

Desarrollo Fetal en Mamíferos

Foetal Development in Mammals

Carolina Smok*; Ignacio Roa** & Mariana Rojas*,***

SMOK, C.; ROA, I. & ROJAS, M. Desarrollo fetal en mamíferos. *Int. J. Med. Surg. Sci.*, 1(2):139-145, 2014.

RESUMEN: Durante el período fetal se llevan a cabo una serie de cambios necesarios con el fin de preparar al feto para la vida extrauterina. Esto debido a una maduración fisiológica de tejidos, órganos y sistemas, junto con un rápido crecimiento del cuerpo. Otros acontecimientos de interés son el comienzo del proceso de osificación de los huesos (cortos y largos), formación de los párpados; y de otros elementos tegumentarios, además de la secreción surfactante, por parte de los pulmones. En el presente trabajo realizaremos una descripción de los principales eventos que caracterizan este período, junto con una comparación de ellos entre algunos mamíferos domésticos.

PALABRAS CLAVE: Feto; Mamífero; Bovino; Ovino; Felino; Maduración.

INTRODUCCIÓN

El período fetal, se caracteriza por el crecimiento del cuerpo dado por una maduración fisiológica de tejidos, órganos y sistemas (Figs. 1-4). El crecimiento es inicialmente lento y tiene por base el proceso de hiperplasia (multiplicación celular), para posteriormente, en el último tercio de la gestación, iniciarse una fase de crecimiento rápido caracterizado fundamentalmente por hipertrofia (aumento de tamaño de las células), así como también por aumento de la matriz extracelular. El tamaño fetal está influenciado íntimamente por el ambiente uterino, es así como la interferencia del crecimiento celular durante la fase de hiperplasia puede determinar una falta de crecimiento corporal permanente, cuya cuantía es proporcional a la duración del período de desnutrición, mientras que, una restricción tardía tiene como única consecuencia la aparición de células más pequeñas que recobran su tamaño normal, al mejorar las condiciones ambientales (Rojas & Rodríguez, 1987; Rojas *et al.*, 2011).

Al inicio de este periodo, el crecimiento de la cabeza es lento en comparación con el resto del cuerpo, constituyendo solo un tercio de éste. Sin embargo, al aumentar el desarrollo, esta proporción es modificada, siendo la cabeza, alrededor de un cuarto del cuerpo (Figs. 3).

Es durante este período cuando el embrión adquiere las características propias de su especie, ocurriendo una diferenciación más avanzada de los dedos de acuerdo a su especie (Figs. 5-7); osificación de los huesos (Figs. 8-10) y formación de médula ósea. Además de ocurrir la diferenciación de vías genitales y genitales externos en sentido femenino o masculino (Rojas & Rodríguez; Rojas *et al.*).

DESARROLLO DEL APARATO ESQUELÉTICO

Los primeros huesos en osificarse, en todas las especies, son la clavícula y la mandíbula, los cuales se forman mediante osificación

* Laboratorio de Embriología Comparada, Programa de Anatomía y Biología del Desarrollo, Facultad de Medicina, Universidad de Chile, Chile.

** Unidad de Histología y Embriología; Departamento de Ciencias Básicas Biomédicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Talca, Chile.

*** Programa de Doctorado en Ciencias Morfológicas, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile.

directa del tejido mesenquimático presente en el área.



Fig. 1. Visión histológica de corte sagital de feto de bovino.

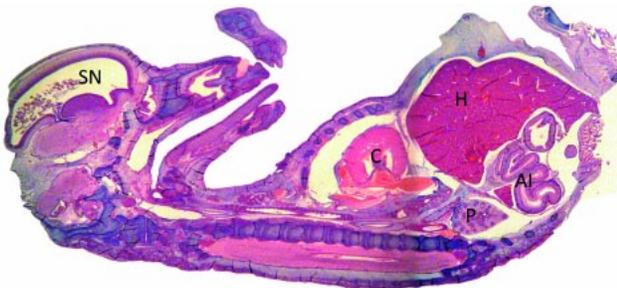


Fig. 2. Ovino.



Fig. 3. Felino.

Clavícula. Presenta un desarrollo variable en las distintas especies, de acuerdo al tipo de locomoción y movimientos de coordinación de los miembros torácicos (Rojas & Montenegro, 1995). En perros y gatos su desarrollo esta re-

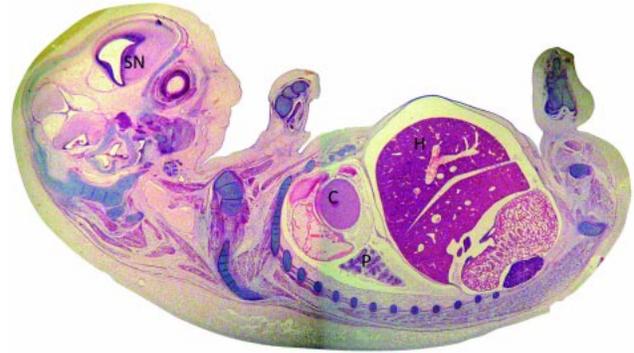


Fig. 4. Porcino. Se observa sistema nervioso central bien establecido (SN). Además del corazón (C), hígado (H), pulmones (P), asas intestinales (AI). Tinción con H/E y azul de Alcian.



Fig. 5. Feto bovino presenta miembros con dos dedos separados por un surco interdigital y dedos vestigiales.



Fig. 6. Feto equino. Los miembros presentan un solo dedo.

ducido a un pequeño hueso vestigial (Fig. 8) visible mediante el método de diafanización a los 32 días de gestación (Galleguillos, 1988). En ovinos y bovinos, en cambio, no existe la clavícula, sin embargo se forma un esbozo de

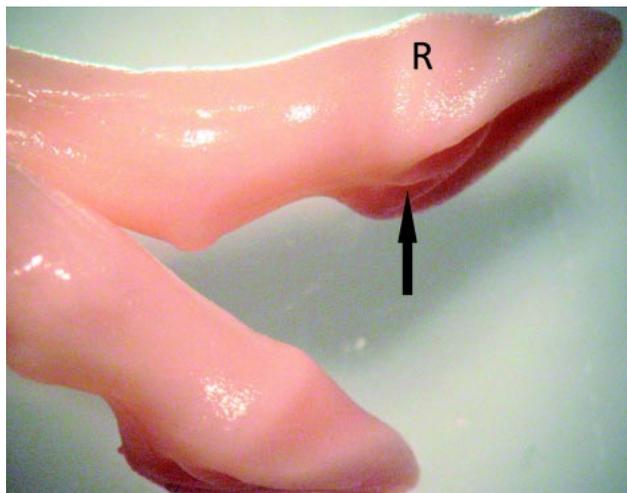


Fig. 7. Mayor aumento de miembro anterior de equino. Nótese la presencia de los rodetes coronarios (R) conformando la porción interna de las pezuñas. Además se observa la ranilla (flecha) de la porción ventral.



Fig. 8. Feto de gato, se evidencia la progresión de la osificación. Los huesos ya osificados se destacan en rojo. Técnica de diafanizado de Wassersug y tinción con alizarina para hueso y azul de Alcian para destacar cartílago.



Fig. 9. Miembro posterior de gato. Se observan 4 huesos metatarsianos (flechas), 4 falanges (flecha punteada) y las uñas (U). Técnica de diafanizado de Wassersug y tinción con alizarina para hueso y azul de Alcian para destacar cartílago.

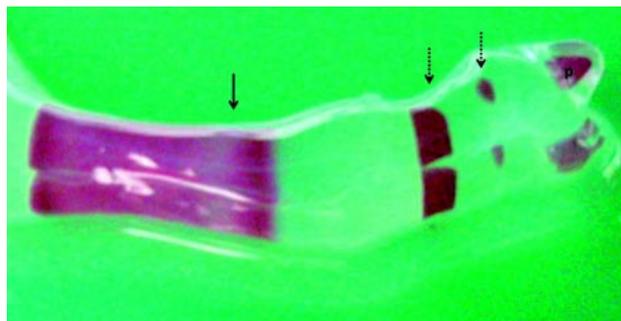


Fig. 10. Miembro posterior de bovino, donde se observan los huesos metatarsianos (flecha), falanges (flecha punteada) y 2 pezuñas (P). Técnica de diafanizado de Wassersug y tinción con alizarina para hueso.

ella y se puede reconocer a los 40 días de gestación en ovejas (Orszag, 1985; Rojas & Montenegro, 1995).

Mandíbula. encargada de albergar los dientes inferiores y articularse por su condilo con el hueso temporal. Es un hueso que en ovinos (oveja) de 31 a 35 días y en felinos (gato) de 32 a 39 días se observa el cartílago diferenciado en sínfisis, centro o cuerpo, y un componente caudal. En la oveja el centro del cartílago del primer arco no sufre osificación endocondral, la sínfisis mantiene el diámetro y se prolonga para formar el proceso rostral que promueve el crecimiento de la mandíbula. En gatos, en cambio, la sínfisis es poco desarrollada y la parte anterior del centro del cartílago sufre osificación endocondral. Las diferencias encontradas en la estructura del cartílago mandibular (de Meckel) y su diferenciación posterior están relacionadas con la forma definitiva de la mandíbula en ovinos (dolicocefálicos) y en felinos (braquiocefálicos) (Rojas & Montenegro, 1996; Montenegro *et al.*, 2004; 2007).

Cráneo y cuernos. Entre los 51 a 55 días aparecen los centros de osificación en huesos frontal y maxilar, a su vez a los 56 días se pueden observar los centros de osificación en huesos parietal, occipital, malar y nasal. En animales como bovinos, los núcleos de los cuernos comienzan como pequeñas proliferaciones óseas en el tejido conectivo subcutáneo bajo la piel del cráneo (Meruane *et al.*, 2012) y se pueden visualizar a los 100 días, en oveja a los 77 días (Orszag).

Desarrollo de los miembros. Los miembros crecen y distalmente se forman las uñas, pezuñas o cascos dependiendo de la especie animal (Figs. 5-7) (Tabla I). Los huesos largos de los miembros, se forman primero como una miniatura de cartílago hialino, para posteriormente ocurrir la osificación endocondral en el interior del modelo cartilaginoso (Fig. 8), la cual permite el crecimiento longitudinal del hueso, la osificación periosteal que es un tipo de osificación directa permite el crecimiento en grosor de los huesos. Las epífisis se forman mediante osificación endocondral a partir de un punto de osificación secundario (Rojas & Rodríguez). En los miembros torácicos de los gatos se observan cinco dígitos, mientras que en los pélvicos sólo cuatro (Galleguillos).

DESARROLLO DEL TEGUMENTO

Durante el período fetal se forma el periderma (Fig. 11), una capa de células planas que se forma sobre la epidermis, el cual conforme avanza el desarrollo del feto, se irá desprendiendo. Su función es proteger la piel de las erosiones provocadas por el líquido amniótico (Leung *et al.*, 2013). La piel en la especie humana se cubre de un material grasoso blanquecino que se conoce como vernix caseoso o unto sebáceo, constituido por una combinación de secreción de las glándulas sebáceas de la piel y células epidérmicas muertas. Esta sustancia protege la piel fetal de lesiones que resultan de su exposición al líquido amniótico y favorece la salida del feto durante la parición (Rojas & Rodríguez; Meruane & Rojas, 2012). En el gato a los 36 días, se aprecia la presencia de las vibrisas y folículos pilosos en todo el cuerpo (Galleguillos).

El cuerpo de los fetos humanos se recubre de un vello fino llamado lanugo, que ayuda a conservar el vernix caseoso en la piel, párpados y barbilla. En los animales en cambio aparece un pelo de guarda (Meruane & Rojas). Se forma también la grasa parda, tejido productor de calor debido a la oxidación de ácidos grasos, en particular en las crías recién nacidas. La grasa parda se encuentra en la nuca, espalda y en el área perirrenal.

En el caso del tegumento bovino a los 120

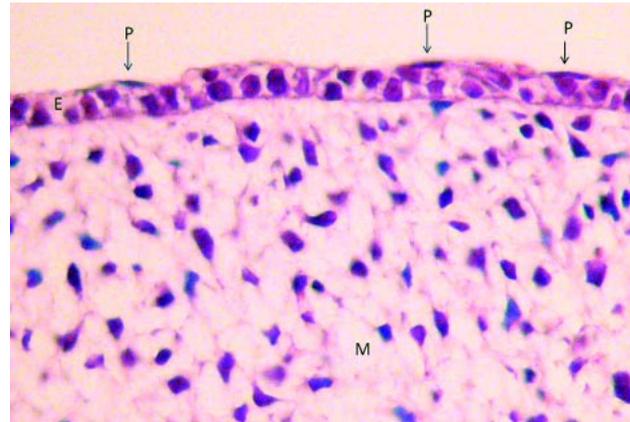


Fig. 11. Periderma; Células aplanadas sobre el epitelio de revestimiento (P). Ectodermo (E) y Mesodermo (M), Técnica H-E, 400X.

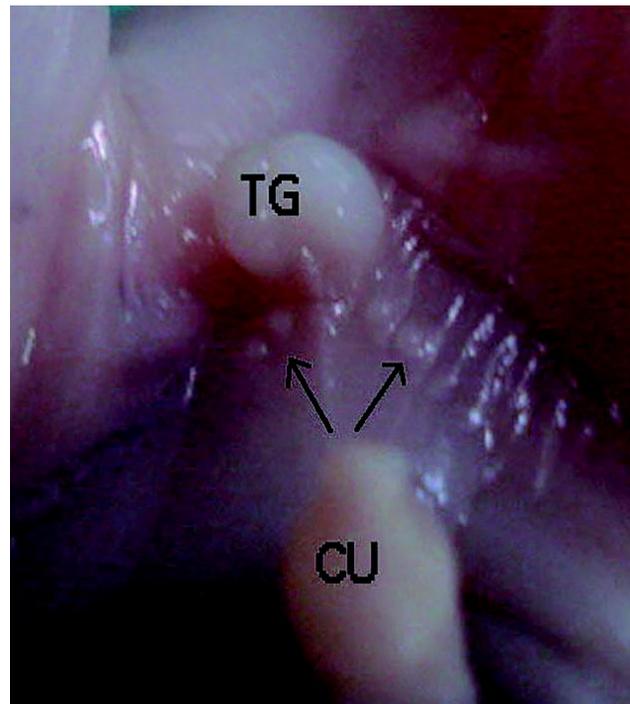


Fig. 12. Feto de bovino, es posible identificar el esbozo de las glándulas mamarias (flecha). Además se observa el tubérculo genital (TG) y el cordón umbilical (CU).

días aparecen las manchas de la piel. Durante el quinto mes, el feto presenta pelaje en la barbilla, hocico y región periorcular (Fig. 12), se queratiniza la epidermis se visualizan las manchas de la piel y las pezuñas tienen un reborde de protección. Al sexto mes el feto está cubierto de pelaje en las cejas, barbilla, labios, párpados, pabellón auricular y punta de la cola.

Tabla I. Cuadro comparativo de distintos aspectos del desarrollo fetal en humanos, gatos, bovinos y ovinos (sd: sin determinar).

Especie	Humano (<i>Homo sapiens</i>)	Gato (<i>Felis catus</i>)	Vaca (<i>Bos taurus</i>)	Oveja (<i>Ovis aries</i>)
Duración gestación (días)	266 días	62 días	280 días	150 días
Inicio periodo fetal (% gestación)	56 días (78,9%)	28 días (54,8%)	60 días (78,6%)	35-40 días (73,3%)
Involución hernia umbilical	10° semana	32 días	55 días	42-44 días
Aparición uñas/pezuñas	26° semana	36 días	60 días	Sd
Excrecencias cuernos	---	---	100 días	77 días
Aparición de folículos pilosos	4° mes	32 días	90 días	42-49 días
Presencia de testículos en escroto	7° mes	58 días	150 días	230 días
Referencia	Rojas & Rodríguez, 1987.	Galleguillos, 1988; Illanes <i>et al.</i> , 2007.	Von Frey, 1987.	Orszag, 1985.

Finalmente, durante el octavo y noveno mes de gestación, el feto se encuentra totalmente cubierto de pelaje (Estay, 1982; von Frey, 1987).

Por otro lado, las glándulas sebáceas de la piel comienzan a funcionar y la grasa secretada, junto con las células de descamación, caen al líquido amniótico, como también algunos pelos del lanugo. Todo esto es ingerido por el feto, digerido en el tubo digestivo y así se constituye el meconio, al cual se agrega la bilis elaborada por el hígado dándole su color verde característico

La formación de las uñas se produce a los 36 días de gestación en el gato, y la cornificación de éstas ocurre a los 50 días (Fig. 9), paralelamente los cojinetes plantares se encuentran totalmente formados (Illanes *et al.*, 2007). En el bovino, a los 60 días aparecen las pezuñas (Fig. 10), y en las ovejas se observan los rodetes coronarios de protección de las pezuñas a los 80 días (Orszag).

Glándula mamaria. El primer indicio en el desarrollo de la glándula mamaria lo constituye la presencia de un par de engrosamientos cutáneos, los rebordes o líneas mamarias, que se extienden a cada lado, a lo largo de la pared ventral del cuerpo. En el gato, a los 28 días se observa el esbozo de cuatro pares de glándulas mamarias. En el bovino, en cambio esto es diferente siendo posible observar el esbozo de las glándulas mamarias a los 90 días entre el tubérculo genital y el cordón umbilical. Los pezones se distinguen claramente al quinto mes (Rojas & Rodríguez) (Fig. 12).

Párpados. Por otro lado, los párpados se están formando a los 55 días en el bovino y estos cubren totalmente los ojos a los 3 meses (von Frey). En el gato a los 24 días los párpados permanecen abiertos. a los 29 días se empiezan a cerrar, a los 40 días de gestación los párpados están cerrados y permanecen así hasta después del parto (Illanes *et al.*).

DESARROLLO DE LOS SISTEMAS ESPLÁCNICOS

A partir de la sexta semana en el humano, el hígado reemplaza al saco vitelino y se convierte en la fuente principal de células sanguíneas, función que comienza a declinar en el sexto mes de gestación, para ser sustituido por el bazo. Finalmente, a fines del período fetal la médula ósea se convierte en el órgano hematopoyético definitivo. Durante este periodo, los hepatocitos comienzan a producir bilis, en parte como producto de la degradación de la hemoglobina. La bilis se almacena en la vesícula biliar, para liberarse lentamente al intestino (Roa & Meruane, 2012). Debido al aumento de los órganos abdominales, durante este periodo se hace evidente la hernia umbilical fisiológica, la cual corresponde a la evaginación de las asas intestinales a través del cordón umbilical, esta hernia desaparece a los 32 días en el gato, 51-55 días en bovino y 42-44 días en oveja al retornar el intestino al abdomen (Galleguillos, Estay; Orszag; Roa & Meruane) (Tabla I).

Pulmones. la viabilidad del feto depende de la madurez que tengan los pulmones. Los alvéolos que estaban colapsados deben expandirse, por

lo cual su epitelio que en un principio es cúbico debe aplanarse, facilitando la respiración al aumentar la relación entre estas células y capilares sanguíneos y linfáticos, los que ya están desarrollados suficientemente. Para lograr un aplanamiento del epitelio, los neumocitos tipo II deben producir una sustancia lipóide, el surfactante pulmonar, el cual baja la tensión superficial de las células permitiendo que se aplanen. Si no existiera esta sustancia, se produciría un colapso alveolar o atelectasia durante la fase respiratoria.

Genitales. La primera gónada en diferenciarse es el testículo, comenzando a elaborar hormonas tales como testosterona, la cual permite que el conducto mesonéfrico se diferencie en epidídimo, conducto deferente, vesículas seminales y conducto eyaculador y hormona antimülleriana, la cual gatilla la eliminación del conducto paramesonefrico en el macho (Svingen & Koopman, 2013). En cambio, la diferenciación del ovario ocurre más tardíamente. La diferenciación de los genitales externos masculinos ocurre debido a la transformación de testosterona a dihidrotestosterona. Por su parte la diferenciación de los genitales femeninos es posterior (Rojas *et al.*; Rojas & Troncoso, 2013). En bovino esto ocurre en forma similar tanto en aspectos morfológicos como cronológicos, la longitud de la gestación también es similar (Rojas & Rodríguez), viéndose formación escrotal a los 90 días, descendiendo los testículos descendiendo al escroto en el 5^{to} mes (von Frey). En el caso del gato los testículos descendiendo al escroto a los 58 días aproximadamente y en el toro a los 150 días post fecundación (Tabla I).

DESARROLLO DEL SISTEMA NERVIOSO

El período fetal de los mamíferos es caracterizada por la organización secuencial, ascendente, y estratificada de la placa cortical, que representa la característica más distintiva de la corteza cerebral de los mamíferos (Marín-Padilla, 2011). Maduración que traerá consigo la posibilidad de dirigir movimientos respiratorios rítmicos y controlar la temperatura corporal, además de la capacidad de algunos animales de abrir sus párpados, esto durante el último tercio del período fetal.

CONCLUSIÓN

El desarrollo fetal se caracteriza por el crecimiento del cuerpo y por la maduración y especialización de órganos y sistemas. Lo más característico es la formación de hueso y médula ósea, como también la diferenciación del aparato reproductor y la formación del surfactante pulmonar. En general, las características del desarrollo fetal, son muy similares en todas las especies consideradas.

SMOK, C.; ROA, I. & ROJAS, M. Foetal development in mammals. *Int. J. Med. Surg. Sci.*, 1(2):139-145, 2014.

SUMMARY: During the fetal period are carried out a series of necessary changes, which prepare the fetus for extrauterine life, culminating embryonic development, leading to this physiological maturation of tissues, organs and systems, along with a rapidly growing body. Well being bought, the species-specific features. Other events of interest are beginning the process of ossification of the bones (short and long), formation of the eyelids; integumentary and other elements besides the surfactant secretion from lungs. In this paper we will make a description of the main events that characterized this period, along with a comparison of them among some domestic mammals.

KEY WORDS: Foetus; Mammal; Bovine; Ovine; Feline; Maturing.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Estay, F. *Desarrollo embrionario del bovino (Bos taurus)*. Tesis para optar al título de Médico Veterinario. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1982.
- Galleguillos, A. M. *Desarrollo Embriofetal del gato doméstico (Felis catus)*. Tesis para optar al título de Médico Veterinario. Facultad Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1988.
- Illanes, J.; Orellana, C.; Fertilio, B.; Leyton, V. & Venegas, F. Análisis macroscópico y microscópico del desarrollo embrionario y fetal en el gato (*Felis catus*), en relación con el desarrollo de la vesícula coriónica y de la placenta. *Int. J. Morphol.*, 25(3):467-81, 2007.

- Marín-Padilla, M. Mammalian Cerebral Cortex: *Embryonic Development and Cytoarchitecture*. In: The Human Brain: Prenatal Development and Structure. Berlin, Springer Science & Business Media, 2011.
- Meruane, M. & Rojas, M. Desarrollo de la piel y sus anexos en vertebrados. *Int. J. Morphol.*, 30(4):1422-33, 2012.
- Meruane, M.; Smok, C. & Rojas, M. Desarrollo de cara y cuello en vertebrados. *Int. J. Morphol.*, 30(4):1373-88, 2012.
- Montenegro, A.; Rojas, M. & Domínguez, S. Osteogénesis comparativa de los cartílagos secundarios de la clavícula y placas epifisarias de los huesos largos. *Int. J. Morphol.*, 22(3):201-6, 2004.
- Montenegro, M. A. & Rojas, M. Factores que regulan la morfogénesis y el crecimiento mandibular humano. *Int. J. Odontostomast.*, 1(1):7-15, 2007.
- Leung, A.; Balaji, S. & Keswani, S. G. Biology and Function of Fetal and Pediatric Skin. *Facial Plast. Surg. Clin. North Am.*, 21(1):1-6, 2013.
- Orszag, A. *Características macroscópicas y microscópicas del desarrollo embriofetal del ovino (Ovis aries) entre los 18 y 96 días de gestación*. Memoria título profesional Médico Veterinario. Santiago, Chile. Facultad Ciencias Veterinarias y Pecuarias, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 1985.
- Roja, I. & Meruane, M. Desarrollo del aparato digestivo. *Int. J. Morphol.*, 30(4):1285-94, 2012.
- Rojas, M. A. & Montenegro, M. A. An Anatomical and embryological study of the clavicle in cats (*Felis domesticus*) and sheep (*Ovis aries*) during the prenatal period. *Acta Anatomica*, 154:128-34, 1995.
- Rojas, M. A. & Montenegro, M. A. Embriogénesis del área mandibular en oveja (*Ovis aries*) y gato (*Felis catus*). *Rev. Chil. Anat.*, 14(1):59-66, 1996.
- Rojas, M. & Rodríguez, A. *Periodo fetal*. En: Embriología para Medicina Veterinaria. Facultad de Medicina, Universidad de Chile, 1987.
- Rojas, M.; Rodríguez, A. & Montenegro, M. A. *Desarrollo embrionario y elementos de fetación*. En: Perez Sánchez & Donoso Siña. (Eds.). Obstetricia. 4ta ed. Santiago, Mediterráneo Ltda., 2011.
- Rojas, M. & Troncoso, P. *Desarrollo embrionario y fetal del aparato genital femenino*. En: Paris, E. (Ed.). Meneghello. *Tratado de Pediatría*. 6ª ed. Buenos Aires, Médica Panamericana, 2013.
- Svingen, T. & Koopman, P. Building the mammalian testis: origins, differentiation, and assembly of the component cell populations. *Genes Dev.*, 27:2409-26, 2013.
- von Frey, W. *Diagnóstico de gestación en bovinos*. En: Embriología para Medicina Veterinaria. Facultad de Medicina, Universidad de Chile, 1987.

Dirección para correspondencia:
Dra. Mariana Rojas R.
Laboratorio de Embriología Comparada
Programa de Anatomía y Biología del Desarrollo
Facultad de Medicina, ICBM
Universidad de Chile
CHILE

E-mail: dramrojas@hotmail.com

Recibido : 04-03-2014
Aceptado: 15-04-2014