

# Agraria

**Revista Científica de la  
Facultad de Ciencias Agrarias**



**Facultad  
de Ciencias  
Agrarias**



**UNJu**  
Universidad  
Nacional de Jujuy

**Año 2022 | Volumen 15 (1)**



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY**

Rector

**Mg. Ing. Agr. Mario César Bonillo**

Vicerrectora

**Dra. Lic. Liliana del Carmen Bergesio**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS - UNJu**

Decana

**Dra. Noemí del Valle Bejarano**

Vicedecana

**Dra. Raquel Ángela Romeo**

Sec. Académica: MSc. Susana E. Álvarez

Sec. Administrativa: Ing. Agr. Rodolfo Aguado

Sec. Extensión y Difusión: Ing. Agr. Graciela Elisa Simón

Sec. Ciencia, Técnica y Posgrado: M. Sc. Claudia B. Gallardo

**COMITÉ EDITOR**

Dr. Marcelo R. Benítez Ahrendts

Dr. Marcos Vaira

**COMITÉ REVISOR**

MSc. Silvia Ana Cravero

Ing. Agr. Hugo Lamas

Dra. Cristina Lull Noguera

Dra Virginia Martínez

M.Sc. María Cecilia Morales Poclava

Dr. Roberto Zanvettor

**REVISIÓN Y TRADUCCIÓN**

Master Esp. Trad. Liliana Beatriz Chávez

**EDICIÓN Y DISEÑO**

D.G. Marina Schimpf



**Facultad  
de Ciencias  
Agrarias**



**UNJu**  
Universidad  
Nacional de Jujuy

Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy | Jujuy | Argentina | C.P. 4600

**Revista Científica de la FCA** es producida y financiada por la Facultad de Ciencias Agrarias - UNJu

# CONTENIDO/CONTENTS

## TRABAJOS

7-16 pag.

**RESPUESTA DE ALGUNOS INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO BAJO MANEJOS DIFERENCIALES EN EL CULTIVO DE TABACO (*Nicotiana tabacum*)**

RESPONSE OF SOME SOIL QUALITY INDICATORS UNDER DIFFERENTIAL MANAGEMENT IN TOBACCO CULTURE (*Nicotiana tabacum*)

17-28 pag.

**EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN EL NOROESTE ARGENTINO**

EXTREME MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE EVENTS IN NORTHWESTERN ARGENTINA

29-37 pag.

**ESTUDIO HISTOLOGICO DE PIEL DE LLAMA (*Lama glama*) PARA UN PROYECTO DE INNOVACION TERRITORIAL EN LA CUENCA DE POZUELOS, PUNA DE JUJUY**

HISTOLOGICAL STUDY OF LLAMA SKIN (*Lama glama*) FOR A TERRITORIAL INNOVATION PROJECT

38-44 pag.

**ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD Y LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS TABACALEROS. ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL COMO INDICADOR DE RECUPERACIÓN**

ORGANIC AMENDMENTS TO IMPROVE THE SUSTAINABILITY AND PRODUCTIVE CAPACITY OF TOBACCO LANDS. PRELIMINARY STUDY ON STRUCTURAL STABILITY AS AN INDICATOR OF RECOVERY

## NOTAS TÉCNICAS

45-49 pag.

**SOJA**

SOY

50-53 pag.

**ZEARALENONA**

ZEARALENONE



# RESPUESTA DE ALGUNOS INDICADORES DE CALIDAD DE SUELO BAJO MANEJOS DIFERENCIALES EN EL CULTIVO DE TABACO (*Nicotiana tabacum*)

## RESPONSE OF SOME SOIL QUALITY INDICATORS UNDER DIFFERENTIAL MANAGEMENT IN TOBACCO CULTURE (*Nicotiana tabacum*)

José Miguel Mendoza<sup>1\*</sup> y Raúl Armando Colque<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJU). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

\*Autor para correspondencia:  
jmiguelmendoza17@gmail.com

Licencia:  
[Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:  
Julio 2022

Historial:  
Recibido: 29/09/2021  
Aceptado: 14/11/2021

### RESUMEN

El cultivo de tabaco requiere numerosas labores para su implantación, lo que sumado al poco volumen de rastrojos que deja sobre la superficie del suelo, provoca un deterioro físico, químico y biológico del suelo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una serie de suelo característico del Valle de los Pericos (Valles Templados, Provincia de Jujuy), el efecto que ejercen sobre distintos parámetros químicos, diferentes prácticas de manejo realizadas en el cultivo de tabaco: monocultivo (TM), rotación con gramíneas (TG), incorporación de abonos verdes (TV), contrastando a su vez dichos resultados con una situación de bajo disturbio (T). El muestreo se realizó a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) con tres repeticiones de muestras compuestas para cada tratamiento. Se evaluó la respuesta de las siguientes variables: contenido de carbono orgánico total (COT), contenido de carbono orgánico particulado de las fracciones >200µm (COPG), entre 53-200 µm (COPF) y carbono orgánico asociado <53 µm (COA), nitrógeno total (NT), reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (CE), cationes intercambiables (Na, Ca, K, Mg) y el fósforo extractable (PE). Los niveles de COT y NT disminuyeron en los diferentes tipos de manejo agrícolas en relación a los suelos de referencia, principalmente en las fracciones lábiles del carbono orgánico particulado total (COPT). Entre los sistemas agrícolas el COT y COA fueron buenos indicadores que respondieron favorablemente a la inclusión de gramíneas o a la incorporación de abonos verdes en la rotación agrícola, mientras que el COPT no fue un parámetro sensible para diferenciar distintos usos del suelo. El pH, PE y la CE mostraron el efecto de la fertilización y/o del riego sobre el suelo.

**Palabras clave:** mono cultivo de tabaco, rotación, gramíneas, verdeo, variables químicas.

### SUMMARY

The cultivation of tobacco requires numerous tasks for its implantation,

which added to the low volume of stubble that it leaves on the soil surface, causes its physical, chemical and biological deterioration of the soil. The objective of this work was to evaluate in a series of characteristic soil from the Valle de los Pericos (Temperate valleys, Jujuy province), the effect that different management practices carried out in tobacco cultivation exert on different chemical parameters: monoculture (TM), rotation with grasses (TG), green manures incorporation (TV), contrasting in turn these results with a low disturbance situation (T). Sampling was carried out at two depths (0-20 and 20-40 cm) with three repetitions of composite samples for each treatment. The response of the following variables was evaluated: total organic carbon content (TOC), particulate organic carbon content of the fractions > 200 $\mu$ m (COPG), between 53-200  $\mu$ m (COPF) and associated organic carbon <53  $\mu$ m (COA), total nitrogen (NT), soil reaction (pH), electrical conductivity (EC), exchangeable cations (Na, Ca, K, Mg) and extractable phosphorus (PE). The TOC and NT levels decreased in the different types of agricultural management in relation to the reference soils, mainly in the labile fractions of total particulate organic carbon (COPT). Among the agricultural systems, TOC and COA were good indicators that responded favorably to the inclusion of grasses or the incorporation of green manures in the agricultural rotation, while the COPT was not a sensitive parameter to differentiate different land uses. The pH, PE and EC showed the effect of fertilization and / or irrigation on the soil.

**Keywords:** chemical variables, grasses, greening, rotation, tobacco monocropping.

## INTRODUCCIÓN

En el presente siglo, la degradación del recurso suelo constituye uno de los principales problemas medioambientales que afecta a la humanidad, impactando en la capacidad productiva y en la calidad ambiental (Reicosky, 2007). Lal (2015), mencionó que el 33 % de la superficie de la tierra está afectada por algún proceso de degradación que deteriora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. El uso del suelo en Argentina, ha mostrado una reducción general en el contenido de materia orgánica, en la estabilidad de agregados y un incremento en la densidad aparente (Wingeyer et al., 2015). En la provincia de Jujuy también se

han acelerado los procesos de degradación de suelos por mal manejo de la cubierta vegetal y la realización de un excesivo número de labranzas en las áreas agrícolas (Torres et al., 2019). En el monocultivo de tabaco, en los valles templados, se realiza un gran número de labores mecánicas, este tipo de labranza (convencional), según Hernández (1980), tiene un efecto ecológico y económico negativo, elevado número de labores, altos gastos de energía y mano de obra acentuando los procesos de degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Hoy existe una nueva tendencia al uso de abonos verdes, León González et al. (2007), Collinet,

J. y M. Casariego (1996), recomendaron la rotación de cultivos para evitar el deterioro de fertilidad del suelo. Por su parte, Llanes et al. (2013), demostraron que la incorporación de abonos verdes y abonos orgánicos en el cultivo de tabaco pueden mejorar las propiedades químicas, físicas y el balance nutricional del suelo. Quiroga y Funaro, (2004) sostienen que el uso de los suelos y las prácticas de manejo marcan el grado y la dirección de los cambios.

Para poder cuantificar el efecto que causa un manejo agrícola, se plantea la utilización de indicadores de la calidad, estos son variables físicas, químicas y biológicas, que sirven para indicar la salud del suelo, representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumansky et al., 1998). En la búsqueda de indicadores de calidad, surge la importancia de estudiar la materia orgánica (MO), ya que es el principal factor en el control de la capacidad del recurso suelo para mantener la productividad agrícola y la calidad ambiental (Manlay et al., 2007). Sin embargo, la MO es muy estable a corto plazo, por eso se recurre a la evaluación de sus fracciones que son más sensibles a los diferentes usos de los suelos y pueden ser usados como indicadores tempranos de la dirección de esos cambios (Six et al., 2002). Galantini & Rosell (1997) propusieron una subdivisión de MO en dos: el carbono orgánico particulado grueso, que representa a la fracción más activa y con un tiempo de ciclado de 1 a 5 años (Anderson & Ingram, 1989), y el carbono orgánico particulado fino que es la fracción más estable y que presenta un tiempo de ciclado de 10 a 20 años (Galantini & Suñer, 2008). La fracción de carbono inferior a los 53 micrones, es la más estable de la materia orgánica y que está asociada a las arcillas, siendo en parte sus constituyentes las huminas y los ácidos fúlvicos (Beltrán et al., 2018).

Por ello es importante la evaluación de la calidad del suelo, para lo cual se debería identificar y seleccionar un número mínimo de propiedades químicas, que sirvan como indicadores para conocer su estado de degradación y también para monitorear su evolución, con el fin de poder valorar el efecto de diferentes prácticas de manejo (Navarrete Segueda et al., 2011) y de esta manera delinear pautas de manejo que tiendan a mitigarlos o revertirlos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una serie de suelo característico del Valle de

los Pericos, el efecto que ejercen sobre distintos parámetros químicos, diferentes prácticas de manejo realizadas en el cultivo de tabaco.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### ***Localización y ambiente***

El trabajo se realizó, en el departamento del Carmen en una zona comprendida dentro del Valle de los Pericos provincia de Jujuy, se estudiaron muestras de la serie de suelo Perico, los muestreos se realizaron a mediados de noviembre de la campaña 2014/15, 80 días después del trasplante. Se tomaron muestras en 9 establecimientos, estas se dividieron entre los tres tratamientos, de tal manera que cada tratamiento incluía tres fincas diferentes. Para el muestreo, se tomó una muestra compuesta por 8 submuestras dentro de un área representativa de 2 hectáreas y a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm).

### ***Descripción de los tratamientos***

Se seleccionaron nueve establecimientos de productores de tabaco con un historial de más de 30 años en la actividad, ubicados dentro del área que corresponde a la Serie Perico.

Monocultivo de tabaco bajo labranza convencional (MT): el productor realiza el cultivo anualmente, al finalizar la campaña inmediatamente incorpora el rastrojo restante e inicia nuevamente con las labranzas del suelo a principio de junio. Cultivo de tabaco bajo labranza convencional continua, con incorporación de abono verde de invierno durante los últimos 10 años (TV): el productor finaliza la campaña de tabaco durante los meses de febrero - marzo e inicia con la siembra de un abono verde (avena, trigo, centeno o sorgo) para luego a principios de mayo incorporarlo e iniciar nuevamente con las labranzas correspondientes a partir del mes de junio.

Cultivo de tabaco bajo labranza convencional continua, con rotación tabaco/gramíneas durante los últimos 10 años (TG): en este caso el productor al finalizar la campaña, siembra un abono verde (trigo, cebada u sorgo) y deja descansar el suelo durante 1 año, donde nuevamente inicia la preparación del suelo.

Situación Testigo (T): Para la Serie de suelo bajo estudio, se localizó un sitio con bajo disturbio,

cuyas propiedades fueron evaluadas y tomadas como referencia o testigo, el muestreo se realizó bajo cortinas forestales de *Grevillea robusta* y *Casuarina* sp. que representan la situación más próxima a un suelo cuasi prístino, no alterado desde hace 30 años.

### ***Determinaciones Analíticas***

pH actual: se efectuó mediante la utilización de un electrodo de vidrio pre calibrado sobre una suspensión suelo: agua de 1:2,5

Conductividad eléctrica: se determinó potenciométricamente sobre el extracto de saturación de las muestras de suelo (Rhoades, 1982).

Nitrógeno total: se realizó según el método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982).

Fósforo extractable: se determinó según la metodología propuesta por Bray y Kurtz (1945).

Carbono orgánico total (COT): se evaluó utilizando el método de oxidación húmeda de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982).

Carbono orgánico particulado: Para su cálculo se siguió la metodología propuesta por Cambardella & Elliott (1992).

No obstante, y dada las características de los suelos analizados, se realizaron previamente ensayos de ajuste de la metodología en cuanto al tiempo de agitado de la muestra, llegando a la conclusión que 12 h a 80 rpm era el tiempo adecuado y Cationes intercambiables: contenido de Ca y Mg por complexometría con EDTA, y de K y Na, por fotometría de llama.

### ***Análisis estadístico***

Para la situación de estudio se analizaron los datos obtenidos teniendo en cuenta los diferentes manejos para ambas profundidades (0-20 y 20-40 cm). Los datos fueron analizados mediante el programa INFOSTAT (2017) y para realizar los gráficos el programa IBM SPSS statistics. Para el análisis de los datos se utilizó el método de comparación de medias con el Test DGC ( $p < 0,05$ ).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***Análisis de Varianza: grado de ajuste, coeficiente de variación y valor de probabilidad.***

Todas las propiedades químicas presentaron coeficientes de variación inferiores al 40% lo que nos indica una heterogeneidad de las muestras aceptable para realizar los análisis estadísticos (tabla 1). Superficialmente (0-20 cm), Ca, Mg y K no fueron variables sensibles al manejo en el uso del suelo. A mayor profundidad (20-40 cm), COPT, COPF, COPG, Na y K tampoco lo fueron (tabla 1). Los cationes enunciados presentaron valores normales para el requerimiento del cultivo de tabaco, lo que será analizado en detalle más adelante. La falta de diferencias entre tratamientos en el estrato más profundo para el COPT y las fracciones gruesa y fina del carbono orgánico particulado (COPG y COPF), muestra que el efecto de distintos manejos en la actividad tabacalera, se manifestó principalmente en el estrato superior.

**Tabla 1.** Análisis de varianza de las propiedades químicas para las profundidades de 0-20 cm (1) y 20-40 cm (2). Se presentan el grado de ajuste (R2), coeficiente de variación (CV) y valor de probabilidad (p).

Variables Profundidad	R2		CV		Valor p	
	1	2	1	2	1	2
pH	0,96	0,98	1,27	0,65	<0,001	<0,001
CE	0,86	0,82	11,86	15,01	<0,001	0,002
NT	0,95	0,67	12,13	14,45	<0,001	0,024
PE	0,70	0,81	35,33	32,39	0,018	0,003
COT	0,98	0,76	10,46	14,03	<0,001	0,007
COPT	0,96	0,24	13,39	21,32	<0,001	0,502
COPG	0,97	0,40	12,83	23,47	<0,001	0,233
COPF	0,90	0,30	18,31	21,30	<0,001	0,392
COA	0,85	0,79	15,90	16,25	0,001	0,005
Ca	0,40	0,64	16,08	8,88	0,233	0,035
Mg	0,50	0,79	18,08	9,69	0,122	0,004
Na	0,63	0,52	25,24	25,55	0,041	0,099
K	0,45	0,14	28,47	32,64	0,164	0,743

CE: conductividad eléctrica, NT: nitrógeno total, PE: fósforo extractable, COT: carbono orgánico total, COPT: carbono orgánico particulado total, COPG: carbono orgánico particulado grueso, COPF: carbono orgánico particulado fino, COA: carbono orgánico asociado, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio, K: potasio.

### **Carbono orgánico total (COT) y sus fracciones COP y COA**

En la tabla 2 se observa una reducción promedio del COT y NT superficiales del 66% y 57%, respectivamente, en relación al suelo de referencia, siendo TM el tratamiento más afectado por las labranzas. Similar comportamiento fue citado por Wingeyer et al., (2015). En este sentido, Ferrary Laguzzi et al. (2014) afirmaron que el laboreo intensivo del suelo aumenta la superficie que se expone al ataque microbiano y a su oxigenación, aumentando la tasa de mineralización de la materia orgánica, lo que conduce a una disminución en sus valores.

También se observa que de 0 a 20 cm las diferencias entre los tratamientos agrícolas se manifestaron en las formas más resistentes del carbono orgánico. De esta manera, tanto COT1 como COA1 fueron significativamente inferiores en TM respecto a TG y TV. Al comparar el manejo TV con TM y TG se puede observar una menor disminución de los valores de CO en profundidad (estrato de 20 a 40cm) principalmente de la fracción estable (COA), esto se lo atribuye al sistema de manejo TV en el que se incorporan los residuos de los cultivos en el suelo favoreciendo a los procesos de transformación del C y del N haciendo que ellos se distribuyan en profundidad de labranza. (Eiza et al., 2005), sin embargo los mejores valores de COT y COA en superficie se reflejan en el manejo TG debido al mayor volumen de residuos devueltos en el sistema, compensando de esta manera las

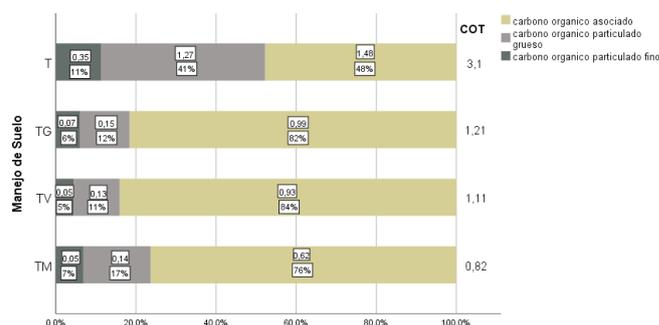
variaciones de CO en el suelo asociadas a las prácticas agrícolas (Janzen, 2006). Los valores más bajos en ambas profundidades fueron observados en el manejo TM, este comportamiento se lo atribuye a que cuanto más intenso y agresivo sea el laboreo, mayor será la disminución del nivel de CO en el suelo (Studdert & Echeverría, 2000).

**Tabla 2.** Valores promedio y desvío estándar para aquellas variables químicas que presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Tratamientos Variables	T	TM	TV	TG
NT 1 (%)	0,23 ± 0,02 b	0,08 ± 0,02 a	0,11 ± 0,01 a	0,11 ± 0,01 a
NT 2 (%)	0,12 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 a	0,11 ± 0,01 b	0,08 ± 0,02 a
COT 1 (%)	3,11 ± 0,23 c	0,82 ± 0,21 a	1,11 ± 0,06 b	1,21 ± 0,08 b
COT 2 (%)	1,25 ± 0,06 b	0,77 ± 0,21 a	1,03 ± 0,02 b	0,80 ± 0,16 a
COA 1(%)	1,48 ± 0,24 c	0,62 ± 0,19 a	0,93 ± 0,06 b	0,99 ± 0,08 b
COA 2(%)	1,06 ± 0,06 b	0,57 ± 0,21 a	0,88 ± 0,01 b	0,61 ± 0,13 a
PE 1(mg kg <sup>-1</sup> )	13 ± 2 a	54 ± 14,11 b	64,67 ± 16,56 b	44,33 ± 22,12 b
PE 2 (mg kg <sup>-1</sup> )	9 ± 1 a	61,33 ± 4,73 b	60,33 ± 21,08 b	29 ± 14,18 a
Mg2(Cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )	6,51 ± 0,40 c	5,12 ± 0,24 b	5,47 ± 0,9 b	4,2 ± 0,21a
Ca 2 (Cmol <sup>+</sup> kg <sup>1</sup> )	10,57± 0,58 b	10,18 ± 0,24 b	11,30 ± 1,43 b	8,62 ± 0,90 a

NT: nitrógeno total, COT: carbono orgánico total, COA: carbono orgánico asociado. PE: fósforo extractable.Ca: calcio, Mg: magnesio. 1: 0-20 cm, 2: 20-40 cm. T: situación testigo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdes, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos. Test DGC (p<0,05).

Las prácticas agrícolas disminuyeron en promedio entre un 82 % y un 89 % en los contenidos de COPT 1, COPG 1 y COPF 1 en relación a los suelos de referencia, estos resultados muestran que las fracciones lábiles del carbono orgánico fueron sensibles a la implementación de la actividad agrícola (figura 1). Esto coincide con Morón y Sawchick (2002), quienes resaltaron que el COPT refleja cambios en el contenido orgánico del suelo antes que el COT. Dicho comportamiento se debe a que el COT está constituido en su mayor parte por las fracciones orgánicas de ciclado más lento. Al contrastar los valores de los elementos constitutivos del COT de los diferentes sistemas de manejo agrícola se esperaba observar la mayor variación en las fracciones lábiles COP, como se observó en los suelos con bajo disturbio, esperando la mayor pérdida de esta fracción en el manejo más agresivo TM, sin embargo las mayores variaciones porcentuales entre las fracciones para cada sistema de manejo agrícola se presentaron en la fracción estable COA (figura 1), lo cual se puede explicar, debido a que son suelos que han sufrido una acentuada intensidad de laboreo producido por la labranza convencional y cuando esto ocurre afecta también a las fracciones más resistentes, es decir a las sustancias húmicas (Galantini & Rosell, 1997).

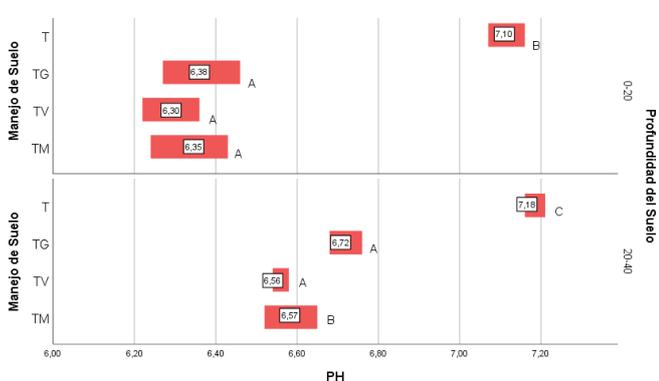


**Figura 1.** Variación porcentual constitutiva del Carbono Orgánico Total (COT) en las distintas situaciones de análisis, T: situación testigo y por efectos de distintas prácticas de manejo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdes, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas.

### Potencial Hidrógeno (ph)

En cuanto al pH en la figura 2 se observa que para los tratamientos con respecto a los testigos para las distintas profundidades disminuye, resultados que coinciden con lo reportado por Snakin et al. (2001), no se observan diferencias significativas entre los diferentes manejos, en los primeros 20 cm se produce una disminución de pH para todos los sistemas de manejo agrícola, siendo más marcado el efecto acidificante en el sector superficial

en donde está más concentrada la MO, estos resultados obedecerían a la práctica de fertilización continua de los tratamientos agrícolas, realizada durante más de 30 años. La aplicación frecuente de fertilizantes, principalmente los nitrogenados, disminuye el pH del suelo (Liebig et al., 2002). Los H<sup>+</sup> liberados reemplazan en el complejo de intercambio a los cationes (principalmente Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>), los que a su vez pasan a la solución del suelo con posibilidad de lixiviar (Ballari, 2005). Sin embargo, los valores registrados de pH en el presente trabajo (6,35 a 6,38 en los suelos bajo cultivo) no serían limitantes para el crecimiento vegetal (Husson et al., 2018).

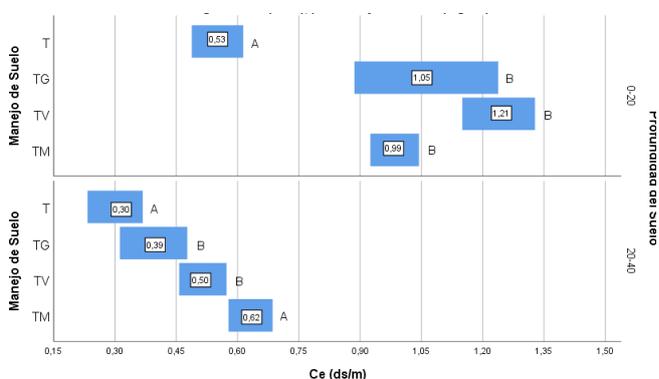


**Figura 2.** Rango de variación del Potencial Hidrogeno (Ph), a dos niveles de profundidad 0-20 y 20-40, en T: situación testigo y por efecto de distintas prácticas de manejo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdes, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas.

### Conductividad eléctrica. (CE)

La conductividad eléctrica de los sistemas de manejo muestra un aumento mayor del doble de esta variable, tanto en profundidad y en superficie que en sus respectivos estados iniciales (figura 3), en promedio se registraron aumentos del 103 % y 67 % en el estrato superior e inferior, respectivamente. Este comportamiento es atribuible al sistema de riego superficial implementado en la producción del tabaco en la zona bajo estudio, cuyas aguas presentan una calidad promedio C2S1 según Richards (1954), por lo tanto, si bien son aptas para el riego ya que presentan bajo contenido de sodio, tienen una salinidad media que a lo largo de los años pudo generar una acumulación de dichos excesos, ocasionando un aumento en la CE. No obstante, los valores de esta propiedad fueron inferiores a 2 dSm, no resultando ser un factor limitante para el desarrollo de este cultivo.

Similares resultados a los del presente trabajo reportaron Pérez Brandan & Huidobro (2011), en sistemas de monocultivo de tabaco para suelos del Valle de Lerma (provincia de Salta).



**Figura 3.** Rango de variación de la Conductividad Eléctrica (Ce), a dos niveles de profundidad 0- 20 y 20-40, en T: situación testigo y por efecto de distintas prácticas de manejo, TM: monocultivo de tabaco, TV: cultivo de tabaco con incorporación de verdes, TG: cultivo de tabaco en rotación con gramíneas.

### Fósforo extractable (PE) y Cationes intercambiables (Ca, Mg y Na).

En la tabla 2 se puede observar que los lotes bajo agricultura en ambas profundidades produjeron un proceso de acumulación de PE con respecto a los de referencia. Esto se debe a los reiterados aportes de este elemento como fertilizante. Se han reportado concentraciones de este elemento entre 44 y 65 mg kg<sup>-1</sup>, siendo el valor promedio de 54 mg kg<sup>-1</sup> en los suelos cultivados, destacando que estos en su condición natural para la región bajo estudio se caracterizan por tener un nivel bajo de P asimilable, menor a 13 mg kg<sup>-1</sup> (García, 2009). De esta manera, los niveles de PE observados en este estudio se incrementaron en cuatro veces respecto a los niveles naturales de este nutriente. No obstante, y aún con estas concentraciones elevadas, es común que se incorpore P en la fertilización de base. Similares resultados reportaron Arzeno et al. (2008), Pérez Brandan & Huidobro (2011) y Martínez Robaina (2018) en sistemas de producción de tabaco.

López-Lefebvre et al. (2002) señalaron que luego del potasio, el calcio es el elemento mineral de mayor demanda por parte del tabaco, y que el contenido de este elemento en la hoja curada puede estar entre el 1,5% y 2%. No obstante, los niveles de este elemento encontrados en los suelos bajo

cultivo, resultaron normales para el requerimiento nutricional del tabaco (Ballari, 2005).

En cuanto a la relación Ca y Mg se observan valores bajos en los diferentes sistemas agrícolas, presentando el de menor relación el TM (tabla 2), mostrando valores inferiores para el normal desarrollo del cultivo, esta relación es un indicador muy importante para el cultivo del tabaco, de su valor puede depender la calidad de la hoja y sobre todo la calidad de la ceniza (Layten y Nielsen, 1999).

## CONCLUSIONES

El efecto de la actividad agrícola se refleja con mayor intensidad en el estrato superior, evidenciándose disminuciones en la fracción lábil (COPT) y estable (COA). El COT y COA fueron buenos indicadores que respondieron favorablemente a la inclusión de gramíneas o a la incorporación de abonos verdes en la rotación agrícola, mientras que a mayor profundidad solo hubo una respuesta positiva de estas variables en el tratamiento con abonos verdes. El COPT no fue un indicador sensible que permitiera diferenciar los distintos sistemas agrícolas evaluados. Se reportó una mayor pérdida del COA en TM respecto a los otros dos sistemas agrícolas TV y TG. Algunas variables químicas (pH, PE y CE) mostraron el efecto de la fertilización y/o del riego sobre el suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, JE. & Ingram, J. (1989). The tropical soil biology and fertility programme, TSBF, C.A.B. Intern. (ed), Wallingford, p. 171.
- Arzeno, JL., Corvalán ER., Guardo, N y Sánchez DC. (2008). Residualidad del fósforo por fertilización en un suelo Ustocrepte Udico del Valle de Lerma, Salta. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis, p. 260.
- Ballari, MH. (2005). Tabaco Virginia: Aspectos ecofisiológicos de la nutrición en condiciones de cultivo. Editorial Alejandro Graziani, Córdoba, Argentina.
- Beltran, MJ., Sainz RH., Galantini, JA., Romaniuk, RI., & Barbieri, P. (2018). Cover crops in the Southeastern region of Buenos Aires, Argentina: effects on organic matter physical fractions and nutrient availability. *Environmental Earth Sciences*, 77(12): 428.
- Bray, RH. & Kurtz, LT. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59, 39-45.
- Bremner, JM. & Mulvaney, CS. (1982). Nitrogen total. In Page A.L. Ed. *Methods of soil Analysis. Part 2. 2nd Edition.* Madison, Wisc., American Society of Agronomy, pp. 595- 624. (Agronomy Series no. 9).
- Cabrera, CEA., Morejón, MYM. y Amaro, RE. (2013). Tecnologías de manejo sostenible de suelo en la cooperativa Jaime Vena, Pinar del Río. *Avances*, 15 (4): 400-409.
- Cambardella, CA & Elliott, ET. (1992). Particulate soil organic matter. Changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 777-783.
- Collinet, J y Casariego, M. 1996. Rehabilitación de los suelos Volcánicos degradados utilizando abonos orgánicos, Cuenca del río Las Cañas-El Sal- vador. XLII Reunión del PCCMCA, 23:18 - 22.
- Dumansky, J., Ferry, E., Byerlee, D. & Pieri C. (1998). Performance indicators for sustainable agriculture. Washington. The World Bank.
- Eiza, MJ., Fioriti, N., Studdert, GA. y Echeverría, HE. (2005). Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y fertilización nitrogenada. *Ciencia del suelo*, 23(1), 59-67.
- Ferrary Laguzzi, F., Osinaga, R., Arzeno, JL., Becker, AR y Rodríguez, T. (2014). Fraccionamiento y mineralización de la materia orgánica en distintos sistemas de labranza en un inceptisol de Salta. *Ciencia del suelo*, 32(1): 63-72.
- Galantini, JA. y L. Suñer. (2008). Las fracciones orgánicas del suelo: análisis en los suelos de la Argentina. *AGRISCIENTIA*, VOL XXV (1):41-55.
- Galantini, JA. & Rosell, RA, (1997). Organic fractions, N, P and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentine under different crop sequence. *Soil Till Res* 42:221-228

- García, F., (2009). El manejo de los nutrientes. Bases y herramientas. Curso FUNDACREA. Buenos Aires, 29 de Septiembre de 2009. IPNI Cono Sur.
- Hernandez, A. (1980). Clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelo. Academia de Ciencias. La Habana. Cuba.
- Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M. & Sarthou, JP. (2018). Conservation Agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France. *Soil Tillage Research*. 176: 57-68.
- INFOSTAT. 2017. InfoStat, versión 1.1. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Janzen, HH. (2006). The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it. *Soil Biol. Biochem.* 38: 419-424.
- Lal R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*. 7: 5875- 5895.
- Layten, D. & Nielsen MT. (1999). *Tobacco: Production, Chemistry and Technology*, Blackwell Science, USA, 467 pp.
- León González, Y., Cabrera, CE., Hernández, JM. y Cordero, PL. (2007). Introducción de cultivos alternantes y tecnologías de mejoramiento y conservación en un agroecosistema tabacalero de la CCS Tomás León. *Cuba Tabaco*. 8(1): 26-33.
- Liebig, MA., Varvel, GE., Doran, JW. & Wienhold, BJ. (2002). Crop sequence and nitrogen fertilization effects on soil properties in the western corn belt. *Soil Science Society of America Journal*. 66(2): 596-601.
- Llanes Hernández, JM., Cabrera Caicedo, E., Otero Martínez, A. y Domínguez Palacios, D. (2013). Asociación maíz frijol terciopelo alternante con tabaco en San Juan y Martínez. *Avances*. 15 (2): 211-217.
- López-Lefebvre, LR., Rivero, RM. García, PC. Sánchez, E. Ruiz, JM. & Romero, L. (2002). Boron effect on mineral nutrients of tobacco. *Journal of Plant Nutrition*. 25(3): 509-522.
- Manlay, R., Feller, C. & Swift, M. (2007). Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 217-233.
- Martínez Robaina, AY., Febles González, JM., do Amaral Sobrinho, NM., Benítez Odio, M., Morejón García, M., Ruíz Sánchez, M., y Hernández Carballo, R. 2018. Alternancia de cultivos, su efecto sobre el suelo en zonas dedicadas a tabaco negro en Pinar del Río. *Centro Agrícola*. 45(1): 69-77.
- Morón, A. & Sawchik, J. (2002). Soil quality indicators in a longterm crop-pasture rotation experiment in Uruguay. Paper 1327. *Proceedings 17th World Congress of Soil Science. Symposium Nº 32. Bangkok, Tailandia.*
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., Lopez Blanco, J. y Rodríguez Gamiño, M. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *Contactos*. 80: 29-37.
- Nelson, DW. & Sommers, LE. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Page, A L (Ed). *Methods of soil analysis. Part 2. American Society of Agronomy. USA, Agronomy 9, pp. 539-579.*
- Pérez Brandán, C. y Huidobro, J. (2011). Efecto del monocultivo de tabaco (*Nicotiana tabacum*) sobre algunos parámetros biológicos en suelos del Valle de Lerma. *Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. Mar del Plata, Buenos Aires. AR.*
- Quiroga A, y Funaro, D. (2004). *Materia orgánica. Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas. p.476.*
- Reicosky, DC. (2007). Carbon sequestration and environmental benefits from no-till systems. In: Goddard, T; M Zoebisch; Y Gan; W Ellis; A Watson & S Sombatpanit (eds.). *No-till farming systems. Special publication Nº 3 by The World Association of Soil and Water Conservation (WASWC).*

- Rhoades, JD.(1982). Soluble salts. Methods of soil analysis. Part, 2(2): 167-178.
- Richards, LA. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dep. Agric. Handb. No. 60.
- Six J., Callewaer, PS., Gregorich, L. & Paustian, K. (2002). Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. Soil Sci. Soc. Am. J. 66: 1981-1987.
- Snakin, VV., Prisyazhnaya, AA., Kovacs-Lang, E., Korsunsky, AO. & Moskalenko, NA. (2001). In: Elsevier (Ed.), Soil Liquid Phase Composition. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Studdert, G. & Echverría, HE. (2000). Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1496-1503.
- Torres, CG., Fernández, GS. y Yarade, LGD. 2019. Provincia de Jujuy. En: Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y del agua en áreas de secano. Tomo I. R Casas & F. Damiano (eds). PROSA. FECIC. INTA. Pp: 443-474.
- Wingeyer, AB., Amado, TJ., Pérez-Bidegain, M., Studdert, GA., Varela, CHP., García, FO. y Karlen, DL. (2015). Impactos en la calidad del suelo de las prácticas agrícolas actuales de América del Sur. Sostenibilidad. 7 (2): 2213-2242.



# EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS EN EL NOROESTE ARGENTINO

## EXTREME MAXIMUM AND MINIMUM TEMPERATURE EVENTS IN NORTHWESTERN ARGENTINA

Fabio Alabar<sup>1\*</sup>, Mónica Valdiviezo Corte<sup>1</sup>, Juan M. Solís<sup>2</sup>, Carla Moreno<sup>1</sup>, Patricia Arias<sup>3</sup>, Marta Leño<sup>2</sup> y Rafael Hurtado<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Agroclimatología, <sup>2</sup>Cátedra de Bioestadística y <sup>3</sup>Cátedra de Edafología. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJu). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

\*Autor para correspondencia:  
davidalabar@fca.unju.edu.ar

Licencia:  
[Licencia Creative Commons](#)  
[Atribución-NoComercial-](#)  
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:  
Julio 2022

Historial:  
Recibido: : 25/10/2021  
Aceptado: 05/05/2022

### RESUMEN

Este estudio analiza las tendencias espaciales y temporales en los índices de temperaturas extremas en el Noroeste Argentino (NOA). Los índices de percentiles se calcularon a partir de datos de temperatura mínima y máxima diarios recientemente homogeneizados para el período que posee cada estación y para el periodo 1988-2020, en nueve estaciones del NOA. Los índices que describen las características de los extremos calientes y fríos se calculan con el software RCLIMDEX. Las tendencias anuales y estacionales en estos índices se obtienen usando el ajuste de mínimos cuadrados ordinarios y la significancia estadística probada usando la prueba de Mann-Kendall. Examinando las características de estos índices para toda la región se observa que los patrones espaciales y temporales de las tendencias en los índices indican que se ha experimentado un aumento en la frecuencia de eventos extremos calientes y una disminución en los eventos extremos fríos. Aunque la mayoría de las estaciones tienen tendencias significativas en días cálidos y noches cálidas, la tendencia anual es mayor en noches cálidas. Además, la tendencia anual de las temperaturas máximas y mínimas solo son negativas si se considera todo el periodo de datos para Santiago del Estero y Jujuy Aero para este último índice. Mientras que para el último periodo en estudio todas tienen tendencia positiva. El mayor incremento de los valores extremos se da en La Quiaca con la mayor tasa de incremento en las temperaturas máximas.

**Palabras clave:** extremos, temperatura, tendencia, noroeste argentino.

### SUMMARY

This study analyzes the spatial and temporal trends in extreme temperature indices in Northwest Argentina (NOA). The percentile indices were calculated from recently homogenized daily minimum and maximum temperature data for the period that each station has and for the period 1988-2020, in nine stations in the NOA. Indices describing the characteristics of hot and

cold extremes are calculated using RCLimDex software. Annual and seasonal trends in these indices are obtained using the ordinary least squares fit and statistical significance tested using the Mann-Kendall test. Examining the characteristics of these indices for the entire region, it is observed that the spatial and temporal patterns of the trends in the indices indicate that there has been an increase in the frequency of extreme hot events and a decrease in extreme cold events. Although most seasons have significant trends in warm days and warm nights, the annual trend is greater for warm nights. In addition, the annual trend of maximum and minimum temperatures are only negative if the entire data period for Santiago del Estero and Jujuy Aero is considered for this last index. While for the last period under study all have a positive trend. The greatest increase in extreme values occurs in La Quiaca with the highest increase rate in maximum temperatures.

**Keywords:** extremes, northwest Argentina, temperature, trend.

## INTRODUCCIÓN

Expertos sobre Cambio Climático coinciden en afirmar que, desde la Revolución Industrial ha habido un aumento anómalo en las temperaturas medias globales de la superficie terrestre, pero desde mediados del siglo XIX, se han observado cambios en el sistema climático que no tienen precedente si se comparan con registros históricos observacionales, o con registros paleoclimáticos referidos a los últimos milenios (Stocker et al., 2013). Asimismo, afirman que la variación de las temperaturas ha sido muy alta y el incremento global desde 1880 fue de aproximadamente 0,9°C hacia fin del siglo XX. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica asevera que, cada una de las últimas tres décadas ha sido más cálida que

todas las anteriores desde 1850, siendo la primera década del siglo XXI la más cálida de todas (NOAA, 2017).

El forzamiento de gases de efecto invernadero es el factor dominante para los aumentos en la intensidad, frecuencia y duración de los extremos cálidos y la disminución de los extremos fríos. La variación de los eventos extremos está modulada por distintos patrones de circulación atmosférica a escala global, retroalimentación tierra-atmósfera a escala regional y local y forzamientos locales tales como cambios en el uso de la tierra o cambios en las concentraciones de aerosoles, lo que provoca distribuciones espaciales heterogéneas en las variaciones de temperaturas extremas (Seneviratne et al., 2021).

El cambio de uso de la tierra, como la deforestación y las prácticas agrícolas, desempeñan un papel importante en la oscilación de las temperaturas extremas en algunas regiones del mundo. La deforestación puede haber contribuido aproximadamente en un tercio del calentamiento de los extremos cálidos en algunas regiones de latitudes medias desde la época preindustrial, y los aspectos de la práctica agrícola, incluida la agricultura sin labranza, el riego y la intensificación general de las tierras de cultivo, constituyen culturas que permiten disminuir las variaciones de las temperaturas extremas (Seneviratne et al., 2021).

En Argentina, Barrucand y Rusticucci (2001 y 2002), Rusticucci y Barrucand (2004) y Rusticucci (2012), destacan la evidencia de una importante disminución de la frecuencia de temperaturas mínimas frías de verano con un análisis que comienza a finales de la década del 70 y un aumento de la frecuencia de temperaturas máximas cálidas en invierno durante la última década estudiada; además la temperatura mínima del aire a 2 metros es la que ha registrado una mayor variación en los últimos años, con una tendencia hacia condiciones más cálidas, durante la estación del verano.

En la región NOA, Hurtado, et al., 2008, para el periodo 1960-2007 con registros de temperaturas máximas y mínimas de ocho localidades de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Santiago del Estero, observaron un aumento generalizado de la temperatura mínima media anual, que oscila entre 2° y 3,6 °C/100 años, con las mayores tendencias correspondientes a los meses de octubre y marzo. En un estudio de la tendencia y el número de días con temperaturas máximas superiores a umbrales preestablecidos en cuatro localidades de la provincia de Jujuy, Mayo et al., (2014), concluyen que existe una tendencia en aumento en la frecuencia de eventos cálidos.

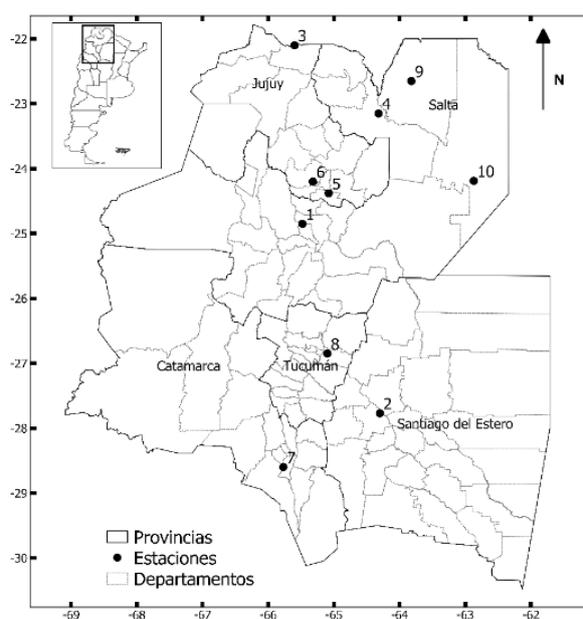
Existe un enorme interés social y científico por cuantificar y comprender las tendencias futuras en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos y su atribución al cambio climático antropogénico. Como por ejemplo, las olas de calor aumentan la morbilidad y la mortalidad, reducen la eficiencia laboral y el rendimiento de los cultivos e intensifican las sequías y los incendios forestales, mientras que las intensas lluvias inducen inundaciones que provocan víctimas humanas, daños a la infraestructura, malas cosechas, deslizamientos de tierra y mayores costos de seguros (Van der

Wiel & Bintanja, 2021). Es por ello, que el objetivo de este trabajo es determinar las tendencias y variaciones de índices de eventos extremos de temperaturas en estaciones de superficie del Servicio Meteorológico Nacional de la región NOA en el periodo con información disponible en cada estación y el periodo 1988-2020.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación (2018-2021) para el análisis de la variabilidad de eventos extremos de diferentes parámetros meteorológicos en el NOA, y constituye una herramienta de avance y difusión de resultados para ser utilizado por un amplio espectro de actores, contribuyendo a enriquecer la discusión de la evolución de los eventos de variabilidad climática y dar herramientas de planificación para la aplicación de políticas de adaptación y mitigación.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron registros diarios de temperatura máxima y mínima de la estación Augusto Romain de la Universidad Nacional de Jujuy con convenio con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de otras nueve estaciones pertenecientes a la misma institución, localizadas en las provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán y Santiago del Estero (Figura 1 y Tabla 1). Se consideran estas estaciones ya que son las que presentan una serie de registros diarios superiores a treinta años.



**Figura 1.** Distribución espacial de las estaciones meteorológicas de la región del NOA en estudio.

**Tabla 1.** Georreferenciación y fechas de registros de las estaciones meteorológicas en estudios del Noroeste Argentino.

Numeración	Nombre de la estación	Latitud	Longitud	Fecha de primer registro*
1	Salta Aero	-24,85	-65,48	19/02/1925
2	Santiago del Estero Aero	-27,77	-64,30	01/01/1931
3	La Quiaca Aero	-22,10	-65,6	01/04/1956
4	Orán Aero	-23,15	-64,32	22/10/1957
5	Jujuy Aero	-24,38	-65,08	01/05/1967
6	Augusto Romain	-24,20	-65,32	01/07/1987
7	Catamarca Aero	-28,60	-65,77	01/05/1973
8	Tucumán Aero	-26,85	-65,10	01/10/1981
9	Tartagal Aero	-22,65	-63,82	01/05/1956
10	Rivadavia Aero	-24,19	-62,87	01/04/1956

\* Todas las estaciones se encuentran en vigencia en la actualidad.

Fuente: Estación Meteorológica Universidad Nacional de Jujuy y Servicio Meteorológico Nacional.

Fueron considerados dos periodos para estimar los índices de eventos extremos de temperatura, uno referido a la información meteorológica disponible en cada estación y otro desde 1988 a 2020. Se seleccionó el período con información disponible para conocer la tendencia histórica de los índices de eventos extremos en cada estación,

y el período 1988-2020 para sistematizar todas las estaciones en un solo período y analizar el comportamiento en los últimos 32 años; y 1988 fue seleccionado como año de inicio para el período 1988-2020 ya que todas las estaciones estudiadas tenían información a partir de ese año. A excepción de Santiago del Estero Aero, consideramos la serie de datos a partir del 1 de enero del siguiente año de la fecha de primer registro en el resto de las estaciones para analizar años completos (Tabla 1).

Se calcularon dos índices de temperatura extrema a partir del programa R-Climdex v1.0 desarrollado por el departamento de investigación climática del servicio meteorológico de Canadá (Zhang & Feng, 2004) y ejecutado por medio del software R versión 3.5.3 (R Core Team 2021). Los índices son el número anual medio de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (TM90P) y el número anual medio de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10 (Tm10P), y en ambos se determinó la tendencia anual y los percentiles 90 de la temperatura máxima y 10 de la temperatura mínima para los dos periodos analizados. Se contabilizó el porcentaje de registros diarios faltantes para los periodos con información disponible en cada estación y para el periodo 1988-2020 (Tabla 2).

**Tabla 2.** Porcentajes de registros diarios faltantes de los índices de eventos extremos de temperaturas del periodo disponible y de 1988–2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodos	TM90P	Tm10P	TM90P	Tm10P
				1988-2020	
Salta Aero	1926-2020	3,93	1,14	0,00	0,02
Santiago del Estero Aero	1931-2020	0,91	0,59	0,05	0,06
La Quiaca Aero	1957-2020	0,18	0,17	0,03	0,04
Orán Aero	1958-2020	6,05	4,16	0,08	0,26
Jujuy Aero	1968-2020	0,41	0,39	0,61	0,29
Augusto Romain	1988-2020	0,31	0,31	0,31	0,31
Catamarca Aero	1974-2020	1,97	0,53	2,80	0,75
Tucumán Aero	1982-2020	0,44	0,04	0,51	0,03
Tartagal Aero	1957-2020	19,48	21,84	3,61	8,58
Rivadavia Aero	1957-2020	12,61	33,32	23,16	63,31

Las temperaturas medias anuales se calcularon considerando el promedio de las temperaturas máximas (Tmax) y mínimas (Tmin) diarias de los 365 días del año para los periodos con información disponible y el periodo 1988-2020 en todas las estaciones en estudio. Las tendencias de los índices TM90P, Tm10P, Tmax y Tmin se graficaron en base a una regresión lineal de mínimos cuadrados (Belmonte, 2017). Se contabilizó el porcentaje de registros anuales para los periodos con información disponible y el lapso 1988-2020 (Tabla 3).

**Tabla 3.** Porcentajes de registros anuales faltantes de los valores extremos de temperaturas del periodo disponible y de 1988 – 2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodo	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
				1988-2020	
Salta Aero	1926-2020	10,64	5,32	0,00	0,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	6,74	3,37	0,00	0,00
La Quiaca Aero	1957-2020	1,59	1,59	0,00	0,00
Orán Aero	1958-2020	11,29	9,68	0,00	3,13
Jujuy Aero	1968-2020	1,92	1,92	3,13	0,00
Augusto Romain	1988-2020	3,13	3,13	3,13	3,13
Catamarca Aero	1974-2020	6,52	4,35	9,38	6,25
Tucumán Aero	1982-2020	5,26	0,00	6,25	0,00
Tartagal Aero	1957-2020	49,21	52,38	6,25	12,50
Rivadavia Aero	1957-2020	44,44	42,86	78,13	75,00

Los índices de eventos extremos de temperatura en aquellas estaciones con porcentaje de registros faltantes mayores al 10% no fueron considerados en este estudio, ya que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sugiere dicho umbral como límite dentro del análisis de tendencias (Tabla 2 y 3) (Núñez et al., 2018). Por lo que se desestimó la evaluación de los índices en la estación Rivadavia Aero (Tablas 2 y 3), tampoco los referidos al periodo con información disponible y Tmin para el periodo 1988-2020 en la estación Tartagal Aero (Tabla 3). Por el mismo criterio, no fueron considerados el índice Tmax en las estaciones Salta Aero y Orán Aero (Tabla 3).

Se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall para determinar la tendencia y significancia estadística, a un nivel de  $\alpha=0,05$ , a todos los índices en estudio. El proceso se realizó con la función Mann-Kendall de la librería Kendall del software R versión 3.5.3.

En los dos periodos analizados, se determinó

el incremento o disminución de las temperaturas extremas y el número de días superiores e inferiores a los percentiles 90 y 10, respectivamente.

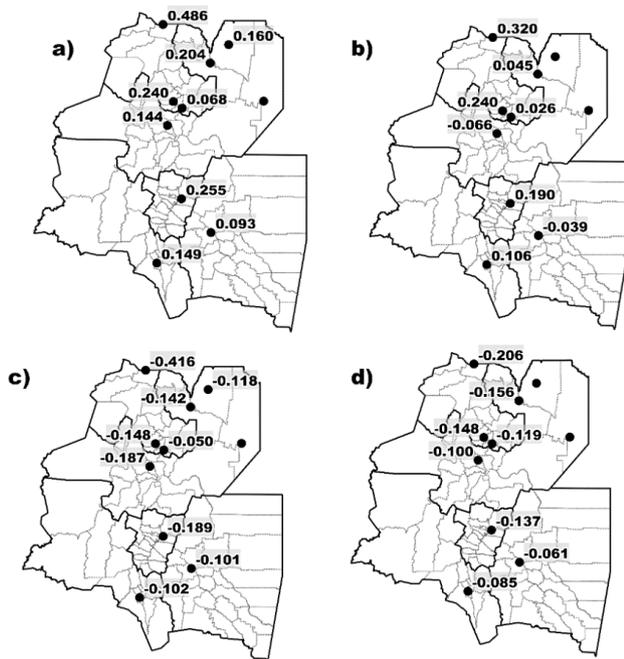
**RESULTADOS**

En el período (1988-2020), el número anual de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 presentó una tendencia en aumento, y el número de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10, una disminución (Figura 2.a y 2.c). Al considerar el periodo con información disponible, las tendencias anuales de TM90P son menores con respecto al periodo 1988-2020 en todas las estaciones en estudio (Figura 2.b). Además, se observa un cambio de dirección de pendiente en las tendencias anuales de TM90P para las estaciones Salta Aero y Santiago del Estero Aero (Figura 2.b). Las tendencias anuales de Tm10P para el periodo con información disponible y el lapso 1988-2020 (Figura 2.d y 2.c), presentan un comportamiento inverso, lo que implica una disminución en el número de días con temperaturas debajo del umbral del percentil 10. Las estaciones Orán Aero y Jujuy Aero son las únicas en tener un incremento de la pendiente en los últimos 32 años.

La mayoría de las estaciones en estudio presentaron tendencias con significancia estadística ( $p\text{-value} < 0,05$ ) en los índices TM90P y Tm10P, con excepción en las tendencias del periodo 1988-2020 en las estaciones Jujuy Aero, Catamarca Aero, Tucumán Aero. En las estaciones Jujuy Aero y Orán Aero, en el periodo con información disponible, y Santiago del Estero Aero, en el periodo 1988-2020, para el índice TM90P, no resultaron significativas ( $p\text{-value} > 0,05$ ). El resto de las estaciones y en los dos periodos analizados para los índices TM90P y Tm10P si fueron significativos ( $p\text{-value} < 0,05$ ) según el Test de Mann-Kendall.

Con respecto a los umbrales de temperaturas extremas utilizados para la determinación del número de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 y el número de días con temperatura mínima inferiores al percentil 10 en el periodo 1988-2020 son mayores que en el periodo con información disponible (Tabla 4). En la estación Santiago del Estero Aero se presentan los mayores valores de percentil 90; y en La Quiaca Aero los menores para el percentil 10.

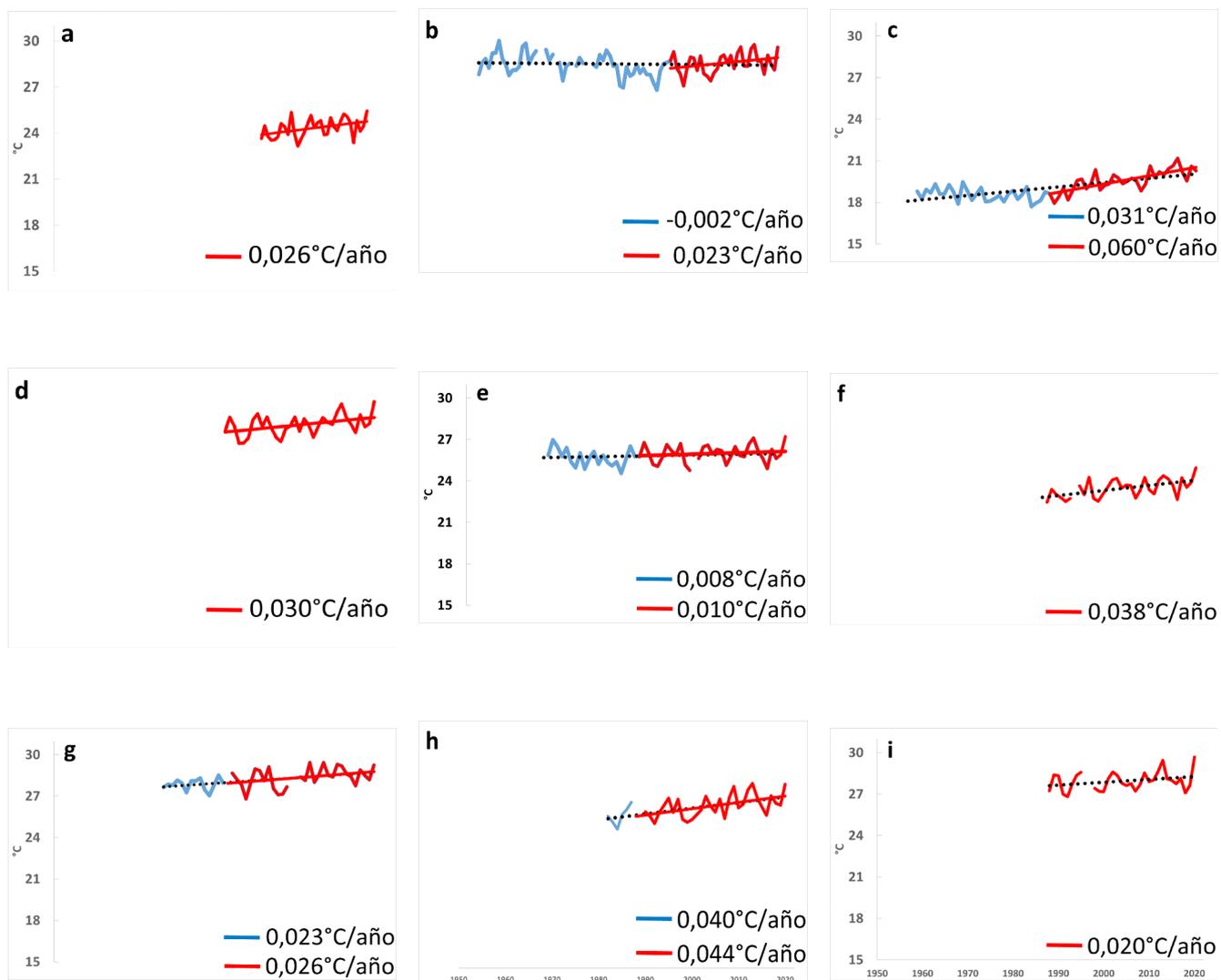
**Tabla 4.** Umbrales para el percentil 90 en temperatura máxima y percentil 10 en temperatura mínima



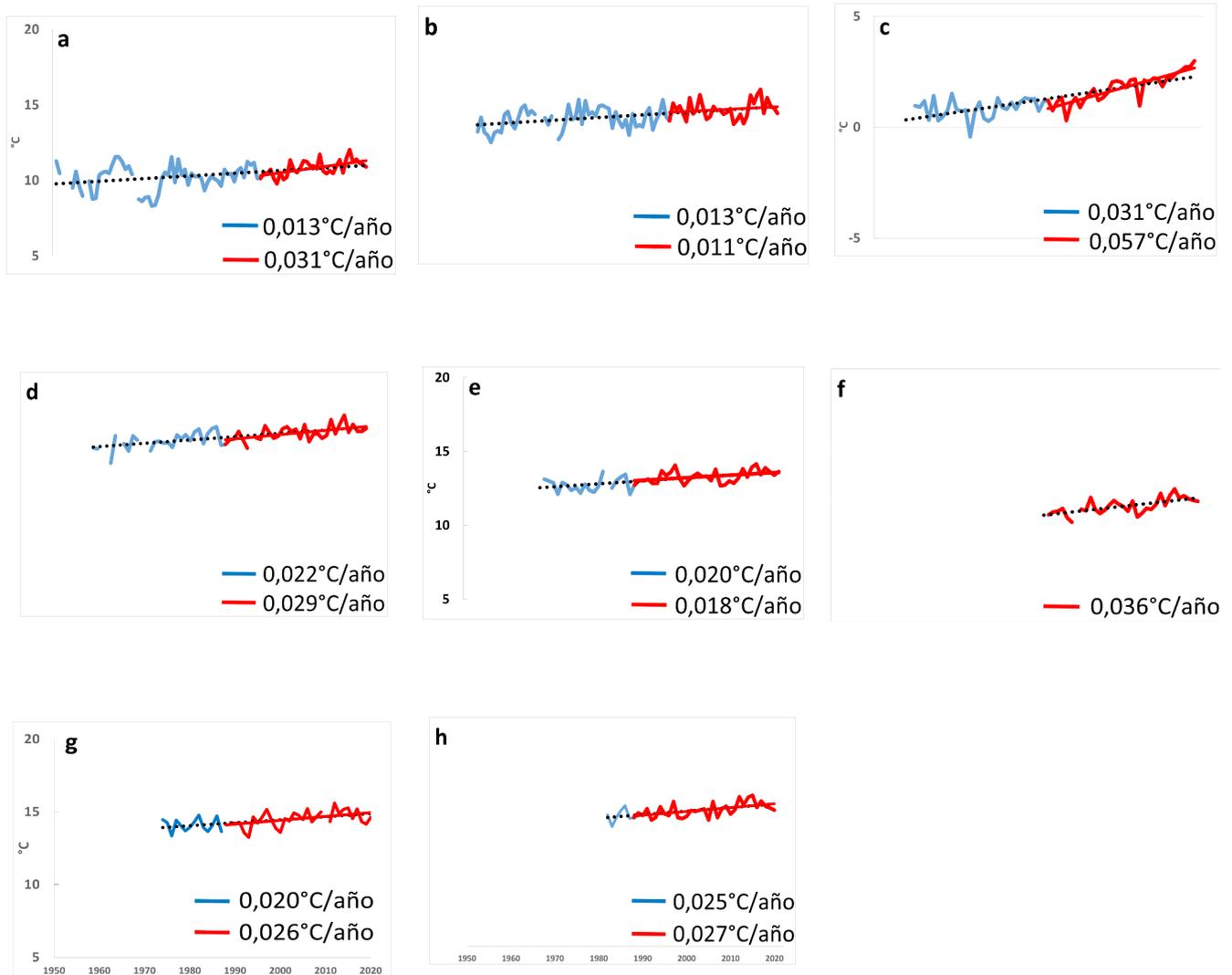
**Figura 2.** Tendencias anuales de índices de eventos extremos. a) Pendiente anual de TM90P para el periodo 1988-2020; b) pendiente anual de TM90P para el periodo con información disponible en cada estación; c) pendiente anual de Tm10P para el periodo 1988-2020; d) pendiente anual de Tm10P para el periodo con información disponible en cada estación.

Estaciones	Periodo	TM90P	Tm10P	1988-2020	
				TM90P	Tm10P
Salta Aero	1926-2020	31,30	1,60	31,10	2,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	37,00	3,20	37,00	3,20
La Quiaca Aero	1957-2020	23,10	-7,30	23,60	-6,80
Orán Aero	1958-2020	35,70	8,30	36,00	8,60
Jujuy Aero	1968-2020	33,30	5,00	33,50	5,20
Augusto Romain	1988-2020	30,60	3,80	30,60	3,80
Catamarca Aero	1974-2020	36,50	4,00	36,70	4,04
Tucumán Aero	1982-2020	34,10	6,20	34,20	6,20
Tartagal Aero	1957-2020			35,80	2,60

Para las temperaturas extremas anuales del periodo 1988-2020 se observa tendencia en aumento en todas las estaciones (Figuras 3 y 4). En el periodo con información disponible, la estación Santiago del Estero Aero, presenta tendencia negativa de la Tmax (Figura 3.b), siendo positiva en el resto de las estaciones en estudio. Las tendencias de Tmax ocurridas durante los últimos 32 años, en todas las estaciones, son mayores a las del periodo con información disponible (Figura 3). En Tmin, a excepción de las estaciones de Jujuy Aero y Santiago del Estero Aero, también se observan pendientes mayores en el último periodo (Figura 4).



**Figura 3.** Temperaturas maximas medias anuales y tendencias de a: Salta Aero, b: Santiago del Estero Aero, c: La Quiaca Aero, d: Oran Aero, e: Jujuy Aero, f: A. Romain, g: Catamarca Aero, h: Tucumán Aero y i: Tartagal Aero



**Figuras 4.** Temperaturas mínimas medias anuales y tendencias. a: Salta Aero, b: Santiago del Estero Aero, c: La Quiaca Aero, d: Oran Aero, e: Jujuy Aero, f: A. Romain, g: Catamarca Aero y h: Tucumán Aero.

Con respecto a la significancia estadística ( $p$ -value < 0,05) del índice Tmax en los dos periodos analizados, no se observan tendencias significativas en las estaciones Santiago del Estero Aero y Jujuy Aero. Del mismo modo, la estación Orán Aero, no presenta pendiente significativa para el periodo con información disponible. Para el lapso 1988-2020, no exhiben tendencias significativas las estaciones de Catamarca Aero y Tartagal Aero para Tmax; y Santiago del Estero para Tmin. El resto de las estaciones y en los dos periodos analizados para los índices Tmax y Tmin sí resultaron significativos ( $p$ -value < 0,05) según el Test de Mann-Kendall.

En todas las estaciones se observa un aumento de las temperaturas extremas en el periodo 1988-

2020, siendo mayor el incremento en la estación La Quiaca Aero (Tabla 5). Santiago del Estero muestra para el periodo con información disponible una disminución de la Tmax (Tabla 5). Los incrementos de Tmax y Tmin en el periodo con información disponible son mayores que en los últimos 32 años (Tabla 5). La disminución de días con temperaturas mínimas menores al percentil 10 se visualiza en ambos periodos de estudio; y a excepción de las estaciones Salta Aero y Santiago del Estero Aero, en el periodo con información disponible, un aumento de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 (Tabla 5).

**Tabla 5.** Incremento anual del número de días y temperaturas extremas del periodo disponible y de 1988 – 2020 de las estaciones meteorológicas del Noroeste Argentino.

Estaciones	Periodo	TM90P	Tm10P	Tmax	Tmin	1988-2020			
						TM90P	Tm10P	Tmax	Tmin
Salta Aero	1926-2020	-6	-9		1,22	5	-6	0,86	1,00
Santiago del Estero Aero	1931-2020	-3	-5	-0,18	1,20	3	-3	0,73	0,37
La Quiaca Aero	1957-2020	20	-13	1,96	1,94	16	-13	1,92	1,83
Orán Aero	1958-2020	3	-10		1,38	7	-5	0,95	0,93
Jujuy Aero	1968-2020	1	-6	0,42	1,04	2	-2	0,31	0,58
Augusto Romain	1988-2020	8	-5	1,21	1,15	8	-5	1,21	1,15
Catamarca Aero	1974-2020	5	-4	1,04	0,94	5	-3	0,84	0,85
Tucumán Aero	1982-2020	7	-5	1,51	0,94	8	-6	1,40	0,87
Tartagal Aero	1957-2020					5	-4	0,65	0,84

## DISCUSIÓN

Los eventos extremos en las estaciones del NOA se relacionan con el aumento de las temperaturas (máximas y mínimas) extremas en los últimos 32 años (Figuras 2, 3 y 4). Conocer el comportamiento de los índices de eventos extremos del periodo 1988-2020, permite tener un conocimiento de sus tendencias actualizada (Hurtado et al., (2008); Mayo et al., (2014), y encarar planificaciones acordes a situación imperante en cada localidad. Por ejemplo, la localidad de La Quiaca ha sufrido en los últimos años de sequías (El Tribuno, 2020; El Litoral, 2020), situación que llevó a declarar la emergencia hídrica en regiones de Quebrada y Puna de la provincia de Jujuy. En este trabajo encontramos en la estación La Quiaca Aero, las mayores tendencias de índices de eventos extremos de temperaturas que agravarían las condiciones hídricas de la región. El análisis de las tendencias en dos periodos, permitió analizar las estaciones en base a la información disponible en cada una y conocer el comportamiento de todas las estaciones en la región del NOA (Figuras 2, 3, 4). La sistematización del periodo permite tener una

interpretación general de los índices de eventos extremos.

Las tendencias en aumento de las temperaturas extremas en todas las estaciones para los últimos 32 años se corresponden a lo encontrado en la NOAA (2017), al exponer que la primera década del siglo XXI fue la más cálida de todas. Si bien en este trabajo no se estiman promedios de temperaturas extremas en los dos periodos analizados, para confirmar si el aumento de temperaturas tiene precedente se compara con registros históricos observacionales (Stocker et al., 2013), donde el aumento de los umbrales (Tabla 4) muestra que las temperaturas máximas son cada vez más extremas y las temperaturas mínimas aumentan su magnitud en el periodo 1988-2020 con respecto al periodo con información disponible.

En latitudes medias desde la época preindustrial, la deforestación pudo haber contribuido aproximadamente en un tercio del calentamiento de los extremos cálidos (Seneviratne et al., 2021). Las estaciones Tartagal Aero, Orán Aero y Tucumán Aero

se encuentran inmersas en la Selva Pedemontana de la ecorregión de las Yungas Australes. La Selva Pedemontana es el piso altitudinal de las Yungas que históricamente ha tenido mayor presión del hombre por la búsqueda de recursos naturales. Esto se debe a la accesibilidad y a la abundante oferta de los mismos (Brown, 2009). El sector más meridional de la Selva Pedemontana, en cercanías a la estación Tucumán Aero, ha sufrido el mayor impacto de la deforestación lo que contribuyó a la degradación y transformación casi en su totalidad de las áreas boscosas (Malizia et al., 2014). La transformación de la Selva Pedemontana podría ser la responsable del aumento de las temperaturas extremas en la región del Noroeste Argentino. Por lo tanto, en investigaciones futuras, se debería incorporar información sobre deforestación para comprender mejor las posibles causas locales del aumento de temperatura extrema.

Las tendencias positivas registradas en los 4 índices de eventos extremos en los últimos 32 años en todas las estaciones (Figuras 2, 3 y 4), sugieren que el calentamiento continuará en el futuro y las temperaturas máximas serían más extremas a finales de este siglo (Stocker et al., 2013) en la región del Noroeste Argentino. En la estación La Quiaca Aero con condiciones climáticas áridas, encontramos que la ocurrencia de eventos extremos suele ser mayor que en el resto de las estaciones, lo que tendrá un mayor impacto en el patrón de distribución y las características fisiológicas y ecológicas de las especies (Hu et al., 2015, así como en la economía de la región. Si bien en este estudio solo se analizaron los eventos de temperatura extrema, otros estudios (Allen & Ingram 2002; Wang et al., 2017) sugieren una relación entre la temperatura y los eventos de precipitación extrema, que se incrementarán a una tasa de 6 a 7% con el aumento de temperatura a través de la relación de Clausius-Clapeyron (Gao et al., 2018). Los aumentos de temperatura pueden favorecer la ocurrencia de eventos de precipitación extrema en la región del Noroeste argentino, sin embargo, para tener una conclusión concreta, se deben realizar estudios específicos, ya que la relación Clausius-Clapeyron no siempre es consistente (Gao et al., 2018).

En este sentido Alabar et al., (2020), trabajando con las precipitaciones del Noroeste Argentino, encuentra que las proyecciones positivas de la cantidad máxima de lluvia en un día en un año y de la cantidad máxima de lluvia en cinco días consecutivos en un año, en el periodo 1957-2017,

se incrementaron en las estaciones Orán Aero y La Quiaca Aero, en coincidencia con autores como Belmonte (2017) y Cardona-Guerrero et al., (2013), establecen en otras regiones de Sudamérica, un aumento en la tendencia de los índices de eventos extremos de precipitación.

## CONCLUSIONES

Algunas estaciones, ya sea para todo el periodo disponible, o para el lapso 1988 – 2020, fueron desestimadas para la evaluación de los índices debido a la falta de información superior al 10% en cada periodo de estudio, de acuerdo a la OMM. La estación Rivadavia Aero (para ambos periodos), Tartagal Aero, para el periodo disponible y la variable Tmin. Salta Aero y Orán Aero, para la variable Tmax de todo el periodo disponible.

Hay variación en el comportamiento de la tendencia de acuerdo al periodo considerado. Para la variable Tmax, la estación Santiago del Estero presenta una tendencia negativa, considerando todo el periodo en estudio.

El incremento de la pendiente del elemento Tmax es mayor en todas las estaciones para el periodo 1988-2020.

Todas las estaciones tienen un incremento marcado para la Tmin, siendo mayor para el último periodo, con excepción de Jujuy Aero y Santiago del Estero Aero.

El mayor aumento de las temperaturas extremas se observa en La Quiaca, siendo el más importante el de la Tmax para el último periodo.

El número de días con temperaturas máximas superiores al percentil 90 fue positivo para todas las estaciones, en el periodo 1988-2020, solo Salta Aero y Santiago del Estero Aero tuvieron pendientes negativas para el lapso de toda la información disponible.

Lo contrario ocurrió con el número de días con temperaturas mínimas inferiores al percentil 10, donde todas las estaciones tienen pendiente negativa para ambos periodos, pero con una importante disminución generalizada en el número de días con Tm10P en el último periodo.

Este trabajo demuestra un incremento de las temperaturas máximas y un aumento de la ocurrencia de días y noches cálidas y, una

disminución de las noches y los días fríos. Los cambios están asociados a la circulación general de la atmósfera y a efectos locales, pero que se manifiestan a escala global, además sugiere que, si el calentamiento continúa, puede experimentar un futuro más cálido con un impacto severo en los seres vivos y medio ambiente físico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alabar F, Hurtado R, Valdiviezo Corte M y Moreno C. 2020. Análisis temporal de índices climáticos de precipitación de las provincias de Jujuy y Salta. Agrarias. Revista Científica 13. Recuperado de: [http://www.fca.unju.edu.ar/media/revista\\_articulo/trabajo1\\_Alabar\\_y\\_otros.pdf](http://www.fca.unju.edu.ar/media/revista_articulo/trabajo1_Alabar_y_otros.pdf)
- Allen M & Ingram W. 2002. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature* 419. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/nature01092>
- Barrucand M. & Rusticucci M. 2001. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. Relación entre la temperatura media estacional y la ocurrencia de días extremos. *Meteorologica*, 26, 69-84.
- Rusticucci M. & Barrucand M. 2002. Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Variabilidad temporal y regional. *Meteorológica*, 26, 85-101. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Rusticucci/publication/228916672\\_Climatologia\\_de\\_temperaturas\\_extremas\\_en\\_la\\_Argentina\\_Variabilidad\\_temporal\\_y\\_regional/links/00b4951818a265ce9e000000/Climatologia-de-temperaturas-extremas-en-la-Argentina-Variabilidad-temporal-y-regional.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Matilde-Rusticucci/publication/228916672_Climatologia_de_temperaturas_extremas_en_la_Argentina_Variabilidad_temporal_y_regional/links/00b4951818a265ce9e000000/Climatologia-de-temperaturas-extremas-en-la-Argentina-Variabilidad-temporal-y-regional.pdf)
- Belmonte ML. 2017. Índices de cambio climático en Anguil: tendencias del periodo 1961-2016. *Revista Argentina de Agrometeorología*, 8, 29-42. Recuperado de: [http://www.crean.unc.edu.ar/files/secciones/Material/Revista\\_RADA\\_2017.pdf](http://www.crean.unc.edu.ar/files/secciones/Material/Revista_RADA_2017.pdf)
- Brown, A. 2009. Manejo sustentable y conservación de la biodiversidad de un ecosistema prioritario del noroeste argentino. En Brown A, Blendinger P, Lomáscolo T & García Bes P. Las selvas pedemontanas de las Yungas. Historia natural, ecología y manejo de un ecosistema en peligro. pp 1-17. Recuperado de: <http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2014/12/SelvaPedemontanadelasYungas.pdf>
- Cardona-Guerrero F, Ávila AJ, Carvajal-Escobar Y & Jiménez-Escobar H. 2013. Tendencias en las series de precipitación en dos cuencas torrenciales andinas del Valle del Cauca (Colombia). *Tecnológicas*, (17). Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v17n32/v17n32a09.pdf>
- El Litoral. 2020. Declaran la emergencia hídrica en la Quebrada de Humahuaca y Puna jujeña. Recuperado de: [https://www.ellitoral.com/index.php/id\\_um/271522-declaran-la-emergencia-hidrica-en-la-quebrada-de-humahuaca-y-puna-jujena-debido-a-la-sequia-que-castiga-a-esas-zonas-internacionales.html](https://www.ellitoral.com/index.php/id_um/271522-declaran-la-emergencia-hidrica-en-la-quebrada-de-humahuaca-y-puna-jujena-debido-a-la-sequia-que-castiga-a-esas-zonas-internacionales.html)
- El Tribuno. 2020. Preocupan la sequía y falta de pasturas en la Puna. Recuperado de: <https://www.eltribuno.com/jujuy/nota/2020-11-14-1-0-0-preocupan-la-sequia-y-falta-de-pasturas-en-la-puna>
- Gao X, Zhu Q & Yang Z. 2018. Temperature Dependence of Hourly, Daily, and Event-based Precipitation Extremes Over China. *Scientific Reports* (8). Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35405-4>
- Hu XG, Jin YQ, Wang XR, Mao JF & Li Y. 2015. Predicting Impacts of Future Climate Change on the Distribution of the Widespread Conifer *Platycladus orientalis*. *PLoS One*, 10 (7). Recuperado de: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132326>
- Hurtado R, Fernández Long ME, & Serio L. 2008. Tendencias de las temperaturas máximas y mínimas en el Noroeste Argentino. XII Congreso Argentino de Agroclimatología. Jujuy, Argentina. pp. 1-2. Recuperado de: <http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/2008-AADA-JUJUY-PPNOA.pdf>
- Malizia S, García Moritán M & Brown A. 2014. Bitácora, La Ruta del Azúcar, 200 años

promoviendo el desarrollo regional. Recuperado de: [http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Bit%C3%A1cora-ca%C3%B1a-de-azucar\\_web.pdf](http://proyungas.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/Bit%C3%A1cora-ca%C3%B1a-de-azucar_web.pdf)

Mayo H., Hurtado R., Moreno C., Valdiviezo Corte M., Portal M.R. y Alabar F. 2014. Análisis del número de días con temperaturas máximas diarias superiores a diferentes niveles térmicos para la provincia de Jujuy. 169-170. Reunión Binacional Uruguay – Argentina de Agrometeorológica y XV Reunión Argentina de Agrometeorológica. Piriápolis. Uruguay. pp. 169-170. En: [http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/AT4-Mayo\\_1.pdf](http://www.siaj.fca.unju.edu.ar/media/publicaciones/AT4-Mayo_1.pdf)

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2017. Global Climate report Annual 2017. Recuperado de: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713>.

Núñez González G & García Suárez J. 2018. Análisis de la calidad de los datos y la tendencia de algunos índices de precipitación en el estado de Jalisco. *Revista internacional de estadísticas y geografía*, 9, 14-27. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/rde/2018/11/07/analisis-la-calidad-los-datos-la-tendencia-algunos-indices-precipitacion-en-jalisco>

R Core Team 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Recuperado de: <https://www.R-project.org/>.

Rusticucci M, & Barrucand M. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate*, 17(20), 4099-4107. Recuperado de: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<4099:OTACIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<4099:OTACIT>2.0.CO;2)

Rusticucci, M. 2012. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmospheric Research*, 106, 1-17. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809511003619>

Seneviratne SI, Zhang X, Adnan M, Badi W, Dereczynski C, Di Luca A, Ghosh S, Iskandar I, Kossin J, Lewis S, Otto F, Pinto I, Satoh M, Vicente-Serrano SM, Wehner M & Zhou B.

2021. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: Masson-Delmotte V, Zhai P, Pirani A, Connors SL, Péan C, Berger S, Caud N, Chen Y, Goldfarb L, Gomis MI, Huang M, Leitzell K, Lonnoy E, Matthews JBR, Maycock TK, Waterfield T, Yelekçi O, Yu R & Zhou B (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. pp 1-366. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_11.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_11.pdf)

Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V & Midgley PM. 2013. *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes*. Recuperado de: [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)

Van der Wiel K & Bintanja R. (2021). Contribution of climatic changes in mean and variability to monthly temperature and precipitation extremes. *Communications Earth & Environment* 2, 1. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00077-4>

Wang G, Wang D & Trenberth K. 2017. The peak structure and future changes of the relationships between extreme precipitation and temperature. *Nature Climate Change* (7). Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/nclimate3239>

Zhang X y Feng F. 2004. RCLimindex (1.0). Manual de usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J.L. Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>



# ESTUDIO HISTOLOGICO DE PIEL DE LLAMA (*Lama glama*) PARA UN PROYECTO DE INNOVACION TERRITORIAL EN LA CUENCA DE POZUELOS, PUNA DE JUJUY

## HISTOLOGICAL STUDY OF LLAMA SKIN (*Lama glama*) FOR A TERRITORIAL INNOVATION PROJECT

María Alejandra Agostinho<sup>1</sup> y Susana Mangione<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Directora Técnica, Proyecto COFECYT PFIP 2017, y docente investigadora FCA-UNJu, <sup>2</sup>Investigadora Fundación Miguel Lillo

\*Autor para correspondencia:  
aleagustinho@fca.unju.edu.ar  
susanamangione@gmail.com

Licencia:  
[Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-  
CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:  
Julio 2022

Historial:  
Recibido: 14/04/2022  
Aceptado: : 23/05/2022

### RESUMEN

El trabajo presenta los resultados de la actividad enmarcada en un proyecto COFECYT/PFIP 2017, para innovación y desarrollo de las pieles producto de la ganadería de altura, principal actividad de la región, y que se procesan como insumo para la cadena de valor del cuero en la localidad de Rinconada, Puna de Jujuy. A partir de 2012 la Asociación Solidaria las Vicuñitas lidera una iniciativa productiva para el desarrollo social y productivo de la Cuenca de Pozuelos, y desde finales de 2018 trabaja en el proyecto de referencia, primero en su tipo en nuestro país.

Conocer la estructura histológica de la piel de la llama contribuye en la optimización de los procesos de curtición, al lograr definir parámetros, tanto de la composición de baños, como de la posible zonificación de la piel para su óptimo tratamiento. El estudio se llevó adelante en la Fundación Miguel Lillo, provincia de Tucumán. Los resultados aquí expuestos se complementarán con análisis de resistencia, flexibilidad, suavidad, comportamiento ante la tracción de la piel una vez curtida, a cargo del Centro INTI Cueros. Ambas actividades impactarán significativamente en la calidad del producto terminado, apto para la manufactura.

Con el propósito de obtener la morfología comparada del tegumento de individuos de diferentes grupos etarios y así también las zonas del cuerpo que este recubre se analizaron histológicamente pieles de Lama glama. Las muestras se procesaron para realizar diagnóstico de morfología histológica como así también sistematizar los datos con mediciones micrométricas especialmente los datos correspondientes a los espesores de los diferentes estratos.

Las determinaciones que se consideraron para estos estudios fueron: espesores de las diferentes capas constitutivas del tegumento según caracterizaciones para vertebrados en general y mamíferos en particular. Se hicieron observaciones de glándulas, folículos pilosos y otros elementos tales como, pigmentos (melaninas) vasos sanguíneos y elementos del sistema nervioso periférico.

**Palabras clave:** Argentina, agregado de valor del cuero en Jujuy, histología de la piel de llama, *Lama glama*.

### SUMMARY

The work presents the results of the activity framed in a COFECYT/PFIP 2017 project, for innovation and development of skins produced by high-altitude livestock, the main activity in the region, and which are processed as an input for the leather value chain in Rinconada town, Puna of Jujuy. As of 2012, the Vicuñitas Solidarity Association leads a productive initiative for the social and productive development of the Pozuelos Basin, and since the end of 2018 it has been working on the reference project, the first of its kind in our country.

Knowing the histological structure of the llama's skin contributes to the optimization of tanning processes, by defining parameters, both for the composition of baths, and for the skin possible zoning for its optimal treatment. The study was carried out at the Miguel Lillo Foundation, Tucumán province. The results presented here will be complemented with an analysis of resistance, flexibility, softness, behavior of leather traction once tanned, by the INTI Leather Center. Both activities will significantly impact on the quality of the finished product, suitable for manufacturing.

In order to obtain the comparative morphology of the integument of different age groups individuals and thus also the body areas that it covers, *Lama glama* skins were analyzed histologically. The samples were processed to diagnose histological morphology as well as to systematize the data with micrometric measurements, especially the data corresponding to the thickness of the different strata.

The determinations that were considered for these studies were: the different constitutive layers thicknesses of the integument according to characterizations for vertebrates in general and mammals in particular. Observations of glands, hair follicles and other elements such as pigments (melanins), blood vessels and elements of the peripheral nervous system were conducted.

**Keywords:** Added value of leather in Jujuy, Argentina, *Lama glama*, llama skin histology.

### INTRODUCCIÓN

Los datos puramente histológicos de mamíferos, siguen los lineamientos de textos clásicos como Ham, 1975, Geneser, 2000 y Andrew y Hickman, 1974. La piel de los mamíferos tiene una estructura con elementos que no se encuentran en el tegumento de otros vertebrados. Es muy gruesa y resistente a las tensiones mecánicas. Participa en el control de la temperatura corporal formando una barrera impermeable pero sensitiva. En los mamíferos el tegumento desarrolla muchas especializaciones o derivados tegumentarios, como: pelo, uñas, garras,

distintos tipos de glándulas, escamas epidérmicas y ciertos tipos de cuernos.

La composición del tegumento consta de epidermis y dermis también llamado *corium*. La epidermis es la más externa y tiene varias capas de células. Las pieles de mayor espesor, en mamíferos, esta capa puede tener diferentes tipos de células, desde las más basales como el estrato germinativo para recambio de células, a capas intermedias con uniones fuertes (desmosomas) entre las células que le dan resistencia a esta primera barrera exterior. Además, hay un estrato

de células que van especializando los gránulos de queratina en capas sucesivas para terminar en las más exteriores con la formación del estrato córneo, aislante y descamante y que también participa en la formación de los antes mencionados derivados. La epidermis es avascular y se nutre desde la dermis, que provee los nutrientes necesarios por difusión. Las capas más profundas de la epidermis pueden tener terminaciones nerviosas desnudas.

La dermis por debajo de la epidermis es una mezcla de tejidos con un número muy importante de fibras y células que la forman. El espesor en cada capa es muy variable dependiendo de la especie y de la zona. En Lacolla, García, Corredera y Buey, 2010 se citan datos de autores como (Herrera García, Aparicio Macarro y Peña Blanco, 1983) en vacunos; (Torres, Vélez, Zegarra y Díaz, 2007) en alpaca; (Costa y otros, 2008) en caprinos, (Cormack, 1988) en humanos; (Dowling y Nay, 1962) en camellos.

Respecto a las fibras del tejido conectivo de la dermis, hay colágenas de naturaleza proteica que contribuyen a la resistencia a tracciones y las fibras elásticas también proteicas, que confieren al sistema elasticidad. Son más delgadas y cortas que las fibras colágenas.

Por debajo de la dermis está la *hipodermis*, una capa asociada a la piel, pero al ser de origen embrionario diferente no se considera parte de la misma. Allí detectamos grasa parda en pequeñas proporciones en un corte del área del cuello.

En la base de la epidermis de algunos mamíferos se encuentran células estrelladas y con pigmentos, los denominados *melanocitos* derivan de las crestas neurales, lo que significa un origen embrionario diferente. Son las responsables de las coloraciones de los mamíferos. Sin embargo, su presencia/ausencia, varía de acuerdo al patrón de coloración de cada individuo.

La parte del pelo que se proyecta por fuera de la superficie del cuerpo es el tallo, y lo que se inserta en el tegumento es la raíz. Esta última está rodeada por el folículo piloso un saco formado por epidermis y rodeado por la dermis. Este conjunto se denomina *papila folicular*. La dermis que se introduce en el interior del folículo lleva vasos sanguíneos para el crecimiento del pelo y el mantenimiento epitelial. El origen del pelo es epidérmico y esta yema embrionaria se hunde profundamente, durante el desarrollo del individuo

hacia la dermis, genera esto el fuerte anclaje y resistencia a las tracciones como propiedades de la piel (Lacolla, García, Hernández, Corredera, y von Lawzewitsch, 2001).

Histológicamente el pelo tiene varias capas celulares. En el caso de Camélidos los folículos principales producen pelo mientras que los accesorios fabrican pelo o fibras de lana o pelos incompletos. Los diferentes tipos de folículos están descritos por Badajoz, Sandoval, García y Pezo, 2009. y analiza etapas del desarrollo de los folículos en crías de alpaca. Son numerosos autores que realizan investigaciones referidas al pelo y a los tipos y número de folículos que lo originan en Camélidos sudamericanos, entre ellos: Vélez, Salazar Bagazo, Pacheco Curie, Pezo Carreón y Febres. 2016, Lacolla y otros, 2001; Badajoz y otros, 2009, Atlee, Stannard, Fowler, Willemse, Ihrke y Olivry. 1997; Lacolla, y von Lawzewitsch, 1999 y Lacolla, y otros. 2010, comparando estos aspectos entre guanaco, llama y vicuña.

En la pared de cada folículo piloso está inserto un pequeño músculo erector, si este músculo se contrae el eje del pelo se torna vertical y se eriza.

La piel de mamíferos grandes es muy gruesa y resistente a las tensiones mecánicas. La piel de diferentes zonas del cuerpo del animal muestra una variación en el espesor que va de mayor a menor desde la región dorsal a la ventral. En estudios previos se determinó que el espesor general de la piel de la *L. glama* es de aproximadamente 3,9 mm. El camello tiene un promedio de 36 mm, cabras 2,9mm, ovejas 2,6mm y cerdos 2,2mm. Estos datos son conocidos como típicos de animales domésticos grandes (Lacolla y otros, 2010).

En base al estado del arte, y a diferencia de otras pieles de rumiantes menores, el uso habitual de la piel para cuero supone la separación en dos partes, cuerpo y cuello, por resultar este último mucho más grueso que el resto de la piel. Por eso, al inicio del proyecto y ante la innovación de los procesos de curtición de base vegetal, se definió la necesidad de contar con un análisis de la estructura histológica de la piel de *L. glama* que se cría en la cuenca productiva, para establecer parámetros más precisos en relación al mejor modo de procesar y acerca de la conveniencia de aplicar tratamientos diferenciados según su composición y espesor.

**MATERIAL Y MÉTODOS**

La actividad de muestreo se llevó adelante durante el mes de febrero de 2021, en contexto de pandemia, contando con la invaluable colaboración de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Abra Pampa, quien asignó personal especializado para la toma de las muestras de piel en tropas de *Lama glama* provenientes del Departamento Rinconada Jujuy a 4320 msnm. Cabecera depto: Rinconada Latitud: -22.4333 - Longitud: -66.1667.

El procedimiento no generó complicaciones para los animales intervenidos. Las muestras son biopsias punch obtenidas en las tropas, sin sacrificio de animales.

Todas las muestras fueron debidamente rotuladas, aseguradas y acondicionadas para remitir a San Miguel de Tucumán, iniciando con la conservación, tintura y sección (corte) de las muestras.

Se analizaron con microscopía óptica muestras de piel de 25 ejemplares (Tabla 1) posteriormente a la fijación en solución de formaldehído 10 % por el término de 72hs, fueron conservadas en alcohol 70 %. De esta manera se evita el endurecimiento innecesario del material biológico. Se tomaron muestras de piel de las zonas paleta, cuello, nalga, muslo y vientre de animales representantes de varios grupos etarios. Las muestras de tegumento se deshidrataron en series de concentración ascendentes de alcohol etílico y se infiltraron en paraplast. Se realizaron cortes perpendiculares a la superficie del tegumento de 8 µm de espesor con micrótopo rotatorio. Para realizar esta maniobra la pequeña porción de tejido se incluyó en el molde en posición vertical, para luego obtener secciones de la piel perpendiculares a la superficie del cuerpo.

La coloración utilizada fue: Hematoxilina-Eosina. La hematoxilina se preparó con la fórmula de Ehrlich, (1886) según McManus y Mowry, (1968) y la eosina al 1 % en alcohol etílico 50°.

Las muestras fueron, fotografiadas y medidas en cada ejemplar. Estos datos se registraron en tablas para facilitar comparaciones. Se hizo un registro con microfotografías de detalles destacables obtenidas con un fotomicroscopio Carl Zeiss. Se procesaron con el software provisto por el fabricante Carl Zeiss ZEN 2012 (blue edition), Copyright Carl Zeiss Microscopy, March 2013.

**Tabla 1.** Muestras biológicas. Biopsias.

Número muestra	Registro	Zona	Dato etario
1	345	paleta	6 años
2	345	cuello	
3	68	nalga	4 años
4	68	muestra perdida	
5	118	cuello	Adulta
6	118	paleta	
7	65	vientre	Adulta
8	65	nalga	
9	336	paleta	Adulta
10	336	cuello	
11	64	paleta	4 años
12	64	vientre	
13	145	vientre	Adulta
14	145	muslo	
15	338	Muslo	Adulta
16	338	paleta	
17	56	cuello	Adulta
18	56	vientre	
19	97	cuello	2 años
20	97	vientre	
21	19	paleta	2 años
22	19	muslo	
23	59	vientre	2 años
24	59	muslo	
25	101	cuello	2 años
26	101	paleta	

**RESULTADOS**

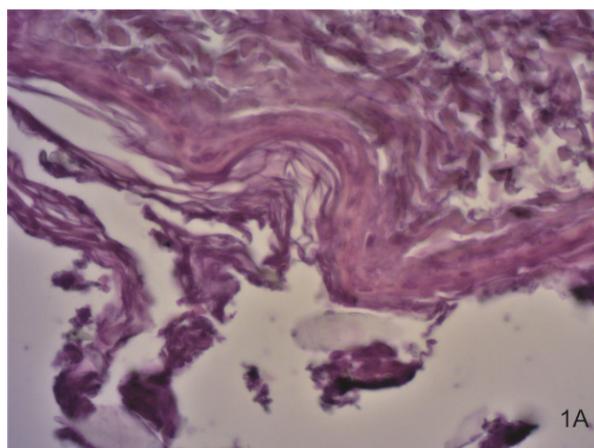
Siguiendo la serie etaria de ejemplares de llama estudiados, se puede considerar que este es un análisis acerca de la maduración del tegumento en una población de camélidos sudamericanos. Se observaron características propias para cada región del cuerpo y los datos obtenidos en las mediciones micrométricas realizadas fueron posteriormente sintetizados en tablas que agruparon zonas del cuerpo por edades.

**Tabla 2.** Espesores de pieles en adultos por zonas.

Adultos	epidermis	dermis papilar	dermis reticular	espesor total
Paleta	100 µm	625 µm	1.250 µm	1.750 µm
Nalga	100 µm	300 µm	875 µm	1.500 µm
Cuello	300 µm	375 µm	3.500 µm	4.125 µm
Muslo	50 µm	750 µm	750 µm	1.750 µm

En adultos la piel tiene espesor similar en todas las regiones estudiadas, menos en el cuello donde es en general más grueso, el espesamiento es a expensas del estrato reticular de la dermis donde el mismo triplica el espesor.

La piel del cuello del adulto posee la epidermis con mayor desarrollo que cualquier otra zona amplia del cuerpo. (Tabla 2, Figura 2B)



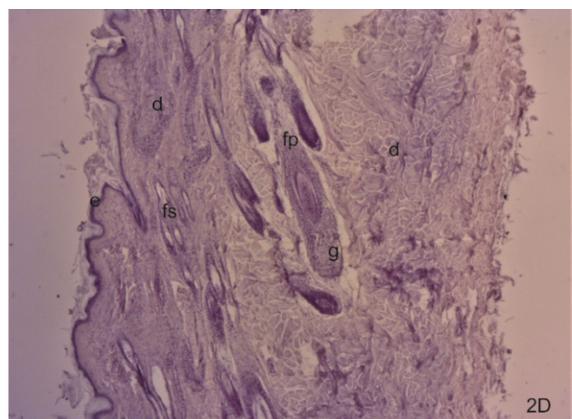
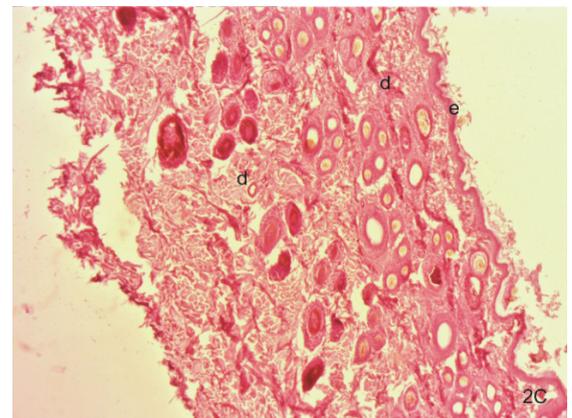
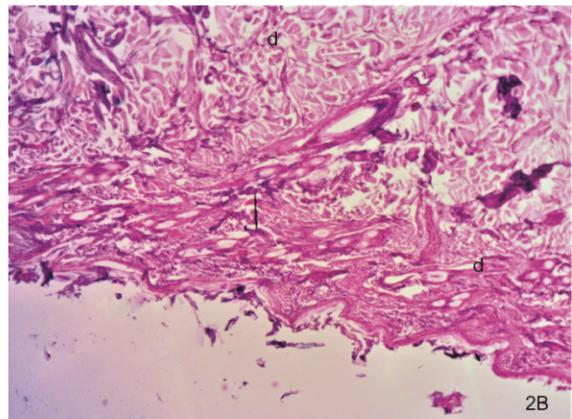
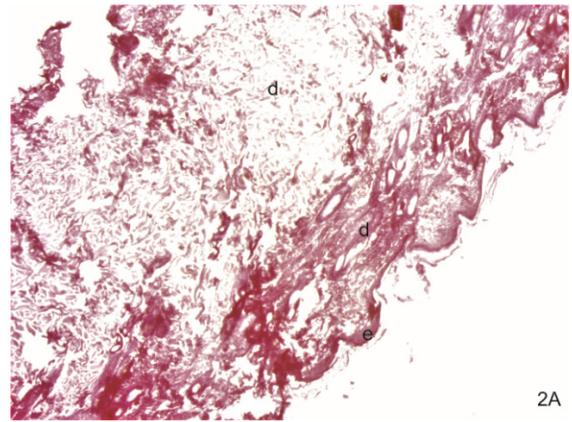
**Figura 1.** Epidermis piel de ejemplar adulto. Aumento 40x. A: cuello. B: muslo.

En el corte de piel de muslo (1B) la capa córnea, descamante es una red sutil y no compacta de células muertas transformadas en queratina, la epidermis funcional es apenas una delgada capa de 1 o 2 células. En cambio, en la piel del cuello (1A) la capa córnea es más espesa y consistente, es una capa descamante de espesor importante. En individuos de 6 años la epidermis del cuello tiene un espesor de 200µm, las dos terceras partes que en el individuo designado como adulto en el presente estudio. Sin embargo, debemos destacar que, en individuos de 6 años el despliegue del espesor de las dermis y el espesor total de la piel del cuello alcanza un desarrollo superior. Posiblemente un ejemplar de 6 años sea más trófico que el llamado adulto. Otros valores que se destacan por ser superiores en ejemplares de 6 años, son los correspondientes a la dermis reticular en el área de la paleta y también en el espesor total del tegumento. Lo que lleva a afirmar que, en lo referido a espesores, los ejemplares de 6 años han alcanzado dimensiones pico.

**Tabla 3.** Espesores de pieles en ejemplares de 6 años por zonas.

6 años	epidermis	dermis papilar	dermis reticular	espesor total
Paleta	50 µm	500 µm	1.350 µm	2.000 µm
Nalga	sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos
Cuello	200 µm	900 µm	5000 µm	7500 µm
Muslo	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos

Respecto a las morfologías encontradas en folículos pilosos se observaron diferentes situaciones. En la Figura 2, vemos que en el tegumento del muslo de individuos adultos los folículos principales y los accesorios, y la correspondiente formación de los dos tipos de derivados: pelo y lana es la culminación de la diferenciación como el final de un proceso madurativo de la piel de los adultos de estos mamíferos. Los folículos secundarios se observan insertados en la dermis papilar y acompañan en mayor número a los folículos principales que están insertos en la dermis reticular profunda; zona donde están las raíces foliculares. Acompañan a estos complejos, tejido conectivo denso que forma un estroma que los contiene en un infundíbulo folicular común.

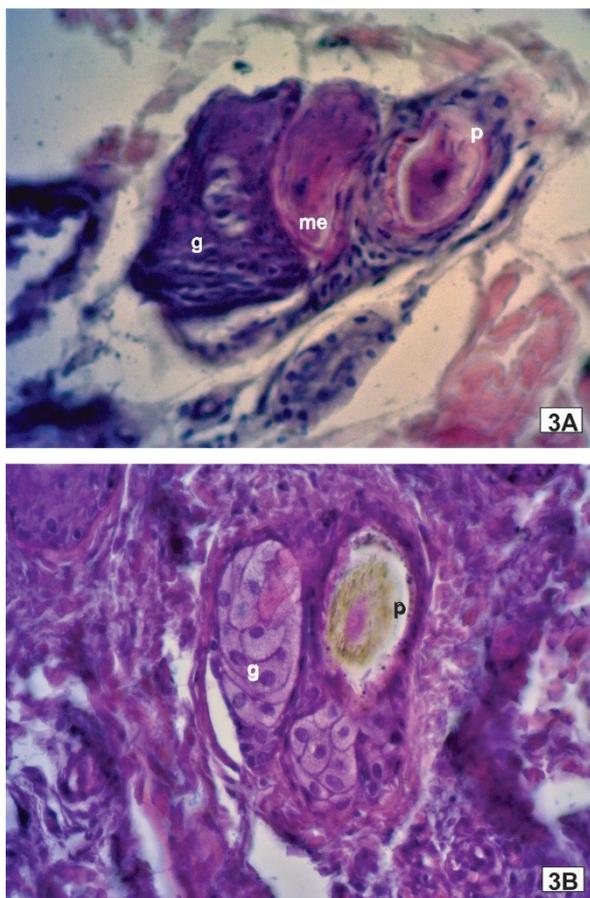


**Figura 2.** Tegumento de adulto: A. paleta, B. cuello, C. nalga, D. muslo. Aumento:10x. e: epidermis; d: dermis; fs: folículo secundario; fp: folículo principal; g: glándula sebácea.

**Tabla 4.** Espesores de pieles en ejemplares de 4 años por zonas.

4 años	epidermis	dermis papilar	dermis reticular	espesor total
Paleta	50 µm	550 µm	1600 µm	2125 µm
Nalga	25µm	500 µm	1200 µm	1600 µm
Cuello	sin datos	sin datos	sin datos	sin datos
Vientre	50 µm	340 µm	900 µm	1230 µm

se ilustra en la 2D, lo hace con un cierto ángulo. En el material de nuestro estudio, tanto en la región del cuello de los ejemplares de 6 años como en la de adultos el pelo emerge de la piel en forma sagital y su recorrido intra tegumentario acompaña este trayecto. En contado número de ejemplares se identificó pelo con pigmento negro o melanina. En este trabajo se ha observado que la organización de los nidos foliculares en el material de *Lama glama* de Rinconada en ejemplares de 2, 4 y 6 años hay combinación de folículos principales con varios folículos accesorios. No se observó características especiales acerca de la organización de los grupos de folículos ni en la forma en que se asocian. La organización de los sistemas de nidos foliculares en animales de dos años en la región de la nalga muestra principalmente nidos foliculares compuestos y combina folículos accesorios y folículos principales.



**Figura 3.** Detalles en piel de adultos. Aumento 40x. A- muslo. B- nalga. me: músculo erector del pelo; g: glándula sebacea; p: pelo. g: glándula sebácea; p: pelo.

El pelo no siempre emerge perpendicularmente a la superficie de la piel, en algunos sectores, como

**Tabla 5.** Espesores de pieles en ejemplares de 2 años por zonas.

2 años	epidermis	dermis papilar	dermis reticular	espesor total
Paleta	37,5 µm	800 µm	600 µm	1500 µm
Nalga	12,5 µm	375 µm	1125 µm	1500 µm
Cuello	17,5 µm	700 µm	1000 µm	2125 µm
Muslo	125 µm	520 µm	800 µm	1625 µm
Vientre	22,5 µm	550 µm	600 µm	1175 µm

En todos los animales se observó una cantidad de elementos del sistema nervioso que siempre están presente en la piel de vertebrados, se incluye esta información correspondiente a ejemplares de 4 años en quienes se identificó en nalga, donde en todos ellos, están muy desarrollados.

## DISCUSIÓN

Los denominados espesamientos epidérmicos corresponden a las uniones mucocutáneas donde la piel común hace transición con las mucosas en: labios, párpados, ano, vulva y otros. Las glándulas metatarsales, almohadillas de los pies o glándulas interdigitales son sectores que tienen epidermis especialmente engrosada, donde los valores medidos pueden ir desde los 600 a los 2000  $\mu\text{m}$  (Atlee y otros, 1997). No se analizó ninguna de estas zonas en el presente estudio, porque las áreas aludidas son pequeñas y no siguen el objetivo del estudio.

Los ejemplares de seis años ya tienen el patrón adultos en muchas zonas, siendo incluso la piel del cuello de mayor espesor que en la piel del adulto de mayor edad. Esto tal vez se deba al mayor trofismo en el animal más joven superando al adulto.

Nuestras observaciones y análisis de espesores de las diferentes zonas registradas en las tablas, no coinciden con algunos espesores de piel medido por Atlee y otros, 1997, lo que no representa un conflicto de resultados. Hay similitudes con los trabajos de Lacolla y von Lawzewitsch, 1999; Lacolla et al., 2001 y Lacolla y otros, 2010. Además en especies como *Vicugna vicugna* y *Lama guanicoe* también se observó el mayor espesor tegumentario en el cuello y en la cabeza por Lacolla y von Lawzewitsch, 1999.

La dermis externa, para nosotros mal llamada papilar, como mencionan otros autores para camélidos sudamericanos debiera recibir denominación diferente ya que la unión de la misma con epidermis no forma papilas, específicamente en coincidencia con las observaciones de Lacolla y otros, 2001.

Elmer Badajoz y otros, 2009, midieron el ángulo de inclinación entre 30 y 60 grados que posee el pelo de camélidos en su transcurso. Esta condición en el recorrido del pelo de ejemplares de *Lama* también fue observada por Atlee y otros, 1997. Su observación se circunscribió a regiones dorsales y laterales del cuerpo con ángulos oblicuos agudos del pelo. Se sugiere que esta angulación es una condición del pelo de todos los camélidos y la hipótesis es que proporciona una protección particular a las condiciones ambientales extremas. En los animales de nuestro estudio tal inclinación es evidente.

La presencia de pequeñas redes vasculares detectadas en la dermis de juveniles y adultos originalmente interpretadas como patologías, en base a nuevos datos propone la existencia de un sistema de contra corriente de recuperación y retorno hídrico a este nivel microfisiológico (Atlee y otros, 1997) Estas imágenes de redes capilares también fueron visibilizadas en nuestro material entre las capas dérmicas.

El músculo erector del pelo bien observado en las llamas de nuestro estudio, es mencionado para áreas con abundante pelo y es vestigial en áreas desnudas para Atlee y otros, 1997.

### **Impacto de los resultados en el proyecto de I+D+i**

El proyecto FORTALECIMIENTO DE LA CADENA DE VALOR DEL CUERO DE LLAMA EN LA PUNA DE JUJUY" línea COFECYT/PFIP 2017, financiado por la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica. (MINCyT), propone entre sus actividades de innovación, la Zonificación de la piel de llama según características histológicas. La misma tiene tres objetivos centrales: (A) Disponer de una zonificación técnica del cuero de llama partiendo de la caracterización histológica de la piel, (B) Contar con insumos de información tecnológica sobre la estructura de la piel de llama y los usos derivados por la diferenciación de su estructura interna, y (C) Realizar actividades de difusión destinadas a los técnicos y productores vinculados al sector, referidas a las bondades de la explotación de la piel de llama.

Con los resultados del estudio aquí expuesto, se dispone de información crítica para la inmediata elaboración de un protocolo de zonificación según características diferenciales, para la manipulación de la piel en la curtición y del cuero en la manufactura. La zonificación permitiría definir usos específicos para la superficie del cuero según mejores aplicaciones.

Las características histológicas, y en especial el espesor de la dermis, es lo que condiciona los más adecuados procesos para la producción del cuero. La piel es sometida a baños de curtición, que en la experiencia que nos ocupa son exclusivamente elaborados con ingredientes vegetales.

En base a los estudios histológicos realizados y aquí expuestos, se concluye que la zonificación de la piel para el procesamiento a cuero justifica la separación de la superficie correspondiente al

cuello, mientras que las demás áreas no presentan diferencias de espesor significativas que justifiquen su fraccionamiento para tratamiento diferenciado. Sin embargo, permitirá especializar el uso del cuero como producto terminado asociando estos resultados con los ensayos físicos de la piel curtida, con el objetivo de optimizar el uso del cuero según el producto final a elaborar.

Disponer de análisis científicos para su aplicación técnica en los procesos de agregado de valor incide sustancialmente en la mayor eficiencia de los procesos productivos, así como en la amortiguación de los efectos ambientales asociados a todo el procesamiento de base mecanizada. Los resultados de la caracterización histológica también inciden en las decisiones asociadas a la selección de las mejores pieles que se ingresan al proceso productivo, en especial por el nivel de desarrollo de la piel en relación a la edad de los animales faenados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Atlee B.; Stannard, A.; Fowler, M.; Willemse, T.; Ihrke P.; Olivry, T.: 1997. The histology of normal lama skin. *Veterinary Dermatology*, 8, 165±176.
- Elmer Badajoz L.; Nieves Sandoval Ch.; Wilber García V.; Danilo Pezo C. 2009. Descripción histológica del complejo folicular piloso en crías de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, Lima, 20 (2).
- Geneser, Finn. 2000. *Histología*. 3a ed. Buenos Aires: Medica Panamericana. 813 p.
- Ham Arthur W.: 1975. *Tratado de Histología*. Ed. Interamericana. Madrid.
- Herrera García M, Aparicio Macarro JB, Peña Blanco F.: 1983. Espesor de la piel en la raza vacuna retinta y sus posibles relaciones con los fenómenos de termorregulación. Citado en [helvia.uco.es](http://helvia.uco.es)
- Lacolla, D.; García, M.; Corredera, C.; Buey, V. 2010. Estructura histológica de la piel de los camélidos sudamericanos. *Clínica Veterinaria*. Vol. 12- 1. Rep. Argentina.
- Lacolla, M.G.; García Hernández, C.S.; Corredera, L.; Von Lawzewitsch: 2001. Sistema tegumentario de la vicuña (*V. vicugna*). *Ciencia Veterinaria*. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNLPam. Gral. Pico. La Pampa.
- Lacolla, M.G.; García Hernández, C.S.; Corredera, L.; Von Lawzewitsch.: 2001. Sistema tegumentario de la vicuña (*V. vicugna*). *Histología*. Facultad de Ciencia Veterinarias. UNLPam. Gral. Pico. La Pampa.
- Lacolla, M.G.; García Hernández, C.S.; Corredera, L.; Von Lawzewitsch.: 2001. Sistema tegumentario de la vicuña (*V. vicugna*). *Histología y Embriología*. Facultad de Ciencias Veterinarias. UBA.
- Lacolla, D. V.; Von Lawzewitsch, L. 1999: Sistema tegumentario del guanaco (*Lama guanicoe*). *Ciencia Veterinaria*. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNLPam. Gral. Pico. La Pampa
- McManus, J. F. A. y Mowry, R. W.: 1968. *Técnica Histológica*. Atika, S.A., Madrid.
- Navarrete-Dechent, Ch.; Moll-Manzur, C.; Droppelmann, N.; González, S.: 2016. Actualización en el uso de la biopsia de piel por punch. *Revista Chilena de Cirugía*. Volumen 68, Issue 6, November–December 2016, P. 467-47
- Vélez, V. M.; Salazar Begazo, YS S; Pacheco Curie, J.; Pezo Carreón, D.; Febres, F. F.: 2016. Histología cuantitativa de la piel de alpaca diferenciada por calidad de fibra. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Volumen 24 (1):2016 Lima – Perú.
- Warren, A.; Hickman, C.: 1974. *Histology of the vertebrates*.



# ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA MEJORAR LA SUSTENTABILIDAD Y LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS TABACALEROS. ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL COMO INDICADOR DE RECUPERACIÓN

## ORGANIC AMENDMENTS TO IMPROVE THE SUSTAINABILITY AND PRODUCTIVE CAPACITY OF TOBACCO LANDS. PRELIMINARY STUDY ON STRUCTURAL STABILITY AS AN INDICATOR OF RECOVERY

Gabriela Fernandez<sup>1,3</sup>, Graciela Zankar<sup>2</sup>, Fanny Altamirano<sup>2,4</sup>, Julio Zubieta<sup>1</sup>, Laura Diez Yarade<sup>3</sup>, Rainer Kunz<sup>4</sup>, Rubén Sato<sup>5</sup>, Walter Segovia Salazar<sup>1</sup>, Mirta Agüero<sup>6</sup>, Samir Quintar<sup>4</sup> y César Ceballos<sup>7</sup>

<sup>1</sup>INTA AER Perico. <sup>2</sup>Cátedra de Edafología, FCA - UNJu. <sup>3</sup>Cátedra de Manejo del Suelo y Riego, FCA - UNJu. <sup>4</sup>PROYAJO S.A. <sup>5</sup>Asesor Privado. <sup>6</sup>Dirección Provincial de Desarrollo Agrícola y Forestal del Gobierno de Jujuy. <sup>7</sup>Escuela Agrotécnica Provincial N° 7 "Ing. Agr. Ricardo J. Hueda"

\*Autor para correspondencia:  
fernandez.gabriela@inta.gob.ar

Licencia:  
[Licencia Creative Commons](#)  
[Atribución-NoComercial-](#)  
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

Período de Publicación:  
Julio 2022

Historial:  
Recibido: 27/10/2021  
Aceptado: 21/03/2022

### RESUMEN

La degradación de los suelos y su recuperación es un problema actual que la comunidad científica y los sectores rurales deben encarar con responsabilidad, para revertirlo. En los Valles Templados de Jujuy, el cultivo de tabaco es relevante, tanto por la superficie cultivada como por su efecto multiplicador en la economía provincial. Sin embargo, la degradación de los suelos tabacaleros ha llegado a un límite extremo por el laboreo intensivo y el uso excesivo de fertilizantes químicos. La aplicación de enmiendas orgánicas es una alternativa para la recuperación de estos suelos, ya que promueve reacciones químicas y físico-químicas, además del desarrollo de procesos microbianos que llevan a mejorar su calidad. El objetivo de este trabajo es estudiar la evolución de la estabilidad estructural, como indicador del proceso de recuperación del suelo, empleando distintas combinaciones de enmiendas orgánicas y/o dosis de fertilizantes químicos. El ensayo se realizó en el campo experimental de la Escuela Agrotécnica N° 7 "Ing. Ricardo J. Hueda" de Ciudad Perico, y para ello se estableció un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), con cinco tratamientos, incluido el que realiza el productor tabacalero según un manejo convencional (TMC). Los tratamientos consistieron en diferentes combinaciones de fertilizantes químicos (NPK), humus producido con microorganismos eficientes (Humus<sub>MEj</sub>), lixiviado del Humus<sub>MEj</sub> y suspensión de *Trichoderma* sp. La estabilidad estructural se evaluó con el método Le Bissonnais (1996). Se observó que el principal mecanismo de pérdida de estabilidad es la desagregación por humectación rápida, tanto en MC como en los demás tratamientos. Si bien en el primer año de experiencia a campo, el mejor efecto sobre la estabilidad estructural se manifestó con la combinación de Humus<sub>MEj</sub> (1000 kg/ha), *Trichoderma* sp. ( $1 \times 10^9$  conidios /ml) y NPK (96, 44 y 108 kg/ha respectivamente), está previsto continuar con el mismo esquema en los años sucesivos de ensayo, para observar la evolución del indicador, obtener conclusiones y realizar recomendaciones.

**Palabras clave:** tabaco, suelo degradado, estabilidad estructural, humus MEj, *Trichoderma*

## SUMMARY

Soil degradation and its recovery is a current problem that scientific community and rural sectors must face responsibly, to reverse it. In the Valles Templados of Jujuy, tobacco cultivation is relevant because the cultivated surface and its multiplier effect on the economy provincial. However, the degradation of the region's soils has reached an extreme limit due to the excessive use of chemical fertilizers and intensive tillage. Organic amendment application is an alternative to recover degraded soils, since they promote chemical and physical-chemical reactions and the development of microbial processes that improve their quality. The aim of this work is to study the evolution of structural stability, as an indicator of the process of soil recovery, using different combinations of amendments organic and/or doses of chemical fertilizers. The assay was carried out in the experimental field of the Agrotechnical School No. 7 "Ing. Ricardo J. Hueda" of Perico city, according to a completely randomized block design (DCA) with five treatments which consisted of different combinations of chemical fertilizers (NPK), humus treated with efficient microorganisms (Humus<sub>MEj</sub>), leachate of Humus<sub>MEj</sub> and suspension of *Trichoderma* sp. The control treatment was taken as the one corresponding to the conventional management (MC) carried out by the tobacco producer. Le Bissonnais methodology (1996) was employed to assess soil aggregates stability. It was observed that the main mechanism of loss of stability is disaggregation by rapid wetting in all treatments. Although in the first year of field experience, the best effect on aggregates stability was manifested with the combination of Humus<sub>MEj</sub> (1000 kg / ha), *Trichoderma* sp. ( $1 \times 10^9$  conidia/ml) and NPK (96 - 44 and 108 kg/ ha respectively), it is planned to continue with the same scheme in successive trial years, to observe the evolution of the indicator and make recommendations.

**Keywords:** tobacco, degraded soil, structural stability, humus, *Trichoderma*.

## INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos y su recuperación es un problema que el hombre debe encarar con la responsabilidad y urgencia que la situación amerita. En la provincia de Jujuy (Argentina), la degradación de los suelos tabacaleros ha llegado a un límite tal que el cultivo se ve afectado en medida extrema, creando un ambiente de alarma entre muchos de los productores. Esta situación ya se planteaba en la década del '90, en esa época se habían implementado algunas medidas para la recuperación de dichos suelos como

la rotación e incorporación de abonos verdes (Santos *et al.*, 1996). En la actualidad, se continúa promoviendo estas prácticas, pero además, el desarrollo biotecnológico admite el agregado de vermicompost<sup>1</sup>, de lixiviados y de hongos benéficos como *Trichoderma* sp. (Harman *et al.*, 2004), en combinación con diferentes dosis de fertilizantes químicos.

La aplicación de abonos orgánicos para recuperar suelos degradados es respaldada por numerosas investigaciones que atribuyen a estos productos diferentes efectos positivos tales

<sup>1</sup>Vermicompost, lombricompost y humus de lombriz son sinónimos.

como el aporte nutritivo, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico, la estabilidad estructural y la actividad microbiana (Mylavarapu & Zinati, 2009). Se ha comprobado que la adición de lombricompost o humus de lombriz en suelos degradados contribuye a restituir en alguna medida, las condiciones iniciales que han sido alteradas por prácticas agrícolas intensivas o inapropiadas (Escobar *et al.*, 2009; Murillo Montoya *et al.*, 2020).

La incorporación de enmiendas orgánicas, promueve las reacciones físico-químicas del suelo, así como el desarrollo de procesos microbianos que conducen a modificaciones en las características del suelo que se manifiestan en aumento de la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad y estabilidad estructural (Roldán *et al.*, 1996). Es conocida la correlación entre el contenido de materia orgánica del suelo, la agregación y la estabilidad de los agregados formados debido a la acción enlazante que ejercen las sustancias húmicas y otros productos generados por la actividad microbiana (Shepherd *et al.*, 2001).

Los residuos orgánicos tratados con microorganismos eficientes (ME) producen abonos de elevada calidad (Gutiérrez *et al.*, 2012; Camacho, 2017). Los ME se componen de bacterias fotosintéticas o fototróficas, bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* sp.) y levaduras (*Saccharomyces* sp.), que secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y fundamentalmente sustancias antioxidantes. Los ME modifican la micro y macroflora edáfica mejorando el equilibrio natural, de manera que los suelos causantes de enfermedades se convierten en suelos supresores de enfermedades (Higa & Parr, 1994).

La *Trichoderma* sp. es un hongo aeróbico que tiene la capacidad de sobrevivir en un amplio intervalo de temperaturas. Es un agente de control biológico de hongos y nematodos, que además actúa como inductor de resistencia y estimulador de crecimiento en las plantas. Es decir que además de controlar plagas y enfermedades tiene un efecto de abono (Martínez *et al.*, 2013).

La estabilidad de los agregados, es una de las propiedades físicas de mayor importancia como determinante de la calidad del suelo ya que afecta el movimiento y retención del agua, la susceptibilidad a la erosión, ciclado de nutrientes y crecimiento radical (Bronick & Lal, 2005). Por ser una

característica edáfica dinámica, es considerada un indicador físico sensible para reflejar tendencias a la recuperación o degradación de los suelos (Doran & Parkin, 1994).

Los suelos que presentan mayor riesgo a la degradación física, corresponden a los de mayor inestabilidad estructural, dependiendo esto del contenido de materia orgánica que está condicionado por el tipo de cobertura o cultivo y las prácticas de manejo (Fernández *et al.*, 2016).

## OBJETIVO

El propósito de este trabajo es estudiar la evolución de la estabilidad estructural como indicador del proceso de recuperación del suelo, mediante el empleo de distintas combinaciones de enmiendas orgánicas y/o dosis de fertilizantes químicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Escuela Agrotécnica N° 7 "Ing. Ricardo J. Hueda" de Ciudad Perico, situado en la región de los Valles templados de la provincia de Jujuy (Figura 1).



**Figura 1.** Parcela de ensayo en la Escuela Agrotécnica N° 7 "Ing. Ricardo Hueda" de Ciudad Perico, Jujuy, 2020.

El suelo presenta textura franca (Bouyoucos, 1962), 1,48% de materia orgánica (Walkley & Black) y pH<sup>(1:2,5)</sup> ligeramente ácido (6,64).

Se estableció un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA), con cuatro tratamientos y un testigo, donde se aplicaron diferentes combinaciones de fertilizantes químicos, lombricompost (Humus<sub>MEJ</sub>), lixiviado del Humus<sub>MEJ</sub> y *Trichoderma* sp. (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tratamientos realizados en la parcela de ensayo

Testigo Manejo Conv. (TMC)	Tratamientos			
	I	II	III	IV
N 112 kg/ha P 104 kg/ha K 216 kg/ha	Humus <sub>MEJ</sub> 3000 kg/ha Urea 90 kg/ha	Humus <sub>MEJ</sub> 2000 kg/ha Lixiviado al 10% Trichoderma 1 x 10 <sup>9</sup> conidios/ml	Humus <sub>MEJ</sub> 1000 kg/ha Trichoderma 1 x 10 <sup>9</sup> conidios/ml	Humus <sub>MEJ</sub> 1000 kg/ha Lixiviado al 10%
N 96 kg/ha - P 44 kg/ha - K 108 kg/ha				

Se tomó como testigo al manejo convencional (TMC), que es el que practican los productores tabacaleros de la zona”

El Humus<sub>MEJ</sub> utilizado es un compost de origen animal (vacuno) elaborado a partir de residuos de matadero y tratado con microorganismos eficientes locales (MEJ) (Altamirano *et al.*, 2018). El producto así obtenido (Humus<sub>MEJ</sub>) presenta una gran riqueza microbiana (Altamirano *et al.*, 2022) y materia orgánica estabilizada que se puede incorporar al suelo sin riesgo de fitotoxicidad.

La aplicación del Humus<sub>MEJ</sub> y de los fertilizantes químicos se realizó de forma manual, posterior al trasplante del tabaco. La suspensión de *Trichoderma* sp. y el lixiviado se aplicaron con mochila pulverizadora sobre la línea de plantación (sistema drench<sup>2</sup>) (Figura 2).



**Figura 2.** Aplicación en drench de *Trichoderma* y Lixiviado. 2020.

La estabilidad estructural fue evaluada en muestras de suelo tomadas después de la cosecha,

mediante el método de Le Bissonnais (1996). El mismo consiste en someter a una muestra de agregados secos al aire de 1 a 2 mm de diámetro, a pretratamientos diferentes que promueven la ruptura de agregados por distintos mecanismos. Estos pretratamientos combinan la humectación con una acción mecánica y permiten reproducir en laboratorio el comportamiento de los agregados bajo tres supuestos de condiciones hídricas en los que puede ocurrir la desagregación (Taboada-Castro *et al.*, 2011). El efecto de cada tratamiento es evaluado secando la muestra retenida en el tamiz luego de la desagregación y su posterior tamizado en una torre de tamices, con diámetros de malla de 2,1, 0,5 y 0,25 mm respectivamente. Para obtener el diámetro medio ponderado de agregados (DMP) se relaciona la masa de agregados retenidos en cada tamiz con el diámetro (Ramos & Nacci, 1997). Los valores promedio de los pretratamientos permiten diferenciar clases de estabilidad y establecer riesgo de encostramiento.

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y test de Tuckey para las comparaciones de medias entre los distintos tratamientos: a.- Manejo Convencional (TMC; b.- Tratamiento I (TI); c.- Tratamiento II (TII); d.- Tratamiento III (TIII) y e.- Tratamiento IV (TIV).

## RESULTADOS y DISCUSIÓN

Con respecto al diámetro medio ponderado (DMP) obtenido para los diferentes pretratamientos, tanto para DMP<sub>r</sub>, que mide el estallido de agregados por humectación rápida simulando la ocurrencia de una lluvia en condiciones de suelo seco, como para DMP<sub>l</sub>, que evalúa la desagregación por humectación lenta simulando la ocurrencia

<sup>2</sup>Sistema drench: aplicación de producto fitosanitario dirigida a la base del tallo, realizada planta por planta.

de una lluvia en condiciones de suelo húmedo, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre TIII y el resto de los tratamientos.

El TIII presentó el mayor valor de DMP (0,49 mm), superando a los demás tratamientos en un 55 %. De acuerdo a Le Bissonnais & Arrouyas (1997) y Albuquerque *et al.* (2000), los suelos que tienen agregados con baja resistencia al humedecimiento rápido se erosionan fácilmente cuando se exponen a la acción de la lluvia y están sujetos al fenómeno de sellado superficial, ya que las partículas del suelo desagregadas pueden bloquear los poros, limitar la infiltración de agua y, en consecuencia, promover el transporte y pérdida de suelo por escorrentía.

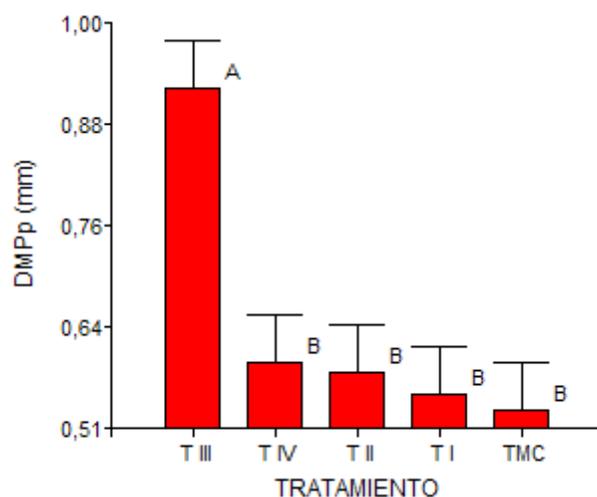
El DMP de los tratamientos osciló entre 0,87 y 1,79 mm, siendo el mayor valor para TIII, y esto se correspondería con una mejor cohesión del suelo cuando está sometido a lluvias moderadas. Este pretratamiento es sensible a la microfisuración, donde la desagregación es más física que orgánica (Six *et al.*, 2004).

Para DMPm, que evalúa la disgregación mecánica en húmedo de los agregados, luego de re-humectación con etanol, no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos y los valores obtenidos oscilaron entre 0,54 y 0,92 mm. La destrucción de los agregados, en este caso es debida al fenómeno de hinchamiento del complejo arcillo-húmico (Orellana & Pilatti, 1994; Gómez *et al.*, 2001).

De acuerdo a los valores de DMP obtenidos, tanto para el manejo convencional (TMC) como para los tratamientos con incorporación de Humus MEj, la desagregación por humectación rápida fue el pretratamiento para el cual la inestabilidad estructural relativa fue más elevada. Coincidiendo con Carter (2002) y Bouajila & Gallali (2010), esto se correspondería con el bajo contenido de materia orgánica que tiene el suelo del sitio de estudio, altamente afectado por el manejo agrícola previo. Al respecto, la materia orgánica no solo contribuye a la cohesión de los agregados, al actuar como agente cementante (Tisdall & Oades, 1982), sino también aumenta la humectabilidad de los agregados reduciendo así el estallido de los agregados secos al ser sumergidos en agua (D'Acqui *et al.*, 1999).

Con respecto al diámetro medio ponderado promedio (DMPp) de los DMP correspondientes a

los tres pretratamientos, se observa en la Figura 3 que hay diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre TIII y los demás tratamientos.



**Figura 3.** Diámetro medio ponderado promedio (DMPp) en mm obtenido del promedio del DMP de los tres pretratamientos. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Si bien TIII es el que presenta mayor DMPp (0,92 mm), sus agregados son “medianamente estables”, de acuerdo a la clasificación propuesta por Le Bissonnais. Los valores de DMPp para los demás tratamientos son bajos y oscilan entre 0,59 y 0,54 mm. La poca estabilidad estructural resulta en la disminución de la porosidad y cambios en la distribución del tamaño de poros (Taboada *et al.*, 2008) que, en suelos de texturas medias a finas, como es el caso del sitio de estudio, podría conducir a la formación de costras superficiales que reduzcan la infiltración y el intercambio gaseoso, afectando tanto al cultivo como a los microorganismos del suelo. Sin embargo, la susceptibilidad a la formación de encostrado está en función de factores tales como la humedad del suelo y las prácticas agrícolas que se implementen.

Coincidiendo con Gutiérrez *et al.* (2012) y Camacho (2017), el Humus<sub>MEj</sub> tiene un probado poder fertilizante, lo que se ha demostrado con los resultados obtenidos en el TIII (1000 kg/ha), por tanto, la dosis de TIII sería la más adecuada para promover y/o revertir el metabolismo del suelo en función de la recuperación de sus propiedades. Por otra parte, la microflora del Humus<sub>MEj</sub> local aplicado puede tener una influencia positiva sobre la microflora nativa edáfica coincidente con lo

manifestado por Higa & Parr (1994), proceso que puede ser acompañado por *Trichoderma* sp., hongo con actividad principalmente de control biológico de patógenos.

## CONCLUSIÓN

Se encontró que el principal mecanismo de pérdida de estabilidad, tanto en el manejo convencional (TMC) como en los demás tratamientos, es la desagregación por humectación rápida.

Los valores de DPMp registrados para los tratamientos evaluados, corresponden a una estabilidad media a inestable, de acuerdo a la clasificación propuesta por Le Bissonnais, lo cual implicaría un riesgo frecuente a muy frecuente de formación de costras superficiales.

El mejor efecto sobre la estabilidad estructural, como indicador de recuperación del equilibrio del suelo, se manifiesta en TIII a partir del agregado de materia orgánica estabilizada (Humus<sub>MEJ</sub>).

Los resultados obtenidos corresponden al primer año de un ensayo a campo de larga duración, por lo que es recomendable continuar con los tratamientos planteados para observar la evolución de la estructura del suelo e identificar el mejor tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albuquerque, J.A., Cassol, E.A. & Reinert, D. J. 2000. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade dos agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24 (1), 141-151.
- Altamirano, F.E., Zankar, G. del C., Quintar, S., Ortega, R. & Vidaurre, J. 2018. Compostaje de residuos sólidos de matadero con tecnología de microorganismos eficientes desarrollados en Jujuy (MEj). En: II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo-Trabajos completos y comunicaciones. INTA Ed.
- Altamirano, F.E., Zankar, G. del C., Fernandez, G.S. & Diez Yarade, L.G. 2022. La biotecnología, una nueva posibilidad para el tratamiento de residuos de mataderos. *Revista Nuestro Suelo*. ISSN 2618-5571. Abril 2022 N° 7. Edición Digital. 3-4. [https://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2021/nuestro\\_suelo/Nuestro\\_Suelo-7.pdf](https://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2021/nuestro_suelo/Nuestro_Suelo-7.pdf)
- Bouajila, A. & Gallali, T. 2010. Land use effect on soil and particulate organic carbon, and aggregate stability in some soils in Tunisia. *Afr. J. Agric. Res.* 5(8):764-774.
- Bronick, C.J. & Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22.
- Camacho, M.S. 2017. Compostaje de Subproductos Derivados del Sacrificio y Faenado de Ganado del Camal Municipal de Huaraz, Utilizando, Diferentes Sustratos. Tesis, Universidad Nacional de Santiago Antúnez de Mayolo.
- Carter, M.R. 2002. Soil quality for sustainable land management; organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94(1):38-47.
- D'Acqui L.P., Churchman, G.J., Janik, L.J., Ristori, G.G. & Weissmann, D.A. 1999. Effect of organic matter removal by low-temperature ashing on dispersion of undisturbed aggregates from a tropical crusting soil. *Geoderma* 93: 311-324.
- Doran, J.W. & Parkin T.B. 1994. Defining and assessing soil quality. In: JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicsek, and BA Stewart (eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Spec. Pub. No. 35, Soil Sci. Soc. Am., Am. Soc. Argon., Madison, WI. p. 3-21.
- Escobar, H., Monsalve, O., & Medina, A. 2009. Efecto de la incorporación de Lombricompost sobre la producción y calidad de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Suelos Ecuatoriales*, Vol. 39(1), p.53.
- Fernández, L., González, M. & Sáez Sáez, V. 2016. Relación entre un índice de estabilidad estructural de suelo, la zona bioclimática y la posición fisiográfica en Venezuela. *Terra Nueva Etapa*. Vol 32 n° 52: 139-149.
- Gómez, E., Ferreras, L.A., Toresani, S., Ausilio, A. & Bisaro V. 2001. Changes in some soil properties in a vertic soil under shortterm

- conservation tillage. *Soil Till. Res.* 61: 179-186.
- Gutiérrez, L.A., Seguro, S., Arenas J.E. & Moreno, J.G. 2012. Evaluación del poder fertilizante de dos abonos orgánicos preparados con microorganismos eficientes en plantas de tomate y maíz. *Journal of Agriculture and Animal Sciences*, Vol. 1 Núm. 2 (2012).
- Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. & Lorito, M. 2004. *Trichoderma* species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.* 2:43-56, 2004.
- Higa, T. & Parr, J.F. 1994. Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. Vol. 1, International Nature Farming Research Center, Atami.
- Le Bissonnais, Y. & Arrouyas, D. 1997. Aggregate stability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science*, 48(1), 39-49.
- Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility. I. Theory and methodology. *European J. Soil Sci.* 47: 425-437.
- Martínez, B, Infante, D. & Y. Reyes. (2013) *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Rev. Protección Veg.* Vol. 28 No. 1: 1-11
- Murillo Montoya, S.A., Mendoza Mora, A. & Fadul Vásquez, C.J. 2020. La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*. Volumen 7 (1). Enero – Junio, 58-68.
- Mylavarapu, R.S. & Zinati G.M. 2009. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*, Volume 120, Issue 3, 1, 426-430.
- Orellana, de J.A. & Pilatti M.A. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del Suelo* 12: 75-80.
- Ramos, M C. & Nacci, S. (1997). Estabilidad estructural de agregados superficiales en suelos del Anioia-Penedés (Barcelona) frente al humedecimiento y el impacto de las gotas de agua. *Edafología*, 3 (1), 3-12. <http://edafologia.ugr.es/revista/tomo3b/articulo3.pdf>
- Roldán, A., Albaladejo, J. & Thornes J.B. 1996. Aggregate stability changes in a semiarid soil after treatment with different organic amendments. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 10:139-148.
- Santos, E.E., Kosir, A.N. & Altamirano, F.E. 1996. Recuperación de las propiedades productivas de suelos tabacaleros. *Revista Agraria* 1:39-52.
- Shepherd, T.G., Saggar, S., Newman, R.H., Ross, C.W. and Dando & J.L. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39: 465-489.
- Six, J., Bossuyt H., Degryze S. & Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res.* 79: 7-31.
- Taboada, M.A., Micucci, E.G. & Álvarez C.R. 2008. Impedancias mecánicas y compactación de suelos agrícolas. En: *Fertilidad física de los suelos*. Taboada, MA y CA Alvarez (eds). Editorial Facultad de Agronomía (UBA). 94-154.
- Taboada-Castro, M.M., Rodríguez-Blanco M.L., Taboada-Castro M.T. & Oropeza-Mota J.L. 2011. Vulnerabilidad estructural en suelos de textura gruesa bajo cultivo de huerta. *Terra Latinoamericana* 29(1):11-21.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.



# SOJA

## SOY

**Leonor Carrillo**

Profesora Emérita. Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJU). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

**\*Autor para correspondencia:**  
carrillojujuy@gmail.com

**Licencia:**  
[Licencia Creative Commons](#)  
[Atribución-NoComercial-](#)  
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

**Período de Publicación:**  
Julio 2022

**Historial:**  
Recibido: 21/09/2021  
Aceptado: 08/04/2022

### RESUMEN

Los granos de soja poseen compuestos antinutricionales (lectinas y saponinas) y otros con acción estrogénica (isoflavonas). Los efectos adversos han surgido principalmente de los estudios epidemiológicos en animales o in vitro. A esto se suma la distorsión respecto a sus ventajas nutritivas en la promoción de su uso. Los riesgos o beneficios dependen de la edad, el estado de salud y el nivel de consumo.

**Palabras clave:** isoflavonas, lectinas, saponinas, soja.

### ABSTRACT

Soybeans have antinutritional compounds (lectins and saponins) and others with estrogenic action (isoflavones). Adverse effects have arisen mainly from epidemiological studies in animals or in vitro. The distortion regarding its nutritional advantages in the promotion of its use is added. The risks or benefits depend on age, health status and consumption level.

**Keywords:** isoflavones, lectins, saponins, soy.

## INTRODUCCIÓN

La ausencia de una tradición cultural alimentaria en lo referente al uso de productos derivados de la soja en la Argentina, lleva al desconocimiento de las dificultades que presenta la preparación de alimentos a base de los porotos de soja debido a los compuestos antinutrientes y otros con acción estrogénica que posee. A esto se suma la promoción indebida de la soja en comedores comunitarios y la distorsión respecto a sus ventajas nutritivas, así como falta de información sobre las recomendaciones de restricción de uso en menores de 5 años (Digón, 2008).

## COMPOSICIÓN

La mayoría de los cultivares de soja (*Glycine max*) tienen granos amarillos. Los granos de color marrón o negro acumulan antocianinas u otros compuestos fenólicos que contribuyen a su alta resistencia al estrés (Kiprovski *et al.* 2019).

Los carbohidratos de la soja constituyen aproximadamente el 30% de la semilla, con un 15% de carbohidratos solubles (sacarosa, rafinosa, estaquiosa) y un 15% de carbohidratos insolubles (fibra dietética). El contenido de proteínas va de 36% a 46% dependiendo de la variedad, siendo mayor que las otras legumbres. La  $\beta$ -conglucina y la glicina representan aprox. el 80% del contenido total de proteínas. Los lípidos comprenden aproximadamente 15% de grasas saturadas, 61% de grasas poliinsaturadas y 24% de grasas saturadas (Cederroth & Nef, 2009). La lecitina es un éster fosfórico de colina enlazada con diferentes ácidos (esteárico, palmítico, oleico) que, en condiciones comerciales, tiene algo más del 2 % de fósforo (Dersjant Li YM, Peisker M. 2005). Tiene un alto contenido de fitatos (9,2-16,7 mg/g) (Kumar *et al.*, 2010).

El grano crudo es la fuente más importante de isoflavonas con actividad estrogénica (fitoestrógenos) pues contiene entre 2 y 4 mg /g. Los alimentos de soja difieren en la concentración de isoflavonas siendo la harina, el tofu y la "leche" de soja, entre otros, fuentes ricas de isoflavonas y el aislado de proteínas presenta menores cantidades. La lecitina y el aceite de soja no contienen isoflavonas (Balisteiro *et al.*, 2013; Ludueña *et al.*, 2007).

Las isoflavonas primarias en los granos de soja son genisteína (4',5,7-trihidroxiisoflavona)

y daidzeína (4',7-dihidroxiisoflavona) y sus respectivos  $\beta$ -glucósidos, genistina y daidzina. También están presentes, cantidades mucho menores de gliciteína (4',7-dihidroxi-6-metoxiisoflavona) y su glucósido glicitina (Rostagno, 2005).

## TRATAMIENTO

Los granos de soja se consumen en el oriente asiático, de donde es originaria la planta, generalmente transformados mediante una fermentación efectuada por mohos atoxigénicos y bacterias lácticas, a veces acompañados de otros microorganismos. Los hongos producen enzimas proteolíticas generando péptidos y aminoácidos libres, y también forman amilasas y lipasas. Cuando se agrega salmuera y se reduce la disponibilidad de oxígeno mueren los mohos, pero entonces desarrollan las bacterias lácticas y levaduras osmófilas. Las bacterias producen ácido láctico que baja el pH y algunas forman bacteriocinas, lo que impide el crecimiento de organismos indeseables. Varias bacterias y levaduras son responsables de la textura, aroma y color del producto final (Beuchat, 1987).

El aprovechamiento de la soja para obtener los componentes de interés (aceites, concentrados, aislados proteicos, etc.), involucra una serie de procesos destinados a inactivar los factores antinutricionales (lectinas y saponinas) y eliminar la fibra. La mayoría de los procedimientos comienzan con una etapa de remojado del poroto (8-10 hs), seguido de una molienda-extracción a 80-90°C en exceso de agua, una cocción a alta temperatura (> 100°C) destinada a la eliminación de compuestos volátiles e inactivación de antiproteasas y hemaglutinina. La filtración o el prensado remueve las fibras y proteínas insolubles de la emulsión proteína-aceite (pH≈6,5; 9 % sólidos) conocida como "leche" de soja. La coagulación de las proteínas de esta leche mediante el agregado de sales de calcio y magnesio forma una estructura tipo gel (tofu), que expulsa el suero (Sobral & Wagner, 2009).

El mecanismo mediante el cual se inactivan los inhibidores de proteasas presentes en el grano es el calor y son necesarios 1.670 J para destruir el 95% de los mismos. Los tratamientos que aplican más de 110°C destruyen los factores antinutricionales, mientras que los tratamientos que aplican 80 °C no alcanzan a eliminarlos. Sin embargo, si se sobrecalienta una fuente proteica, la disponibilidad

de sus aminoácidos, especialmente de la lisina, disminuye. Además, un tratamiento inadecuado reduce la estabilidad oxidativa de la grasa contenida en la soja. En el caso del tratamiento con microondas, cuando la semilla tiene más del 20% de humedad, se producen reacciones de Maillard y olores desagradables (Ramos *et al.*, 2006).

El perfil de isoflavonas cambia durante el procesamiento de la soja dependiendo de la condición y los métodos utilizados (calentamiento o fermentación), pero el contenido de isoflavonas no varía si no hay pérdida de masa. Los procesos como la ebullición, la molienda y la coagulación de proteínas no destruyen significativamente daidzeína o genisteína. Sin embargo, otros procesos, como el tostado, que requieren una temperatura más alta pueden causar hasta un 21% de pérdida de las mismas (Haron *et al.*, 2016).

La concentración de las isoflavonas es más alta en el hipocotiledón y más baja en la cáscara. El cotiledón posee alrededor del 20% de las isoflavonas glucosídicas. En el hipocotiledón son más abundantes las formas glucosídicas daidzina y glicitina, mientras que en el cotiledón se encuentran aproximadamente 20 veces más de genisteína (Ludueña *et al.*, 2007).

### CONSUMO Y EFECTO EN ANIMALES

Además de la “leche” de soja y el tofu, la soja se halla en más del 60% de los alimentos procesados. Se encuentra 50-70% de proteína de soja texturizada en hamburguesas, salchichas y otros productos cárnicos, mientras que el aislado con 90% de proteína de soja se utiliza para enriquecer barras de cereales, granola, bebidas deportivas, fórmulas infantiles, productos lácteos, helados, queso e incluso galletitas. La soja es un aditivo alimentario popular porque es una proteína vegetal libre de colesterol rica en carbohidratos complejos y grasas insaturadas, alta en fibra y libre de lactosa (Rostagno, 2005).

Los fitoestrógenos están presentes en diferentes plantas comestibles, siendo más abundantes en la soja, y se utilizan para compensar la deficiencia de estrógenos en la menopausia. En animales, la ingesta de estos fitoestrógenos afecta la fertilidad, el desarrollo sexual y el comportamiento. Los efectos feminizantes en humanos pueden ser sutiles e identificables solo estadísticamente en grandes poblaciones y son de particular importancia para los niños y adolescentes. Sin embargo, este

potencial estrogénico no ha impedido el uso extensivo de la soja en los alimentos infantiles, así como en la nutrición parenteral pediátrica, sin tener en cuenta las posibles consecuencias (Jargin, 2014).

La daidzeína y la genisteína son las dos isoflavonas mejor caracterizadas y la exposición humana a estos compuestos ocurre principalmente a través del consumo de alimentos y bebidas a base de soja, que también contienen otros fitoestrógenos. Las isoflavonas son una pequeña parte los fitoestrógenos que suelen estar presentes en los alimentos. En las poblaciones occidentales la ingesta dietaria de isoflavonas suele ser <1 mg/día debido a que los productos de soja más frecuentemente consumidos son los aceites y la lecitina de soja, desprovistos de estos fitoquímicos (Ludueña *et al.*, 2007).

Las isoflavonas se encuentran naturalmente como conjugados glucósidos biológicamente inactivos. La forma bioactiva es la no conjugada (aglicona). La proporción de ambas formas varía según los alimentos, pero los productos de soja fermentados, como el miso o el tempeh, a menudo contienen niveles más altos de aglicona. Una vez consumidos, se metabolizan y absorben rápidamente, entrando en la circulación sistémica predominantemente como conjugados con biodisponibilidad limitada. Las isoflavonas conjugadas luego pasan a la circulación enterohepática y regresan al intestino, donde pueden ser desconjugadas por los microbios intestinales. La genisteína no conjugada generalmente representa solo el 1-3% de la genisteína plasmática total (Ludueña *et al.*, 2007).

La soja también contiene saponinas que pueden causar hemólisis, además fibra y ácido fítico que disminuye la absorción de calcio, magnesio, hierro, entre otros elementos (IMSS, 2014)

El tipo de proteínas en las dietas tiene un impacto significativo en el tipo de bacterias intestinales y los metabolitos. La proteína de pollo promueve el crecimiento del *Lactobacillus*, mientras que la proteína de soja favorece la proliferación de *Ruminococcus*, mientras que las proteínas de carne pueden mantener una composición más equilibrada de bacterias intestinales (Zhu *et al.*, 2017).

Por su excelente aporte proteico, la soja es un componente muy importante en la formulación de

alimentos balanceados para aves y porcinos, pero también los factores antinutricionales obligan a realizar procesos industriales (tostado, extrusado, autoclavado) para inactivarlos y lograr un producto homogéneo con una calidad óptima de la proteína y una disponibilidad alta del aceite. La torta de soja desactivada tiene alrededor de 38% de proteína (Ramos *et al.* 2006).

## DISCUSIÓN

Muchos de los efectos sobre la salud, incluidos beneficios y riesgos, se han relacionado con la exposición a fitoestrógenos. Los beneficios informados incluyen un menor riesgo de síntomas menopáusicos, enfermedades cardiovasculares, cáncer de mama, otras formas de cáncer (de próstata, intestino, útero) y trastornos de la función cerebral. Por otra parte, los fitoestrógenos también son disruptores endocrinos, lo que indica que pueden causar efectos adversos para la salud, como infertilidad y un mayor riesgo de cáncer en los órganos sensibles a los estrógenos. Estos efectos adversos han surgido principalmente de los estudios epidemiológicos, en animales o in vitro (Rietjens *et al.*, 2017).

Otras cuestiones a tener en cuenta son los efectos en los niños, ya que los fitoestrógenos están presentes en los alimentos infantiles a base de soja; también el papel de la microbiota intestinal en el metabolismo de los fitoestrógenos y además, el hecho de que la mayoría son estrógenos débiles con efectos antiestrogénicos cuando compiten con estrógenos endógenos, pero con efectos proestrogénicos en ausencia de éstos como ocurre en la menopausia (Rietjens *et al.*, 2017).

En Asia, la soja se consume principalmente en forma de tofu, tempeh y otros alimentos fermentados, no como suplementos dietéticos o productos enriquecidos con aislado de proteína de soja. Las poblaciones asiáticas también ingieren altos niveles de mariscos y bajos de grasa animal respecto a las occidentales. Estas variables hacen que las dos poblaciones sean bastante distintas en términos de exposición a fitoestrógenos (Patisaul & Jefferson, 2010).

En las poblaciones asiáticas, el consumo de soja es alto a lo largo de toda la vida, excepto durante la lactancia neonatal de 6 a 8 meses. La concentración de isoflavonas en la sangre de algunos hombres japoneses puede llegar a 300-400 nmol/L. En las poblaciones occidentales adultas la ingesta diaria

dietaria de isoflavonas es casi nula (<1 mg/d) debido a que los productos de soja más frecuentemente consumidos son los aceites y la lecitina de soja, desprovistos de estos fitoquímicos; pero en los bebés alimentados con fórmulas infantiles de soja, los niveles de consumo más altos ocurren en el primer año de vida (Ludueña *et al.*, 2007; Patisaul & Jefferson, 2010; Rostagno, 2005).

En el Foro para un Plan Nacional de Alimentación y Nutrición (2002) se recomendó no denominar a la bebida obtenida de la soja como "leche", pues no la sustituye de ninguna manera. Además, se indicó que la utilización de la soja debe contemplar los requerimientos de capacitación para su adecuada utilización y las consideraciones nutricionales que desaconsejan el uso en niños menores de 5 años y especialmente en menores de 2 años.

## CONCLUSIÓN

Los riesgos o beneficios para la salud debido a los fitoestrógenos y otros compuestos presentes en los granos de soja dependen de la edad, el estado de salud, el nivel de consumo e incluso la composición de la microbiota intestinal de los individuos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Balisteiro DM, Rombaldi CV, & Genovese MI. (2013). Protein, isoflavones, trypsin inhibitory and in vitro antioxidant capacities: Comparison among conventionally and organically grown soybeans. *Food Research International* 51(1):8-14.
- Beuchat LR. (1987). *Food and Beverage Mycology*. Van Nostrand Reinhold (New York), cap. 9
- Cederroth CR, & Nef S. (2009). Soy, phytoestrogens and metabolism: A review. *Molecular and Cellular Endocrinology* 304: 30-42.
- Dersjant Li YM, & Peisker M. (2005). Soybean lecithin in animal nutrition: an unmatched additive. *Kraftfutter* 88(1/2): 28-34.
- Digón A. (2008). Problemas vinculados con la distribución de soja en comedores comunitarios. Informe Técnico. Facultad de Medicina, UBA.

- Foro para un Plan Nacional de Alimentación y Nutrición. (2002). Ministerio de Desarrollo Social y Política Ambiental, con auspicio de UNICEF. Buenos Aires, 11 y 12 julio.
- Haron H, Shaari T, & Keng CB. (2016). Effects of different cooking methods on isoflavone content in Malaysian soy-based dishes. *Sains Malaysiana* 45(9): 1329-1335.
- IMSS (Instituto Mexicano de Seguridad Social). (2014). Grupo 5: Leguminosas, pp. 30-37.
- Jargin SJ. (2014). Soy and phytoestrogens: possible side effects. *German Medical Science*, 12; doi: 10.3205/000203.
- Kiproviski B, Miladinović J, Koren A, Malenčić D, & Mikulič-Petkovšek M. (2019). Black and yellow soybean: contribution of seed quality to oxidative stress response during plant development. *Genetika*, 51 (2): 495-510.
- Kumar V, Sinha AK, Makkar HPS, & Becker K. (2010). Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition: A review. *Food Chemistry* 120: 945-959.
- Ludueña B, Mastandrea C, Chichizola C, & Franconi MC. (2007). Isoflavonas en soja, contenido de daidzeína y genisteína y su importancia biológica. *Revista Bioquímica y Patología Clínica* 71 (1): 54-66.
- Patisaul HB, & Jefferson W. (2010). The pros and cons of phytoestrogens. *Neuroendocrinol.* 31(4): 400-419.
- Ramos N, J. & Lúquez G, Eyherabide. (2006). Calidad de la harina de soja sometida a distintos tratamientos térmicos para inactivar los factores antinutricionales (T188). *Tecnología de Procesos* pp. 681-683.
- Ridner E et al. (2006). Soja, propiedades nutricionales y su impacto en la salud. Grupo Q.S.A. Sociedad Argentina de Nutrición, Buenos Aires, cap.
- Rietjens IMCM, Lousse J, & Beekmann K. (2017). The potential health effects of dietary phytoestrogens. *British Journal of Pharmacology* 174: 1263-1280.
- Rostagno MA. (2005). Nuevos Métodos para la determinación de isoflavonas en soja y alimentos derivados. Tesis doctoral, Universidad de Cádiz, España.
- Sobral PA, & Wagner JR. (2009). Relación entre la composición y la actividad antitripsina de sueros de soja y tofu y comportamiento térmico de sus proteínas aisladas. *Información Tecnológica* 20 nº 5.
- Zhu Y, Shi X, Lin X, Ye K, Xu X, Li C, & Zhou G. (2017). Beef, chicken, and soy proteins in diets induce different gut microbiota and metabolites in rats. *Frontiers in Microbiology* 8 (art 1395): 1-11.

# ZEARALENONA

## ZEARALENONE

**Leonor Carrillo**

Profesora Emérita. Cátedra de Microbiología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Jujuy (UNJU). Alberdi N° 47, San Salvador de Jujuy. Jujuy. Argentina. (C.P. 4600)

**\*Autor para correspondencia:**  
carrillojujuy@gmail.com

**Licencia:**  
[Licencia Creative Commons](#)  
[Atribución-NoComercial-](#)  
[CompartirIgual 4.0 Internacional](#)

**Período de Publicación:**  
Julio 2022

**Historial:**  
Recibido: 07/02/2022  
Aceptado: 15/04/2022

### RESUMEN

La zearalenona es una micotoxina producida por especies de *Fusarium* que invaden granos, frutas y subproductos. Se encuentra en tejidos animales, leche y huevos después de la ingesta de piensos contaminados. Presenta propiedades estrogénicas y anabólicas en varias especies animales, incluidos los humanos.

**Palabras clave:** : acción estrogénica, *Fusarium*, zearalenona.

### ABSTRACT

Zearalenone is a mycotoxin produced by *Fusarium* species that invade grains, fruits and by-products. It is found in animal tissues, milk and eggs after ingestion of contaminated feed. It exhibits estrogenic and anabolic properties in several animal species, including humans.

**Keywords:** estrogenic action, *Fusarium*, zearalenone.

## INTRODUCCIÓN

La zearalenona es una micotoxina estrogénica no esteroidea producida por especies del género *Fusarium*, principalmente por *F. graminearum* (teleomorfo *Gibberella zeae*) y otras especies: *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. crookwellense*, *F. semitectum*, *F. sporotrichioides* (Leslie et al. 2006).

A pesar de su baja toxicidad aguda, la zearalenona exhibe propiedades estrogénicas y anabólicas en varias especies animales, incluidos los seres humanos. La contaminación de los alimentos con zearalenona es causada por la invasión fúngica de granos, frutas y subproductos, y en los tejidos animales, leche y huevos después de la ingesta de piensos contaminados (EFSA 2017).

La zearalenona (ZEA) es una lactona de ácido fenólico resorcílico que puede ser modificada por el metabolismo de plantas, hongos y animales. En general, el patrón de metabolitos en los tejidos animales es diferente del que se encuentra normalmente en los piensos derivados de plantas (Flores-Flores et al., 2015).

Los forrajes son alimentos importantes, con frecuencia el único, para el ganado rumiante y ZEA ha sido ampliamente identificada en los mismos. Se ha observado su presencia en pastos y ensilaje de gramíneas, aunque los niveles suelen ser inferiores a los hallados en los ensilajes de maíz y cereales y en las pajas de cereales, donde se ha observado regularmente ZEA (Nichea et al. 2015; EFSA 2017).

## METABOLITOS

Los metabolitos de la fase I son  $\alpha$ -zearalenol y  $\beta$ -zearalenol ( $\alpha$ -ZEL y  $\beta$ -ZEL),  $\alpha$ -zearalanol y  $\beta$ -zearalanol ( $\alpha$ -ZAL y  $\beta$ -ZAL) y zearalanona (ZAN) (Zinedine et al. 2007). Los de la fase II son los conjugados con glucosa, sulfato y ácido glucurónico, presentes en plantas. Los metabolitos  $\alpha$ -ZAL y  $\beta$ -ZAL se utilizan como promotores del crecimiento animal bajo los nombres de Zeranol y Taleranol. Están prohibidos en varios países y, por lo tanto, incluidos en los planes de control oficial (EFSA 2017).

La ingesta de zearalenona y sus metabolitos a partir de la carne y subproductos parece ser de poca importancia debido a la rápida biotransformación y excreción en animales. La concentración de estas toxinas en el hígado y la bilis aumenta con la dosis administrada. Ni la ZEA ni sus metabolitos se

detectaron en los músculos, los riñones, el hígado, la vejiga, la grasa dorsal de un toro que ingirió 0,1 mg de la toxina/día/kg de alimento. Sin embargo, se han encontrado en algunas muestras de carne fresca a niveles de  $8,7 \pm 1,6$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Meucci et al. 2011).

La ZEA es convertida en un metabolito más activo ( $\alpha$ -ZEL) y uno menos activo ( $\beta$ -ZEL) por fracciones subcelulares hepáticas, pero la evidencia de esta reacción en otros tejidos es limitada. La conversión metabólica in vitro por varios tejidos de cabras adultas (machos y hembras) indicó que, en el hígado,  $\alpha$ -ZEL es un metabolito importante en las fracciones citosólicas, mientras que  $\beta$ -ZEL predomina en las fracciones microsómicas. En la mayoría de los otros tejidos, incluido el ruminal, la actividad de conversión de ZEA en  $\alpha$ -ZEL es mayor que en  $\beta$ -ZEL. La cantidad de  $\alpha$ -ZEL formada por los tejidos gastrointestinales es de 1/8-1/3 de la producida en el tejido hepático, pero la contribución de todos los tejidos gastrointestinales a la producción de  $\alpha$ -ZEL es comparable a la del hígado debido a la gran masa de tales tejidos en los rumiantes (Dong et al. 2010).

Aunque varios estudios coinciden en una baja tasa de transferencia de ZEA y sus metabolitos a la leche, el ganado alimentado con piensos contaminados puede producir leche con altas dosis de estas micotoxinas. Se encontraron concentraciones de 6,1  $\mu\text{g}/\text{L}$  ZEA, 4  $\mu\text{g}/\text{L}$   $\alpha$ -ZEL y 6,6  $\mu\text{g}/\text{L}$   $\beta$ -ZEL, en la leche de una vaca que recibió una dosis oral equivalente a 12 mg de ZEA /kg de peso corporal. Se hallaron <0,5  $\mu\text{g}$  de ZEA o sus metabolitos /L leche de vacas que ingirieron durante 21 días entre 0,1 y 0,33 mg ZEA /kg de peso corporal. Por otra parte, la capacidad metabólica ruminal puede estar saturada dependiendo de los diferentes regímenes de alimentación (Meucci et al. 2011).

ZEA y  $\alpha$ -ZEL son los principales compuestos en cerdos y aves de corral, mientras que  $\beta$ -ZEL contribuye significativamente a los niveles totales de residuos en los tejidos bovinos, incluida la leche. El tejido adiposo de varias especies animales y huevos estaba prácticamente libre de residuos de toxinas después de la exposición oral experimental a ZEA (Danicke & Winkler, 2015).

Se hallaron diferencias en el metabolismo de ZEA entre las especies animales. Los estudios de farmacocinética y metabolismo indican que ZEA se absorbe con bastante rapidez después de la

administración oral y puede ser metabolizada por el tejido intestinal en cerdos y posiblemente en humanos, con la formación de  $\alpha$ - y  $\beta$ -ZEL además de  $\alpha$ - y  $\beta$ -ZAL, que posteriormente se conjugan con ácido glucurónico. Cuantitativamente, predominan los conjugados glucurónidos del compuesto original y de  $\alpha$ -ZEL en estas especies (JECFA 2000).

## PATOLOGÍA

Los efectos nocivos de ZEA pueden aumentar a través de sus derivados y tienen la notable capacidad de actuar como un agonista del receptor de estrógeno. Tanto  $\alpha$ -ZAL como  $\alpha$ -ZEL poseen aproximadamente la misma potencia que el 17  $\beta$ -estradiol, mientras que la de ZEA es aproximadamente dos órdenes de magnitud menor que ambos metabolitos. En cuanto a  $\beta$ -ZEL y  $\beta$ -ZAL, son entre uno y cinco órdenes de magnitud menos potentes que la ZEA (EFSA 2017).

ZEA tiene baja toxicidad aguda en animales de experimentación. Los síntomas de exposición crónica son causados por la interacción de ZEA y sus metabolitos con los receptores de estrógenos. Se observó el desarrollo prematuro de mamas en niñas con pubertad precoz y ginecomastia en niños expuestos a los residuos de ZEA en carnes y otros productos (Peraica, 2016). Sin embargo, en algunos países el uso de zearanol en ganado destinado a consumo humano está permitido y se han establecido límites máximos residuales (Sandoval Gorgollón, 2007).

En las hembras la patología se presenta con inflamación y tumefacción de la vulva, engrosamiento de las mamas, aumento de la matriz, preñez ficticia, abortos, disminución de la viabilidad del feto y disminución de la camada, trastorno general de la fertilidad, y en el caso de los machos se presenta atrofia testicular y afeminamiento. A nivel de campo, en las vacas lecheras cuya ración final presenta una contaminación con ZEA superior a 250  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , puede provocar abortos, disminución del consumo de alimento y de la producción lechera, deficiencias en la reproducción y un aumento del tamaño de las glándulas mamarias en novillas vírgenes (Espíndola Figueroa, 2006).

## PIENSOS

Los rodeos vacunos de noreste argentino tienen como base alimenticia pastizales y pasturas mejoradas, las que suelen suplementarse con granos y fuentes proteicas, reservadas en forma

de rollos o silaje. Estos alimentos son sustratos ricos para las especies de hongos productoras de micotoxinas. El consumo de ZEA por los animales hace que se excreten diferentes metabolitos en orina (Salvat et al. 2015).

La presencia de  $\alpha$ -ZAL y otros compuestos en orina puede generar falsos resultados positivos como indicador del uso indebido de promotores de crecimiento que se hallan prohibidos en el país (Nichea et al. 2015).

El análisis de micotoxinas en pastos naturales (no cultivados) destinados a la alimentación bovina en establecimientos ganaderos del este de Chaco, reveló la presencia de ZEA en el 90% de las muestras analizadas (media: 84,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). Además de otras toxinas fúngicas, se detectó  $\alpha$  y  $\beta$ -ZEL y así fue posible explicar los niveles de Zearanol encontrados en la orina del ganado bovino. Por otra parte, algunos microbios del rumen han sido identificados por su capacidad para degradar micotoxinas o toxinas vegetales (Nichea et al., 2015).

*F. graminearum* al invadir *Triticum aestivum*, *Zea mays* y *Glycine max*, llega a producir ZEA en concentraciones no admisibles por su toxicidad para el consumo humano y animal (Peruzzo & Pioli, 2016). Sin embargo, a diferencia de los piensos de origen vegetal, los de origen animal incluyen especialmente  $\alpha$ -ZEL y  $\beta$ -ZEL además de ZEA. Las formas conjugadas también están presentes en los tejidos. Al evaluar el riesgo, deben tenerse en cuenta la proporción de  $\alpha$ -ZEL, el metabolito estrogénico más potente y las especies animales alimentadas con mayores proporciones de piensos de origen animal, como perros, gatos, y peces (EFSA, 2017).

## BIBLIOGRAFÍA

- Dänicke S, & Winkler J. (2015). Diagnosis of zearalenone exposure of farm animals and transfer of its residues into edible tissues. *Food and Chemical Toxicology* 84: 225–249.
- Dong M, Tulayakul P, Li JY, Dong KS, Manabe N, & Kumaga S. (2010). Metabolic conversion of zearalenone to  $\alpha$ -zearalenol by Goat Tissues. *J. Vet. Med. Sci.* 72(3): 307–312.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. (2017). Risks for animal health related to the presence of zearalenone and its modified

- forms in feed. *EFSA Journal* 15 (7):4851; doi: 10.2903/j.efsa.2017.4851
- Espíndola Figueroa S. (2006). Micotoxinas y micotoxicosis en el ganado bovino lechero. *Revista Chapingo, Serie Zonas Áridas*. 5: 89-94.
- Flores-Flores ME, Lizarraga E, de Cerain AL, & Gonzalez-Penas E. (2015). Presence of mycotoxins in animal milk: A review. *Food Control* 53: 163-176.
- JECFA. (2000). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. *WHO Food Additives Series*: 44
- Leslie JF, & Summerell BA. (2006). *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. Cap. 13.
- Meucci V, Soldani G, Razzuoli E, Saggese G, & Massart F. (2011). Mycoestrogen Pollution of Italian Infant Food. *The Journal of Pediatrics* 159 (2): 278-283.
- Nichea MJ, Palacios SA, Chiacchiera SM, Sulyok M, Krska R, Chulze SN, Torres AM, & Ramirez ML. (2015). Presence of Multiple Mycotoxins and Other Fungal Metabolites in Native Grasses from a Wetland Ecosystem in Argentina Intended for Grazing Cattle. *Toxins* 7: 3309-3329.
- Peraica M. (2016). Mycotoxicosis. Cap. 5 en: Viegas C, Pinheiro AC, Sabino R. *Environmental Mycology in Public Health Fungi*. Academic Press, Oxford, UK.
- Peruzzo AM, & Pioli RN. (2016). Micotoxinas en harinas derivadas de trigo y soja detectadas por prueba de Elisa. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, 51 (5): 647-653.
- Salvat AE, Comerio RM, Balbuena O, Rosello Brajovich JE, Ricca A, Rojas D, Cristos D, Ronco S, & Salerno JC. (2015). Zearanol y metabolitos urinarios de zearalenona en bovinos para carne. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA)* 41 (2): 149- 154.
- Sandoval Gorgollón AE. (2007). Validación de un método analítico para la detección de estilbenos y zearanol, en tejido muscular de especies de interés comercial. (Memoria) Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile, Santiago.
- Zinedine A, Soriano JM, Molto JC, & Mañes J. (2007). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* 45: 1 – 18.

