

REVISTA  
**CITECOSA**

Ciencia Tecnología Sociedad y Ambiente

Barrancabermeja - Colombia

ISSN: 2027 6745



**UNIPAZ**  
Instituto Universitario de la Paz

Revista para la difusión y divulgación de avances de investigación

## **INSTITUTO UNIVERSITARIO DE LA PAZ**

### **UNIPAZ**

Oscar Orlando Porras Atencia  
**Rector**

Kelly Cristina Torres Angulo  
**Vicerrectora**

Fabian Aristóbulo Rico Suárez  
**Director de Investigación y Proyección Social**

## **REVISTA CITECSA**

### **Editor**

Yanis Ricardo Espinosa Silva

### **Comité Editorial**

Jaime Fernando Martinez Suarez  
Zuly Yuliana Delgado Espinosa  
Carlos Andrés Rodríguez Peña  
Román David Castañeda Serrano  
Jorge Eliecer Franco Rodriguez  
Natalia Terán Acuña

### **Soporte técnico**

Sandra Lisbeth Castro Ariza  
Wilfredo Jose Palencia Alvarado

### **Dirección web**

<http://revistas.unipaz.edu.co/ojs/index.php/revcitecsa>

**Correo electrónico:** citecsa@unipaz.edu.co; revcitecsa@gmail.com

**Dirección:** Centro de investigaciones Santa Lucía Km 14 vía Bucaramanga vereda el Zarzal.  
Barrancabermeja, Santander, Colombia.

**Teléfonos:** 057 - 6032701

**Portal institucional:** [www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

**Periodicidad:** Semestral

**Diseño de Portada:** Lizette Fernanda García Robles

**Fotografía:** Gabriel Rivera

## Decaimiento Débil No-mesónico de Hipernúcleos $\Lambda$

### *Nonmesonic Weak Decay Of $\Lambda$ Hypernuclei*

Recibido 30 de Mayo 2018  
 Aceptado 04 de Julio 2018

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

C. A. Rodríguez Peña <sup>a†</sup>

**Resumen:** Se estudia el ancho de decaimiento no mesónico de hipernúcleos  $\Lambda$ . Se han efectuado los cálculos empleando el modelo de materia nuclear no relativista, extendida a núcleo finito por medio de la aproximación de la densidad local. Se empleó la regla de isospin  $\Delta I = 1/2$ . Son evaluados los anchos de decaimiento inducidos por uno, dos y tres nucleones, para  ${}^{12}_{\Lambda}C$ . El resultado final para  $\Gamma_3$ , está dominado por los decaimientos inducidos por  $nnp$  y  $npp$  y su magnitud aporta un 7 % del decaimiento no-mesónico total. Se considera por primera vez el ancho de decaimiento inducido por tres nucleones,  $\Gamma_3 \equiv \Gamma(\Lambda NNN \rightarrow nNNN)$  ( $N = n$  ó  $p$ ), los anchos de decaimiento obtenidos se comparan con los últimos datos de KEK y FINUDA. Los efectos de reducción del retroceso nuclear son particularmente relevantes para los anchos de decaimiento inducidos por tres nucleones (~ 15%), menos importantes para los anchos de decaimiento inducidos por dos nucleones (~ 4%) y despreciables para los anchos de decaimiento inducidos de un nucleón. **Palabras claves:** Hipernúcleos  $\Lambda$ , Decaimiento débil no-mesónico.

**Abstract:** The non-mesonic decay width of hypernuclei  $\Lambda$  is studied. The calculations have been made using the non-relativistic nuclear material model, extended to finite nucleus by means of the approximation of local density. The isospin rule  $\Delta I = 1/2$  was used. Decay widths induced by one, two and three nucleons are evaluated for  ${}^{12}_{\Lambda}C$ . The final result for  $\Gamma_3$ , is dominated by the decays induced by  $nnp$  and  $npp$  and its magnitude contributes 7% of the total non-mesonic decay. The decay width induced by three nucleons is considered for the first time,  $\Gamma_3 \equiv \Gamma(\Lambda NNN \rightarrow nNNN)$  ( $N = n$  or  $p$ ), the obtained decay widths are compared with the latest KEK and FINUDA data. The effects of reduction of nuclear regression are particularly relevant for the decay widths induced by three nucleons (~ 15%), less important for the decay widths induced by two nucleons (~ 4%) and negligible for the induced decay widths of a nucleon. **Key words:**  $\Lambda$  Hypernuclei, Nonmesonic Weak Decay.

### INTRODUCCIÓN

Un hipernúcleo es un sistema ligado de nucleones con uno o más bariones extraños ( $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi$ ). La física hipernuclear está en la frontera entre la Física Nuclear y la de Partículas Elementales; pues se nutre de la física de partículas elementales con extrañeza, para poner a prueba sus propiedades en el 'laboratorio' del medio nuclear.

En el decaimiento débil no-mesónico se deben destacar varios aspectos. Primero, implica la mutación más radical de una partícula elemental cuando está en el medio nuclear: su masa cambia en **176 MeV** y su extrañeza en  $\Delta S = -1$ , sin que se produzca ninguna partícula adicional sobre la

capa de energía, como ocurre en el decaimiento débil mesónico. Segundo, es el principal canal de decaimiento en hipernúcleos medianos y pesados. Tercero, como tal, ofrece la mejor oportunidad para examinar la interacción no-leptónica entre hadrones. Cuarto, desempeña un papel dominante en la estabilidad de estrellas de neutrones en rotación con respecto a la emisión de ondas gravitacionales. Finalmente, con la incorporación de la extrañeza el dominio ( $N$ ,  $Z$ ) de la radiactividad se extiende a tres dimensiones ( $N$ ,  $Z$ ,  $S$ ), al mismo tiempo que la interacción hadrónica pasa del grupo  $SU(2)$  de isospín al grupo  $SU(3)$  de sabor.

Se puede sintetizar el estudio de la física de hipernúcleos en tres temas: la producción de hipernúcleos, su estructura y su decaimiento. En forma algo arbitraria, se puede decir que la

<sup>a</sup>IFLP, Conicet, 1900 – La Plata, Argentina.

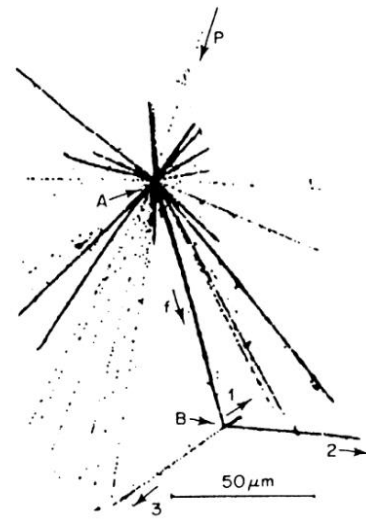
<sup>†</sup> carodriguez@fisica.unlp.edu.ar.

producción de hipernúcleos es un tema mayormente de física de partículas. Enseguida se darán más elementos para justificar esta afirmación, pero el obtener partículas con extrañeza puede llevarse a cabo tanto en el espacio libre, como en el medio nuclear. Su formación puede obtenerse por medio de diferentes reacciones que conducen al mismo estado final. Este es un desafío, tanto desde el punto de vista teórico, como experimental. Una vez formado el hipernúcleo, va a decaer por medio de la interacción débil: esto significa que su existencia a escala nuclear va a ser lo suficientemente larga como para que se pueda estudiar su estructura. El estudio de la estructura de un hipernúcleo, es un problema típico de física nuclear. De hecho, dio lugar a un cierto 'renacer' de cálculos convencionales de estructura nuclear. Finalmente, el decaimiento del hipernúcleo, requiere de elementos de física de partículas, como de estructura nuclear.

**Tabla 1:** Números cuánticos de los hiperones y su estructura según el modelo de quarks.

Hiperón	Quarks	Extrañeza	Isospin	Masa (MeV)
$\Lambda$	uds	-1	0	1116
$\Sigma^+$	uus	-1	1	1189
$\Sigma^0$	uds	-1	1	1193
$\Sigma^-$	dds	-1	1	1197
$\Xi^0$	uss	-2	1/2	1315
$\Xi^-$	dss	-2	1/2	1321

En 1952, los científicos polacos M. Danysz y J. Pniewski observaron el primer evento de decaimiento de hipernúcleos  $\Lambda$  (Figura 1) en una emulsión fotográfica expuesta a rayos cósmicos a unos 26 km sobre el suelo<sup>1</sup>. Menos de un año después, se introduce un nuevo número cuántico: la extrañeza; con lo que nace la física hipernuclear. Los núcleos extraños han sido investigados tanto desde el punto de vista teórico, como experimental (Tabla 1)<sup>2</sup>.



**Fig. 1:** Primer evento de decaimiento hipernuclear<sup>1</sup>. Un protón de alta energía entra desde la parte superior, luego choca con uno de los núcleos de la emulsión rompiéndolo en diferentes fragmentos nucleares (forma de estrella producida en el punto "A" en la imagen). Estos fragmentos, después de una trayectoria corta, terminan en la emulsión, pero, después de recorrer una longitud de 90  $\mu\text{m}$ , se desintegra en tres partículas más (punto "B" en la figura 1), revelando la presencia de una partícula inestable pegada entre los nucleones. Este evento puede ser interpretado como el decaimiento débil de un fragmento de luz que contiene un hiperón.

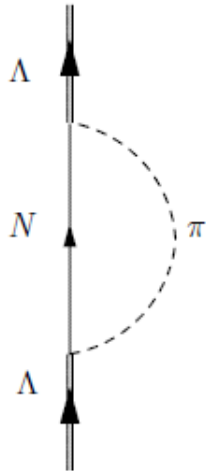
El ancho de decaimiento total se puede extraer de la observación de la vida media del hipernúcleo,  $\tau$ :

$$\Gamma_{tot} = \frac{\hbar}{\tau}$$

Sobre el ancho de decaimiento total,  $\Gamma_{tot}$ , se debe diferenciar la situación en que la  $\Lambda$  se encuentra en el espacio libre, de cuando está en un medio nuclear, formando un hipernúcleo. Cuando está en el espacio libre, se tiene que:

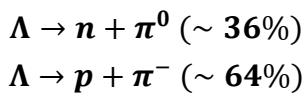
$$\Gamma_{tot}^0 = \Gamma(\Lambda \rightarrow N\pi)$$

Al tener un pión en el estado final, este es un decaimiento mesónico. En el espacio libre, entonces, el único decaimiento posible, es el mesónico.



**Fig. 2:** Diagrama de Goldstone que muestra el ancho de decaimiento mesónico de un hipernúcleo-Λ.

Experimentalmente, se encuentra que la probabilidad de cada uno de los decaimientos es la siguiente:



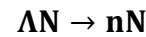
Hasta aquí, se ha discutido el decaimiento de la Λ libre (Figura 2). Se analizará ahora el caso en que se parte de un hipernúcleo y se estudiarán sus canales de decaimiento. Este consta de dos contribuciones, que son el ancho de decaimiento mesónico  $\Gamma_M$  y el no mesónico  $\Gamma_{NM}$ , según:

$$\Gamma_{tot} = \Gamma_M + \Gamma_{NM}$$

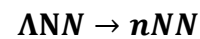
Naturalmente  $\Gamma_M = \Gamma(\Lambda \rightarrow N\pi)$  como en el caso libre, mientras que  $\Gamma_{NM} = \Gamma(\Lambda N \rightarrow nN)$ . De este modo, para  $\Gamma_M$  se tiene un pión en el estado final, que se puede medir; por lo que permite estimar el valor de  $\Gamma_M$  y por lo tanto, de  $\Gamma_{NM}$ . De este modo, estas dos cantidades se las puede pensar como observables.

Se analiza ahora el decaimiento no mesónico. En esta reacción, el vértice de decaimiento de la Λ es similar al del decaimiento mesónico. Solo que el mesón del vértice es virtual, pues el mesón es absorbido por un nucleón del hipernúcleo. La energía disponible para los dos nucleones del

estado final es  $Q \cong 177 \text{ MeV}$ . Como no se debe gastar energía para la creación de un pión, esta energía, que es muy superior a la energía de Fermi, se reparte entre los dos nucleones. Es por ello que en el medio nuclear el decaimiento no-mesónico es más importante que el mesónico. Por otra parte, el hecho de que el mesón intercambiado sea virtual, permite incluir mesones más pesados que el pión. De este modo, el mesón en el decaimiento no-mesónico es absorbido por un nucleón y en el estado final sólo se tienen nucleones. Naturalmente, el nombre del decaimiento se debe a que no hay mesones en el estado final. Ahora bien, el mecanismo más simple para el decaimiento no mesónico, es el inducido por un nucleón:



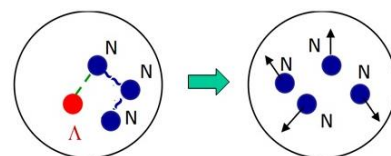
Puede también estar inducido por dos o más nucleones, esto es:



**MÉTODOS**

Como tema de investigación, se estudió el ancho de decaimiento no-mesónico de hipernúcleos-Λ inducido por tres nucleones ( $\Gamma_3$ ) (Figura 3), empleando el formalismo de materia nuclear complementado por la aproximación de densidad local (LDA)<sup>3,4,5,6,7,8</sup> para dar cuenta de núcleo finito y la regla de isospín  $\Delta I = 1/2$ .

Se debe resaltar que en este tema, se mejoró el modelo para el estado fundamental, con el fin de incluir el decaimiento inducido por tres nucleones.



**Fig. 3:**  $\Gamma_3 \equiv \Gamma(\Lambda NNN \rightarrow nNNN)$

El ancho de decaimiento no mesónico total:

$$\Gamma_{NM} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3,$$

donde  $\Gamma_1, \Gamma_2$  y  $\Gamma_3$  indican los anchos de decaimiento inducidos por uno-, dos- y tres-nucleones, esto es:

$$\begin{aligned} \Lambda N &\rightarrow nN \\ \Lambda NN &\rightarrow nNN \\ \Lambda NNN &\rightarrow nNNN, \end{aligned}$$

con  $N = \text{neutrones o protones}$ . A su vez, cada uno de los anchos de decaimiento constan de los siguientes canales de isospin:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= \Gamma_n + \Gamma_p, \\ \Gamma_2 &= \Gamma_{nn} + \Gamma_{np} + \Gamma_{pp}, \\ \Gamma_3 &= \Gamma_{nnn} + \Gamma_{nnp} + \Gamma_{npp} + \Gamma_{ppp}. \end{aligned}$$

Se analizan ahora las expresiones analíticas para los anchos de decaimiento, partiendo de la regla de oro de Fermi:

$$\Gamma_{1(2,3)}(k, k_F) = \sum_f |\langle f | V^{\Lambda N \rightarrow nN} | 0 \rangle_{k_F}|^2 \delta(E_f - E_0),$$

De la ecuación anterior se definen cada uno de los términos de la siguiente manera:

$|0\rangle_{k_F}$ : Estado fundamental del hipernúcleo, cuya energía es  $E_0$ .

$V^{\Lambda N \rightarrow nN}$ : Potencial de transición débil (operador de dos cuerpos) (ver Tabla 3).

$|f\rangle$ : Representa a los posibles estados finales. Esto es, el estado final  $2p1h$  ( $3p2h, 4p3h$ ) define el ancho de decaimiento  $\Gamma_1$  ( $\Gamma_2, \Gamma_3$ ).

A continuación se muestra la función de onda del estado fundamental, en la cual se utiliza teoría de perturbaciones<sup>9,10</sup> a segundo orden en la interacción fuerte  $V^{NN}$ .

$$\begin{aligned} |0\rangle_{k_F} &= \mathcal{N}(k_F) \left( |1\rangle - \sum_{2p2h} \frac{\langle 2p2h | V^{NN} | 1 \rangle}{E_{2p2h} - E_{HF}} |2p2h\rangle \right. \\ &\quad \left. + \sum_{3p3h} \sum_{2p2h} \frac{\langle 3p3h | V^{NN} | 2p2h \rangle \langle 2p2h | V^{NN} | 1 \rangle}{(E_{3p3h} - E_{HF})(E_{2p2h} - E_{HF})} |3p3h\rangle \right) \otimes |\Lambda \rangle \end{aligned}$$

Para el ancho de decaimiento inducido por tres nucleones ( $\Gamma_3$ ), su expresión analítica es:

$$\begin{aligned} \Gamma_3(k, k_F) &= \mathcal{N}^2(k_F) \sum_{f=4p3h} \delta(E_f - E_0) \left| \sum_{2p2h} \sum_{3p3h} \langle f | V^{\Lambda N \rightarrow nN} | 3p3h; \Lambda \rangle \right. \\ &\quad \left. \times \frac{\langle 3p3h | V^{NN} | 2p2h \rangle \langle 2p2h | V^{NN} | 1 \rangle}{(E_{3p3h} - E_{HF})(E_{2p2h} - E_{HF})} \right|^2. \end{aligned}$$

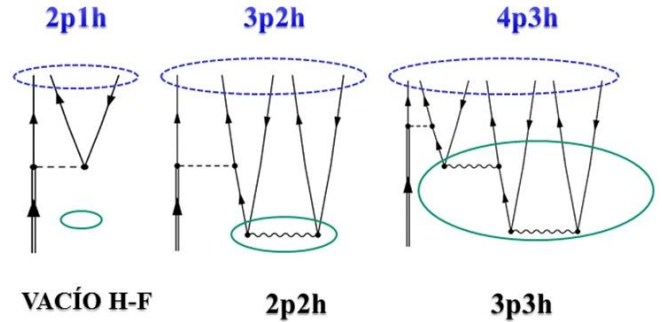
Resumiendo, se tienen las siguientes ecuaciones:

$$\Gamma_{1(2,3)}(k, k_F) = \sum_f |\langle f | V^{\Lambda N \rightarrow nN} | 0 \rangle_{k_F}|^2 \delta(E_f - E_0) \quad (1)$$

$$\Gamma_{1(2,3)} = \int d\mathbf{k} |\tilde{\psi}_\Lambda(\mathbf{k})|^2 \int d\mathbf{r} |\psi_\Lambda(\mathbf{r})|^2 \Gamma_{1(2,3)}(\mathbf{k}, k_F(\mathbf{r})) \quad (2)$$

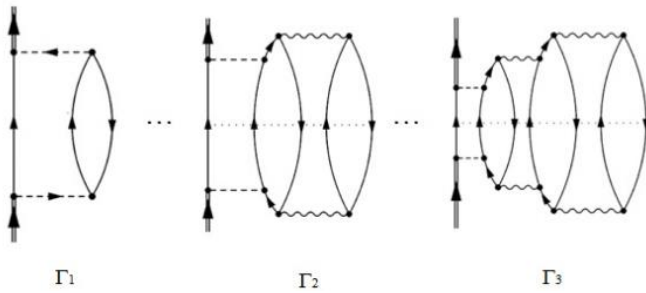
$$\begin{aligned} |0\rangle_{k_F} &= \mathcal{N}(k_F) \left( |1\rangle - \sum_{2p2h} \frac{\langle 2p2h | V^{NN} | 1 \rangle}{E_{2p2h} - E_{HF}} |2p2h\rangle \right. \\ &\quad \left. + \sum_{3p3h} \sum_{2p2h} \frac{\langle 3p3h | V^{NN} | 2p2h \rangle \langle 2p2h | V^{NN} | 1 \rangle}{(E_{3p3h} - E_{HF})(E_{2p2h} - E_{HF})} |3p3h\rangle \right) \otimes |\Lambda \rangle \end{aligned} \quad (3)$$

De este modo, los anchos de decaimiento inducidos por uno, dos y tres nucleones, se obtienen reemplazando la ecuación (3) en la ecuación (1) y evaluando la LDA por medio de la ecuación (2).



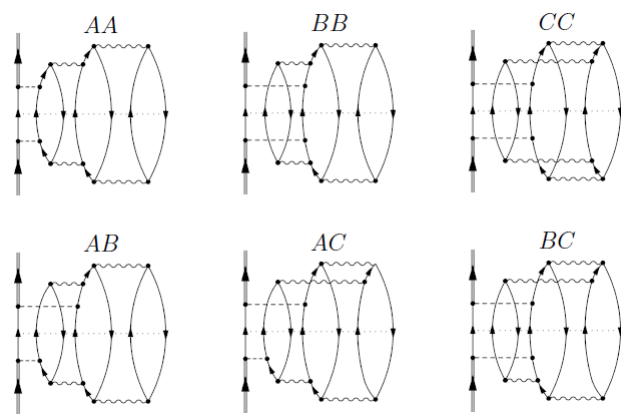
**Fig. 4:** De los diagramas de amplitud, se pueden analizar las diferentes configuraciones para la contribución al ancho de decaimiento inducido por uno, dos y tres nucleones, donde la parte superior (zona delimitada por un óvalo azul) determina el estado final, y en la parte inferior (zona delimitada por un óvalo verde) para el primer caso se puede ver el vacío de Hartree-Fock como estado inicial y para los dos casos siguientes el potencial fuerte donde se adopta el potencial de Bonn y consta del intercambio de los mesones  $\pi, \rho, \sigma, \omega$ .

Se puede recordar por medio de los siguientes diagramas (Figura 5), las diferentes contribuciones del ancho de decaimiento inducido por uno, dos y tres nucleones respectivamente.



**Fig. 5:** diferentes contribuciones del ancho de decaimiento inducido por uno, dos y tres nucleones.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



**Figura 6:** Diagramas de Goldstone que contribuyen a  $\Gamma_3$ . Por medio de una línea de puntos, se indica el corte del diagrama en el estado final de  $4p3h$ . Una flecha doble representa a la  $\Lambda$ , una flecha simple hacia arriba (hacia abajo) representa a un nucleón (agujero de nucleón). Las líneas horizontales de rayas (onduladas) representan al potencial de transición débil  $V^{\Lambda N \rightarrow nN}$  (fuerte  $V^{NN}$ ).

Los diagramas en la figura 6 representan a una amplitud al cuadrado, considerando la mitad inferior (lo que está debajo de la línea de puntos), se observa que el potencial  $V^{\Lambda N \rightarrow nN}$ , está siempre por encima de  $V^{NN}$ . Por tal razón el estado final es el ancho de decaimiento, el cual está dado por el estado inicial y el potencial de transición<sup>11</sup>.

**Retroceso del núcleo residual**

Cuando se parte de un hipernúcleo en su estado fundamental (Figura 7), el hiperón puede decaer en el canal no-mesónico, en el cual se emiten

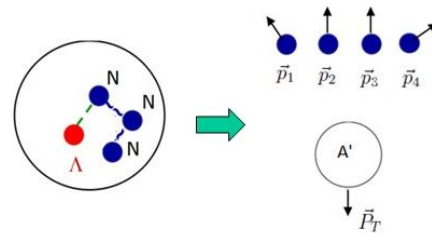
partículas con impulsos superiores al impulso de Fermi, las cuales son partículas libres que abandonan al sistema dejando un carozo nuclear. El número de partículas emitidas depende si se está considerando  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  o  $\Gamma_3$ .

**Tabla 2:** Resultados para las contribuciones de isospin de  $\Gamma_3$  correspondientes a  $^{12}_\Lambda C$

Diagrama	$\Gamma_{nnn}$	$\Gamma_{nnp}$	$\Gamma_{npp}$	$\Gamma_{ppp}$	$\Gamma_3$
AA	0,038	1,367	1,281	0,097	2,783
BB	0,037	1,064	1,448	0,091	2,640
CC	0,032	0,825	1,422	0,081	2,360
AB	0,008	0,116	0,135	0,005	0,264
AC	-0,002	0,011	0,070	-0,004	0,075
BC	-0,003	0,051	0,047	-0,008	0,087
Suma	0,110	3,434	4,403	0,262	8,209

**Tabla 3:** Efecto del potencial de transición débil en el ancho de decaimiento inducido por tres nucleones

Potencial Débil	$\Gamma_3$
$\pi$	6,841
$\pi + K$	5,755
$\pi + \eta + K + \rho + \omega + K^*$	8,209



**Fig. 7:** Retroceso del núcleo residual.

Por la conservación del impulso, se tiene:

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &\rightarrow \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = -\mathbf{P}_{T1} \\ \Gamma_2 &\rightarrow \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3 = -\mathbf{P}_{T2} \\ \Gamma_3 &\rightarrow \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \mathbf{p}_3 + \mathbf{p}_4 = -\mathbf{P}_{T3} \end{aligned}$$



Donde los  $p_i$ , representa a los impulsos de los nucleones salientes y  $P_{Tn}$  representa al impulso total del núcleo residual. Como se trabaja en el espacio de impulso, su implementación consiste en restarle a la energía disponible de la desintegración, la energía cinética del núcleo residual como un todo:

$$k_0 \rightarrow k_0 - P_T^2/2M_{res}$$

Se debe recordar que los dos nucleones emitidos en  $\Gamma_1$  son emitidos mayormente en la misma dirección y sentido opuesto (back-to-back) por lo cual  $P_T = 0$ . Esto quiere decir que el efecto del retroceso es muy pequeño. Se debe notar que el cálculo de  $\Gamma_3$  se realizó para  $^{12}_\Lambda C$ . En este caso, el núcleo residual tiene  $A_{res} = 8$ , lo cual representa una disminución importante de la masa, por lo que el efecto del retroceso debe ser tenido en cuenta<sup>12</sup>.

**Tabla 4:** Efecto del retroceso del núcleo residual en los anchos de decaimiento para  $^{12}_\Lambda C$ .

	$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$	$\Gamma_{NM}$
sin retroceso	0,601	0,301	0,082	0,984
con retroceso	0,600	0,288	0,070	0,958

A continuación se presentan los resultados (Tabla 5) donde se observa el efecto del retroceso en los anchos de decaimiento  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$  y  $\Gamma_3$ , como era de esperar, el impacto del retroceso sobre el ancho de decaimiento, aumenta con el número de nucleones producidos en el decaimiento. Además, este resultado muestra que el efecto de reducción debido al retroceso es particularmente relevante para  $\Gamma_3$  (15 %), menos importante para  $\Gamma_2$  (4 %) y despreciable para  $\Gamma_1$ .

**Tabla 5:** Comparación de los anchos de decaimiento no mesónicos con datos recientes de KEK-E508 y FINUDA para  $^{12}_\Lambda C$ .

	Datos Recientes	KEK-E508	FINUDA	KEK-FINUDA
$\Gamma_n$	0,145	$0,23 \pm 0,08$		$0,28 \pm 0,12$
$\Gamma_p$	0,455	$0,45 \pm 0,10$	$0,65 \pm 0,19$	$0,493 \pm 0,088$
$\Gamma_1$	0,600	$0,68 \pm 0,13$		$0,78 \pm 0,09$
$\Gamma_2$	0,288	$0,27 \pm 0,13$		$0,178 \pm 0,076$
$\Gamma_3$	0,070	–	–	–
$\Gamma_{NM}$	0,958	$0,953 \pm 0,044$		$0,96 \pm 0,04$
$\Gamma_n/\Gamma_p$	0,319	$0,51 \pm 0,14$		$0,58 \pm 0,27$
		$0,29 \pm 0,14$		
		$0,34 \pm 0,15$		
$\Gamma_1/\Gamma_{NM}$	0,626	$0,71 \pm 0,14$		$0,81 \pm 0,10$
$\Gamma_2/\Gamma_{NM}$	0,301	$0,29 \pm 0,13$	$0,25 \pm 0,12 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,08$
			$0,20 \pm 0,08^{+0,04}_{-0,03}$	
$\Gamma_3/\Gamma_{NM}$	0,073	–	–	–

### CONCLUSIONES

Se realizó por primera vez una estimación del ancho de decaimiento inducido por tres nucleones, encontrando que su efecto es relevante, representando un 7 % del ancho de decaimiento no mesónico total.

Este nuevo canal de decaimiento está dominado por las configuraciones de isospin para el estado final:  $nnnp$  y  $nnpp$ .

Se estudió el efecto del retroceso del núcleo residual, encontrando que es importante para este decaimiento. Su efecto es reducir el ancho de decaimiento en un 15 %.

Una de las motivaciones para realizar el presente estudio fue el análisis de nuevos canales de decaimiento, pues aún persisten discrepancias para reproducir los espectros experimentales, especialmente aquellos que tienen protones. Desafortunadamente se encontró que  $\Gamma_3$ , no es suficiente para resolver esta discrepancia.

### AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a G. Garbarino por los aportes y discusiones y al CONICET, Argentina.

## REFERENCIAS

1. M. Danysz and J. Pniewski. (1953). Delayed disintegration of a heavy nuclear fragment. *Philos. Mag.* (44), 348.
2. E. Botta, T. Bressani and G. Garbarino. (2012) Experimental Studies on the Weak Decay of  $\Lambda$ -Hypernuclei. *Eur. Phys. J. (A 48)*, 41.
3. E. Bauer, A. P. Galeao, M. S. Hussein, F. Krmpotic and J. Parker. (2009). Nonmesonic weak decay spectra of  ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ . *Phys. Lett.* (B674), 103.
4. E. Bauer, A. P. Galeão, M. S. Hussein y F. Krmpotic. (2010). Nonmesonic Weak Decay of  $\Lambda$ -Hypernuclei within Independent-Particle Shell-Model. *Nucl. Phys.* (A834), 599c.
5. F. Krmpotic, A. P. Galeão, and M.S. Hussein. (2010). Many-body cascade calculation of final state interactions in  ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$  nonmesonic weak decay *AIP Conf. Proc.* (1245), 51.
6. I. Gonzalez, C. Barbero, A. Deppman, S. Duarte, F. Krmpotic, O. Rodriguez. (2011). Nonmesonic Weak Decay Spectra and Three-Nucleon Emission. *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* (38), 115105.
7. I. Gonzalez, A. Deppman, S. Duarte, F. Krmpotic, M. S. Hussein, C. Barbero. (2011). Nonmesonic Hyperon Weak Decay Spectra in  ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$ . *J. Phys. Conf. Series* (312) 022017.
8. F. Krmpotic. (2014). Nonmesonic Weak Decay Spectra of Light Hypernuclei. *Few Body Systems* (55) 219.
9. E. Bauer. (2009). Ground state normalization in the nonmesonic weak decay of  ${}^{12}_{\Lambda}\text{C}$  hypernucleus within a nuclear matter formalism. *Nucl. Phys.* (A 818) 174.
10. E. Bauer and G. Garbarino. (2009). Single and double coincidence nucleon spectra in the weak decay of  $\Lambda$ -hypernuclei *Nucl. Phys. A* (828), 29.
11. E. Bauer, G. Garbarino, C. A. Rodríguez Peña. (2017). Nonmesonic weak decay of  $\Lambda$  hypernuclei: The three-nucleon induced mode. *Phys. Lett. B* (766), 144.
12. C. A. Rodríguez Peña. (2018). Tesis Doctoral: Decaimiento Débil No-Mesónico de Hipernúcleos  $\Lambda$ . Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Exactas.

## Larva Migrans Cutanea: Reportes Epidemiológicos en el Ámbito de la Salud Pública y su Relación con la Situación Real en Campo en Habitantes del Municipio de Pailitas Colombia

Recibido 06 Junio 2018,  
 Aceptado 04 Julio 2018

www.unipaz.edu.co

### *Larva Migrans Cutanea: Epidemiological Reports in the Area of Public Health and its Relation to the Real Situation in Field in Inhabitants of the Municipality of Pailitas Colombia*

Urbano José Villa Ramírez<sup>†a</sup>, Ever Alexander Santana Quintero<sup>b</sup>

**Resumen:** Larva migrans cutánea (LMC) es considerada como un síndrome asociado a la presencia y migración de larvas de gusanos nematelmintos de diferentes animales sobre la piel del hombre, ésta constituye una dermatosis verminosa reptante de interés zoonótico propia de áreas tropicales y subtropicales, que se caracteriza clínicamente por presentar surcos eritematosos y pruriginosos en la epidermis. La falta de diagnósticos diferenciales y definitivos adecuados permiten que éste tipo de patologías presenten un subregistro médico en los registros individuales de prestación de servicios en salud-RIPS y por ende en el sistema de vigilancia epidemiológica de Colombia- SIVIGILA, lo que les asigna un aparente rol de poca importancia sobre los perfiles epidemiológicos de las diferentes regiones del país. Por tanto el presente estudio pretende ofrecer un panorama puntual respecto a la situación real en campo de las manifestaciones clínicas de LMC en el municipio de Pailitas en el departamento del Cesar Colombia mediante la aplicación de un instrumento de recolección de información que permitiera asociar variables socioeconómicas como factores de predisponentes. **Palabras claves:** Larva migratoria cutánea, Ancylostoma, Zoonosis, salud publica, Espacios públicos.

**Abstract:** Larva migrans cutaneous (CML) is considered as a syndrome associated to the presence and migration of larvae of nematelmint worms of different animals on the skin of man, this is a verminous dermatosis crawling of zoonotic interest typical of tropical and subtropical areas, which is characterized clinically due to erythematous and pruriginous furrows in the epidermis. The lack of adequate differential and definitive diagnoses allows this type of pathologies to present a medical underreporting in the individual records of health service provision-RIPS and therefore in the epidemiological surveillance system of Colombia- SIVIGILA, which assigns them an apparent role of little importance on the epidemiological profiles of the different regions of the country. Therefore, the present study aims to provide a precise overview of the actual situation in the field of clinical manifestations of CML in the municipality of Pailitas in the department of Cesar Colombia through the application of an information collection instrument that would allow associating socioeconomic variables such as predisposing factors. **Key words:** Cutaneous migratory larva, Ancylostoma, Zoonoses, public health, Public spaces.

### INTRODUCCIÓN

De las más de 25.000 especies de nemátodos que existen en el mundo, dos son consideradas causales en mayor proporción de la aparición de larva migrans cutánea (LMC) en humanos, *Ancylostoma braziliensis* y *Ancylostoma caninum*<sup>1,2</sup> aunque con mucha menor frecuencia se pueden presentar casos por *Ancylostoma tubaeforme*, *Uncinaria stenocephala*, *Uncinaria ceylanicum*, *Toxocara canis*, *Toxocara cati*, *Baylisascaris procyonis* y

*Bumostomum phlebotomum*. Especies como *Ancylostoma braziliensis* y *Ancylostoma caninum*, requieren temperaturas que oscilan entre los 29 y 33 °C, las cuales favorecen la presentación de LMC, con humedad relativa superior al 87 %<sup>3</sup>. La LMC se caracteriza por producir en el huésped lesiones tegumentarias serpentiginosas, la manifestación de éstas lesiones se han hecho más frecuentes debido al incremento del movimiento migratorio y de turismo por diferentes partes del mundo, ya que personas de países no nativos donde ésta patología no es endémica viajan a zonas tropicales y adquieren el nemátodo para presentar posteriormente la manifestación clínica una vez se

<sup>a</sup> Escuela de MVZ. Grupo de investigación CIDICA. Instituto Universitario de la Paz.

<sup>b</sup> Escuela de MVZ. Instituto Universitario de la Paz.

<sup>†</sup> urbano.villa@unipaz.edu.co

encuentran de regreso en su país de origen; este tipo de nemátodos viven en el tracto gastrointestinal y se eliminan por las heces de felinos y caninos a través de huevos que sobreviven a condiciones adversas en terrenos húmedos, que al entrar en contacto con la piel de los humanos la traspasan y se alojan en ella para posteriormente iniciar una lesión eritematosa/pruriginosa en la planta de los pies, muslos y/o glúteos, la cual después de un tiempo se extiende causando galerías o túneles sobre un trayecto intraepidérmico en personas infestadas <sup>4,5</sup>.

Las erupciones cutáneas pueden acompañarse de eosinofilia, elevación de la IgE e incluso infiltrados pulmonares eosinofílicos (síndrome de Loewler). Es una enfermedad autolimitada, el ser humano es huésped terminal, donde la larva no puede llegar a adulto, termina muriendo y desapareciendo en 1 a 6 meses <sup>6</sup>.

Actuar, prevenir, diagnosticar y/o tratar contra esta patología resulta especialmente difícil dada las condiciones sociopolíticas y culturales de Colombia, que propician una intrínseca interacción entre caninos/felinos y población, en la cual gran parte de estos animales no cuentan con planes de vacunación, planes sanitarios de vermifugación y manejo correcto de heces, tal como lo evidencia la presencia de nemátodos en el 99,4 % de los perros recién nacidos y en general, presencia de nemátodos en el 74 % de materia fecal canina<sup>7</sup>. A todo lo anterior se suma una ineficiente aplicación de la política pública de salud, reflejada en el plan decenal de salud pública y específicamente en su dimensión de salud ambiental en los referente con intervención en los determinantes sanitarios y ambientales que afectan la salud en relación con el riesgo biológico asociado a la tenencia de animales de compañía<sup>8</sup>, además debido a un incorrecto diagnóstico diferencial por parte de los médicos a través de los signos clínicos sumado a poco uso de las pruebas diagnósticas específicas, terminan generando un subregistro médico en los Registros Individuales de Prestación de Servicio-RIPS, en los Análisis de Situación en Salud-ASIS y en el Sistema

de Vigilancia en Salud Pública-SIVIGILA, conllevando a tratar éste tipo de entidades patológicas como simples afecciones del tegumento, cuando en realidad su etiología resulta mucho más compleja, conllevando a un erróneo tratamiento. Por tanto el subregistro médico no permite contar con estadísticas reales respecto a la prevalencia e incidencia de LMC en Colombia que permitan adoptar medidas de vigilancia epidemiológicas tendientes a mitigar dicha situación.

En este contexto, el presente estudio pretende estimar la posible correlación entre variables sociodemográficas mediante un instrumento de recolección de información (Cuestionario) y contrastar estos datos con los reportes estadísticos del Hospital Helí Moreno Blanco del municipio Pailitas-Cesar.

## MÉTODOS

### Diseño y población de estudio

Para lograr el objetivo propuesto se realizó un estudio descriptivo de corte trasversal, teniendo como base las estadísticas respecto a dermatitis no especificada en los años 2015, 2016 y 2017 que fueron proporcionadas por el Hospital Helí Moreno Blanco- HMB vs la población de estudio, la cual se basó en los pobladores de los diferentes barrios de la zona urbana del municipio de Pailitas-Cesar (14.871 habitantes); posteriormente se realizó una submuestra representativa de 210 hogares a los cuales se les aplicó una herramienta de recolección de información, la cual fue validada mediante revisión de expertos y la práctica de una prueba piloto que permitió identificar posibles sesgos técnicos.

### Consideraciones éticas

Se obtuvo consentimiento informado de las personas a las cuales se le realizó la encuesta, con previa explicación del objetivo de la investigación y sus ventajas, según lo establece la resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia.

### Recolección y procesamiento de la información

La recolección de la información se basó en la realización de un cuestionario para evaluar la presencia de los factores demográficos, epidemiológicos y clínicos relacionados con LMC: presencia de niños, adultos y adultos mayores, conocimiento de la LMC, presencia de alteraciones cutáneas en el núcleo familiar asociadas a LMC en los últimos tres años, consultas al médico por LMC, tratamientos caseros para LMC, presencia de patio en la casa, tenencia de perros y gatos en la vivienda y realización de planes de vermifugación a las mascotas.

Para la aplicación del instrumento se dividió el municipio de Pailitas en cuatro zonas delimitadas por barrios, las cuales comprendieron; Zona Baja: 9 de Abril, San Pedro, Nueva Esperanza, La Florida y 27 de Marzo (50 encuestas); Zona Media: El Centro, El Jardín, Alto Prado, Alfonso López, Nueva Granada y Jorge Eliecer Gaitán (60 encuestas); Zona Alta: Las Cumbres, Torcoroma, Pueblo Nuevo y Lucerna (50 encuestas); Zona Especial: Los Fundadores, El Carmen y El Bosque (50 encuestas).

### Análisis de datos

Los datos que se obtuvieron a través del cuestionario se organizaron y sistematizaron a través del programa IBM SPSS, versión 21.0.0.0, para su tratamiento estadístico, mediante análisis descriptivo y modelo estadístico de Chi-Cuadrado para interrelación de variables sociodemográficas del cuestionario a través de una hipótesis alterna, igualmente se empleó la diferenciación por porcentaje para contrastar los datos del cuestionario vs los datos presentado por el Hospital Helí Moreno Blanco- HMB.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

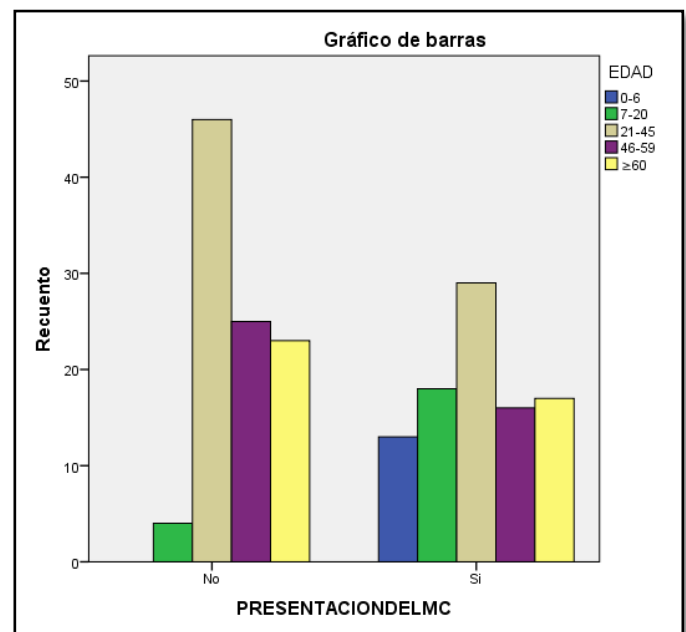
Los resultados del estudio muestran un grave problema de incidencia de la enfermedad en los últimos tres años.

**Tabla 1.** Presentación de LMC vs edad.

	Prueba de chi-cuadrado		
	Valor	gl	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	28.527 <sup>a</sup>	4	.000
Razón de verosimilitudes	34.309	4	.000
Asociación lineal por lineal	14.066	1	.000
N° de casos válidos	191		

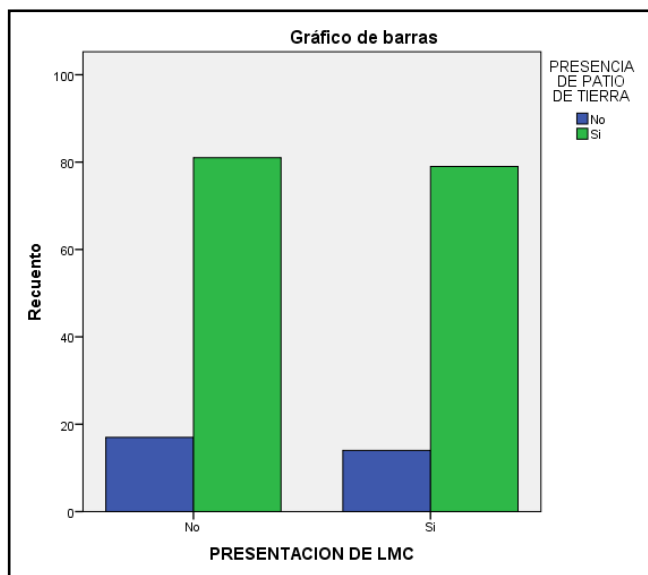
a. 0 casillas (.0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia mínima esperada es 6.33

De acuerdo con el resultado NO se acepta la hipótesis de independencia de las variables que planteaba la no correlación entre las variables presentación de LMC y edad de los sujetos participantes para una frecuencia mínima esperada de 6.33, por ende se acepta que SI existe una correlación entre la presentación de LMC y la edad de los participantes.

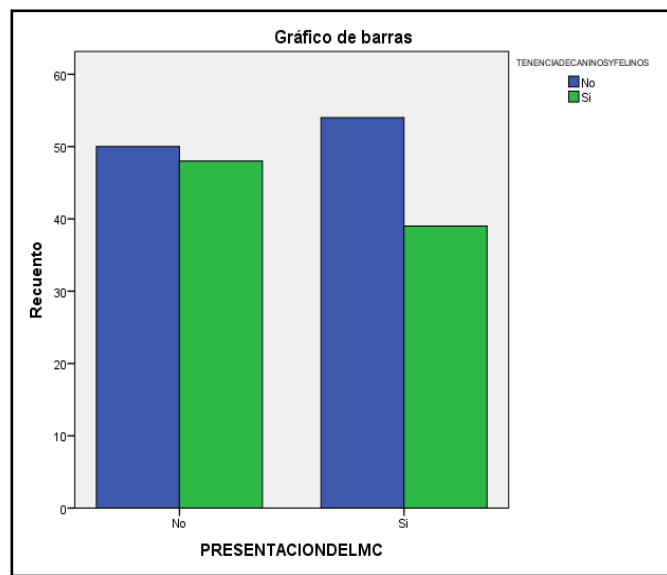


**Fig. 1:** Presentación de LMC vs edad

Según la figura anterior, el rango de edad en el que menos se presenta la patología es el de 7 a 20 años. Sin embargo, al analizar los casos positivos a través de la Figura, se aprecia un aumento de los casos en el rango de 21 años a 45 años respecto a los demás rangos de edad.



**Fig. 2:** Presentación de LMC vs presencia de patio de tierra



**Fig. 3:** Presentación de LMC vs tenencia de caninos y felinos

La Figura 2 demuestra que matemáticamente son similares los casos positivos y los negativos de LMC que presentaron personas con vivienda de patio de tierra, lo que también se puede denotar es que en Pailitas-Cesar son mucho más las viviendas que poseen patio de tierra que las que no lo tienen, sin embargo no existe una diferencia significativa entre los casos positivos y negativos respecto a la condición de tener o no patios de tierra en sus viviendas.

Para el resultado de las variables Presentación de LMC vs tenencia de caninos y felinos se aceptó la hipótesis de independencia de las variables, lo que quiere decir que NO existe relación entre tenencia de mascotas (perros y gatos) y presentación de LMC en miembros de los hogares consultados.

Soportando lo que arrojó la prueba de chi-cuadrado, se muestra en la Figura 3 que matemáticamente fue muy parecida (no diferencia estadísticamente significativa) la presentación y la no presentación de la patología tanto para personas con caninos y felinos, como para personas que viven sin éste tipo de animales.

Sin embargo ocurre algo muy particular, y es que, aunque estadísticamente no existe interrelación de variables entre la presentación de la patología y la tenencia de caninos y felinos en términos generales en el municipio de Pailitas, esto no ocurre si sólo se realiza comparación estadística en los barrios más marginados (zona especial) de Pailitas, en los cuales el resultado si es menor a 0,05, mostrando relación entre las variables presentadas (presentación de LMC vs tenencia de caninos y felinos).

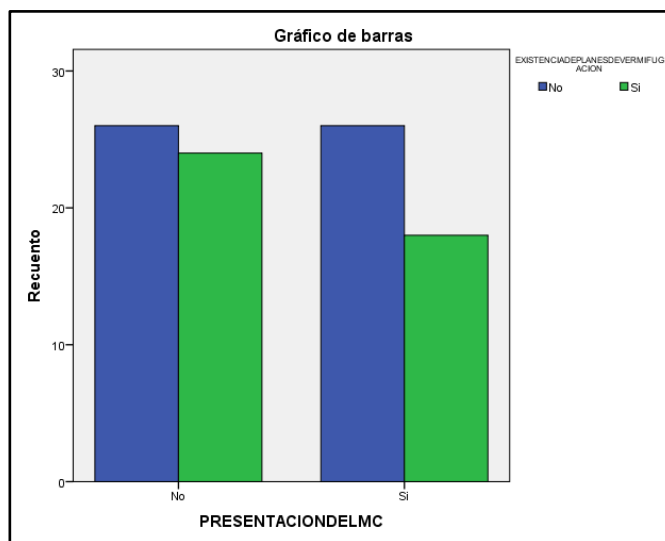
**Tabla 2.** Presentación de LMC vs tenencia de caninos y felinos en la zona especial de Pailitas

	Pruebas de chi-cuadrado				
	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)	Significación exacta (bilateral)	Significación exacta (unilateral)
Chi-cuadrado de Pearson.	9.169 <sup>a</sup>	1	.002		
Corrección de continuidad <sup>b</sup> .	7.107	1	.008		
Razón de verosimilitud.	9.777	1	.002		
Prueba exacta de Fisher.				.004	.003
Asociación lineal por lineal.	8.891	1	.003		
N° casos válidos	33				

a. 0 casillas (0.0%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 5.82  
 b. Sólo se han calculado para una tabla 2x2

Para la zona especial de Pailitas NO se acepta la hipótesis de independencia de las variables, pues sólo en ésta zona existe diferencia significativa respecto a la presentación de LMC entre quienes tienen y no tienen mascotas en sus casas, lo que quiere decir que para esta zona el tener mascotas en casa determina la aparición de ésta patología, lo que podría explicarse desde la poca o ninguna práctica sanitaria de los propietarios con sus mascotas como resultado de una tenencia no responsable.

Para las variables presentación de LMC vs planes de vermifugación la prueba de chi-cuadrado expresa que existen diferencias para estas variables, con un leve incremento de presentación de la patología en los hogares donde no se practican planes adecuados de vermifugación o desparasitación, tal como se puede apreciar en la Figura 4.



**Fig. 4.** Presentación de LMC vs planes de vermifugación

Frente a la relación entre presentación de LMC en diferentes zonas del municipio, se observó cómo los casos positivos en su mayoría se presentaron en la zona baja y la zona especial de Pailitas, las cuales se consideran como aquellas zonas más vulnerables y marginales del municipio, tal cual se aprecia en la Figura 5.

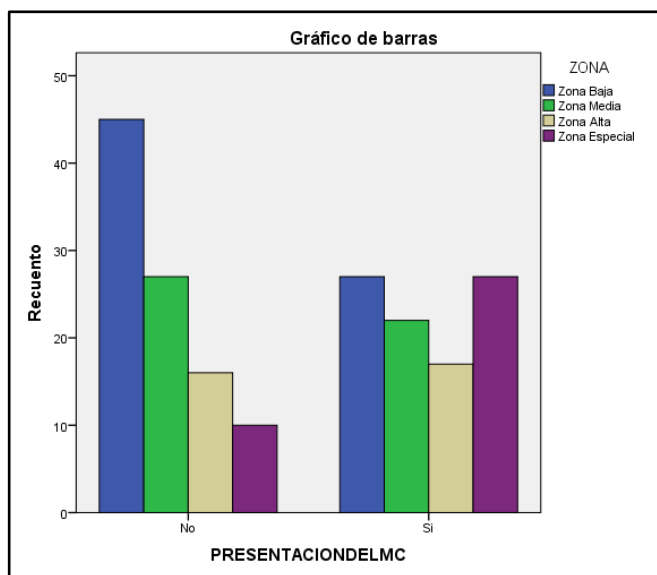


Fig. 5. Presentación de LMC vs la zona

Con respecto a la relación entre la variable presentación de LMC y zonas que más acuden al servicio médico, se puede observar como los habitantes de la zona especial de Pailitas presentan mayor número de visitas al médico referidas a ésta patología.

Tabla 3. Tratamientos caseros vs zona Pailitas

Prueba de chi- cuadrado			
	Valor	gl	Sig. Asintótica (bilateral)
<b>Chi-cuadrado de Pearson.</b>	11.793 <sup>a</sup>	3	.008
<b>Razón de verosimilitud.</b>	12.381	3	.006
<b>Asociación lineal por lineal.</b>	9.790	1	.002
<b>N° de casos válidos</b>	92		

a. 4 casillas (50.0%) tienen una frecuencia esperada inferior a 5. La frecuencia esperada es 1.66.

Para la relación entre las variables LMC y práctica de tratamientos caseros se observó que en la mayoría de casos positivos de LMC las personas en primera instancia practicaron tratamientos caseros para la patología, propios de las concepciones populares, antes de acudir al servicio médico del Hospital Helí Moreno. Siendo más marcada ésta práctica en las zonas baja y especial del municipio.

### Relación de datos de la encuesta vs datos reportados por el Hospital Helí Moreno- HMB

En el cuestionario se evidenciaron 93 casos positivos del síndrome LMC, de los cuales 61 acudieron a cita médica por sintomatología clínica asociada a la patología; partiendo de la premisa de que hubo un total de 210 encuestas válidas y 61 acudieron a cita médica, da como resultado que sólo el 29% de la población encuestada acude oportunamente al servicio médico. Estos datos también permiten asumir una prevalencia puntual de presentación de la enfermedad del 44% para la población estudiada.

Respecto a los datos proporcionados por el HMB, se reportan 149 casos de dermatitis no especificada asociada a sintomatología clínica del síndrome LMC para la población total de Pailitas la cual comprende en los 14.871 habitantes según datos DANE, dando como resultado una prevalencia oficial del 1.2% que coincide con el mismo número de visitas al médico respecto a la población de Pailitas.

Estos datos suscitan una especial atención en cuanto a la estimación de prioridades respecto a la necesidad urgente de implementación de programas de salud pública y la adopción de planes de saneamiento básico tendientes a mitigar los factores de riesgo en las comunidades, especialmente de aquellos que residen en la zona baja y especial del municipio de Pailitas.

### CONCLUSIONES

La presencia de LMC observada en el presente estudio permite inferir que la presentación de la patología tiene relación con la edad; sin embargo algunos autores plantean que la patología no depende de la raza, sexo ni edad, sin embargo, ésta depende de la exposición y es más frecuente en niños<sup>9, 10</sup>. Los resultados indican una expedita necesidad que el ministerio de salud y todas las autoridades de índole nacional, departamental y



municipal conozcan e incorporen la problemática existente por este tipo de patologías en los diagnósticos diferenciales de las personas que acuden al servicio de salud y que constituya un punto de partida para la implementación de políticas públicas gubernamentales para el cuidado del medio ambiente y la educación en salud, las cuales redundarán en la prevención de este tipo de enfermedades zoonóticas.

Dentro de las medidas de salud pública que se deben tomar, se encuentra el garantizar el acceso y la calidad de los servicios públicos y de salud, especialmente en las comunidades marginales; de igual manera debe haber educación en temas de higiene personal, manejo y eliminación de heces de mascotas y planes de vermifugación, control de la tasa de nacimiento de la población canina/felina callejera además del cuidado de los niños y la población en general que acude a espacios públicos de recreación y esparcimiento.

En concordancia, las condiciones socioclimáticas suscitan la transmisión e infección del parásito, ya que su ciclo biológico se puede dar cómodamente en climas tropicales como los del municipio de Pailitas-Cesar, puesto que éste parásito usa el suelo para cumplir su ciclo biológico y es de aquí donde se transmite al ser humano<sup>11,12,13,14</sup> y como se observó en la estadística, matemáticamente las zonas bajas y marginadas (zona especial) fueron las de mayor interacción con LMC, zonas donde gran parte de las calles se encuentran sin pavimentar (en tierra); sumado a la gran cantidad de perros callejeros que se encuentran en estas zonas y que defecan libremente por estas calles, y aunque en este estudio se evidenció que no hay relación entre la presentación de la patología y la tenencia de caninos y felinos, según la literatura reportada las casas con perros y/o gatos sin desparasitar son lugares idóneos para adquirir la enfermedad,

llegando en algunos casos a presentar brotes familiares<sup>15,16,17</sup>.

Como elemento final, los resultados obtenidos sirven de indicio respecto a la situación epidemiológica y de salud pública actual de LMC en la zona urbana de Pailitas-Cesar y permite inferir respecto al estado de la dinámica de presentación en contextos socioeconómicos similares. Los factores de riesgo encontrados y contrastados con la literatura permiten declarar que la educación en salud, la correcta higiene y los correctos planes de vermifugación de mascotas, pueden intervenir en la prevención de esta patología.

La literatura consultada permite deducir que los parques y zonas públicas constituyen un factor de riesgo para la adquisición de enfermedades parasitarias en los animales y los seres humanos. Debido a la importancia de este evento en Salud Pública, es necesario instaurar políticas que involucren a las comunidades, en procura de mejorar sus prácticas sanitarias en lugares recreacionales con relación a la tenencia adecuada de los animales domésticos<sup>18</sup>.

El presente estudio constituye un elemento técnico que busca coadyuvar al médico facultativo para que planteé un idóneo abordaje clínico y epidemiológico que lleve a un correcto registro y tratamiento de tan importante patología de carácter zoonótica de alta incidencia en la población de estudio del municipio de Pailitas-Cesar.

## REFERENCIAS

1. Wright, M. (2014). Cutaneous Larva Migrans. Disponible en: <http://medical.azureedge.net/pdf/9099.pdf?v=636220876181746292>
2. Valverde, A., & Díaz, D. (s.f). Toxocariasis. Obtenido de Sociedad Española de Oftalmología, Disponible en <http://www.oftalmoseoformacion.com/wp->

- [oftalmoseo/documentacion/cap\\_07\\_toxocarisis.pdf](#)
3. Rodríguez, M., Gutiérrez, R., Acosta, M., & Ramos, A. (2001). Larva Migrans, reporte de dos casos. Disponible en <http://www.medigraphic.com/pdfs/derma/cd-2001/cd011f.pdf>
  4. Castro, V., Cerdeira, V., & Martin, P. (2002). Larva migrans cutánea: diagnóstico de sospecha y tratamiento en atención primaria. Disponible en [http://projectes.camfic.cat/CAMFiC/Seccions/Recerca/Docs/Nota\\_Clinica.pdf](http://projectes.camfic.cat/CAMFiC/Seccions/Recerca/Docs/Nota_Clinica.pdf)
  5. Sanclemente, G., Mahecha, M., & Guzmán, C. (1999). Enfermedades de la piel más frecuente en la consulta externa dermatológica del Hospital Universitario San Vicente de Paul y del Hospital
  6. Dandén Tello, E., & Oñate Cuchet, M. (1994). Dermatitis causadas por artrópodos, helmintos y protozoos (1ra ed.). Madrid: Luzán.
  7. Guarín, C., Serrato, M., & Sánchez, F. (2015). Determinación de huevos de *Toxocara Canis* en suelos de tres parques públicos de Duitama. Obtenido de UPTC: Disponible en [http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia\\_agricultura/article/viewFile/4806/3872](http://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_agricultura/article/viewFile/4806/3872)
  8. Ministerio de Salud y Protección Social. (2013). Plan decenal de salud pública. Obtenido de MinSalud Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Documentos%20y%20Publicaciones/Plan%20Decenal%20-%20Documento%20en%20consulta%20para%20aprobaci%C3%B3n.pdf>
  9. Torres, Y., Pérez, G., & Antúnez, L. (2017). Larva Migrans Cutánea. Presentación de un caso. Disponible en <https://www.revista-portalesmedicos.com/revista-medica/larva-migrans-cutanea-caso-clinico-2/>
  10. Kaminsky, R. (2011). Parasitología clínica. Obtenido de Biblioteca virtual de salud de Honduras. Disponible en <http://www.bvs.hn/Honduras/Parasitologia/V.Parasitologia-Clinica-10-16.pdf>
  11. Ramon, Otero, & Garcia. (2017). Larva migrans cutánea, una enfermedad cada vez más frecuente. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S021392511730179X>
  12. Faura, M. y. (2013). Larva migrans cutánea. Disponible en <http://scihub.io/http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1134207213706741>
  13. Gómez, R. y. (1996). Larva cutánea migrans. Asociación española de pediatría Disponible en <https://www.aeped.es/sites/default/files/anales/45-3-15.pdf>
  14. Panés, Piera, López, Ormaetxea, Gutiérrez, & Tuneu, I. y. (2016). Larva migrans cutánea de origen autóctono en Guipúzcoa. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001731016000107>
  15. Carrada, T. (2006). Larva migrans cutánea: revisión del tema y descripción de cuatro casos. EBSCO Disponible en <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=8e06eb28-4865-4b4b-9f5d-65c851264bfb%40sessionmgr4008&bdat>

[a=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=asn&AN=20791870](https://doi.org/10.1186/1745-6216-9-1870)

16. Pereyra, Rojas, Castro, & Alegre. (2004). Larva migrans cutánea. A propósito de un caso. Scielo Disponible en [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-06752004000100007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-06752004000100007)
17. Pérez, Rodríguez, Barceló, & Sanchén. (2014). Larva migrans cutánea: reporte de cuatro casos. Disponible en [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552014000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552014000200008)
18. Polo-Terán, L. J., Cortés-Vecino, J. A., Villamil-Jiménez, L. C., & Prieto, E. (29 de Octubre de 2007). Revista de salud pública. Disponible en <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2007.v9n4/550-557>

## Estudio de la dinámica de agregación proteica con TRP-cage

### *Study of protein aggregation dynamics with TRP-cage*

Recibido 20 Mayo 2018,  
Aceptado 11 Julio 2018

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

Cristian L. Faundez,<sup>a</sup> Ariel G. Meyra<sup>b</sup> y Gastón C. Ferrara<sup>† a,b</sup>

**Resumen:** Estudiamos mediante Dinámica Molecular (MD) la agregación de dos mini proteínas como el TRP-cage (TRP) en condiciones de pH neutro y con solvente explícito. Los resultados corresponden a dos sistemas diferentes, el primero con 3952 moléculas de agua en presencia de un TRP y el segundo con 7654 moléculas de agua y dos TRPs. Ambos sistemas fueron simulados en ensambles NVT y NPT a T=300 K y P=1 bar. Los resultados muestran la formación de dímeros estables en tiempos de simulación cortos. Los análisis hechos a partir de la superficie accesible al solvente muestran que el mecanismo principal o impulsor de la formación de estos dímeros a pH neutro es la interacción de tipo hidrofóbica entre distintos sectores de la proteína (aminoácidos hidrofóbicos). **Palabras claves:** Proteínas, TRP-cage, Superficie Accesible al Solvente (SASA).

**Abstract:** We studied by molecular dynamics (MD) aggregating two mini proteins such as TRP-cage (TRP) in neutral pH conditions and with explicit solvent. The results correspond to two different systems, the first with 3952 water molecules and one TRP and the second with 7654 water molecules and two TRPs. Both systems were simulated in NVT and NPT ensembles, with T = 300 K and P = 1 bar. The results show the formation of stable dimers in short simulation times. The analyzes made from the surface accessible to the solvent show that the main mechanism or driver of the formation of these dimers at neutral pH is the hydrophobic interaction between different sectors of the protein (hydrophobic amino acids). **Keywords:** Proteins, TRP-cage, Solvent Accessible Surface (SASA).

## INTRODUCCIÓN

El estudio del proceso de plegamiento proteico es de vital importancia para entender muchos de los eventos biológicos que ocurren en la célula. Así mismo, existen una serie de desórdenes conformacionales en la proteína ya plegada responsables en la aparición de patologías como la diabetes tipo 2, las cataratas, y desórdenes neurodegenerativos como la enfermedad de Alzheimer, Parkinson, Huntington, llegando incluso a ser mortales como es el caso de las encefalopatías espongiiformes transmisibles *e.g.*, la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob. Los mecanismos moleculares que desencadenan estas enfermedades son producto del *desorden de conformación proteico*

(DCP) y se han convertido en objeto de gran atención actualmente<sup>1-8</sup>.

Si solo tomamos como referencia la enfermedad de Parkinson, veríamos que su prevalencia es cercana al 2% en poblaciones mayores a 65 años, lo que transforma a esta enfermedad y al resto de los DCPs en un motivo de creciente preocupación para la población general.

Los mecanismos moleculares responsables de estos estados de agregación no han sido correctamente dilucidados, aunque es de consenso general que cuando las proteínas no se pliegan correctamente y, dependiendo de su entorno, o incluso aunque se plieguen correctamente pueden cambiar su conformación espontáneamente, produciéndose un estado de agregación proteica. Uno de los factores centrales que contribuye a la agregación son las interacciones moleculares entre las proteínas mal plegadas.

Dependiendo del entorno estos agregados pueden adoptar diversas formas que dan lugar a estructuras

<sup>a</sup>. Instituto de Ingeniería y Agronomía, Universidad Nacional Arturo Jauretche.

<sup>b</sup>. Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos, CONICET, Universidad Nacional de La Plata.

<sup>†</sup> [gferrara72@gmail.com](mailto:gferrara72@gmail.com)

mayores, siendo la más común la de tipo  $\beta$  amiloide. Este tipo de conformación le confiere a los agregados una gran resistencia ante mecanismos de degradación o desnaturalización, además de un carácter tóxico.

Los agregados proteicos asociados a las DCPs están conformados por proteínas que poseen un número importante de aminoácidos en su secuencia. Si tomamos como referencia la enfermedad de Parkinson, la proteína agregada es la  $\alpha$  sinucleína la cual se compone de 140 aminoácidos en su secuencia. Los tamaños proteicos y la carencia de estructura de algunas de las proteínas involucradas en los DCPs dificultan el estudio por medio de técnicas de simulación computacional. A fin de evitar grandes costos computacionales, hemos seleccionado como modelo de simulación la mini proteína Trp-cage, la cual es un excelente sistema para estudios de tipo experimental y teórico, encontrándose, además, ampliamente referenciada en estos campos. Esta proteína que está compuesta por una secuencia de 20 aminoácidos, tiene la propiedad de agregarse con facilidad cuando se desestabiliza su estructura, y por lo tanto consiste en un modelo adecuado para caracterizar la agregación y la formación de amiloides. Como condición extra se trata de una proteína de rápida cinética de plegamiento y gran estabilidad termodinámica<sup>9-11</sup>.

En este trabajo presentamos los resultados obtenidos para la dinámica de agregación de Trp-cage en condiciones de pH neutro. Se utilizó Dinámica Molecular (DM) como técnica central de simulación la cual nos permite obtener información sobre los mecanismos microscópicos subyacentes y la evolución temporal de la agregación de proteínas en solución. Observamos importantes cambios en el área accesible al solvente total de la proteína y en las distancias entre las regiones más hidrofóbicas (molécula de triptófano) cuando ocurren los estados de agregación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de proteínas (Trp-cage) en agua como solvente explícito. Las condiciones de las

cajas de simulación se indican en la Tabla 1, siendo A el sistema de control y B el sistema agregado.

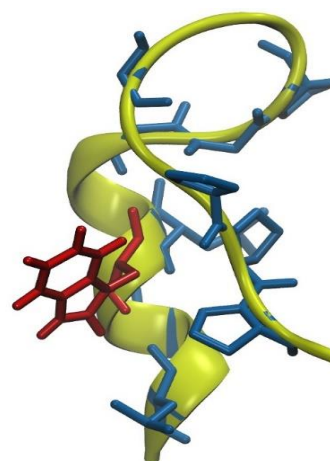
**Tabla 1.** Se indican en esta tabla los dos sistemas simulados y sus respectivas composiciones moleculares e iónicas.

Sistema	Número de Proteínas	Número de aguas	Número de iones de Cl <sup>-</sup>
A	1	3952	1
B	2	7654	2

La carga neta de la proteína Trp-cage no es nula, por lo que es necesario insertar 1 y 2 iones de cloro (Cl<sup>-</sup>) para lograr que los sistemas simulados se hallen en un equilibrio electrostático.

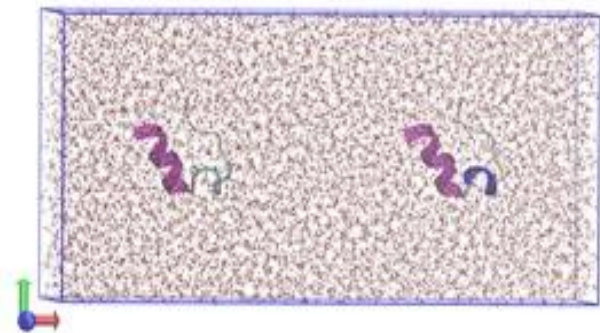
Esta proteína posee distintos tipos de estructuras secundarias, donde resalta una estructura de tipo  $\alpha$ -hélice y un núcleo hidrofóbico formado por la cadena lateral del residuo triptófano (Trp) entrecerrado por anillos compuestos de residuos de prolina (Pro). En el resto del esqueleto proteico (*backbone*) se pueden observar varios sectores de un comportamiento altamente hidrofóbico debido a la presencia de varios residuos de prolina (Pro) y leucina (Leu).

En la figura 1 representamos a la proteína en solución utilizada para el sistema de control A, donde han sido extraídas las moléculas de agua y cloro para facilitar la visualización de su estructura.



**Fig.1:** Estructura de la proteína TRP-cage. En amarillo se representa la cadena central, en azul los sectores hidrofílicos y en rojo se representa el *core* hidrofóbico compuesto por el triptófano.

En la figura 2 se muestra el sistema B completo en su condición inicial de simulación.



**Fig. 2:** Sistema B (Tabla I), compuesto por dos proteínas de Trp-cage en solución y dos moléculas de cloro (para mantener el sistema con carga nula), en su configuración inicial.

### Detalles de Simulación

Las trayectorias se obtuvieron usando como técnica central la Dinámica Molecular mediante el paquete de simulación GROMACS 2016<sup>12</sup> en dos tipos de ensamble NVT y NPT, siendo las dimensiones de las cajas de simulación A y B de  $X=5.23, Y=4.92, Z=4.28$  nm y  $X=10.63, Y=4.92, Z=4.28$  nm, respectivamente. Se utilizaron condiciones periódicas de contorno en todos los ejes y para todos los sistemas. En los dos casos se utilizó el modelo de agua *SPC/E*, el cual es un modelo rígido y de tres puntos<sup>13</sup>. La temperatura y la presión se controlaron con el termostato y baróstato de *Berendsen*<sup>14</sup>. El baño térmico se mantuvo en los dos sistemas alrededor de los  $300 \pm 2$  K. El baño de presión fue de 1 bar para el ensamble NPT.

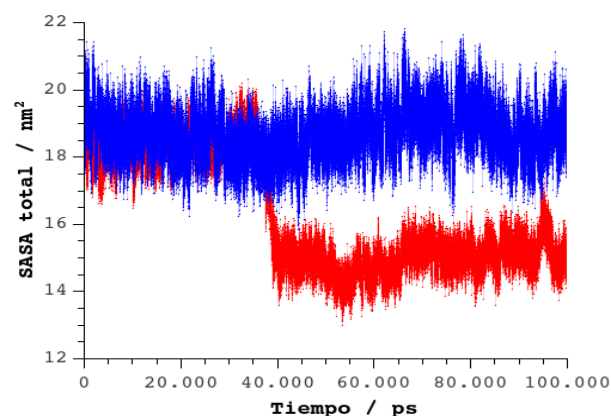
Las interacciones de largo alcance se calcularon utilizando *Reaction Field*<sup>15</sup>, con una constante dieléctrica de 78 y un radio de corte de 1.2 nm para todas las interacciones. El paso de integración utilizado durante las simulaciones fue de 2 fs. Durante los procesos de minimización, estabilización y simulación se utilizó el campo de fuerza *gromos54a7*<sup>16</sup>. El tiempo de simulación para ambos sistemas fue de 100 ns.

Con el fin de poder determinar los cambios que se producen en los estados de agregación de las proteínas para ambos ensambles, utilizamos una herramienta de análisis conocida dentro de la

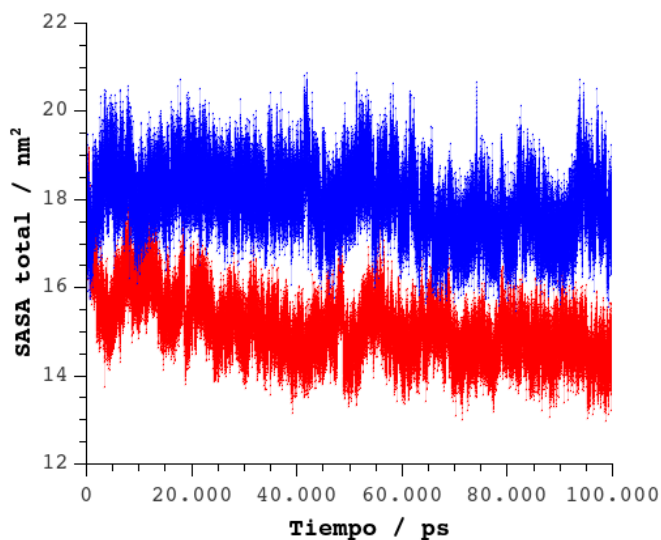
Dinámica Molecular como Superficie Accesible al Solvente (SASA). Básicamente este algoritmo funciona considerando una esfera rígida de iguales dimensiones al solvente la cual (*roller*) recorre la superficie de la proteína determinando su área.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 3 y 4 podemos observar el área accesible al solvente (SASA) para toda la proteína en los ensambles NVT y NPT respectivamente.



**Fig.3:** Superficie Accesible al Solvente (SASA) total por proteína vs tiempo para los sistemas A y B en ensamble NVT. Los triángulos azules corresponden al sistema A y los triángulos rojos al sistema B.



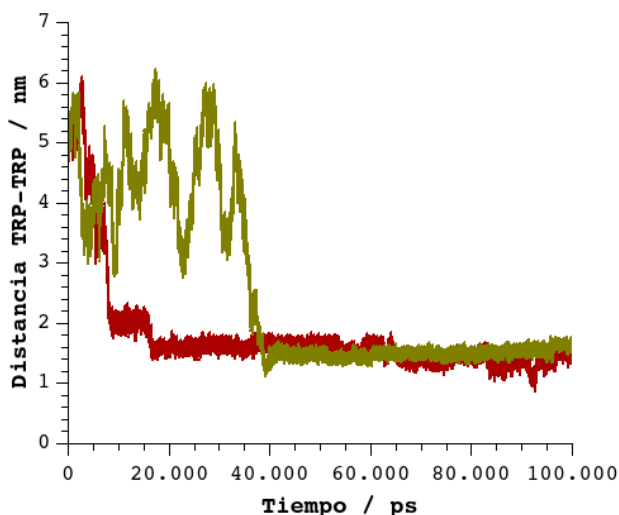
**Fig.4:** Superficie Accesible al Solvente (SASA) total por proteína vs tiempo para los sistemas A y B en ensamble NPT. Los triángulos azules corresponden al sistema A y los triángulos rojos al sistema B.

Es interesante observar en la figura 3 como el sistema de dos proteínas en un tiempo cercano a los 40 ns cambia drásticamente el área expuesta al

solvente, lo que parece estar asociado al cambio que se produce en el sistema cuando las dos proteínas se agregan, correspondiendo a un estado de menor energía.

Así, el área total accesible al solvente por proteína resulta menor que la que se observa para una proteína aislada a igual condición. Por su parte, en el ensamble NPT (Figura 4) no se observan cambios importantes o algún tipo de transición en las superficies accesibles al solvente, aunque el área por proteína es ligeramente menor cuando tenemos un sistema con dos proteínas que con uno y la monotonía del comportamiento es similar en ambos sistemas.

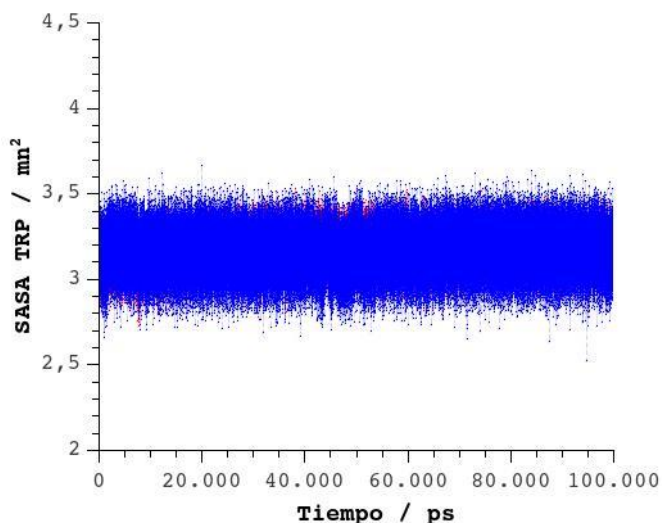
En la figura 5 se observa la distancia entre triptófanos durante la simulación para el sistema B en ambos ensambles.



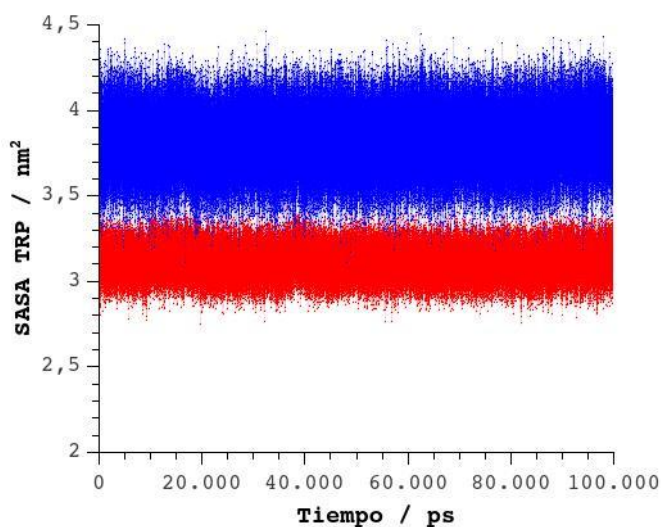
**Fig. 5:** Interdistancia entre TRP (triptófano) a lo largo de la dinámica para el sistema B para los ensambles NPT y NVT. Los triángulos marrones corresponden al ensamble NPT y los triángulos verdes al ensamble NVT.

La figura muestra claramente el cambio en las distancias entre triptófanos produciéndose la agregación en un tiempo cercano a los 40 ns para el sistema en el ensamble NVT con una mayor fluctuación. En el sistema con ensamble NPT la agregación entre ambas proteínas parece producirse muchos más rápido, ligeramente mayor a los 10 ns y con menor fluctuación. Ambos sistemas convergen a distancias similares entre triptófanos cuando se agregan.

Las figuras 6 y 7 muestran el área accesible al solvente para el triptófano de ambos sistemas y para cada ensamble.



**Fig. 6:** Superficie Accesible al Solvente (SASA) del triptófano por proteína vs tiempo para los sistemas A y B en ensamble NPT. Los triángulos rojos corresponden al sistema B y los triángulos azules al sistema A.



**Fig. 7:** Superficie Accesible al Solvente (SASA) del triptófano por proteína vs tiempo para los sistemas A y B en ensamble NVT. Los triángulos rojos corresponden al sistema B y los triángulos azules al sistema A.

La superficie accesible al solvente para el triptófano no se ve afectada (Figura 6) cuando el sistema se agrega en el ensamble NPT, el *core* hidrofóbico no parece experimentar cambios. Sin embargo en el ensamble NVT se observa un ligero cambio en la

superficie accesible al solvente para el triptófano, disminuyendo su área cuando se agrega.

El core hidrofóbico se ve claramente afectado por la agregación, siendo este comportamiento consistente con el observado para la superficie accesible total al solvente (Figura 4). Los cambios observados cuando se forman estos dímeros estables en el ensamble NVT parecen estar guiados principalmente por cambios en la hidrofobicidad del sistema. Más precisamente por los cambios que se producen en el agua del entorno ya que en este ensamble la presión es del orden de 2.2 Kbar.

## CONCLUSIONES

En este trabajo presentamos el estudio de la dinámica de agregación en diferentes condiciones termodinámicas (ensambles NVT y NPT) para sistemas a pH neutro de dos proteínas Trp-cage. Los resultados nos muestran que la dinámica de agregación en condiciones de presión constante es más rápida que a volumen constante, pero en ambos casos se forman dímeros estables. Además, de acuerdo a los resultados del SASA para la proteína y para el triptofano observamos que la proteína experimenta cambios en las regiones hidrofóbicas, acentuándose el efecto cuando la presión del sistema es mayor y hay una marcada pérdida en la estructura del agua (NVT). Estos resultados sugieren que la fuerza impulsora de la agregación de estas proteínas a pH neutro es centralmente de carácter hidrofóbico. Simulaciones con mayor número de moléculas de proteínas seguramente darán como resultado un agregado tipo micelar.

## AGRADECIMIENTOS

- Universidad Nacional Arturo Jauretche (UNAJ).
- Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos (IFLYSIB).
- Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

## REFERENCIAS

1. Koo, E. H., Lansbury, P. T., & Kelly, J. W. Amyloid diseases: abnormal protein aggregation in neurodegeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(18), 9989-9990 (1999).

2. Hashimoto, M., Rockenstein, E., Crews, L., & Masliah, E.. Role of protein aggregation in mitochondrial dysfunction and neurodegeneration in Alzheimer's and Parkinson's diseases. *Neuromolecular medicine*, 4, 21-35 (2003).
3. Chesebro, B., Trifilo, M., Race, R., Meade-White, K., Teng, C., LaCasse, R., & Caughey, B. Anchorless prion protein results in infectious amyloid disease without clinical scrapie. *Science*, 308, 1435-1439 (2005).
4. Anne Stuenkel, Marcel Kunadt, Niels Kruse, Claudia Bartels, Wiebke Moebius, Karin M. Danzer, Brit Mollenhauer and Anja Schneider. Induction of  $\alpha$ -synuclein aggregate formation by CSF exosomes from patients with Parkinson's disease and dementia with Lewy bodies. *Brain*, 139, 481-494 (2016).
5. Reinhard Klement, Timo Graen, Asaf Grupi, Elisha Haas and Helmut Grubmüller. Molecular Dynamics Simulations of Alpha-Synuclein Ensemble FRET Measurements from Different Force Fields. *Biophysical Journal*. 110, 551 (2016).
6. Takemoto, L., & Sorensen, C. M. Protein-protein interactions and lens transparency. *Experimental eye research*, 87(6), 496-501 (2008).
7. Wang, W., Nema, S., & Teagarden, D. (2010). Protein aggregation-Pathways and influencing factors. *International journal of pharmaceuticals*, 390, 89-99 (2010).
8. Chi, E. Y., Krishnan, S., Randolph, T. W., & Carpenter, J. F. Physical stability of proteins in aqueous solution: mechanism and driving forces in nonnative protein aggregation. *Pharmaceutical research*, 20, 1325-1336 (2003).



9. Sang Beom Kim, Devansh R. Gupta and Pablo G. Debenedetti. Computational investigation of dynamical transitions in Trp-cage miniprotein powders. *Scientific Reports* 6, Article number: 25612 (2016).
10. Soichiro Kitazawa, Martin J. Fossat, Scott A. McCallum, Angel E. Garcia and Catherine A. Royer. NMR and Computation Reveal a Pressure-Sensitive Folded Conformation of Trp-Cage. *J. Phys. Chem. B.* 121, 1258–1267 (2017).
11. Zhou, R. Trp-cage: folding free energy landscape in explicit water. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 13280-13285 (2003).
12. Hess, Berk and Kutzner, Carsten and Van Der Spoel, David and Lindahl, Erik. GROMACS 4: algorithms for highly efficient, load-balanced, and scalable molecular simulation, *J. Chem. Theory Comput.* 3, 435 (2008).
13. H. J. C. Berendsen, J. R. Grigera, and T. P. Straatsma, *The missing term in effective pair potentials.* *J. Phys. Chem.* 91, 6269 (1987).
14. H. J. C. Berendsen, J. P. M. Postma, A. DiNola, and J. R. Haak. *Molecular dynamics with coupling to an external bath,* *J. Chem. Phys.* 81, 3684 (1984).
15. I.G. Tironi, R. Sperb, P.E. Smith, W.F. van Gunsteren *J. Chem. Phys.* 102, 5451 (1995).
16. Nathan Schmid, Andreas P. Eichenberger, Alexandra Choutko, Sereina Riniker, Moritz Winger, Alan E. Mark and, Wilfred F. van Gunsteren. Definition and testing of the GROMOS force-field versions 54A7 and 54B7, *European biophysics journal*, 40, 843 (2011).

## Interacciones entre plantas y bacterias promotoras de crecimiento vegetal

### *Interactions between plants and bacteria plant growth promoting*

Efren Ramos<sup>†a</sup>, Blanca Bonilla<sup>a</sup>, Mario Aguilar<sup>c</sup>

Recibido 4 Junio 2018,  
 Aceptado 12 Julio 2018

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

**Resumen:** Es bien conocido que un número considerable de especies bacterianas asociadas a la rizosfera, filosfera y endosfera de las plantas es capaz de ejercer un efecto benéfico en su crecimiento. Este grupo de bacterias llamadas bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), se caracterizan por su habilidad de incrementar diferentes parámetros de crecimientos, estos efectos se explican por su capacidad de fijar nitrógeno, producción de fitohormonas, enzimas, solubilización de fosfatos y protección de las planta contra fitopatogenos. En la presente revisión nos propusimos abordar el tema sobre las características más relevantes de las bacterias promotoras de crecimiento de las plantas y los diferentes sitios de colonización en la planta huésped. **Palabras claves:** BPCV, interacción plantas-microorganismo.

**Abstract:** It is well known that a considerable number of bacterial species associated with the rhizosphere, the phyllosphere and the endosphere of plants is able to exert a beneficial effect on their growth. This group of bacteria called plant growth promoting bacteria (BPCV), is characterized by its ability to various growth parameters. These effects are explained by their capacity to fix nitrogen, production of phytohormones, enzymes, solubilization of phosphates and protection of plants against phytopathogens. In the present review we proposed to approach the issue about the most relevant characteristics of the bacteria that promote the growth of plants and the different colonization sites in the host plant. **Key words:** BPCV, plant-microorganism interaction.

### INTRODUCCIÓN

El término de bacterias promotoras de crecimiento vegetal fue introducido por Kloepper y Schroth para referirse a aquellas comunidades bacterianas del suelo capaces de colonizar diferentes órganos de las plantas<sup>1</sup>. Los mismos autores en 1981, ampliaron este concepto, incluyendo dentro de la denominación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal (abreviado BPCV por sus iniciales siglas en inglés) a todos aquellos microorganismos capaces de estimular el crecimiento de las plantas posterior a la colonización<sup>2</sup>.

Las BPCV se encuentran asociadas a un amplio espectro de especies vegetales presentes en diferentes ambientes<sup>3</sup>. Basados en la interacción

con la planta huésped los mecanismos de promoción se clasifican en directos e indirectos<sup>1-4</sup>. Es pertinente aclarar que en la mayoría de las bacterias BPCV no se restringen a un único mecanismo de acción, por lo que el efecto sobre la planta puede resultar de la combinación de la actividad de dos o más mecanismos de acción<sup>5</sup>.

### MECANISMOS DE PROMOCIÓN DIRECTA

Los mecanismos directos son los procesos que facilitan el acceso de nutrientes poco disponibles o modulan los niveles de hormonas que intervienen en el proceso de crecimiento<sup>6</sup>.

### Fijadores de nitrógeno

El gas dinitrógeno (N<sub>2</sub>) representa la forma de nitrógeno más abundante en la biosfera, pero no puede ser utilizada por la mayoría de los organismos, incluyendo las plantas. La fijación

<sup>a</sup> Corporación Universitaria Comfacaucá, Unicomfacaucá. Cl. 4 #8-30, Popayán, Cauca.

<sup>b</sup> Investigador superior CONICET-UNLP (Argentina).

<sup>†</sup> efrenramos1287@gmail.com

biológica del nitrógeno (BNF), es decir la reducción de  $N_2$  en amonio mediado por la enzima nitrogenasa, es un proceso exclusivo de organismos procariotas<sup>7,8</sup>. Esta actividad ayuda a suplir a la biosfera con compuestos nitrogenados y a la vez compensa las pérdidas generadas por efectos de la desnitrificación. Es una alternativa sustentable y económica que permite disminuir la fertilización química, y suplir las necesidades de nitrógeno de la planta<sup>6,8-10</sup>.

La comunidad fijadora de nitrógeno presenta una diversidad taxonómica y fisiológica importante, incluyendo especies en la mayoría de los géneros conocidos de arqueas y bacterias. Los diazótrofos se pueden clasificar según su estrategia de vida en microorganismos simbióticos (*Rhizobium spp.*), asociativos (*Azospirillum spp.*, *Azotobacter spp.* etc.) o de vida libre (*Klebsiella spp.* y *Rhodospirillum spp.*)<sup>11</sup>. El componente de fijadores de nitrógeno es la principal característica de muchos inóculos usados como biofertilizantes dentro de los cuales se destacan los basados en *Azospirillum spp.*<sup>12</sup>, *Azotobacter spp.*, *Burkholderia spp.*<sup>13</sup>, *Rhizobium spp.*<sup>14</sup> entre otros.

### Microorganismos solubilizadores de fósforo

El fósforo (P) es un factor limitante en la producción agrícola ya que es un macroelemento esencial para el crecimiento de las plantas. El mayor reservorio de este mineral se encuentra en formas no asimilables para la planta, representando en sales insolubles del 75 al 90% del fósforo total del suelo. Una proporción importante de los fosfatos solubles agregados es rápidamente fijado en forma de fosfatos de hierro, aluminio y calcio generando su precipitación y adsorción por los coloides del suelo, lo que pone de relieve las limitaciones del uso de fertilizantes de origen químico<sup>15</sup>. Un número considerable de bacterias denominadas comúnmente PSB (Phosphorous Solubilizing Bacteria) poseen la capacidad de solubilizar las formas de P inorgánico mediante la producción de ácidos orgánicos y/o la producción de agentes quelantes. Estas bacterias se encuentran distribuidas en diferentes ecosistemas, aunque el

tipo y naturaleza del microorganismo está condicionado al suelo y vegetación presentes<sup>16</sup>. Se ha investigado el uso de estas bacterias como inoculante en numerosas especies vegetales, demostrando que esta práctica permite incrementar simultáneamente la absorción de fósforo y el rendimiento de los cultivos<sup>10-18</sup>.

### Microorganismos productores de fitohormonas

Se trata de hormonas vegetales que regulan parámetros como el crecimiento, la división celular o extensión de la raíz<sup>19,20</sup>. Este es uno de los aspectos de las actividades promotoras del crecimiento que mayor interés suscitan desde el punto de vista agrícola. En la literatura se encuentra reportado que diversas especies bacterianas producen diferentes tipos de hormonas.

**Las auxinas** incluyen ácido indolacético (AIA), ácido indolbutírico (IBA) o sus precursores<sup>19,21,22</sup>. Estas moléculas tienen una gran influencia en el crecimiento de las plantas, especialmente de la raíz y en la regulación de la germinación<sup>23-26</sup>.

**Las giberelinas** son un amplio grupo de moléculas, de las cuales 4 tipos son sintetizados por BPCV (GA1, GA2, GA3 y GA20)<sup>27</sup>. Estas hormonas son transportadas desde las raíces a las partes aéreas de la planta, donde los efectos que ejercen son notables y más aún cuando las bacterias también tienen la capacidad de producir auxinas que estimulan el sistema radicular mejorando el suministro de nutrientes para facilitar el crecimiento en la parte aérea<sup>28</sup>.

**Las citoquininas** promueven y mantienen la división celular de las plantas y están involucradas en varios procesos de diferenciación que incluyen la formación de los brotes o el crecimiento primario de la raíz, entre los microorganismos más conocidos por producir citoquininas se encuentran: *Pseudomonas sp.*, *Azospirillum sp.* y *Bacillus sp.*, *Klebsiella sp.*, *Xanthomonas*<sup>28,29</sup>.

**El etileno** es una hormona difusible que tiene un rol preponderante como mediador y coordinador de las señales internas y externas que modulan la dinámica del crecimiento y los programas de

desarrollo en las plantas<sup>30</sup>. Se ha demostrado que determinadas BPCV productoras de la enzima ACC desaminasa son capaces de llevar a cabo la descomposición del precursor del etileno, el ácido aminociclopropano carboxílico (ACC), aliviando o atenuando el estrés de las plantas en situaciones de salinidad, sequía, calor, frío, presencia de metales pesados o por estrés producto de agentes fitopatógenos<sup>31,32</sup>.

## MECANISMOS DE PROMOCIÓN INDIRECTA

Los mecanismos indirectos son aquellos asociados a la sanidad de la planta ya sea mediante el control de los patógenos (biocontrolador) o la inducción de resistencia<sup>33-37</sup>.

### Control biológico

La forma de realizar esta tarea es variada, desde la producción de sustancias antibióticas, producción de los propios sideróforos, excreción de enzimas líticas, entre otros<sup>38</sup>. Los sideróforos producidos por las BPCV son moléculas secretadas por microorganismos en condiciones de deficiencia de hierro para secuestrar este metal de su entorno. Este mismo mecanismo que emplean las BPCV para captar los metales, compromete el desarrollo de los fitopatógenos que pueden infectar con la planta, ya que estos también requieren de los metales para su correcto crecimiento<sup>39</sup>. En cuanto a la antibiosis, los mecanismos por los que se consiguen se han ido describiendo a lo largo de las últimas décadas. Es sabido que las cascadas genéticas que regulan la síntesis de estos componentes están reguladas a su vez por condiciones ambientales, como pueden ser el pH, distintas fuentes de nutrientes, elementos traza, varios tipos de estímulos; incluso el genotipo de la planta huésped ha resultado tener influencia en la regulación de la síntesis de estos compuestos<sup>40</sup>.

La producción de enzimas líticas por parte de las bacterias supone otro mecanismo de biocontrol. Algunas de estas enzimas son quitinasas, celulasas, lipasas o proteasas que tienen la capacidad de hidrolizar partes de la pared celular de muchos

hongos fitopatógenos<sup>41</sup>. Todos estos mecanismos los emplean las bacterias para poder competir por el rico nicho que supone la rizósfera de forma que ellas se vean favorecidas por su colonización. A su vez esta actividad de las bacterias favorece a las plantas protegiéndolas de la colonización por patógenos o incluso induciendo mecanismos de resistencia que empleará la planta por sí misma<sup>42</sup>.

## Procesos de colonización en plantas

Las interacciones planta-microorganismo son altamente complejas y dinámicas, estas comienzan con la etapa de colonización microbiana la cual puede ocurrir en distintas superficies vegetales, como en la filósfera, rizósfera y endófito.

**La filósfera** comprende la superficie de la hoja, es considerada como un ambiente hostil para el desarrollo de microorganismos debido a las fluctuaciones en las condiciones físicas y químicas que las caracterizan. Es un hábitat que está expuesto a fuertes cambios de temperatura, humedad relativa, lluvia, vientos y radiación solar que pueden variar a lo largo de la hoja por causas como posición y facilidad de difusión. La colonización de la filósfera se realiza en función del ambiente y el hospedero. Este patrón es afectado por efectos locales tales como el grado de infestación de insectos, prácticas de cultivo y eventos climáticos<sup>43,44</sup>. Las especies bacterianas colonizan la filósfera de diferentes maneras. Sin embargo, debido a las similitudes entre los requisitos para el crecimiento y la supervivencia Beattie y Lindow (2003)<sup>45</sup> propusieron un modelo general para la colonización bacteriana de la hoja. El primer paso consiste en la llegada de la bacteria a la superficie de la hoja por el aire, agua o deposición de algún vector. Posteriormente, se distribuyen al azar en toda la superficie de la hoja, normalmente en forma de células individuales o pequeños grupos de células. Seguidamente, algunas de estas células logran entrar en la hoja a través aberturas tales como estomas o hidátodos, mientras que otras se quedan en la superficie y una vez establecidas en la hoja, las bacterias modifican

su ambiente para garantizar su colonización y sobrevivencia. Por otra parte las bacterias utilizan diferentes mecanismos para modificar el medio ambiente y de esta forma adaptarse al mismo dando origen a la formación de colonias homogéneas y/o heterogéneas y a su vez a la generación de grandes agregados. Se ha estimado que las poblaciones bacterianas por centímetro cuadrado ( $\text{cm}^2$ ) de superficie de la hoja están en el orden de  $10^6$  a  $10^7$  unidad formadora de colonias (UFC)<sup>46</sup>.

**La rizósfera** es la zona del suelo que rodea a las raíces y es fuertemente influenciada por las mismas, este ambiente es considerado uno de los más dinámicos del planeta<sup>47</sup>. Los procesos de colonización rizosférica, inician con la “migración” de las poblaciones bacterianas hacia las raíces en respuesta a la liberación de diferentes compuestos orgánicos de las plantas hacia el suelo, denominados comúnmente fotosintatos o exudados, los cuales contienen concentraciones importantes de aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos, orgánicos, fenólicos, azúcares y vitaminas que son utilizados por los microorganismos como fuente de nutrientes para su crecimiento<sup>48,49</sup>. El “efecto rizosférico” implica la capacidad de los exudados, para actuar como quimioatrayentes de las comunidades microbianas del suelo<sup>50</sup>. Un ejemplo del efecto rizosférico se encuentra al comparar las densidades bacterianas: La densidad microbiana en la rizósfera alcanza concentraciones del orden de  $10^{10}$  o  $10^{12}$  UFC/g de suelo, mientras que las concentraciones bacterianas en regiones del suelo que están alejados del sistema radicular de las plantas presentan concentraciones menores a  $10^8$  UFC/g de suelo<sup>48</sup>.

Una vez establecido el contacto con la superficie de la raíz, los microorganismos rizosféricos forman microcolonias, y dependiendo del tipo de microorganismo, permanecerán en la superficie o progresarán iniciando el proceso de colonización endofítica<sup>46</sup>. Existen numerosos reportes que demuestran que las bacterias responden a los exudados de las plantas a través de la expresión de diversos genes, tales como aquellos asociados con la síntesis de Exopolisacaridos (EPS) para la

formación de biofilm<sup>51,52</sup>. El biofilm formado sobre las superficies vegetales, protegen a las comunidades microbianas de factores adversos del medio ambiente<sup>53</sup>. Por ejemplo, *Bacillus subtilis* es atraído por ácido L-málico secretado por *Arabidopsis thaliana*, y la formación de biofilm es activada por este compuesto en un proceso dependiente de los mismos genes que son requeridos para la formación de biofilm *in vitro*<sup>51,54</sup>. *Azospirillum brasilense*, una BPCV que normalmente coloniza y promueve el crecimiento de gramíneas como el trigo y el maíz, tiene la capacidad de colonizar el rizoplaneo formando biofilm<sup>55,56</sup>. Timmusk *et al.* (2005)<sup>57</sup> han reportado la formación de biofilm en raíces de *Arabidopsis thaliana* y cebada por parte de *Paenibacillus polymyxa*, demostrando mediante la utilización de una cepa marcada con la proteína GFP y técnicas microscópicas el patrón de colonización generado por ésta bacteria. En síntesis, se dispone de varias evidencias indicando un rol importante de los EPS y el biofilm en el proceso de las etapas tempranas de la interacción planta- BPCV.

**Endosfera** se refiere a la colonización de los tejidos internos de la planta por parte de las bacterias endofitas y se definen como aquellas bacterias que se pueden aislar de los tejidos vegetales con desinfección superficial, y no causan daños visibles a la planta. Si bien esta definición no incluye bacterias endofíticas no cultivables, es una definición práctica basada en las limitaciones experimentales<sup>58</sup>. La mayor parte de los microorganismos endofitos provienen o son reclutados de la comunidad del ambiente rizosférico, por lo tanto, deben ser eficientes colonizadores de la rizósfera y/o rizoplaneo<sup>47,59</sup>. Una colonización endofítica exitosa involucra a un huésped compatible. Se postula además que los endofitos representan a miembros especializados de los colonizadores del rizoplaneo: existe una selección por parte de la planta sobre las bacterias más adaptadas a la vida endofítica siendo éstas reclutadas de un gran pool de bacterias rizosférica y que eventos estocásticos, ambientales y factores que dependen de las bacterias conducen a que éstas puedan colonizar los tejidos internos<sup>60</sup>. En

general, no se conoce si las bacterias endófitas necesitan alcanzar un tejido u órgano específico para el desempeño adecuado de sus funciones. En cuanto a la localización en la planta, si bien generalmente el mayor número de bacterias endófitas se encuentra en las raíces, también se ha reportado colonización en tallos, semillas, hojas, frutos, tubérculos, órganos reproductivos y en el interior de nódulos<sup>42,46,61-62</sup>.

El ingreso de las bacterias endófitas desde el rizoplasma hacia el tejido cortical de la raíz puede implicar tanto mecanismos pasivos como activos<sup>59</sup> y diferentes vías de ingreso<sup>46,50,63</sup>. El ingreso pasivo puede tener lugar por grietas naturales presentes en las zonas de emergencia de las raíces laterales (a través de la lámina media de la epidermis), como así también por la base de los pelos radicales y en la zona de crecimiento del ápice de la raíz o las generadas por otros microorganismos deletéreos<sup>11,64-65</sup>. Varios trabajos reportan como sitio de entrada de las bacterias endófitas la colonización por los pelos radicales<sup>66</sup>. Otros sitios comúnmente usados por los endófitos para ingresar a las plantas son las estomas, las lenticelas, y las radículas. Los mecanismos activos por los que las bacterias endófitas son capaces de ingresar a los tejidos de las plantas implican la expresión de enzimas líticas que degradan la pared celular vegetal para luego continuar la colonización en el interior de los tejidos vegetales<sup>35</sup>. Estas enzimas tales como las pectinasas y celulasas favorecen la formación de grietas o lastimaduras en la rizodermis por donde ingresan los microorganismos, la actividad enzimática parece también mediar el pasaje a través de la endodermis permitiendo la penetración al periciclo y los vasos xilemáticos<sup>59,67</sup>. La capacidad de degradar pectinas el mayor constituyente de la pared primaria de las células vegetales y de la lámina media, es una característica de muchas bacterias asociadas a plantas, incluyendo bacterias patógenas de las mismas. A diferencia de las bacterias endófitas, los microorganismos patógenos producen lesiones graves en los tejidos de las plantas que colonizan.

También se sugiere que la producción de enzimas celulíticas facilitarían la digestión de la pared celular

para que sea posible una diseminación vertical, como es el caso de *Azoarcus sp.* BH72<sup>68</sup>. Esta bacteria no utilizaría las celulasas para crecer ya que no se registra crecimiento con carboximetilcelulosa (CMC) como única fuente de carbono y energía (FCE) y se postula que su rol sería permitir la invasión de los tejidos en el proceso de colonización de la raíz. *Azoarcus sp.*, no secreta sus enzimas celulíticas, sino que éstas están asociadas a la superficie celular y se postula que de esta manera podrían mediar una digestión más localizada de la pared celular de las plantas y menos agresiva en comparación con los organismos fitopatógenos. Hurek et al (1994)<sup>69</sup> reportaron que *Azoarcus sp.*, tiene la capacidad de ingresar a los espacios intercelulares de raíces de gramíneas y, una vez allí, aumentar la densidad celular y moverse entre los tejidos vasculares centrales de las plantas hasta llegar a los tejidos aéreos, como lo son los tallos y las hojas.

## CONCLUSIONES

Como se puede ver las BPCV son bacterias con mucho potencial para la producción agrícola amigable con el medio ambiente. Para ello se debe utilizar los microorganismos adecuados para cada cultivo y así tener éxito en la colonización de los tejidos vegetales y por ende, un efecto de promoción de crecimiento en los cultivos que se inoculen con este tipo de bacterias.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Argentina por la financiación de la beca y al IBBM- Instituto De Biotecnología Y Biología Molecular.

## REFERENCIAS

1. Quispel, A. A search for signals in endophytic microorganisms. *Molecular signals in plant-microbe communications* 471–490 (1992).
2. Albino, U. *et al.* High diversity of diazotrophic bacteria associated with the

- carnivorous plant *Drosera villosa* var. *villosa* growing in oligotrophic habitats in Brazil. *Plant Soil* 287, 199–207 (2006).
3. Chowdhury, S. P., Schmid, M., Hartmann, A. & Tripathi, A. K. Identification of diazotrophs in the culturable bacterial community associated with roots of *Lasiurus indicus*, a perennial grass of Thar Desert, India. *Microb. Ecol.* 54, 82–90 (2007).
  4. Sajjad Mirza, M. *et al.* Isolation, partial characterization, and the effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on micro-propagated sugarcane in vitro. *Plant Soil* 237, 47–54 (2001).
  5. Muthukumrasamy, R. Diazotrophic associations in sugarcane cultivation in South India. 76, 171–178 (1999).
  6. Deaker, R. & Kennedy, I. R. Improved potential for nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense* Sp7-S associated with wheat *nifH* expression as a function of oxygen pressure. *Acta Biotechnol.* 21, 3–17 (2001).
  7. Díaz Vargas, P.; Ferrera Cerrato, R.; Almaraz Suárez; Alcántar González, G. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoam.* 19, (2001).
  8. Vargas, C. *et al.* Signaling Pathways Mediating the Association between Sugarcane and Endophytic Diazotrophic Bacteria: A Genomic Approach. *Symbiosis* 35, 159–180 (2003).
  9. Sevilla, M., Kennedy, C. & Triplett, E. Genetic analysis of nitrogen fixation and plant-growth stimulating properties of *Acetobacter diazotrophicus*, an endophyte of sugarcane. in *Prokaryotic nitrogen fixation: a model system for the analysis of a biological process.* 737–760 (2000).
  10. Sun, L. *et al.* Endophytic bacterial diversity in rice (*Oryza sativa* L.) roots estimated by 16S rDNA sequence analysis. *Microb. Ecol.* 55, 415–24 (2008).
  11. Hurek, T. & Reinhold-Hurek, B. *Azoarcus* sp. strain BH72 as a model for nitrogen-fixing grass endophytes. *J. Biotechnol.* 106, 169–178 (2003).
  12. James, E. K. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis. *F. Crop. Res.* 65, 197–209 (2000).
  13. Reis, V. M. *et al.* *Burkholderia tropica* sp. nov., a novel nitrogen-fixing, plant-associated bacterium. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54, 2155–2162 (2004).
  14. Dixon, R. & Kahn, D. Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology* 2, 621–631 (2004).
  15. Igual, J. M., Valverde, A., Cervantes, E. & Velázquez, E. Phosphate-solubilizing bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. *Agronomie* 21, 561–568 (2001).
  16. Rodríguez, H. & Fraga, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* 17, 319–339 (1999).
  17. Behera, B. C. *et al.* Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 15, 169–178 (2017).
  18. Yadav, C. & Pandey, S. Isolation and Characterization of Phosphate Solubilizing Bacteria from Agriculture Soil of Jaipur, Rajasthan. *Int. J. Curr. Trends Sci. Technol.* 8, 20180–20191 (2018).
  19. Javid, M. G. *et al.* The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *AJCS* 5, 726–734 (2011).
  20. Li, J., Ovakim, D. H., Charles, T. C. & Glick, B. R. An ACC Deaminase Minus Mutant of *Enterobacter cloacae* UW4No Longer Promotes Root Elongation. *Curr. Microbiol.* 41, 101–105 (2000).
  21. Collavino, M. M., Sansberro, P. A., Mroginski, L. A. & Aguilar, O. M. Comparison of in vitro solubilization activity of diverse phosphate-solubilizing bacteria native to acid soil and their ability to promote *Phaseolus vulgaris* growth. *Biol. Fertil. Soils* 46, 727–738 (2010).
  22. Cassán, F. & Diaz-Zorita, M. *Azospirillum* sp.

- in current agriculture: From the laboratory to the field. *Soil Biology and Biochemistry* 103, 117–130 (2016).
23. Shu, K., Liu, X.-D., Xie, Q. & He, Z.-H. Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. *Mol. Plant* 9, 34–45 (2016).
  24. Liu, X. *et al.* Auxin controls seed dormancy through stimulation of abscisic acid signaling by inducing ARF-mediated ABI3 activation in Arabidopsis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 15485–90 (2013).
  25. Aeron, A., Kumar, S., Pandey, P. & Maheshwari, D. K. Emerging Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agrobiolology. in *Bacteria in Agrobiolology: Crop Ecosystems* 1–36 (Springer Berlin Heidelberg, 2011). doi:10.1007/978-3-642-18357-7\_1
  26. Lavenus, J. *et al.* Lateral root development in Arabidopsis: fifty shades of auxin. *Trends Plant Sci.* 18, 450–458 (2013).
  27. Gutierrez-Manero, F. J. *et al.* The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiol. Plant.* 111, 206–211 (2001).
  28. Persello-Cartieaux, F. *et al.* Utilization of mutants to analyze the interaction between Arabidopsis thaliana and its naturally root-associated Pseudomonas. *Planta* 212, 190–198 (2001).
  29. Maheshwari, D. K., Dheeman, S. & Agarwal, M. Phytohormone-Producing BPCV for Sustainable Agriculture. in 159–182 (Springer, Cham, 2015). doi:10.1007/978-3-319-24654-3\_7
  30. Santner, A. & Estelle, M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signalling. *Nature* 459, 1071–1078 (2009).
  31. Singh, N., Singh, G., Aggarwal, N. & Khanna, V. Yield enhancement and phosphorus economy in lentil (*Lens culinaris* Medikus) with integrated use of phosphorus, *Rhizobium* and plant growth promoting rhizobacteria. *J. Plant Nutr.* 41, 737–748 (2018).
  32. Glick, B. R. Using soil bacteria to facilitate phytoremediation. *Biotechnol. Adv.* 28, 367–374 (2010).
  33. Lugtenberg, B. & Kamilova, F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu. Rev. Microbiol.* 63, 541–56 (2009).
  34. Reinhold-Hurek, B. & Hurek, T. Living inside plants: Bacterial endophytes. *Current Opinion in Plant Biology* 14, 435–443 (2011).
  35. Glick, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. *Scientifica (Cairo)*. 2012, 1–15 (2012).
  36. Zhang, S., Reddy, M. S. & Kloepper, J. W. Tobacco growth enhancement and blue mold disease protection by rhizobacteria: Relationship between plant growth promotion and systemic disease protection by BPCV strain 90-166. *Plant Soil* 262, 277–288 (2004).
  37. Bhattacharyya, P. N. & Jha, D. K. Plant growth-promoting rhizobacteria (BPCV): emergence in agriculture. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28, 1327–1350 (2012).
  38. Fernando, W. G. D., Nakkeeran, S. & Zhang, Y. Biosynthesis of Antibiotics by BPCV and its Relation in Biocontrol of Plant Diseases. in *BPCV: Biocontrol and Biofertilization* 67–109 (Springer-Verlag, 2005). doi:10.1007/1-4020-4152-7\_3
  39. Saha, R., Saha, N., Donofrio, R. S. & Bestervelt, L. L. Microbial siderophores: a mini review. *J. Basic Microbiol.* 53, 303–317 (2013).
  40. Compant, S. *et al.* Endophytic Colonization of *Vitis vinifera* L. by Plant Growth-Promoting Bacterium *Burkholderia* sp. Strain PsJN. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 1685–1693 (2005).
  41. Chaiharn, M., Chunchaleuchanon, S., Kozo, A. & Lumyong, S. Screening of rhizobacteria for their plant growth promoting activities. *Kmitl sci. Tech. J* 8,
  42. Dutta, S., Mishra, A. K. & Dileep Kumar, B. S.



- Induction of systemic resistance against fusarial wilt in pigeon pea through interaction of plant growth promoting rhizobacteria and rhizobia. *Soil Biol. Biochem.* 40, 452–461 (2008).
43. Andrews, J. H. Biological control in the phyllosphere: Realistic goal or false hope? *Can. J. Plant Pathol.* 12, 300–307 (1990).
  44. Yang, C. H., Crowley, D. E., Borneman, J. & Keen, N. T. Microbial phyllosphere populations are more complex than previously realized. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 98, 3889–94 (2001).
  45. Beattie, G. A. & Lindow, S. E. The Secret Life of Foliar Bacterial Pathogens on Leaves. *Annu. Rev. Phytopathol.* 33, 145–172 (1995).
  46. Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A., Miller, W. G., Sikora, R. A. & Lindow, S. E. Endophytic Colonization of Plants by the Biocontrol Agent *Rhizobium etli* G12 in Relation to *Meloidogyne incognita* Infection. *Phytopathology* 91, 415–422 (2001).
  47. Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P. & Van Der Putten, W. H. Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews Microbiology* 11, 789–799 (2013).
  48. Uren, N. C. Types, Amounts, and Possible Functions of Compounds released into the Rhizosphere by Soil- Grown Plants. in *The Rhizosphere: Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface* 1–21 (2007).  
doi:doi:10.1201/9781420005585.ch1
  49. Prashar, P., Kapoor, N. & Sachdeva, S. Rhizosphere: Its structure, bacterial diversity and significance. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 13, 63–77 (2014).
  50. Hardoim, P. R., van Overbeek, L. S. & Elsas, J. D. van. Properties of bacterial endophytes and their proposed role in plant growth. *Trends Microbiol.* 16, 463–471 (2008).
  51. Rudrappa, T., Biedrzycki, M. L. & Bais, H. P. Causes and consequences of plant-associated biofilms. *FEMS Microbiology Ecology* 64, 153–166 (2008).
  52. Meneses, C. H. S. G., Rouws, L. F. M., Simoes-Araujo, J. L., Vidal, M. S. & Baldani, J. I. Exopolysaccharide production is required for biofilm formation and plant colonization by the nitrogen-fixing endophyte *Gluconacetobacter diazotrophicus*. *Mol. Plant. Microbe. Interact.* 24, 1448–58 (2011).
  53. Fuqua, C., Parsek, M. R. & Greenberg, E. P. Regulation of Gene Expression by Cell-to-Cell Communication: Acyl-Homoserine Lactone Quorum Sensing. *Annu. Rev. Genet.* 35, 439–468 (2001).
  54. Beauregard, P. B., Chai, Y., Vlamakis, H., Losick, R. & Kolter, R. *Bacillus subtilis* biofilm induction by plant polysaccharides. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, E1621–E1630 (2013).
  55. Assmus, B. *et al.* In situ localization of *Azospirillum brasilense* in the rhizosphere of wheat with fluorescently labeled, rRNA-targeted oligonucleotide probes and scanning confocal laser microscopy. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 1013–1019 (1995).
  56. Ramey, B. E., Koutsoudis, M., Bodman, S. B. Von & Fuqua, C. Biofilm formation in plant-microbe associations. *Current Opinion in Microbiology* 7, 602–609 (2004).
  57. Timmusk, S., Grantcharova, N. & Wagner, E. G. H. *Paenibacillus polymyxa* invades plant roots and forms biofilms. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 7292–7300 (2005).
  58. Hallmann, J., Quadt-Hallmann, A., Mahaffee, W. F. & Kloepper, J. W. Bacterial endophytes in agricultural crops. *Can. J. Microbiol.* 43, 895–914 (1997).
  59. Compant, S., Clément, C. & Sessitsch, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 669–678 (2010).
  60. Sessitsch, a *et al.* Functional characteristics of an endophyte community colonizing rice roots as revealed by metagenomic analysis. *Mol. Plant. Microbe. Interact.* 25, 28–36

- (2012).
61. Lau, C. H.-F., van Engelen, K., Gordon, S., Renaud, J. & Topp, E. Novel Antibiotic Resistance Determinants From Agricultural Soil Exposed To Antibiotics Widely Used In Human Medicine And Animal Farming. *Appl. Environ. Microbiol.* 83, e00989-17 (2017).
  62. Ahmad, I., Pichtel, J. & Hayat, S. *Plant-Bacteria Interactions: Strategies and Techniques to Promote Plant Growth*. *Plant-Bacteria Interactions: Strategies and Techniques to Promote Plant Growth* (2008). doi:10.1002/9783527621989
  63. James, E. K. *et al.* Infection and colonization of rice seedlings by the plant growth-promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae* Z67. *Mol. Plant. Microbe Interact.* 15, 894–906 (2002).
  64. Carvalho, T. L. G., Balsemao-Pires, E., Saraiva, R. M., Ferreira, P. C. G. & Hemerly, A. S. Nitrogen signalling in plant interactions with associative and endophytic diazotrophic bacteria. *J. Exp. Bot.* 65, 5631–5642 (2014).
  65. Egener, T., Hurek, T. & Reinhold-Hurek, B. Use of green fluorescent protein to detect expression of nif genes of *Azoarcus* sp. BH72, a grass-associated diazotroph, on rice roots. *Mol. Plant. Microbe Interact.* 11, 71–5 (1998).
  66. Prieto, P. *et al.* Root Hairs Play a Key Role in the Endophytic Colonization of Olive Roots by *Pseudomonas* spp. with Biocontrol Activity. *Microb. Ecol.* 62, 435–445 (2011).
  67. Reinhold-Hurek, B., Maes, T., Gemmer, S., Van Montagu, M. & Hurek, T. An endoglucanase is involved in infection of rice roots by the not-cellulose-metabolizing endophyte *Azoarcus* sp. strain BH72. *Mol. Plant. Microbe Interact.* 19, 181–188 (2006).
  68. Hibbing, M. E., Fuqua, C., Parsek, M. R. & Peterson, S. B. Bacterial competition: surviving and thriving in the microbial jungle. *Nat. Rev. Microbiol.* 8, 15–25 (2010).
  69. Hurek, T., Reinhold-Hurek, B., Van Montagu, M. & Kellenberger, E. Root colonization and systemic spreading of *Azoarcus* sp. strain BH72 in grasses. *J. Bacteriol.* 176, 1913–1923 (1994).

## Experimentación en la cocción de cárnicos en la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”

*Meat cooking research in the Cadets Military School “General José María Córdova”*

Claudia Marcela Correa Malagón<sup>a†</sup>, Luis Felipe Angarita Escobar<sup>b</sup>, Daniel Ricardo Ariza Ramos<sup>b</sup>

Recibido 19 Septiembre 2017,  
 Aceptado 19 Julio 2018

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

**Resumen:** A partir de un enfoque descriptivo - exploratorio, este artículo tiene el objetivo de mostrar los resultados obtenidos en la experimentación realizada sobre el método de cocción de cárnicos en la Escuela Militar de Cadetes (Esmic) determinando su eficiencia. Inicialmente, se identificó mediante experimentación la variación del tamaño de la carne en el proceso de cocción, luego se demostró si el uso de bases de cocción mantiene las propiedades del producto cárnico y finalmente se realizaron recomendaciones que optimizan el proceso de cocción. De acuerdo a esto, el ensayo demostrativo arrojó un incremento en el rendimiento en la cocción de los filetes a la plancha del 21% con el uso de la base de cocción y de acuerdo con esto se realizaron recomendaciones sobre la eficiencia, aspecto vital en la percepción del servicio que tienen los clientes, en este caso los estudiantes de la Esmic. **Palabras claves:** Alimentación, servicio al cliente, procesos, cárnicos

**Abstract:** From a descriptive - exploratory approach, this article show the results obtained in the research carried out on the method of meat cooking in the Esmic determining their efficiency. Initially, by experimentation, it's appreciates the variation of meat size in the cooking process, then it was demonstrated if the use of cooking bases maintains the properties of the meat product and finally recommendations were made that optimize the cooking process. Accordingly, the demonstration showed an increase in the cooking performance of the steaks of 21% with the use of the cooking base and with the recommendations made in this research it is possible to improve the efficiency of cooking, vital appearance in the perception of the service that the clients have, in this case the students of the Esmic. **Key words:** Feeding, customer service, processes, meat.

### INTRODUCCIÓN

Esta investigación hace parte del semillero de investigación en servicio al cliente SERMILI asociado al grupo de investigación en Ciencias Militares y desarrollado por estudiantes del programa de administración logística de la Esmic entre 2014 y 2017. A continuación, se presenta un caso de estudio particular sobre la cocción de cárnicos en la Escuela Militar de Cadetes.

Este proyecto ha permitido evidenciar que la carne es fundamental en cada uno de los comedores colombianos, y la Escuela Militar de Cadetes no es la excepción, en ella se consume una considerable cantidad de este alimento, según el estudio fisiológico donde clasifican a los estudiantes periódicamente, se aprecia que las actividades

cotidianas de los estudiantes exigen de él un alto rendimiento físico y por ende requiere unas diferentes e importantes características nutricionales para cumplir con sus labores. El servicio de alimentación dentro de la Esmic es de vital importancia para la formación integral de los oficiales, de acuerdo con esto es importante identificar la calidad de este servicio, en relación con la percepción de satisfacción con las porciones de proteína incluida en su menú, a fin de incorporar mejoras dentro de los procesos analizados.

Durante la investigación se ha contado con la asesoría de la empresa Tecnoalimentica Ltda<sup>®</sup>, la cual ha aportado desde su experiencia en el desarrollo del productos alimenticios innovadores desde 1990, y fue considerada uno de los emprendimientos más favorables en la industria alimenticia, proporcionando al proyecto una visión del servicio alimenticio en relación a los beneficios y buenas prácticas, en este caso en la de cocción de cárnicos, de igual forma se contó con información

<sup>a</sup>. Semillero de Investigación SERMILI, de la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova”, Facultad de Administración, Grupo de Investigación en Ciencias Militares.

<sup>b</sup>. Escuela Militar de Cadetes y Facultad de Administración

† claudia.reiayanami18@gmail.com

relacionada sobre tablas de alimentación realizadas según estudios del Centro de Investigación y Cultura Física de la Escuela Militar, en las que se determinan las porciones cárnicas adecuadas según su incremento y desgaste físico dentro de itinerario establecido por la Esmic, estas actividades tan estrictas tienen como misión la formación integral de los futuros oficiales del Ejército, por lo cual son indispensables y no modificables; debido a esto es de vital importancia realizar un proceso de investigación que no solo sea fructífera para los estudiantes sino desde el bienestar apropiada para la Institución, con el fin de mejorar la alimentación en la misma y reducir los desperdicios de producto que pueda beneficiar la percepción con el servicio de alimentación que se proporciona.

Para generar una contextualización del lugar a analizar, se debe aclarar que la Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” está ubicada en la ciudad de Bogotá D.C, es el alma mater del Ejército Nacional de Colombia donde se forman integralmente los futuros oficiales comandantes de pequeñas unidades y en donde descansa el peso de la responsabilidad de mantener la independencia y la soberanía nacional. La Escuela Militar tiene la misión de formar líderes comandantes de pelotón.

Es conocido que la formación de un militar varía en comparación con una persona civil, debido a que su adiestramiento exige la convergencia de diferentes aspectos formando un perfil específico donde interviene: la parte física, el conocimiento de las armas, de la ley, y en general de las distintas carreras que complementan la formación junto con la doctrina militar, todo integrado con el desarrollo de líderes. Sin la intención de menospreciar las actividades una persona con una vida no relacionada con el ámbito militar, que incluso puede llegar a tener una carga física similar a la de un uniformado, a esta se le suma el hecho de estar sujeto a órdenes y muchas más responsabilidades que de acuerdo con el rango se adquieren, lo que hace que haya un desgaste físico y mental similar a un deportista de alto rendimiento.

Esto significa que se requiere consumir un mayor número de calorías por día, aproximadamente un militar puede requerir el consumo de alimentos con

más 3000 calorías, la misma cantidad de un deportista de alto rendimiento, a diferencia de un civil que en promedio consume unas 2500 calorías diarias. Esto quiere decir que lógicamente la porción de comida para cubrir este rango debe ser superior y enfocarse en una dieta hipercalórica que puede obtenerse con el consumo de las carnes y almidones como son los tubérculos y el arroz.

Dada esta situación, la investigación se direccionó hacia las proteínas, pues surgió la hipótesis que para los estudiantes de la Escuela Militar la percepción sobre el tamaño de la proteína en su dieta no subsanaba sus necesidades calóricas, esto dado por una apreciación visual; previamente se realizaron varias indagaciones apoyados por Tecnoalimentica Ltda®, donde ellos ya habían verificado que la congelación perjudica el proceso de cocción, ya que por pérdida de agua el producto tiende a disminuir su tamaño.

Según el estudio realizado por la Industria de Alimentos Zenú, el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos ICTA de la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Antioquia se realizaron experimentos cuyo propósito fue verificar las variaciones fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales en cárnicos y sus procesos de cocción demostrando por ejemplo que:

*“El presente estudio encontró que el pH disminuye y la sinéresis aumenta a medida que transcurre el periodo de almacenamiento. Al incrementarse el periodo de almacenamiento, la dureza y la adhesividad instrumental presentan a nivel general tendencia al aumento. El incremento en la dureza es debido a la pérdida de humedad dentro de la estructura, y al desarrollo de bacterias ácido-lácticas en la superficie de las tajadas del jamón que incrementan a su vez la adhesividad, ello concuerda con los resultados obtenidos por otros autores en investigaciones sobre calidad microbiológica de productos cárnicos refrigerados”<sup>1</sup>.*

De igual forma “estudios sobre estabilidad de almidones en los alimentos, reportaron que la sinéresis presenta un incremento debido a fluctuaciones de temperatura que se generan durante el proceso de cocción del producto por la

*insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, ya que sus cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de múltiples grupo hidroxilo, alterando, a su vez, las propiedades texturales del producto”<sup>2</sup>.*

Estos estudios arrojan que la carne pierde muchas de sus propiedades<sup>3</sup>, para nuestro caso la dureza y la pérdida de humedad y la liberación de agua (sinéresis) son factores perceptivos vitales de los cuales no se está obteniendo el resultado deseado, además esto infiere mucho de los métodos de almacenamiento<sup>4</sup> y evidentemente en la temperatura, lo que está generando una pérdida de material y de un rubro que es predestinado para una alimentación adecuada, sin tanto desperdicio.

De acuerdo con lo anterior, el propósito de este estudio es el de indagar las diferentes opciones para optimizar los procesos de cocción de cárnicos, los cuales en la Escuela Militar son rigurosamente verificados, ya que existe la posibilidad que se estén replicando estas condiciones identificadas en los estudios tomados como base y se estén generando pérdidas económicas para la institución, aspecto ineficiente que afecta la percepción del servicio por los estudiantes.

Por otro lado los avances en la industria de los cárnicos han tenido una mayor relevancia desde hace algunos años junto con la necesidad no sólo de conservar la carne, sino también de evitar que genere algún tipo de bacteria típica de la misma<sup>5</sup>, lo que puede hacer que su vida útil se reduzca y que bajen sus características naturales de sabor, color, olor y textura; el Ministerio de Agricultura creó una entidad destinada a establecer y controlar la calidad de sanidad en los productos agrícolas: el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA), donde este determinó que para cárnicos el nivel máximo permitido de bases volátiles es de 20%. Según los estudios realizados por González y colaboradores en 2010<sup>1</sup>, las tres diferentes pruebas que hicieron para controlar el número de bacterias y su crecimiento resultó satisfactorio y encajan

perfectamente dentro de los parámetros que exige la SENASA en Colombia.

Al hablar de la correcta conservación de los cárnicos hay que tener en cuenta dos factores importantes para una institución como la Escuela Militar de Cadetes, el primero es que a diario se brinda alimentación a más de 1500 hombres y mujeres, el segundo es su correcta manipulación y conservación; el hecho de cocinar para un número significativo puede generar que haya deficiencias en el proceso y así mismo la posibilidad de riesgos para la salud de quienes lo consumen en este caso oficiales, estudiantes y soldados de la Esmic, por ello la institución garantiza las siguientes medidas de control obligatorio:

1. Cocinar la carne completamente, en especial la carne picada y los productos elaborados con ella (que no queden partes rosadas o rojas en su interior)
2. Lavarse las manos con agua y jabón después de ir al baño, antes de manipular alimentos y después de tocar alimentos crudos.
3. Lavar bien las frutas y verduras.
4. Consumir leche pasteurizada.
5. Consumir agua potable.
6. Evitar la contaminación cruzada entre alimentos crudos y cocidos.

## MÉTODOS

A continuación, se presenta la experimentación realizada con profesionales de la Tecnoalimentica Ltda®, empresa especializada en soluciones para la cocción industrial de carnes.

**FECHA:** Sept. 17 de 2016

**INSTITUCIÓN:** Escuela Militar De Cadetes “General José María Córdova” (ESMIC) Casino de Cadetes

Materiales:

- Sobrebarriga cruda de 1060 gr para la muestra A y 1050 gr para la muestra B aproximadamente
- Aceite

- Base de cocción (Base para carnes Natural saver®)
- Pesa de 3 dígitos marca Baxtran®
- Platos y Recipientes de icopor
- Plancha
- Tela plástica (Vinipel)
- Marcador
- Azafatas

### Paso 1. Pesaje de la carne

Se toman las muestras de carne (Sobrebarriga) tal cual son entregadas a la institución para su congelación como se muestra en la Figura 1, se pesan las porciones de carne dividiéndolas en 2 grupos homogéneos con el fin de tener datos comparativos con base de cocción y sin base de cocción como lo muestra la Figura 2.



**Fig. 1:** Apertura de las muestras de sobrebarriga en su empaque original



**Fig. 2:** Pesaje de las muestras

Adicionalmente se evidencia la gran cantidad de líquido resultante del proceso de descongelación como se muestra en la Figura 3.



**Fig. 3:** Evidencia del líquido sobrante

### Paso 2. Demostración uso base de cocción

Se determina que los Filetes de Sobrebarriga, muestra A no contienen la base de cocción, a los filetes de Sobrebarriga, muestra B se le aplica la base de la siguiente forma: En un recipiente se mezcla la misma cantidad de agua y de producto (26,4 g de agua + 26,4 g de base de cocción) se mezcla, se homogeniza y se aplica todos los filetes. En la Figura 4 se observa la separación de las muestras y la aplicación de la base.



**Fig. 4:** Mezcla de la base de cocción en la muestra B (plato del fondo)

### Paso 3. Cocción a la plancha

La temperatura de la plancha será homogénea para el asado de los filetes, en la primera tanda se cocina la muestra A y en la siguiente la muestra B que contiene la base de cocción como lo muestra la Figura 5 y 6 respectivamente. Se contabilizó el tiempo exacto de cocción para verificar la existencia de diferencias en el tiempo de cocción en el mismo punto.



**Figura No. 5:** Asado a la plancha muestra A



**Figura No. 6:** Asado a la plancha muestra B

### Paso 4. Empacado de filetes para estudio en laboratorio

Se procede a proteger con la tela plástica cada una de las muestras y almacenarla en recipientes de icopor para ser llevadas al laboratorio como lo muestran las Figuras 7 y 8 identificadas por su respectiva letra.



**Fig. 7:** Protección de las muestras



**Fig. 8:** Empacado para laboratorio

### Paso 5. Resultados Laboratorio

Aspectos sensoriales:

Carne (Sobrebarriga): Olor característico, color rojo brillante, se evidencia que se trata de carne fresca apta para el consumo.

**Tabla No.1:** Estudio de laboratorio realizado por Tecnoalimentica Ltda®. Septiembre 17 de 2016 <sup>6</sup>

Tipo de corte	No. de muestras	Base (g) + agua (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento (%)	Incremento en el rendimiento (%)
Filetes sin base	1		1060	720,8	67,9	-
Filetes con base	1	26.4 + 26.4	1050	867,3	82,6	21%

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó por medio de la experimentación con total claridad la disminución del tamaño de la muestra procesada, de igual forma el ensayo demostrativo arrojó un incremento en el rendimiento en la cocción de los filetes a la plancha del 21% como lo muestra la Tabla 1. Esto quiere decir que, con una menor cantidad de carne cruda es posible obtener la misma cantidad de carne cocida de forma tradicional. Este resultado es posible dado que hay una mayor retención de jugos cárnicos y proteínas hidrosolubles que, en las técnicas tradicionales de cocción, terminan quemándose y formando los cúmulos de difícil remoción y limpieza.

Es importante resaltar que la demostración se hizo con filetes de sobrebarriga a la plancha, que resultan normalmente secos y duros después de su cocción; por lo cual, no son adecuados para asar a la plancha. No obstante, con la utilización de la base de cocción, estos quedaron tiernos y jugosos. Esto debido a que la funcionalidad especial de la base de cocción es el evitar el endurecimiento de las carnes durante la cocción.

También puede utilizarse cortes económicos como el Descargue y Bola de Brazo para cocción en plancha con resultados de muy buena textura (Blanda), jugosidad y excelente sabor.

Básicamente con este incremento en el rendimiento del producto se busca contribuir a la alimentación de los estudiantes, compromiso institucional desarrollado desde la Agencia Logística, que pretende otorgar un aumento en el bienestar proporcionando mayor calidad, en este

caso con carnes más jugosas, blandas y deliciosas, con mayor contenido nutricional obteniendo una mayor cantidad de proteínas, hierro y menos adición de grasa, lo que permitirá un adecuado cumplimiento de sus actividades y múltiples beneficios como por ejemplo mejorando la masa muscular.

Con estas recomendaciones no solo es posible mejorar la eficiencia de la cocción, aspecto vital en la percepción del servicio que tienen los clientes, en este caso los estudiantes de la ESMIC, sino también demostrar la viabilidad de usar un producto que optimice los procesos de cocción con mayor eficiencia y sin desperdicios, evitando así cualquier pérdida económica en relación con el rendimiento del producto.

## CONCLUSIONES

El semillero de investigación trata acerca de la percepción del servicio al cliente en la Escuela Militar pero específicamente en el comedor de cadetes donde a diario reciben alimentación más de 1200 estudiantes, una labor que demanda de procesos precisos y específicos, partiendo de que un militar consume la misma cantidad calórica que un deportista de alto rendimiento, por lo cual la alimentación es rica en cárnicos y almidones, mediante la práctica del procedimiento se evidenció que mediante el uso de una base desarrollada por la empresa de alimentos, se puede evitar que la sobrebarriga redujera su tamaño en un 21 % menos y que se conservaran las características nutricionales de la misma, lo cual puede tener similares beneficios en otros tipos de carne, ya que



es un proceso de optimización significativo para la institución y para los estudiantes.

Este tipo de investigaciones contribuyen no solo a aspectos económicos de las instituciones, sino a mejoras en la percepción de bienestar, característica fundamental en la optimización de la eficiencia dentro de los servicios de alimentación, cabe recordar que la eficiencia es un aspecto primordial dentro de la percepción del servicio al cliente, pues es un punto diferenciador vital para la imagen y el posicionamiento de una institución<sup>7</sup>. De igual forma se espera que se deriven más investigaciones similares que contribuyan en el bienestar de los estudiantes. Aún queda mucho por investigar en este ámbito de la eficiencia de los cárnicos en el Casino de Cadetes, por consiguiente, mantener este proyecto es un aspecto vital no solo para el fomento de habilidades investigativas dentro de los estudiantes del programa sino para la identificación de servicios relevantes a ser mejorados para incrementar el nivel de satisfacción dentro de la institución.

## REFERENCIAS

1. González, M. I., Suárez, H., & Martínez, O. (2010). Influencia del proceso de cocción y temperatura de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del jamón de cerdo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*
2. González, M. I., Suárez, H., & Martínez, O. L. (2009a). Relación entre las características fisicoquímicas y sensoriales en jamón de cerdo durante el proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Vitae, 16*(2).
3. González, M., Suárez, H., & Martínez, O. (2009b). Análisis estructural de la carne de jamón durante el proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Revista MVZ Córdoba, 14*(3), 1803-1811.
4. Cayré, M. E., & Garro, O. A. Evaluación del efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la flora alterante de emulsiones cárnicas cocidas usando modelos matemáticos. *Revista CYT*.
5. Vinent, Noel. (2004). Riesgo de enfermedades transmisibles por alimentos en el combinado cárnico de la Empresa de Producción agropecuaria. *Medisan, 8*(1), 12-20.
6. Tecnoalimentica Ltda® (2016) *Reducción de costos y mejora en la calidad de las carnes en alimentación militar* (Informe institucional)
7. Rolón Alcazar, J. U. (2013). *Servicio al cliente como una estrategia competitiva en navieras del puerto de ensenada, Baja California*. (Tesis de Doctorado, Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Baja California)

## Calcogenos: comportamiento de los elementos oxígeno y azufre

*Chalcogen: behavior of the elements oxygen and sulfur*

Recibido 18 Junio 2018,  
 Aceptado 19 Julio 2018

Zuly Yuliana Delgado<sup>†a</sup>

www.unipaz.edu.co

El diagrama muestra una versión simplificada de la tabla periódica con 18 columnas y 7 filas. El grupo 16 está resaltado en gris y contiene los elementos Oxígeno (O), Azufre (S), Selenio (Se), Telurio (Te) y Polonio (Po). Los elementos Oxígeno y Azufre están también resaltados en rojo y amarillo respectivamente. Se muestran dos estructuras químicas de compuestos de azufre y oxígeno: uno con un átomo de azufre centralizado y dos átomos de oxígeno, y otro con un átomo de azufre centralizado y un átomo de oxígeno.

**Resumen:** Los calcogenos son los elementos presentes del grupo 16 de la tabla periódica, conformados por oxígeno (O), sulfuro (S), selenio (Se), telurio (Te) y el elemento radiactivo Polonio (Po). Sin embargo son los dos primeros miembros del grupo (O y S) los que tienen la química más importante, las diferencias entre ellos en general pueden atribuirse a características como la menor electronegatividad del azufre (2,5) respecto a la del oxígeno (3,5); la presencia de orbitales *d* de baja energía en la capa de valencia del azufre; efecto de la diferencia de tamaño entre O y S (el tamaño del azufre es aproximadamente un 60% mayor que el del oxígeno), en consecuencia, resulta más difícil para el azufre formar enlaces doble tan fuertes como los que forma el oxígeno. **Palabras claves:** Oxígeno, Azufre, Calcogenos.

**Abstract:** The chalcogens are the elements present in group 16 of the periodic table, conformed by oxygen (O), sulfur (S), selenium (Se), tellurium (Te) and the radioactive element Polonium (Po). However, the first and second members of the group (O and S) that have the most important chemistry, the differences between them in general can be attributed to characteristics such as the lower electronegativity of sulfur (2.5) with respect to oxygen (3.5); the presence of orbitals *d* of low energy in the sulfur shell valence; effect of the difference in size between O and S (the size of sulfur is approximately 60% greater than that of oxygen), consequently, it is more difficult for sulfur to form double bonds as strong as those that form oxygen. **Key words:** Oxygen, Sulfur, Chalcogens.

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Para entender mejor el comportamiento del grupo funcional  $-SC(O)-$ , se abordará el tema desde una breve descripción del grupo de los anfígenos o calcógenos o también llamada familia del oxígeno, grupo conocido antiguamente como VI A y actualmente grupo 16 (según la IUPAC) en la tabla periódica de los elementos, formado por oxígeno (O), azufre (S), selenio (Se), telurio (Te), polonio (Po)

y livermorio (Lv). El nombre de anfígeno en español deriva de la propiedad de algunos de sus elementos de formar compuestos con carácter ácido o básico. Aunque todos los elementos del grupo 16 tienen seis electrones de valencia (última capa  $s^2p^4$ ), para adquirir la configuración electrónica de octeto típica de un gas noble, estos elementos deben aceptar un par de electrones, por lo que generalmente presentan estados de oxidación negativo, aunque al descender en el grupo los potenciales de ionización son más pequeños y se presentan también estados de oxidación positivos más típicos de los metales, sus propiedades varían

<sup>a</sup> Corporación universitaria comfacauca (UNICOMFACAUCA). Cl 4 N° 8-30, Popayán, Cauca.

<sup>†</sup> zyuliana@gmail.com

de no metálicas a metálicas en cierto grado, conforme aumenta su número atómico.<sup>1</sup>

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL OXÍGENO Y AZUFRE

Son los dos primeros miembros del grupo (O y S) los que tienen la química más importante, y de quienes de aquí en adelante vamos a referir. Así las diferencias entre ellos en general pueden atribuirse a características como la menor electronegatividad del azufre (2.5) respecto a la del oxígeno (3.5); presencia de orbitales *d* de baja energía en la capa de valencia del azufre; efecto de la diferencia de tamaño entre O y S (el tamaño del azufre es aproximadamente un 60% mayor que el del oxígeno), en consecuencia, resulta más difícil para el azufre formar enlaces doble tan fuertes como los que forma el oxígeno. No obstante existen compuestos que presentan enlaces dobles (S=C), pero estos enlaces dobles son más débiles que los equivalentes con oxígeno (O=C). Por ejemplo, la energía de disociación del enlace C=O en el CO<sub>2</sub> es 745 kJ/mol mientras que la energía de disociación del enlace C=S en el CS<sub>2</sub> es de sólo 477 kJ/mol. Por otra parte, el enlace sencillo S-S es extraordinariamente fuerte (270 kJ·mol<sup>-1</sup>) comparado con el O-O (145 kJ·mol<sup>-1</sup>). Esto se traduce en la enorme tendencia a la catenación, o formación de compuestos con cadenas de enlaces S-S. Después del carbono, el azufre es el elemento más propenso a formar cadenas. Sin embargo, sólo hay dos enlaces disponibles, por lo que las estructuras suelen ser cadenas de átomos de azufre con algún otro elemento o grupo de elementos en cada extremo. Mientras que el oxígeno puede tener estados de oxidación -2, -1 y neutro el azufre debido a que es menos electronegativo puede formar compuestos en los que se encuentra en estado de oxidación positivo. El azufre puede tener estados de oxidación desde -2, +2, +4, +6. En el estado de oxidación -2, la mayor parte de los compuestos sencillos que contienen azufre tienen olores muy desagradables. Por ejemplo, las olorosas moléculas de la cebolla, el ajo y el zorrillo contienen azufre en éste estado de oxidación. El etanotiol, CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>SH, es la sustancia más nauseabunda del mundo, se usa para salvar vidas: se agrega a los abastos de gas natural, que es

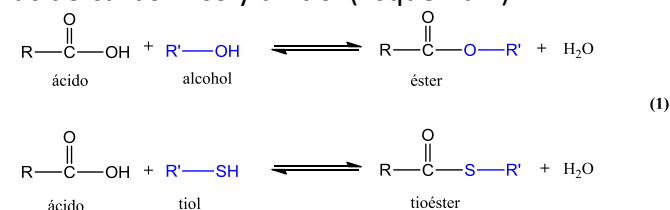
inodoro, para poder detectar fugas. La nariz humana puede detectar concentraciones de 50 ppm. Muchos de los antibióticos, como la penicilina, la cefalosporina y la sulfanilamida, contienen azufre. Muchas moléculas naturales que contienen azufre por ejemplo, el factor lacrimógeno (que induce lágrimas) de las cebollas es la molécula CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>C=S=O que contiene el grupo poco común C-S-O.<sup>2-3</sup>

## 1.3 EL AZUFRE Y SUS USOS EN SINTESIS ORGÁNICA

El uso de azufre para compuestos orgánicos se ha aplicado principalmente a la vulcanización del caucho. En los últimos años, el azufre llegó a ser utilizado como un componente importante de los medicamentos y polímeros. Como ejemplo de plásticos, se han utilizado como materiales industriales para ingeniería tales como poli (fenilsulfuro), poli (éteresulfona)s y polisulfonas porque tienen propiedades mecánicas superiores y excelente resistencia al calor y a productos químicos.<sup>4</sup> La poliadición de ditioles a bis (alcoxialeno)s, diallenilbenceno, y epóxido han sido estudiados por Furukawa y colaboradores<sup>4-5</sup> y Endo y colaboradores.<sup>6-7</sup> La síntesis de politioésteres por policondensación interfacial de ditioles aromáticos y aromáticos-alifáticos con dicloruros aromáticos y acílicos ha sido descrita por Podkoscielny et al.<sup>8-10</sup> Los ésteres de calcogeno son intermedios sintéticos útiles que se han empleado, por ejemplo, como reactivos acilantes, en la construcción para compuestos heterocíclicos, precursores de radicales acilo y aniones, y en reacciones de aldol asimétricas.<sup>11</sup>

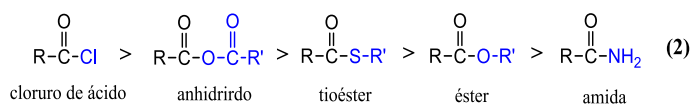
## 1.4 LOS TIOÉSTERES

La mayoría de los ésteres se forman a partir de un ácido carboxílico y un alcohol. De manera semejante los tioésteres están formados por un ácido carboxílico y un tiol (Esquema 1).

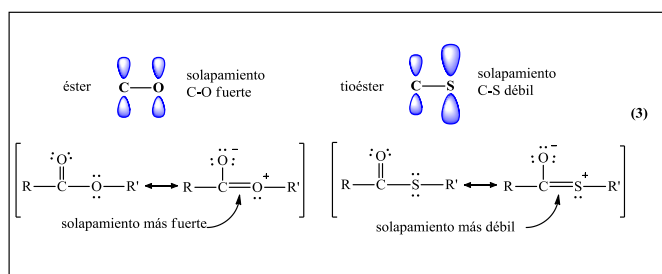


Los tioésteres son más reactivos respecto a la sustitución nucleofílica en el grupo acilo que los ésteres (Esquema 2), pero menos reactivos que los cloruros de ácido y los anhídridos. Si se incluyen los tioésteres en el orden de reactividad, se obtiene la siguiente secuencia:

Reactividad relativa



La mayor reactividad de los tioésteres se debe principalmente a dos factores: Primero, la estabilización por resonancia de un tioéster es menor que la de un éster. En un tioéster, en su forma de resonancia hay un solapamiento entre un orbital 2p del carbono y un orbital 3p del azufre (esquema 3). Estos orbitales son de tamaños diferentes y están localizados a distintas distancias del núcleo. Este solapamiento es débil y relativamente poco efectivo, haciendo que el enlace C-S de un tioéster sea más débil que el enlace C-O de un éster.



La segunda diferencia radica en los grupos salientes: el anión sulfuro de alquilo ( $^-\ddot{\text{S}}-\text{R}$ ) es un mejor grupo saliente que el anión alcóxido ( $^-\ddot{\text{O}}-\text{R}$ ) ya que el sulfuro es menos básico que el alcóxido y el átomo de azufre, más voluminoso, tiene la carga negativa repartida en un volumen superior. El azufre también es más polarizable que el oxígeno, lo que incrementa su capacidad de formar enlaces en el momento de desprenderse el anión sulfuro de alquilo.<sup>12</sup>

A pesar del creciente interés en las transformaciones orgánicas para la formación de

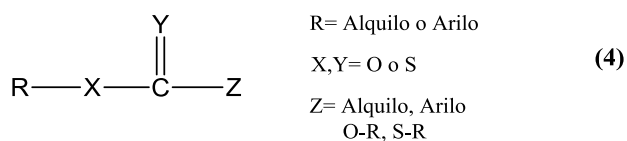
tioésteres,<sup>12,13</sup> hasta mediados de los años ochenta, los métodos para prepararlos se limitaron a los basados en metodologías convencionales como la condensación de los tioles con los ácidos carboxílicos parentales en presencia de un agente activante y la sustitución de cloruros ácidos o anhídridos de ácido con tiolatos metálicos. En la actualidad, además de estos métodos, los tioésteres pueden sintetizarse (i) carbonilación catalizada por un metal de transición, (ii) reacción de acil-litio con disulfuros, (iii) hidratación de tioacetilenos, (iv) reacciones de tipo Tishchenko, y (v) acoplamiento de cloroformiato de tiol con compuestos organoestánnicos. Los tioésteres se han utilizado en adiciones de Michael asimétricas y reacciones de Mannich así como en reacciones asimétricas de aldol. Pueden convertirse en aldehídos y cetonas y también se utilizan como precursores de radicales acilo y como grupos protectores para tioles. También se han desarrollado métodos para sintetizar lactonas y realizar adición decarboxilada a alquinos.<sup>11,14,15</sup>

Durante los últimos cincuenta años, los poliésteres han encontrado un inmenso interés tanto por investigadores académicos como por compañías químicas, donde numerosos poliésteres han sido comercializados, estos poliésteres poseen una combinación única de propiedades térmicas y mecánicas, que es particularmente útil para la industria electrónica. En contraste con estos poliésteres, los "**politioésteres**" han atraído poco interés, hasta donde se conoce, ni siquiera un politioéster ha sido técnicamente producido y comercializado. Sin embargo, cuatro factores pueden estimular un interés creciente por los politioésteres; en primer lugar, las actividades en auge en el campo de los materiales biodegradables y biocompatibles; en segundo lugar, el índice de refracción relativamente alto de los polímeros que contienen azufre que es de interés para aplicaciones ópticas y; tercero, el descubrimiento de Steinbüchel y colaboradores,<sup>16-18</sup> que ciertos microorganismos poseen enzimas que son capaces de incorporar β-mercaptocarboxílicos en poli (β-oxialcanoato)s de manera que se forman copoliésteres de ácidos β-hidroxi y β-

mercaptocarboxílicos e incluso se obtiene el homopolíéster de ácido 3-mercaptopropiónico. Finalmente, el descubrimiento de que un cierto grupo de microorganismos extremófilos posee un metabolismo basado en la química del azufre en lugar de la oxidación de sustratos orgánicos.

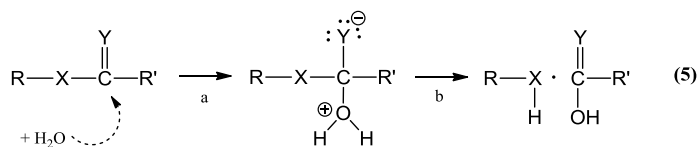
#### 1.4.1 ESTRUCTURA, NOMENCLATURA Y REACTIVIDAD

El término politioéster es una etiqueta bastante superficial e inexacta para un grupo diversificado de polímeros, no adecuado como una denominación o descripción precisa de una estructura química. Esta imprecisión tiene dos fuentes. En primer lugar, el término éster necesita una definición y en segundo lugar, los átomos de azufre pueden reemplazar átomos de O en dos o tres posiciones diferentes, de manera que la diversidad de tioésteres es mucho mayor que la de los grupos éster, los grupos tioéster pueden resumirse mediante el Esquema 4.



Cuando en el Esquema 4, Z es un grupo alquilo o arilo, X=S y Y=O, se puede usar el término tioéster. Con X=O e Y=S, el término es tionoéster, mientras que con X=S y Y=S, el término más simple es ditioéster.

Cuando la reactividad de los tioésteres se compara con la de un grupo éster normal, el resultado depende del mecanismo de reacción. Una sustitución nucleófila se desarrolla en dos etapas [Esquema 5, que se pueden distinguir como adición (5a) y etapa de eliminación (5b)]. Cuando la etapa de adición es determinante de la velocidad, como es cierto para nucleófilos pobres tales como agua, los tioésteres son menos reactivos. Los electrones del átomo S repelen el nucleófilo más eficientemente, porque el diámetro del átomo S es mayor que el del átomo O. Sin embargo, en el caso de un nucleófilo fuerte como OH<sup>o</sup>, en la etapa de eliminación puede ser determinante.

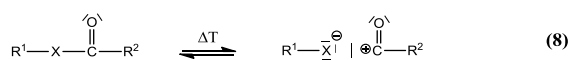
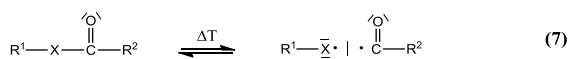
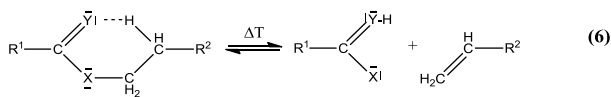


Ahora bien, el tioéster es más reactivo, porque el ion sulfuro es más estable que el correspondiente ion de óxido y, por lo tanto, es el mejor grupo saliente. Esta diferencia es evidente por la mayor acidez de H<sub>2</sub>S con relación a H<sub>2</sub>O o por la mayor acidez de tiofenoles en relación a fenoles. La alta reactividad de S-acetil Coenzima-A como agente de transferencia de acilo también se basa en esta propiedad. En resumen, los tioésteres son menos sensibles a la hidrólisis en agua neutra o débilmente ácida, pero más sensibles a la hidrólisis alcalina o a reacciones con aminas alifáticas.

Los tionoésteres (Y=S) difieren de los ésteres tior (X=S) en dos puntos. Primero, el efecto repelente de electrones (nucleófilos) ya no existe. En segundo lugar, el doble enlace C=S está más polarizado que el doble enlace C=O, debido a los diferentes diámetros de C y S que reducen la superposición de sus orbitales p. La mayor polaridad del grupo C=S, facilita el paso adicional de ataque nucleofílico.

Otro aspecto interesante es la termoestabilidad de los politioésteres con respecto a los poliésteres normales. Si la degradación térmica se produce principalmente a través de la β-eliminación (eliminación de Tsugaew, Esquema (6)), los tioésteres (R-CO-SR') podrían ser más estables, debido a la reacción de retroceso, es decir, la adición del grupo mercapto al doble enlace debería ser rápida (Y=S, X=O), la mayor polaridad favorece la rotura del enlace O-CH<sub>2</sub>, pero el grupo C=S es una base más débil que el C=O. Tanto la ruptura hemolítica (Esquema 7) y heterolítica (Esquema 8) de los grupos éster debe ser favorecida en los tioésteres. Los radicales de azufre son más estables que los radicales alcoxi o ariloxi análogos y lo mismo es cierto para los aniones de sulfuro comparados con los aniones de óxido. Para el uso a largo plazo en el aire, la estabilidad oxidativa es más importante que la termoestabilidad. Es una tendencia general en química orgánica y química del polímero que compuestos conteniendo azufre son más sensibles

a la degradación oxidativa que los compuestos de oxígeno análogos. Sin embargo, los estudios sistemáticos de la degradación oxidativa o térmica de los polioésteres son escasos.<sup>19-23</sup>



Para el caso de compuestos acíclicos -C(O)S, existe evidencia experimental abundante acerca de la adopción de una estructura con una simetría local plana alrededor del enlace C-S, favorecida por la deslocalización electrónica de resonancia entre el enlace carbonílico y el par libre electrónico de simetría  $\pi$  formalmente localizado sobre el átomo de azufre ( $lp\pi S$ ). Este efecto, es conocido como interacción de resonancia, conjugación o efecto mesomérico, que afecta también la estructura molecular, mientras que las propiedades estructurales y conformacionales de moléculas de la familia de las tiolactonas, compuestos cíclicos que contienen un grupo carbonilo y un átomo de azufre formando parte del anillo, han sido escasamente estudiadas.

## CONCLUSIONES

El comportamiento de los dos primeros miembros del grupo de los calcógenos Oxígeno y azufre, a pesar de encontrarse en un mismo grupo de la tabla periódica y de tener muchas semejanzas como elementos individuales, son grandes las diferencias químicas que presentan cuando estos se encuentran formando enlaces covalentes.

## REFERENCIAS

1. Rayner-Canham, G., *Química Inorgánica DESCRIPTIVA*. 2 ed. 2000.
2. Housecroft., A. G. S. y. C. E., *Química Inorgánica*. 2 ed. 2006.

3. Cotton, F. A., *Química inorgánica avanzada*. Limusa 1996.
4. Hirano, H.; Kadota, J.; Agari, Y.; Harada, T.; Tanaka, M.; Hasegawa, K., Linear polymers with sulfur in the main chain. IV. Synthesis of thermotropic liquid-crystalline polythioesters based on 4,4'-biphenyldithiol with excellent adhesive properties. *Polymer Engineering & Science* 2007, 47, 262-269.
5. Kobayashi, E.; Obata, T.; Aoshima, S.; Furukawa, J., Polyaddition of Dithiol Compounds to Divinyl Compounds: The Kinetics of the Model Addition Reaction of Thiophenols to Styrenes. *Polym J* 1990, 22, 803-813.
6. Sato, E.; Yokozawa, T.; Endo, T., Photopolyaddition of dithiols to bis(alkoxyallene)s. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 1996, 34, 669-672.
7. Koizumi, T.; Yoshikawa, N.; Endo, T., Novel Radical Ring-Opening Polyaddition of Dithiols to Bis(isopropenylepoxyethyl)benzene. *Macromolecules* 1994, 27, 1284-1285.
8. Podkościelny, W.; Rudź, W., Linear polythioesters—XXIV. Products of interfacial polycondensation of bis(4-mercaptomethylphenyl)sulphone with some aliphatic and phthaloyl dichlorides. *European Polymer Journal* 1993, 29, 1115-1118.
9. Podkościelny, W.; Szubińska, S., Linear polythioesters. XIII.. Products of polycondensation of isomeric di(mercaptomethyl)-dimethylbenzenes with adipoyl and sebacoyl chlorides. *Journal of Applied Polymer Science* 1988, 35, 85-101.
10. Podkościelny, W.; Szubińska, S., Linear polythioesters. XI. Products of polycondensation of some isomeric di(mercaptomethyl)dimethylbenzenes with isophthaloyl and terephthaloyl chlorides. *Journal of Applied Polymer Science* 1986, 32, 3277-3297.

11. Fujiwara, S.-i.; Kambe, N., Thio-, Seleno-, and Telluro-Carboxylic Acid Esters. In *Chalcogenocarboxylic Acid Derivatives: -/-*, Kato, S., Ed. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2005; pp 87-140.
12. G.Wade, L., *Química Orgánica*. 5 edición ed.2004.
13. Masamune, S.; Kamata, S.; Diakur, J.; Sugihara, Y.; Bates, G. S., A General, Selective Synthesis of Thiol Esters. *Canadian Journal of Chemistry* 1975, 53, 3693-3695.
14. Kato, S.; Niyomura, O., Group 1–17 Element (Except Carbon) Derivatives of Thio-, Seleno- and Telluro-Carboxylic Acids. In *Chalcogenocarboxylic Acid Derivatives*, 2005; pp 13-85.
15. Niyomura, O.; Kato, S., Chalcogenocarboxylic Acids. In *Chalcogenocarboxylic Acid Derivatives: -/-*, Kato, S., Ed. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2005; pp 1-12.
16. Kawada, J.; Lütke-Eversloh, T.; Steinbüchel, A.; Marchessault, R. H., Physical Properties of Microbial Polythioesters: Characterization of Poly(3-mercaptopalkanoates) Synthesized by Engineered Escherichia coli. *Biomacromolecules* 2003, 4, 1698-1702.
17. Lütke-Eversloh, T.; Steinbüchel, A., Microbial Polythioesters. *Macromolecular Bioscience* 2004, 4, 165-174.
18. Kim, D. Y.; Lütke-Eversloh, T.; Elbanna, K.; Thakor, N.; Steinbüchel, A., Poly(3-mercaptopropionate): A Nonbiodegradable Biopolymer? *Biomacromolecules* 2005, 6, 897-901.
19. Kricheldorf, H. R.; Schwarz, G., Poly(thioester)s. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 2007, 44, 625-649.
20. Al-Masri, M.; Schwarz, G.; Kricheldorf, H. R., new polymer syntheses. 105. Syntheses of aliphatic poly(thioester)s by ring-opening polycondensation of 2,2-dibutyl-2-stanna-1,3-dithiolane. *Journal of Macromolecular Science, Part A* 2001, 38, 1007-1017.
21. Kricheldorf, H. R., Cyclic polymers: Synthetic strategies and physical properties. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 2010, 48, 251-284.
22. Kricheldorf, H. R.; Lee, S.-R.; Bush, S., Polylactones 36. Macrocyclic Polymerization of Lactides with Cyclic Bu<sub>2</sub>Sn Initiators Derived from 1,2-Ethandiol, 2-Mercaptoethanol, and 1,2-Dimercaptoethane. *Macromolecules* 1996, 29, 1375-1381.
23. Kricheldorf, H. R.; Probst, N.; Schwarz, G.; Schulz, G.; Krüger, R.-P., New polymer syntheses. 107. Aliphatic poly(thio ester)s by ring-opening polycondensation of 2-stanna-1,3-dithiacycloalkanes. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry* 2000, 38, 3656-3664.

## Reporte de piómetra en un canino Bulldog Frances, en la clínica veterinaria Unipaz

*Report of pyometra in a french bulldog canine, at the unipaz veterinary clinic.*

Rosas Martínez Ariel,<sup>†a</sup> Campo Carrascal Ana Gabriela<sup>b</sup>

Recibido 14 Mayo 2018,  
 Aceptado 23 Julio 2018

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

**Resumen:** Piómetra es una enfermedad hormonal progesterona dependiente del útero de la perra que cursa con una complicación infecciosa durante la fase lútea del ciclo estral; es más habitual en perras adultas y aún más en las que se les ha administrado inhibidores de celo, también es frecuente en perras con pseudogestaciones o celos irregulares. El reporte del caso es una canina de 5 años de edad que ingresa a la clínica veterinaria Unipaz para valoración ecográfica de posible gestación y síntomas como inapetencia, flujo vaginal sanguinolento y micciones frecuentes. Al examen físico se encuentra una paciente febril, ganglios sub mandibulares y poplíteos aumentados de tamaño. El hemograma muestra un proceso infeccioso-bacteriano, en la ecografía se evidenció la presencia de líquidos compatibles con secreciones exudativas a nivel de los cuernos uterinos. El diagnóstico de piómetra se determinó por ecografía y biometría hemática. El tratamiento se utilizó un procedimiento quirúrgico llamado ovariocistectomía (OVH) y un post-operatorio con antibiótico; el animal evolucionó de manera satisfactoria. **Palabras claves:** piómetra, perro, útero, ciclo estral, progesterona.

**Abstract:** Piómetra is a hormonal progesterone disease dependent on the uterus of the bitch that has an infectious complication during the luteal phase of the estrous cycle; it is more common in adult bitches and even more in those that have been administered heat inhibitors, is also frequent in bitches with pseudogestations or irregular jealousy. The case report is in a 5 year old canine who enters the clinic Unipaz veterinary for ultrasound evaluation of gestation, inappetence, bloody vaginal discharge and frequent micturitions, on the physical examination the temperature and the palpation of all enlarged nodes were altered, the hemogram shows an infectious-bacterial process, the ultrasound was evidenced the presence of liquids at the level of the uterine horns. The diagnosis that was determined after taking into account the physical examination and the diagnostic aids was the pyometra. A surgical procedure called ovariocystectomy (OVH) was used for the treatment and a postoperative with antibiotic, where the animal evolved satisfactorily. **Key words:** Piometra, dog, uterus, estrous, cycle, progesterone.

### INTRODUCCIÓN

El aparato reproductor de la hembra canina se divide en ovarios, órganos tubulares dentro de los cuales están el útero, oviducto, cérvix, vagina, clítoris y vulva<sup>1</sup>.

El complejo hiperplasia endometrial quística - piómetra, es una enfermedad hormonal progesterona dependiente del útero de la perra que cursa con una complicación infecciosa, durante la fase lútea del ciclo estral, la progesterona alcanza altos niveles sanguíneos, siendo la principal responsable de esta entidad patológica, esta afección compromete no sólo el potencial

reproductivo de la perra, sino que puede también conducirla a la muerte<sup>2</sup>.

Es habitual en hembras caninas a partir de los 6 años de vida y aún más en perras a las que se les ha administrado inhibidores de celo, también es más frecuente en perras con pseudo gestaciones o celos irregulares; este cambio patológico se produce normalmente entre la 6ª y 10ª semana después del celo; esto es debido a cambios en la mucosa del útero como consecuencia de la acción de la hormona progesterona que provoca cambios en las paredes uterinas que desembocan en una hiperplasia quística endometrial que evoluciona a la piómetra<sup>3</sup>.

De acuerdo a los signos clínicos locales, pueden distinguirse dos tipos de piómetra; entre estos tenemos el piómetra a cuello cerrado debido a que

<sup>a</sup>. MVZ Caninos y Felinos Director Clínica Veterinaria Unipaz.

<sup>b</sup>. Estudiante De Medicina Veterinaria y Zootecnia, Unipaz.

<sup>†</sup> ariel.rosas@unipaz.edu.co



el cuello del útero permanece cerrado, no se observa descarga vulvar, comúnmente se acompaña de distensión abdominal, la palpación es dificultosa y evidencia una masa pastosa ocupando gran parte del abdomen, los signos generales asociados son generalmente graves<sup>4</sup>.

Por otra parte, se encuentra el piómetra a cuello abierto; debido a la permeabilidad del cuello uterino se observa descarga vulvar, la cual puede variar en su aspecto macroscópico (sanguino/purulento o purulento) y cantidad abundante o escasa, dependiendo generalmente del grado de apertura cervical. Dicha descarga puede a su vez ser continua o intermitente; los signos generales asociados, frecuentemente, son menos alarmantes que en la piómetra a cuello cerrado. La progesterona sérica parece ser la responsable de la apertura o no de la cérvix<sup>5</sup>.

No existe una causa como tal para que esta infección uterina aparezca pero se ha demostrado que está ligada a influencias hormonales<sup>6</sup>. Las dos hormonas principales que se producen en los ovarios son el estrógeno y la progesterona, cuando se produce una excesiva producción de progesterona o el útero se vuelve sensible a esta, se produce la piómetra, en los tejidos del útero se forman quistes que contienen numerosas células secretoras que producen y liberan fluidos al interior del útero, la presencia de este fluido junto al engrosamiento de las paredes del útero produce un alarmante aumento en el tamaño de este órgano<sup>7</sup>.

Uno de los patógenos más frecuentemente aislado desde la secreción purulenta contenida en útero es *Escherichia coli*, tanto en perras como en gatas, sin embargo en su tratamiento, la resistencia antimicrobiana en bacterias, es un fenómeno que ha ido en constante evolución desde la introducción de los antibióticos; varios factores han aumentado la resistencia bacteriana, incluyendo al pobre acceso al tratamiento, el uso de antibióticos como profilaxis y como promotores de crecimiento<sup>8</sup>.

Los síntomas de la piómetra son bastante evidentes, tales como fiebre y un flujo vaginal con pus, muy diferente al habitual, otros indicios que nos pueden indicar que nuestra mascota padece

esta enfermedad son decaimiento, inapetencia y anorexia, emesis, letargia y depresión, polidipsia y poliuria<sup>9</sup>.

El diagnóstico se establece a través de una correcta anamnesis y exploración física, asimismo es necesario tomar una citología vaginal, radiografía y ecografía abdominal<sup>10</sup>.

El hemograma completo, perfil de bioquímica sérica y análisis de orina son necesarios para detectar las anormalidades metabólicas asociadas con sepsis y evaluar la función renal<sup>11</sup>. Los hallazgos más comunes del hemograma están asociados con signos de inflamación que incluyen leucocitosis, neutrofilia con grados variables de inmadurez celular (desviación a la izquierda), monocitosis e incremento de las concentraciones en suero de Inmunoglobulinas, complejos inmunes circulantes y lisozimas<sup>12</sup>.

Es recomendable la ovariectomía (castración quirúrgica), que sería la extracción quirúrgica de ovarios y útero, además de tratamiento con antibiótico; es un tratamiento efectivo, siempre y cuando la infección no se haya generalizado y el estado del animal sea adecuado; en caso de infección generalizada, el pronóstico suele ser desfavorable<sup>13</sup>.

En el caso de perras con un elevado valor reproductor, se puede intentar el tratamiento con antibióticos, así como el drenaje y lavado del útero, pero se debe tener en cuenta que los resultados en este tratamiento suelen ser poco satisfactorios<sup>14</sup>.

## CASO CLÍNICO

**Anamnesis.** En la clínica veterinaria del Instituto Universitario de la paz-Unipaz, ingresa una hembra canina llamada Karla de raza bulldog francés de 5 años de edad con un peso de 14 kg, con una dieta a base de concentrado comercial, registro de vacunación al día y no reporta última desparasitación. Durante el lapso de tiempo de la consulta el propietario expone que la paciente fue montada hacía 45 días aproximadamente, también refiere que la perra presentaba micciones

frecuentes y acompañados de coágulos, además bebía agua en exceso y su apetito disminuido.

**Examen físico y diagnóstico.** El paciente se observó alerta, con una frecuencia cardiaca de 132 latidos por minutos (lpm) frecuencia respiratoria de 80 respiraciones por minutos (rpm) tiempo de llenado capilar no mayor a 2 segundos, ganglios submandibulares, preescapulares y poplíteos inflamados, esto una condición conocida como linfadenitis, se caracteriza por la inflamación de los ganglios, debido a una migración activa de los glóbulos blancos de la sangre<sup>15</sup>. Además una coloración de mucosas orales y conjuntivas rosadas, temperatura de 39.8 °C alterada respecto a los parámetros normales, ya que en caninos se maneja un rango promedio de 37°C a 39°C. La reacción febril suele presentarse como resultado de la exposición del cuerpo a microorganismos infectantes, complejos inmunitarios u otras causas de inflamación<sup>16</sup>, al momento de la palpación no se evidenció dolor. Después se procedió a realizar exámenes complementarios como: Hemograma (Tabla 1) y ecografía útero (Figura 1).

Fig. 1: Ecografía útero paciente.

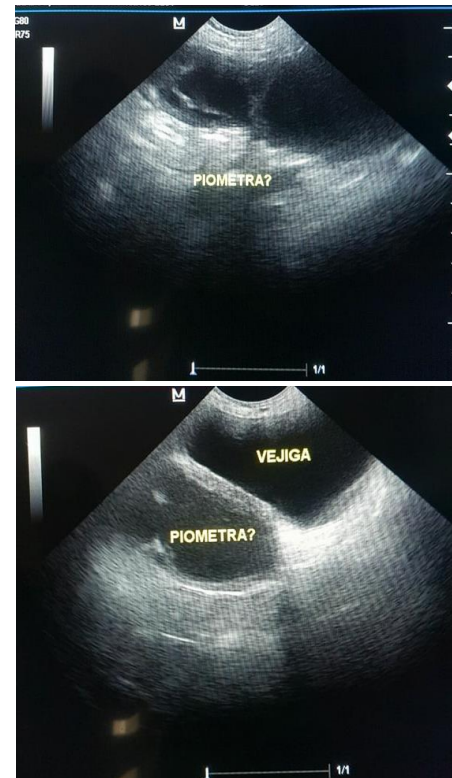


Tabla 1: Hemograma paciente

EXAMEN	RESULTADOS	VALORES NORMALES (caninos)
WBC	(H) 45.4	6.0-17 x10 <sup>9</sup> /L
LYM#	4.9	0.8-5.1 x10 <sup>9</sup> /L
MON#	0.7	0.0-1.8 x10 <sup>9</sup> /L
GRAN#	(H) 39.8	4.0-12.6 x10 <sup>9</sup> /L
LYM%	(L) 10.7	12.0-30.0%
MON%	(L) 1.6	3.3%
GRAN%	(H) 87.7	81.2%
RBC	5.80	5.50-8.50x10 <sup>9</sup> /L
HGB	(L) 107	110-190 g/L
HCT	39.6	39.0-56.0%
MCV	68.3	62.0-72.0/L
MCH	(L) 18.4	20.0-25.0pg
MCHC	(L) 270	300-380g/L
RDW	15.4	11.0-15.5%
PLT	189	117-460 x10 <sup>9</sup> /L
MPV	10.3	7.0-12.9fL
PDW	16.2	
PCT	0.194	
EOS	5.2	0-4%



El resultado del hemograma permitió observar que la paciente cursaba una leucocitosis, acompañada

de granulocitosis absoluta, linfopenia, monocitopenia, y granulocitosis relativa; todo esto podría estar relacionado con el proceso infeccioso-bacteriano por el que cursaba el animal, todo esto acompañado de una anemia regenerativa normocítica hipocromica, demostrado en los valores bajos de Hemoglobina (HGB), Hemoglobina corpuscular media (MCH) y en la concentración de la hemoglobina corpuscular media (MCHC).

La ecografía evidenció un útero aumentado de tamaño con un contenido de densidades hipoecoico y anecoico en su interior, compatible con colecta uterina de posible origen exudativo. Se explica porque la piómetra aparece ecográficamente como estructuras tubulares anecogénicas que representan los cuernos uterinos posiblemente llenos de material líquido exudativo, así mismo expone que esta patología no son diferenciables ecográficamente de cualquier otro proceso patológico que determine una ocupación líquida del útero<sup>17</sup>.

**Tratamiento.** Al realizar el examen físico y las ayudas diagnosticas se determinó que no era una gestación y que estaba cursando un proceso patológico; así mismo se decidió realizar el procedimiento quirúrgico llamado ovario histerectomía (OVH) (Figura 2)

Fig. 2. Cirugía (OVH) canino con piometra



Se utilizó como pre-anestésico Xilacina a una dosis de 0,2 mg/kg (EV), un anticolinérgico como sulfato de atropina a 0.044 mg/kg (EV). Como anestésico

Ketamina 5% a 10mg/kg (IV). Fluido terapia con cloruro de sodio al 0.9%. El post-operatorio farmacológico con antibiótico amoxicilina más Ácido clavulánico a dosis de 10 mg/kg BID por 5 días. En el manejo de la inflamación y dolor se utilizó ketoprofeno a 1.1 mg/kg SID y tramadol 2mg/kg BID durante cinco días.

A partir del siguiente día después del procedimiento quirúrgico la paciente muestra una mejoría actitudinal bastante notoria, no se encuentra decaída, disminuyó la poliuria y polidipsia, consume alimentos de manera normal. Finalmente la paciente tuvo una recuperación satisfactoria.

### CONCLUSIONES

La raza Bulldog Francés ingresa dentro los caninos susceptibles a la aparición de piómetra. Aunque no se conoce la verdadera incidencia de esta enfermedad se acepta que aumenta a medida que la hembra se hace más adulta, pero puede presentarse a cualquier edad luego del primer celo<sup>18</sup>.

Se sigue considerando que la mayor incidencia de piómetra se da en las perras que tienen de 4 a 10 años, ya que teóricamente, se presenta después de varias exposiciones del útero a la progesterona<sup>19</sup>.

El diagnóstico rápido de esta patología es clave para que el cuadro clínico no se complique, teniendo en cuenta que causa una infección bacteriana en la pared del útero que si no es tratada a tiempo podría conllevar a la muerte del animal. Sigue siendo la ecografía el examen complementario de elección para detectar esta enfermedad, esto acompañada de exámenes complementarios como el hemograma; ya que el recuento leucocitario aumentado permite confirmar la presencia de un proceso infeccioso.

El tratamiento electivo sigue siendo la ovario histerectomía (OVH), dicho tratamiento consiste en realizar una extirpación de los ovarios y útero; no obstante, este no es el único tratamiento; se pueden emplear otros métodos de curación farmacológicos como el uso de "aglepristone"<sup>20</sup> y antibiótico para evitar la cirugía dependiendo del caso.

### AGRADECIMIENTOS

A la Clínica Veterinaria del Instituto Universitario de la Paz, a sus estudiantes rotantes y su docente.

### REFERENCIAS

1. Paramo Ramirez, Rosa María (n.d). Manual de prácticas en manejo reproductivo de perros. Consultado el 17 de junio del 2017, disponible en [http://www.fmzv.unam.mx/fmvz/principales/archivos/Manuales/52\\_Reproduccion\\_Perros.pdf](http://www.fmzv.unam.mx/fmvz/principales/archivos/Manuales/52_Reproduccion_Perros.pdf)
2. SILVA MOLANO, Raúl; y LOAIZA ECHEVERRI, Ana (2007). Piómetra en animales pequeños. Colombia. Consultado el 18 de junio del 2017
3. Hiperplasia Endometrial Quística (n.d) Consultado el 25 de junio del 2017, <https://andervet.files.wordpress.com/2010/09/hiperplasia-endometrial-quistica.pdf>
4. Corrada, Y; Y Gobello, C (n.d). Tratamiento médico de la piómetra canina: una nueva opción para un viejo problema. Consultado el 23 de junio del 2017, disponible en [http://www.cvpba.org/assets/pdf/pdf\\_pequenos/tratamiento\\_piometra\\_canina.pdf](http://www.cvpba.org/assets/pdf/pdf_pequenos/tratamiento_piometra_canina.pdf)
5. Clínica Veterinaria Romareda (n.d). Consultado el 23 de junio del 2017, de <http://www.clinicaveterinariaromareda.com/que-es-una-piometra>.
6. Quintero, Paula (2017). Piómetra canina, causas, síntomas y tratamiento. Consultado el 24 de junio del 2017, de <https://notasdemascotas.com/piometra-canina>.
7. Piometra Canina (2016). Consultado el 23 de junio del 2017, de <https://vidaanimal445.wordpress.com/2016/11/19/piometra-canina/>
8. Que es la piometra? Causas y sintomas (n.d) Consultado el 23 de junio del 2017,

- de <http://mascotafiel.com/que-es-la-piometra-causas-y-sintomas/>
9. Que es la piometra canina? Como detectarla y tratarla (2013) Consultado el 25 de junio del 2017, de <http://www.mysocialpet.com/2013/07/16/que-es-la-piometra-canina-como-detectarla-y-tratarla/>
  10. Que Es La Piometra Y Como Se Cura (n.d). Piómetra canina, causas, síntomas y tratamiento. Consultado el 25 de junio del 2017, de <https://www.hogar.mapfre.es/mascotas/perros/3186/enfermedad-piometra>
  11. Guzman, Blank (2014). Piómetra canina. Consultado el 28 de junio del 2017, de <https://es.slideshare.net/BlankGuzman/piometra-canina>
  12. Peraita, José (n.d). Piómetra canina – síntomas y tratamiento. Consultado el 25 de junio del 2017, de <https://www.expertoanimal.com/piometra-canina-sintomas-y-tratamiento-21060.html>
  13. Romairone, Adrián (n.d). Piómetra canina. Consultado el 25 de junio del 2017, de <http://www.diagnosticoveterinario.com/piometra-canina/899>
  14. Lopez, Eva (n.d). Como tratar la piómetra canina. Consultado el 26 de junio del 2017, de <https://animales.uncomo.com/articulo/como-tratar-la-piometra-canina-22934.html>
  15. Linfadenitis En Perros (n.d). Consultado el 26 de junio del 2017, de <http://www.venfido.com.mx/enfermedad.php?n=linfadenitis-en-perros>
  16. Alpizar Caballero, Lourdes; Y Medina Herrera, Esther (1999). Fisiopatología de la fiebre. Consultado el 26 de junio del 2017, de [http://bvs.sld.cu/revistas/mil/vol28\\_1\\_9/mil08199.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/mil/vol28_1_9/mil08199.pdf)
  17. Diez Bru, N (1992). Ecografía abdominal en pequeños animales. Consultado el 27 de junio del 2017, de <https://ddd.uab.cat/pub/clivetpegani/11307064v12n3/11307064v12n3p150.pdf>
  18. Orozco, Sonia; *et al* (2005). Piómetra y gestación simultánea en una perra: reporte de un caso. Colombia. Consultado el 28 de junio del 2017, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-06902005000200008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-06902005000200008)
  19. Pinedo, Carolina (2013). Infección de útero en la perra: síntomas y prevención. Consultado el 28 de junio del 2017, <http://www.consumer.es/web/es/mascotas/perros/salud/vacunas-y-enfermedades/2013/07/26/217369.php>
  20. Mora Montero, Orlando Mario (2010). Monografía sobre el uso de aglepristone como tratamiento de piómetra en perras. Colombia. Consultado el 27 de junio del 2017, <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/6089/T14.10%20M79m.pdf?sequence=1>

## Sostenibilidad en los Procesos Agroindustriales

### *Sustainability in agroindustrial processes*

Recibido 13 Junio 2018,  
 Aceptado 31 Julio 2018

Sandra Rocío Patiño Villamizar<sup>a</sup>, Héctor Leandro Otálvaro Marín<sup>b</sup>, Luz Elena Ramírez Gómez<sup>c</sup>,  
 Mónica María Pacheco Valderrama<sup>c</sup>, Jhon Jairo Triana Niño<sup>d</sup>

[www.unipaz.edu.co](http://www.unipaz.edu.co)

**Resumen:** En el artículo se plantea una revisión en el número de publicaciones realizadas en el tema de sostenibilidad desde 1994 hasta hoy. Esta revisión se realizó con ayuda de la base de datos Scopus de acuerdo a la búsqueda sobre Sostenibilidad. Presenta un análisis sobre la distribución de estas publicaciones. También plantea el cambio actual de la concepción de Desarrollo Sostenible a Desarrollo Regenerativo, la importancia del cuidado del ambiente en los procesos agroindustriales, posibilidades de cambio en diferentes procesos agropecuarios e invita a pensar y actuar sobre distintas posibilidades de investigación en los procesos agroindustriales que permitan apoyar al Desarrollo Regenerativo desde el punto de vista de diferentes científicos. **Palabras claves:** Desarrollo Regenerativo, Desarrollo Sostenible, Procesos Agroindustriales.

**Abstract:** The article proposes a revision in the number of publications made on the subject of sustainability from 1994 until today. This revision was made with the help of the Scopus database according to the search on Sustainability. It presents an analysis on the distribution of these publications. It also proposes the current change from the concept of Sustainable Development to Regenerative Development, the importance of taking care of the environment in agro-industrial processes, possibilities of change in different agricultural processes and it invites to think and act on different research possibilities in the agro-industrial processes that allow to support the Regenerative Development from point of view of different scientists. **Key words:** Regenerative Development, Sustainability development, Agroindustrial Processes.

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el término sostenibilidad es utilizado ampliamente para referirse al cuidado del ambiente. Desafortunadamente, se emplea con mucha facilidad sin tener en cuenta la pertinencia del concepto. Esto se evidencia en los resultados que se pueden obtener al hacer una búsqueda concienzuda en bases de datos científicas, siendo Scopus una de las más utilizadas.

### MÉTODOS

En la base de datos Scopus, se realizó la búsqueda bibliográfica sobre producciones escritas que se hayan publicado sobre Sostenibilidad, la cual arrojó como resultado 434 publicaciones desde 1994 hasta 2018.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1, 2, 3 y 4 muestran los resultados de la búsqueda. Solo se tuvo en cuenta los países de habla hispana. La figura 1 muestra el número de artículos científicos publicados en los últimos años. La figura 2 clasifica los países según su contribución a la literatura científica en Sostenibilidad. La figura 3 muestra cómo está distribuida la difusión del conocimiento según el tipo de publicación. La figura 4 muestra las áreas del conocimiento donde más impacta la sostenibilidad.

<sup>a</sup>. Institución Educativa Pozo Nutrias Dos.

<sup>b</sup>. Escuela de Ingeniería de Alimentos, Universidad de la Amazonia.

<sup>c</sup>. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Instituto Universitario de La Paz UNIPAZ.

<sup>d</sup>. Institución Educativa Pozo Nutrias Dos.

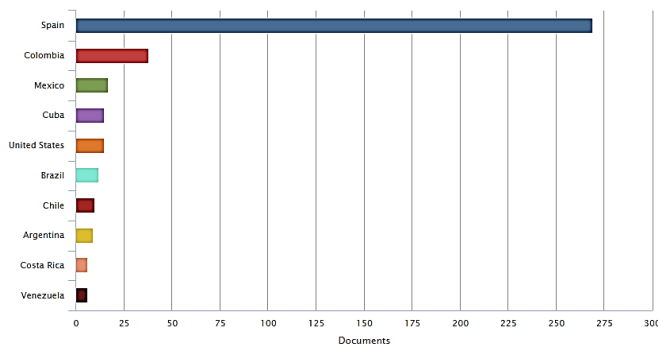
† spatinovillamizar@gmail.com

**Fig 1:** Documentos publicados sobre sostenibilidad



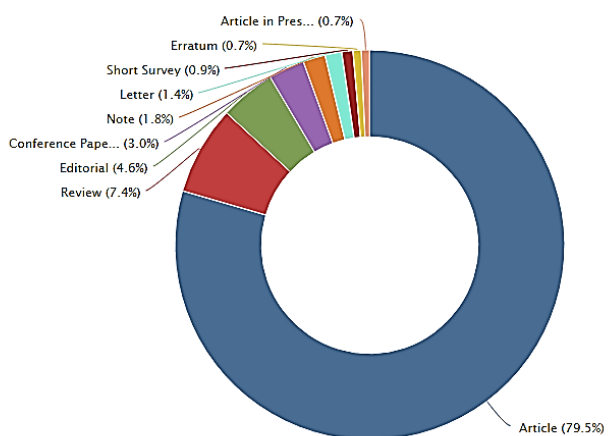
Fuente: Scopus (mayo 2018)

**Fig. 2:** Países con mayor número de publicaciones



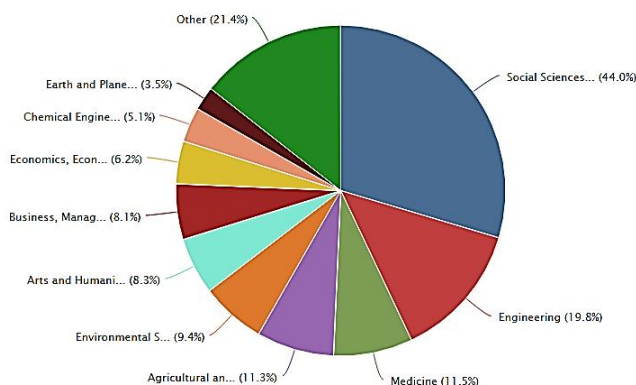
Fuente: Scopus (mayo 2018)

**Fig.3:** Distribución de las producciones de acuerdo al tipo de publicación



Fuente Scopus (mayo 2018)

**Fig. 4:** Áreas del conocimiento a las cuales pertenecen las publicaciones



Fuente Scopus (mayo 2018)

Desde 1993 es evidente el aumento significativo en la publicación de artículos científicos publicados en revistas de alto nivel (Figura 1), donde España es el país con más publicaciones al respecto (Figura 2). Los tipos de documento son variados, al igual las áreas del conocimiento. Los artículos científicos son los más publicados (Figura 3) en Ciencias sociales e Ingeniería (Figura 4).

Esto demuestra la preocupación y/o actualidad respecto al tema, pero a lo largo de estos años no han ocurrido cambios realmente significativos respecto al mismo. El concepto de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, plantea la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras. Este concepto se ha visto cuestionado sobre su verdadero papel o relevancia en el entorno actual. Por tal razón, el concepto de Desarrollo Sostenible está siendo cambiado por Desarrollo Regenerativo<sup>1</sup>.

Según un artículo reciente del experto Medard Gabel, la sostenibilidad es una meta muy poco ambiciosa, con la que no se ha logrado un cambio en la forma en la que funciona el mundo. “A lo que le llamamos desarrollo sustentable es el uso de recursos para mejorar el bienestar de la sociedad de una forma que no destruya los sistemas de

soporte necesarios para el crecimiento futuro”, explica Gabel, y continúa: “el desarrollo regenerativo es el uso de recursos para mejorar el bienestar de una sociedad de una forma que construye la capacidad para los sistemas de soporte necesarios para el crecimiento futuro.”<sup>2</sup>

Es decir, el desarrollo sostenible busca una respuesta sobre cómo podemos darle solución al problema ambiental y a la vez mantener todos los sistemas de soporte. En cambio, el Desarrollo Regenerativo tiene un alcance mucho más amplio ya que plantea la posibilidad de cómo podemos resolver este problema de manera que mejore lo que ya hemos dañado.

El Desarrollo Regenerativo no es solo la parte ambiental, también incluye factores sociales, culturales, políticos y económicos. Es tan amplio el panorama que ofrece este concepto, que incluye la intervención en el incremento de la marginalidad y la pobreza<sup>3</sup>.

### **Desarrollo Regenerativo y la agroindustria**

El Desarrollo Regenerativo requiere una intervención más amplia al respecto desde todos los puntos de vista de los sistemas de soporte que tiene la tierra, donde la producción de bienes y servicios es de gran importancia<sup>4</sup>.

Ante este panorama, los procesos agroindustriales deben apuntar hacia el desarrollo de un sistema de producción regenerativo, es decir cómo aprovechar la biodiversidad con que se cuenta para satisfacer las necesidades alimentarias, dar valor agregado a los productos de exportación mediante procesos de agroindustrialización y a su vez reparar o regenerar los recursos explotados<sup>5</sup>.

Con este punto de vista, es conveniente resaltar algunos procesos, productos y cultivos demandados, de gran importancia económica, que permitirían dar nuevas oportunidades a los productores del campo y ampliar la oferta agroindustrial; estos son:

- Uso integral de frutas de producción estacional.
- Extracción de aceites esenciales a partir de plantas aromáticas.
- Producción de colorantes naturales.

- Procesamiento de productos farináceos no convencionales.
- Utilización de desechos agroindustrial para la producción de otras materias primas y/o combustibles<sup>6</sup>.

Por fortuna, existe una amplia gama de posibilidades, muchas de ellas con resultados alentadores: granjas integrales, cultivos múltiples, integrales y complementarios, y agroforestales, manejo de coberturas vegetales sobre el suelo, fertilización con materia orgánica o abonos verdes, selección de cultivos, rotación de cultivos, siembra en franjas, curvas de nivel y terrazas, cercas vivas, siembra y cosecha oportuna, compostaje, henificación y ensilaje, manejo integrado de plagas, tracción animal, especies promisorias (nuevas fuentes proteicas: animales, vegetales), uso de formas alternas de energía, y otras, fruto del saber ancestral y de los desarrollos tecnológicos modernos<sup>7</sup>. Muchos de ellos han sido y deben ser objeto de investigación, desarrollo, transferencia, incorporación, incentivo y fomento como parte de una política de desarrollo sostenible agropecuario y rural. Todo lo anterior complementado con la visión de que los servicios ambientales, producción de agua, O<sub>2</sub>, captación de CO<sub>2</sub>, son una fuente de oportunidades para las comunidades rurales, sumados a las crecientes actividades recreativas denominadas ecoturismo<sup>8</sup>.

Colombia es un país con una importante economía emergente que ha comenzado a dar los primeros pasos hacia el desarrollo de un marco para la gestión de la contaminación con oportunidades para que el país aprenda de países con marcos bien establecidos como los Estados Unidos (EE.UU) y Reino Unido (RU) con la colaboración internacional de organizaciones como CRC para la Evaluación de Contaminación y Remediación del Medio Ambiente (CARE)<sup>9</sup>.

Para esto es necesario comprender muy bien la dinámica de las ciudades, sus necesidades y sus beneficios. El metabolismo urbano representa un área de estudio que se considera prometedora en la investigación interdisciplinaria de las ciudades y la sostenibilidad. El término metabolismo urbano es



un concepto en el que la ciudad se analiza utilizando algunas nociones de biología que se refieren a los procesos internos por los cuales los organismos vivos mantienen un intercambio continuo de materia y energía con su entorno para permitir la operación, el crecimiento y la reproducción. Sin embargo, la base para comprender los aspectos más profundos del metabolismo urbano y su alcance con respecto al análisis de las ciudades en el contexto de sostenibilidad, es necesario revisar la evolución histórica del concepto y la teoría que lo estructuran. Esta revisión de la literatura discute el origen y la evolución del metabolismo urbano y su alcance teórico, incluida su relación con la sostenibilidad de las ciudades a la luz del paradigma propuesto por la ecología urbana<sup>10</sup>.

## CONCLUSIONES

Existe un crecimiento acelerado de las publicaciones sobre sostenibilidad en países hispanos en las últimas dos décadas, así mismo, se presentan cambio de concepción en la región para para generar procesos agroindustriales y sociales sostenibles inicialmente basados en desarrollo sustentable hacia procesos basados en desarrollo regenerativo.

## REFERENCIAS

1. KOSMOS. *Journal for global transformation*. <https://www.kosmosjournal.org/>
2. Cortés Marín, Elkin Alfonso; Suárez Mahecha, Héctor; Pardo Carrasco, Sandra. (2008). Producción sostenible en la agricultura Colombiana. *Revista Eidenar Universidad del Valle* (7). 48-56.
3. Arias España, Víctor Andrés; Rodríguez Pinilla, Alfonso; Bardos, Paul; Naidu, Ravi. (2018). Contaminated land in Colombia: A critical review of current status and future approach for the management of contaminated sites. *Science of the Total Environment*. (618). 199-209.
4. Céspedes Restrepo, Juan D; Morales Pinzón, Tito. (2018). Urban metabolism and sustainability: Precedents, genesis and research perspectives. *Resources, Conservation & Recycling*. (131). 216-224.
5. Duquino-Rojas, Luis Gabriel. (2018). Sustentabilidad ambiental urbana, alternativas para una política pública ambiental. *Bitácora* 28. (1). 141-149.
6. Arroyave R, Camilo Alfonso. (2015). Tendencias de producción y consumo ecológico en Antioquia. Universidad de Medellín.
7. Muller, Eduard. (2016). Desarrollo regenerativo ante el cambio global, garante de un futuro económico, social y ambiental. Universidad para la Cooperación Internacional.
8. Campos Sánchez, F.S; Abarca-Alvarez, F.J; Domingues, A. (2018). Sustainability, planning and urban development. Looking for a critical integration through the study of recent cases. *Architecture, City and Environment* 12. (36). 39-72.
9. Duquino-Rojas, Luis Gabriel. (2018). Sustentabilidad ambiental urbana, alternativas para una política pública ambiental. *Bitácora* 28. (1). 141-149.
10. Arroyave R, Camilo Alfonso. (2015). Tendencias de producción y consumo ecológico en Antioquia. Universidad de Medellín.