

Secuencia de aparición de los centros de osificación del pie durante el período de vida intrauterino en material humano.

Carmen Antonetti

Cátedra de Anatomía Normal, Escuela de Medicina "Luis Razetti" y Laboratorio de Investigaciones Neuroanatómicas y Embriológicas, Instituto Anatómico. Facultad de Medicina, Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Palabras claves: Osificación, fetos, esqueleto óseo, pie, calcificación fisiológica.

Resumen. Se presentan los resultados del estudio de 47 esqueletos de embriones y fetos humanos de diferentes edades, los cuales están comprendidos entre la octava y la trigésima octava semana de vida intrauterina. En el estudio de la fecha de aparición de los centros de osificación de dichos esqueletos hemos podido observar que difiere de la observada por otros autores, los cuales han realizado dicho trabajo en poblaciones de clima templado. Con el objeto de teñir las sales de calcio de los núcleos de osificación, utilizamos Alizarina Roja, observando que los mismos aparecen en el siguiente orden: 9a. semana: cinco metatarsianos; 11a. semana: Falange distal del primer dedo; 12a. semana: a) Falanges proximales de los cinco dedos, y b) Falanges distales del 2°, 3°, 4° y 5° dedo; 17a. semana: Falange media del segundo dedo; 18a. semana: a) Falange media del cuarto dedo, y b) Falange media del tercer dedo, y 21a. semana: Falange media del quinto dedo.

Sequence of appearance of primary ossification centers in the human foot, during fetal life.

Invest Clin 38(3): 127-138, 1997.

Key words: Ossification centers, fetuses, foot.

Abstract. Forty seven skeletons belonging to human fetuses, whose age ranged from eight to thirty eight weeks, were studied in order to establish the beginning of ossification in the bones. Red alizarin was employed in order to stain bone calcifications. Our observations agree with other authors considered as references nonetheless, we also have found differences among the beginning and the sequence of development of some of the primary centers of ossification in the fetal foot. The appearance of the ossification centers was as follows: 1) the five metatarsals: 9th. week; 2) distal phalange first digit: 11th. week; 3) a) proximal phalange 1, 2, 3, 4, 5 digits: 12th. week, b) distal phalange 2, 3, 4, 5 digits: 12th. week; 4) middle phalange second digit: 17th. week; 5) a) middle phalange fourth digit: 18th. week, b) middle phalange third digit: 18th. week, y 6) middle phalange fifth digit: 21th. week .

Recibido: 8-12-96. Aceptado: 10-6-97.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del esqueleto humano durante el período de vida intrauterina, es un tema que ha sido estudiado por numerosos autores; entre ellos Noback y Robertson en 1951 (1) quienes presentaron un amplio reporte de sus observaciones durante los primeros cinco meses de la vida prenatal, concerniente a todo el esqueleto. No obstante la mayoría de los estudios han sido realizados de forma parcial, como los trabajos, reportados sobre los diferentes huesos del cráneo por O' Rahilly y col en 1983 (2), Trenouth en 1984 (3), Lee y col en 1992 (4) y en ese mismo año Srivastava (5), los de Matsumura y col (6), así como los de Mérida-Ve-

lasco y col (7) en 1993. O'Rahilly y col en 1980 (8) realizaron un minucioso estudio del desarrollo de la columna vertebral; en 1990 Mc Nally y col (9), focalizan su trabajo en la séptima vértebra cervical, pero utilizando el método radiológico, al igual que unos años antes, en 1982, lo utilizaron con el mismo fin Bagnall y col (10), en esta ocasión explorando toda la columna vertebral. Otros autores que reportan sus investigaciones en áreas muy localizadas como lo es el hueso iliaco son: Laurenson en 1964 (11), así como Delaere y col (12).

En lo concerniente a los núcleos de osificación del pie y su secuencia evolutiva tenemos las observaciones reportadas por Noback y

Robertson (1). Ellos mencionan a los núcleos de los metatarsianos como los primeros en aparecer, seguidos de los de las falanges distales, luego las proximales, y por último los de las falanges medias. O'Rahilly y col (13) estudiaron el desarrollo esquelético del pie entre la 4a y la 7a semana de vida intrauterina concretándose a sus fases de condricificación prenatal; Kraus (14) realiza un cuidadoso estudio de los centros de osificación del pie, encontrando que el primero en aparecer es el de la falange distal del Hallux. O'Rahilly, en la continuación de sus observaciones (15), estudia el esqueleto de los miembros y reporta que los centros de osificación generalmente aparecen 1 ó 2 años mas temprano en las niñas que en los niños. Goldstein y col (16), realizaron un estudio ultrasonográfico de los centros de osificación del pie, encontrando que el núcleo de osificación del calcáneo está presente como un hecho constante a las 22 semanas de la gestación.

No podemos dejar de mencionar la existencia de información sobre núcleos de osificación en textos clásicos de Anatomía, por citar sólo algunos, tenemos a Poirier y Charpy en 1911 (17), quienes describen en su Tratado de Anatomía Humana, el desarrollo de todos los huesos del esqueleto. En 1944, Quiroz-Gutiérrez en su Tratado de Anatomía Humana (18) anexa al final de la descripción de cada uno de los huesos del esqueleto, un breve recuento acerca de la osificación de los mismos. Y Cunningham (19) en 1949, en su Anatomía Humana, contempla

la osificación de los diferentes huesos que constituyen el esqueleto humano.

England, en su Atlas de 1991 (20), muestra evidencias fotográficas de la aparición de un primer núcleo de osificación para el fémur constituyéndose en la séptima semana de la vida intrauterina, así como la coloración con Alizarina Roja, de los núcleos de osificación del 2° y 3er metatarsiano, en la 8a semana de la vida fetal.

El presente trabajo, tiene como objetivo fundamental, presentar la fecha de aparición de los núcleos de osificación del pie en embriones humanos de nuestro país. Esta es una primera contribución a nivel nacional en la cual se ha estudiado su aparición desde la octava semana de la vida intrauterina hasta el feto a término (semana 38), ya que hasta el presente se han utilizado como referencia las fechas reportadas por autores extranjeros.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo fue elaborado en el Laboratorio de Investigaciones Neuroanatómicas y Embriológicas del Instituto Anatómico de la Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela. En el mismo se tomó como medida la longitud C/R (crown-rump) en mm., o sea la longitud vértice-sacro para determinar la edad. Dicho sistema de medida fue tomado de Patten (21) y England (20).

En su elaboración se estudiaron 47 esqueletos de fetos, de ambos

sexos y de diferentes edades (Tabla I), procedentes de la Maternidad Concepción Palacios, en Caracas, Venezuela, los cuales fueron procesados mediante fijación, deshidratación y coloración según procedimiento que anexamos a continuación.

No se reportan fetos, o resultados de la semana 22 a la 37, por no disponer en la muestra especímenes correspondientes al mencionado período.

La coloración empleada es específica para sales de calcio, como lo es la alizarina (22), tomándose como criterio para considerar la existencia positiva de centro de osificación, la coloración con alizarina roja en el esqueleto.

Para la técnica de coloración de centros de osificación se recomienda que previamente debe tenerse preparada una Solución Madre de Alizarina; la cual consta de: 0,25 g de Alizarina disuelta en 300 ml de alcohol de 98°. Una vez preparada la solución se toma la muestra de material, el cual consiste en huesos de fetos que no lleguen a término; hay que descarnar bien el hueso (cartílagos en vías de osificación), para que la pieza quede desprovista de músculos y piel. Luego se colocan los especímenes en un recipiente de cristal que contenga un litro de formol, al cual se le ha agregado una cucharada de bicarbonato de sodio, con el fin de neutralizar la acidez; la misma puede controlarse con el papel tornasol o midiendo el pH; si se constata la acidificación hay que descontinuar la preparación y desechar el

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE FETOS
DE ACUERDO A LA EDAD CALCULADA
C-R (CROWN-RUMP) VÉRTICE-SACRO

Semanas	No. de Fetos
8	5
9	3
10	3
11	2
12	4
13	4
14	3
15	4
16	3
17	2
18	4
19	4
20	2
21	2
38	2
Total	47

material utilizado. En el formol con bicarbonato se dejan las piezas por un lapso de 3 días, comenzando luego la deshidratación progresiva por pasajes en alcoholes de concentración creciente, hasta el de 98°. Una vez constatada su deshidratación, controlada por el alcoholímetro, se coloca el material en una solución compuesta de: 10 ml de Solución Alizarina (roja o azul), 390 ml de Al-

cohol Absoluto y 50 gotas de Ácido Acético Glacial.

En esta solución se deja el material durante cinco días, tiempo en el cual la Alizarina tiñe las sales de calcio que se encuentran en los centros de osificación primarios del hueso. Se monta la pieza en un frasco que contenga Benzol, momento desde el cual comienza a diafanizarse la pieza.

RESULTADOS

Entre la tercera y la quinta semana de la vida intrauterina, el aumento en longitud C-R que experimenta el embrión es de aproximadamente de 2 a 3 mm por semana. Durante el 2º mes de la gestación los embriones crecen aproximadamente 1 mm por día en la longitud C/R; para el resto de la gestación el au-

mento diario es también aproximadamente 1 mm., como mínimo. Después de la 9a. semana el aumento en la altura de sentado es de aproximadamente de 2 mm por día, disminuyendo a partir de la semana 21, época en la cual la flexión dorsal del feto se hace mucho más marcada (21).

Miembro inferior

Con respecto al miembro inferior, los núcleos de osificación primarios en las diáfisis de los huesos fémur, tibia y fibula, aparecen a la 8a. semana. En la 9a. semana (Tabla II) aparecen los núcleos de osificación primarios en el cuerpo de los cinco metatarsianos (Fig. 1). Los primeros en evidenciarse con un núcleo bien teñido, son el 2º y el 3º, notándose a las 9 semanas y un día, luego se observa el del 4º metatar-

TABLA II
SECUENCIA DE APARICIÓN DE LOS NÚCLEOS DE OSIFICACIÓN
DE LOS HUESOS DEL PIE

Semanas	Hueso con núcleo de osificación coloreado
9	Metatarsianos (1o, 2o, 3o, 4o, 5o)
11	Falange distal del primer dedo
12	a) Falanges proximales de los cinco dedos b) Falanges distales cuatro dedos restantes
17	Falange media del segundo dedo
18	a) Falange media cuarto dedo b) Falange media tercer dedo c) Núcleo Central del Calcáneo
21	Falange media quinto dedo

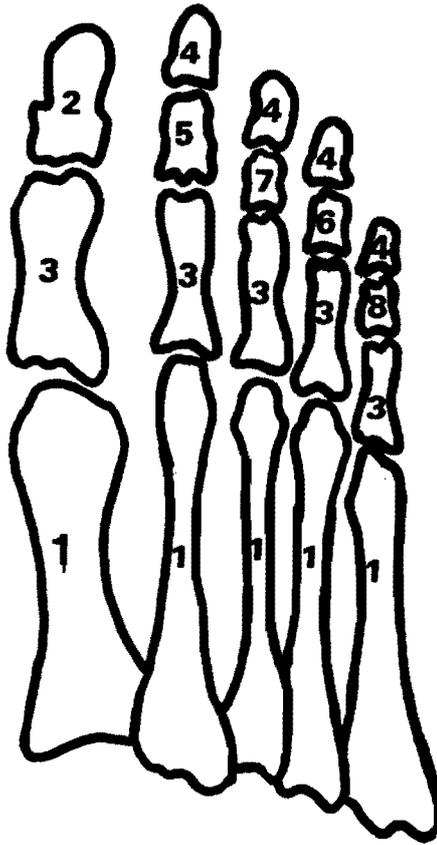


Fig. 1. Secuencia de aparición de los centros de osificación primarios en el pie, de acuerdo a lo observado en este trabajo. (1) 9a. semana, (2) 11a. semana, (3) 12a. semana, (4) 12 semanas y tres días, (5) 17a. semana, (6) 18a. semana, (7) 18 semanas y tres días, (8) 21 semanas y tres días.

siano a las 9 semanas y 2 días; al tercer día de la novena semana ya están presentes los centros de osificación de los 5 metatarsianos. Para la décima semana el núcleo de osificación primario de cada uno de los cinco metatarsianos se encuentra bastante bien desarrollado y coloreado y aunque todavía no ocupa toda la extensión del futuro hueso, ya se

muestra como un pequeño cilindro de bordes nítidos.

En la 11a. semana aparece el núcleo de la falange distal del primer dedo del pie. En la 12a. semana aparecen los núcleos para el cuerpo de las falanges proximales de los cinco dedos. A las 12 semanas y 3 días aparecen los núcleos de las cuatro falanges distales restantes.

En la 17a. semana aparece el núcleo de la falange media del segundo dedo. A la 18a. semana aparece un núcleo central para falange media del cuarto dedo. A las 18 semanas y 3 días aparece el núcleo de la falange media del tercer dedo y un núcleo central en el calcáneo. A las 21 semanas y 3 días aparece el núcleo para la falange media del quinto dedo. Al aparecer cada uno de los núcleos de las falanges que constituyen los huesos del pie, estos tienen el aspecto de diminutas manchas de color rojo, las cuales al transcurrir los días van adoptando la forma alargada de la falange.

DISCUSIÓN

Entre las 8 y las 12 semanas de gestación la secuencia de aparición de los núcleos de osificación es bastante rápida y luego de la semana 12 el proceso se hace más lento en cuanto a la aparición de nuevos centros de osificación, aun cuando es de hacer notar que aquellos núcleos que aparecen en las primeras sema-

nas incrementan su tamaño y densidad durante este segundo período.

Quiróz-Gutiérrez en su descripción (18) menciona que el primer metatarsiano se forma a expensas de un centro primitivo que origina el cuerpo y la extremidad anterior y de otro centro secundario para la extremidad posterior, homologándolo a la primera falange de los dedos, pero sin especificar fechas y los otros cuatro metatarsianos lo hacen a los tres meses (12 semanas) de la vida fetal; Cunningham (19) los describe apareciendo a la 9a. semana, lo cual coincide con nuestras observaciones (Tabla II). Así mismo Noback y Robertson (1) en su extensa tabla de datos muestran a los núcleos de los metatarsianos 2°, 3°, 4° y 5° apareciendo a la 9a. semana, observando la aparición del núcleo del 1er. metatarsiano a la 10a. semana (Tabla III). Poirier y Charpy (17) coinciden con la descripción de Quiróz en cuanto a la forma y mencionan la aparición del núcleo en el tercer mes de la vida intrauterina.

TABLA III
SEMANAS DE APARICIÓN DE LOS NÚCLEOS PRIMARIOS DE OSIFICACIÓN DE LOS METATARSIANOS, SEGÚN LOS DATOS APORTADOS POR LOS AUTORES CITADOS

	Noback y Robertson (1)	Cunningham (19)	Poirier (17)	Presente trabajo
Semana 9	2°, 3°, 4° y 5°	1°, 2°, 3°, 4° y 5°		1°, 2°, 3°, 4° y 5°
Semana 10	1°			
Semana 12			1°, 2°, 3°, 4° y 5°	

TABLA IV
SEMANAS DE APARICIÓN DE LOS NÚCLEOS PRIMARIOS DE OSIFICACIÓN DE
LAS FALANGES DISTALES DE LOS DEDOS DEL PIE, SEGÚN LOS DATOS
APORTADOS POR LOS AUTORES CITADOS

	Noback y Robertson (1)	Cunningham (19)	Presente trabajo
Semana 9	1a, 2a, 3a y 4a		
Semana 11	5a		1a
Semana 12		1a, 2a, 3a, 4a y 5a	2a, 3a, 4a y 5a

Aun cuando el trabajo de England (20) no se trata de un estudio comparativo, se puede ver en sus series que los núcleos de osificación del 2° y 3er metatarsiano están presentes en la semana 8 y que a las 11 semanas los núcleos de osificación correspondientes a los cinco metatarsianos ya están presentes, y son los primeros centros de osificación en aparecer en el pie, a diferencia de Kraus (14), el cual reporta en su trabajo que el primer centro de osificación del pie en aparecer es el de la falange distal del primer dedo. Este autor da gran importancia al orden de aparición de los diferentes centros de osificación primario de los huesos del pie, pero su trabajo no refleja la información sobre la semana o fecha precisa de aparición de los mismos, mientras que en nuestra serie dicha falange es el sexto elemento en presentar su núcleo de osificación, haciéndolo en la semana 11 luego de la aparición de los núcleos de los metatarsianos.

Noback y Robertson (1) señalan la aparición de los núcleos de osificación de las falanges distales 1a, 2a,

3a y 4a en la novena semana, mientras que el del 5° dedo lo hace en la semana 11. En nuestro trabajo notamos que el centro de osificación de la falange distal del Hallux aparece en la semana 11, mientras que los núcleos de las falanges distales de los dedos del 2°, 3°, 4° y 5° se hacen presentes en la semana 12 (Tabla IV), lo cual difiere en tiempo y secuencia de lo reportado por Noback y Robertson (1).

Nuestras observaciones con respecto a la secuencia de aparición de los núcleos de osificación de las falanges proximales tampoco coinciden con la mostrada por Kraus (14) en su investigación, ya que él las reporta como osificándose posteriormente a las falanges distales y previo a las intermedias. Los resultados de Noback y Robertson (1) coinciden con la secuencia reportada por Kraus (14) en su publicación, mientras que en nuestras observaciones, luego de la osificación de la falange distal del primer dedo, la secuencia de aparición corresponde a las falanges proximales de los cinco dedos, luego las falanges distales de

TABLA V
SEMANAS DE APARICIÓN DE LOS NÚCLEOS PRIMARIOS DE OSIFICACIÓN DE LAS FALANGES PROXIMALES DE LOS DEDOS DEL PIE, SEGÚN LOS DATOS APORTADOS POR LOS AUTORES CITADOS

	Noback y Roberstson (1)	Cunningham (19)	Presente trabajo
Semana 11	1a y 2a		
Semana 12	3a		1a, 2a, 3a, 4a y 5a
Semana 13	4a y 5a		
Semana 24		1a, 2a, 3a, 4a y 5a	

TABLA VI
SEMANAS DE APARICIÓN DE LOS NÚCLEOS PRIMARIOS DE OSIFICACIÓN DE LAS FALANGES MEDIAS DE LOS DEDOS DEL PIE, SEGÚN LOS DATOS APORTADOS POR LOS AUTORES CITADOS

	Noback y Roberstson (1)	Cunningham (19)	Presente trabajo
Semana 15	2a		
Semana 16	3a		
Semana 17			2a
Semana 18		2a, 3a, 4a y 5a	3a y 4a
Semana 21			5a
Semana 24	4a y 5a		

los cuatro dedos restantes y por último y ordenadamente aparecen los centros primarios de osificación de las falanges medias del segundo, cuarto, tercer y quinto dedo y también difieren de la secuencia mencionada por Cunningham (19), el cual menciona que primero se osifican las falanges distales, luego las medias y por último las proximales, las cuales lo hacen a partir del 6° mes de la vida intrauterina (Tabla V). En la Tabla VI mostramos las

diferentes semanas en las cuales aparecen los núcleos primarios de las falanges medias de nuestro trabajo comparado con la secuencia mostrada por Noback y Robertson (1) y Cunningham (19).

Como se puede apreciar al comparar nuestros resultados con los de Kraus (14), el patrón de aparición de los centros de osificación del pie, pareciera no ser tan rápido como dicho autor lo propuso en su teoría, ya que según Kraus (14) los

12 primeros centros de osificación aparecen entre la 8a. y la 11a. semana del desarrollo y de esta última semana a la 18, aparecen los núcleos de osificación restantes; en nuestra muestra sólo se detectan 6 núcleos primarios de osificación entre las semanas 8 y 11 y las restantes se observan entre las semanas 12 y 21. Debemos mencionar que aun cuando nuestra muestra es modesta al contar sólo con 47 fetos procesados, la secuencia de aparición de los centros de osificación fue constante.

Cunningham (19), Poirier y Charpy (17) y Quiróz-Gutiérrez (18) describen al calcáneo como el único hueso del tarso que se desarrolla mediante dos centros de osificación, apareciendo el centro primitivo a los seis meses de la vida fetal (24 semanas). En nuestras observaciones sólo notamos un núcleo primario, el cual se detecta a las 18 semanas y tres días, siendo ello un hecho constante en los fetos observados; en cambio England (20) muestra por vez primera en sus fotos el núcleo del calcáneo en la semana 17, lo cual se aproxima mucho a nuestras observaciones. Es de notar que se trata del mismo método empleado por nosotros en el presente trabajo, como lo es la alizarina roja diafanizada.

Es obvio que al hacer el análisis de las diferentes fechas de aparición de los núcleos primarios de osificación también se debe tomar en cuenta los diversos métodos de estimación de edad de los embriones y fetos utilizados en cada reporte, ya

que ello puede ocasionar grandes diferencias en las fechas de aparición de los mismos; sin olvidar la presencia de factores raciales, porque no podemos ignorar que el mestizaje de la muestra empleada pudiera incluir variantes en los resultados obtenidos. Así como también podemos pensar que deben existir factores ambientales, climáticos y alimentarios, los cuales influyen en la aparición más temprana o más tardía de los puntos de osificación durante la vida intrauterina y posteriormente durante la extrauterina.

Como resultado del presente trabajo vemos que, en nuestro medio, los centros de osificación aparecen en épocas diferentes a las observadas en los trabajos efectuados en países de clima templado, y que la secuencia de aparición de los mismos, no es exactamente igual en todo los huesos.

En nuestras observaciones podemos resumir la secuencia de aparición de los centros de osificación del pie de la siguiente forma: 1) cinco metatarsianos, 2) Falange distal del primer dedo, 3) Falanges proximales de los cinco dedos, 4) Falanges distales dedos restantes, 5) Falange media del segundo dedo, 6) Falange media del cuarto dedo, 7) Falange media del tercer dedo y 8) Falange media del quinto dedo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- NOBACK C.R., ROBERTSON G.G.: Sequences of appearance of ossification centers in the human skeleton during the first

- five prenatal months. *Am J Anat* 1951; 89: 1-28.
- 2- O'RAHILLY R., MULLER F., MEYER D.B.: The human vertebral column at the end of the embryonic period proper. 2. The occipitocervical region. *J Anat* 1983; 136:181-195.
 - 3- TRENOUTH M.J.: Shape changes during human fetal craniofacial growth. *J Anat* 1984; 139: 639-651.
 - 4- LEE S.K., KIM Y.S., LIM C.Y., CHI J.G.: Prenatal growth pattern of the human maxilla. *Acta Anat* 1992; 145:1-10.
 - 5- SRIVASTAVA H.C.: Ossification of the membranous portion of the squamous part of the occipital bone in man. *J Anat* 1992; 180:219-224.
 - 6- MATSUMURA G., UCHIUMI T., KIDA K., ICHIKAWA R., KODAMA G.: Developmental studies on the interparietal part of the human occipital squama. *J Anat* 1993; 182:197-204.
 - 7- MERIDA-VELASCO J.A., SANCHEZ-MONTESINOS I., ESPINFERRA J., GARCIA-GARCIA J.D., ROLDAN-SCHILLING V.: Developmental differences in the ossification process of the human corpus and ramus mandibulae. *Anat Rec* 1993; 235:319-324.
 - 8- O'RAHILLY R., MULLER F., MEYER D.B.: The human vertebral column at the end of the embryonic period proper. 1. The column as a whole. *J Anat* 1980; 131:565-575.
 - 9- Mc NALLY E., SANDIN B., WILKINS R.A.: The ossification of the costal element of the seventh cervical vertebra with particular reference to cervical ribs. *J Anat* 1990; 170: 125-129.
 - 10- BAGNALL K.M., HARRIS P.F., JONES P.R.M.: A radiographic study of the growth in width of the human fetal vertebral column. *Anat Rec* 1982; 204:265-270.
 - 11- LAURENSEN R.D.: The primary ossification of the human ilium. *Anat Rec* 1964; 148: 209-217.
 - 12- DELAERE O., KOK V., NYSSSEN-BEHETS C., DHEM A.: Ossification of the human fetal ilium. *Acta Anat* 1992; 143:330-334.
 - 13- O'RAHILLY R., GARDNER E., GRAY D.J.: The skeletal development of the foot. *Clinic Orthop* 1960; 16:7.
 - 14- KRAUS B.: Sequence of appearance of primary centers of ossification in the human foot. *Am J Anat* 1961; 109:103-115.
 - 15- O'RAHILLY R.: The ossification of the skeleton of the limbs. *Irish J Medic Sci* 1962. p 78.
 - 16- GOLDSTEIN Y., REECE E.A., HOBBS J.C.: Sonographic appearance of the fetal heel ossification center and foot length measurements provide independent markers for gestational age estimation. *Am J Obstet Gynecol* 1988; 159:923-926.
 - 17- POIRIER P., CHARPY A: Ossification enchondrale. *Traite D'*

- Anatomie Humaine. Paris. Masson et Cie Ed. 1911. p. 75.
- 18- QUIROZ-GUTIERREZ F: Anatomía Humana. México: Librería de Porrúa Hnos y Cía, 1944. pp. 26-164.
- 19- CUNNINGHAM D.J.: Desarrollo del Hueso, Anatomía Humana. Ed. Manuel Marín - Barcelona, 1949. pp 97-352. Vol 1.
- 20- ENGLAND M.A.: Gran Atlas de la vida antes de nacer, Madrid-España De. Interamericana. Mc. Graw-Hill. 1991. p 12, 177-198.
- 21- PATTEN B.M.: Métodos de medición de los embriones en Embriología Humana. Buenos Aires, Ed. El Ateneo. 1953. p 199.
- 22- YERENA J., PLAZA I.L : Atlas de Disección por Regiones. Barcelona-España: Salvat Ed. 1969. pp 206-207.