573.

- <https://doi.org/10.1038/s4159802225775-1>
14. Sawyer G, Fox DR., Narayan E. (2021). Pre- and post-partum variation in wool cortisol and wool micron in Australian Merino ewe sheep (*Ovis aries*). PeerJ. 2021 Apr 27;9: e11288. doi: 10.7717/peerj.11288. PMID: 33987000; PMCID: PMC8086564.
  15. Hantzopoulou GC, Sawyer G, Tilbrook A, Narayan E. (2022). Intra- and Inter-Sample Variation in Wool Cortisol Concentrations of Australian Merino Lambs Between Twice or Single Shorn Ewes. *Frontiers in Animal Science*. Volume 3 – 2022. <https://www.frontiersin.org/journals/animalscience/articles/10.3389/fanim.2022.890914>
  16. Ibar C, Fortuna F, Gonzalez D, Jamardo J, Jacobsen D, Pugliese L, Giraudó., Ceres V, Mendoza C, Repetto E, Reboredo G, Iglesias S, Azzara S, Berg G, Zopatti D, Fabre B. (2021). Evaluation of stress, burnout and hair cortisol levels in health workers at a University Hospital during COVID-19 pandemic. *Psychoneuroendocrinology*, 128, 105213 - 105213. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2021.105213>.
  17. Fabre B. (2024). Nuevas perspectivas en la utilidad del cortisol en pelo [Simposio online - Estrés y Bioquímica]. 27 de junio. COFYBCF. <https://www.cofybcf.org.ar/cursodetalle.php?n=909>.
  18. Botschek T, Hublein V, Peters EM Brosig B. (2023). Hair cortisol as outcome parameter for psychological and neuropsychiatric interventions: A literature review. *Frontiers in Psychiatry*, 14, 1227153. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1227153>
  19. Igboanugo S, O'Connor C, Zitoun OA, Ramezan R, Mielke JG. (2024). A systematic review of hair cortisol in healthy adults measured using immunoassays: Methodological considerations and proposed reference values for research. *Psychophysiology*, 61, e14474. <https://doi.org/10.1111/psyp.14474>
  20. Cobb T, Hantzopoulou GC, Narayan E. (2023). Relationship between wool cortisol, wool quality indices of Australian Merino rams and climatic variables in Tasmania. *Front. Anim. Sci.* 4:1234343. doi: 10.3389/fanim.2023.1234343
  21. Proyecto de Investigación “Determinación de cortisol en lana para la sustentabilidad del bienestar animal durante la esquila en la provincia de La Pampa”. Resolución N° 034/2023 del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de La Pampa.
  22. Gómez M B, Castillo M, Cerutti DA, Palermo PV, Welch MD, Torres JE, Jamardo JJ. (2025). Monitoreo del crecimiento mensual de largo de mecha en ovinos Texel: información preliminar para el desarrollo de un indicador del bienestar animal en la provincia de La Pampa. *Ciencia Veterinaria*, 27, 1–11. <https://doi.org/10.19137/cienvet.v27.8896>
  23. Palermo PV, Gómez MB, Ramirez P, Welch MD, Torres JE, Moreno GM, Ávila L, Guizzardi NH, Insaurralde L, Garat J, Belaustegui F, Hick MVH, Castillo MF, Fabre B, González D, Fortuna F, Jamardo JJ, Frank EN, Cerutti DA. (2025). Monitoreo del crecimiento mensual de largo de mecha en ovinos Texel mediante cortisol: información preliminar para el desarrollo de un indicador de bienestar animal en la provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación de Producción Animal*.
  24. Frank EN, Hick MV, Lamas HE, Gauna CD, Molina MG. Effects of age-class, shearing interval, fleece and color types on fiber quality and production in Argentine Llamas, *Small Ruminant Research*, Volume 61, Issues 2–3, 2006, Pages 141-152, ISSN 0921-4488, <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.005>.
  25. Gómez M, Castillo M, Hick M, Castillo M, Frank E. (2017). Revalorización de las aptitudes laneras de los biotipos ovinos de la región central argentina. *Archivos De Zootecnia*, 66, 357-361. <https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2511>

26. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
27. Weaver S J, Hynd PI, Ralph CR, Hocking Edwards JE, Burnard CL, Narayan E, Tilbrook AJ. (2021). Chronic elevation of plasma cortisol causes differential expression of predominating glucocorticoid in plasma, saliva, fecal, and wool matrices in sheep. *Domest Anim Endocrinol.* 2021 Jan; 74:106503. doi: 10.1016/j.domaniend.2020.106503. Epub 2020 May 30. PMID: 32846373.
28. Ghassemi Nejad J, Lohakare JD, Son JK, Kwon EG, West JW, Sung KI. (2014). Wool cortisol is a better indicator of stress than blood cortisol in ewes exposed to heat stress and water restriction. *Animal.* 8(1):128-132. doi:10.1017/S1751731113001870
29. Caroprese M, Albenzio M, Marzano A, Schena L, Annicchiarico G, Sevi A. (2010). Relationship between cortisol response to stress and behavior, immune profile, and production performance of dairy ewes. *Journal of Dairy Science,* 93(6), 2395–2403. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2604>

### Declaración de conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

### CrediT:

Todos los autores contribuyeron a la concepción y el diseño del estudio. La preparación del material, la recopilación y el análisis de datos fueron realizados por los mismos. Todos los autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

El primer borrador del manuscrito fue escrito por Gómez María Bettina y Ramirez Pablo y todos los autores comentaron las versiones anteriores del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Supervisión: Palermo Pedro V., Mter. Cerutti Dante A., Hick Michel V. H., Frank Eduardo Narciso y Fabre Bibiana R.

### Agradecimientos:

Expresamos nuestro especial agradecimiento al Sr. Lito Garro y María Massano, del establecimiento San Bartolomé II, y a Juan Rivero, de Agrícola Cumeco S.A., por su permanente colaboración, compromiso y excelente predisposición durante todas las instancias del trabajo a campo.

Asimismo, agradecemos a los representantes de ambas firmas por autorizar el ingreso a los predios, facilitar las instalaciones, el personal y los animales, y acompañar activamente el desarrollo de las actividades, lo que permitió llevar adelante el estudio en condiciones productivas reales.

Finalmente, un reconocimiento que no quiero dejar sin nombrar: a los ovinos que participaron del trabajo. Su presencia silenciosa hizo posible cada medición y nos recuerda por qué es necesario profundizar en herramientas que contribuyan a comprender mejor su bienestar.