



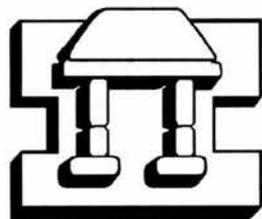
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA
VARIACIÓN ANATÓMICA DE LAS RAÍCES
ESPINALES DORSALES EN
Ambystoma mexicanum (Amphibia: Urodela).

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
B I Ó L O G A
PRESENTA:
CHÁVEZ RODRÍGUEZ GRACIELA

DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. JORGE R. GERSENOWIES RODRÍGUEZ



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO 2005

M. 217310



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico esta tesis

*A la familia Chávez Rodríguez, porque son lo mas
importante, por apoyarme día con día y seguir
cada paso que doy, con su amor y
confianza fortalecen mi vida*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo, confianza, fuerza, amor y paciencia que siempre han tenido conmigo, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible, gracias infinitas...

A mis hermanas Dulce y Estela por estar conmigo siempre, por sus consejos, su ayuda incondicional, toda su alegría y complicidad, porque son mi inspiración para todo lo que hago, gracias por cada momento que hemos pasado... ¡LAS ADORO!

A mis amigas de la Prepa 2 por el tiempo compartido, Lorena (por tantos años de soñar juntas), Yazmín, Pilar y Laura, "La distancia no es cuánto nos separamos, la distancia es si no volvemos" (A. Sanz-Mas)... no voy a olvidar nunca tantas locuras.

Para todos mis amigos de la generación 2001 – 2004 y anexos, gracias por todo a Bety, Augusto, Paulo, cuantas quemas de batas... a mi super-equipo: Angel, Ximena y Marisol, a Bere, Azu, Mactzil y Yola por todo el tiempo que pasamos juntas (Recuerden el 15 de mayo), Pilar, Meztli, Jahir, Hyrais, Manolo, Esme, Edna y Vane por su compañía en todos los viajes y salidas, a Pedro por su amistad y apoyo, Gustavo, Miryam y Aurora por el poco pero valioso tiempo; gracias a todos por cada momento vivido en la escuela y fuera de ella, de principio a fin puedo decirles que aprendí y crecí con ustedes.

A mi Asesor y Director de Tesis, Maestro en ciencias Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez, por aceptar la dirección de esta tesis, por su enseñanza, asesoramiento, comprensión y paciencia.

A mis sinodales por sus aportaciones y buen juicio, gracias M. en C. Patricia Ramírez, M. en C. Mario Cárdenas, M. en C. Alba Márquez y Biol. Gabriela Sánchez.

A mis compañeros de laboratorio, Gaby, Paco, Ana, Moni, Oscar, Lilia, Erick, Rocío, Alfredo, Aurora, Ariel, Prof. Hugo, Ricardo, Fabiola, Osvaldo, Edna, Karina y Daniela, gracias por acompañarme en esta locura.

Finalmente quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme formar parte de la Comunidad Universitaria (Como no te voy a querer), por enseñarme sentir en el corazón y en la piel un ¡GOYA!... Porque Nuestra Máxima Casa de Estudios sea un auténtico espacio donde, en la libertad y la pluralidad, se forje el futuro de nuestro país.

**“SER UNIVERSITARIO ES UNA RESPONSABILIDAD
Y UN PRIVILEGIO”.**

INDICE

RESUMEN	0
I. INTRODUCCIÓN	1
I.I. Sistema nervioso.....	1
I.II: Sistema nervioso central.....	2
I.II.1. Encéfalo.....	2
I.II.2. Encéfalo de anfibios.....	3
I.II.3. Médula espinal.....	5
I.II.4. Médula espinal de anfibios.....	7
I.III. Sistema nervioso periférico.....	8
II. ANTECEDENTES	9
III. MODELO ANIMAL	11
IV. JUSTIFICACIÓN	13
V. OBJETIVOS	15
VI. METODO	16
VII. RESULTADOS	17
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
IX. CONCLUSIONES	50

X. APÉNDICE I.....	52
Datos merísticos de <i>Ambystoma mexicanum</i>	52
XI. APÉNDICE II.....	53
Prueba de correlación longitud total y longitud cabeza-tronco....	53
Prueba de correlación longitud total y longitud del tronco.....	54
Prueba de correlación longitud total y longitud caudal.....	54
XII. LITERATURA CITADA.....	55

RESUMEN

Los anfibios son tetrápodos que poseen una metamorfosis drástica, presentan la piel desnuda y húmeda. Dentro de la clase Amphibia se encuentra la subclase Lissamphibia, con tres órdenes vivientes: Apoda, Anura y Urodela. Los Urodelos son comúnmente conocidos como ajolotes, de cuerpo alargado y caudado en estado adulto, encontrando aquí a la familia Ambystomatidae, representada por 28 especies, 15 en México; una de ellas *Ambystoma mexicanum*, mide alrededor de 20 cm de largo, posee en el lomo una especie de aleta que llega hasta la región caudal; original de los lagos de Xochimilco es considerada como una especie sujeta a protección especial. La médula espinal en urodelos se origina del tubo neural, está formada por una serie de segmentos llamados neurómeros, tiene vías ascendentes sensoriales dorsales y descendentes motoras ventrales localizadas en la periferia de la médula, cada raíz dorsal se separa de una serie de raicillas que se fijan a la médula espinal a lo largo del segmento correspondiente. Con el objetivo de analizar la asimetría en cuanto al número de raicillas raquídeas y el significado morfofuncional de las mismas, se obtuvieron 15 organismos del Vivario de la FES Iztacala, se fijaron en formol al 4%, se disectaron los músculos desde la porción cefálica hasta la región caudal exponiendo la médula espinal y las raíces espinales, se realizaron esquemas en forma directa y se tomaron fotografías en las que podemos observar que la organización anatómica de las raicillas espinales dorsales se encuentra con una variación anterior de las raíces espinales localizada entre el segundo y sexto par de nervios espinales dorsales, también se observó que existe una estabilidad en el número asimétrico de raicillas raquídeas en las raíces espinales dorsales izquierdas del tercero y cuarto nervios, así mismo, encontramos que existe una variabilidad en el número de raicillas raquídeas dorsales izquierdas y derechas del segundo al sexto nervio espinal dorsal con excepción de las izquierdas del tercero y cuarto nervios. Para dar una interpretación más completa de la variación sería ideal complementar este estudio con otra investigación en donde se compare el comportamiento del animal, con el número de raicillas espinales dorsales, el presente trabajo es un acercamiento sobre el análisis anatómico de las raíces espinales dorsales de *Ambystoma mexicanum*, esperando que pueda ser la base para posteriores estudios comparativos en otros grupos, que contribuyan al análisis filogenético de especímenes paleontológicos, para determinar posibles relaciones de parentesco entre las diferentes especies, así como también a la evolución de los anfibios y del resto de los tetrápodos.

I. INTRODUCCIÓN

I. I. SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso se puede definir como el principal centro de coordinación y comunicación del cuerpo, siendo el sistema que relaciona los mensajes que proceden del medio; es el sistema encargado de regular las actividades del organismo mediante la integración de la información sensorial inmediata con la información almacenada de experiencias anteriores, transformando esta información en acciones, es decir, procesa e integra la información sensorial y envía órdenes a los efectores que dan las respuestas adecuadas al organismo, adaptándolo a su ambiente en favor de su integridad y supervivencia; sus rasgos más característicos son la irritabilidad, que es la habilidad para responder a los estímulos y la conductividad o capacidad de transmitir la energía liberada por un estímulo de un lugar a otro (Montagna, 1981; Kardong, 1998).

Anatómicamente, el sistema nervioso en los vertebrados, así como en los animales bilateralmente simétricos, se encuentra dividido en un sistema nervioso central (SNC), formado por el encéfalo en posición cefálica y la médula espinal que se extiende a lo largo en dirección caudal, y un sistema nervioso periférico (SNP) formado por grupos neuronales denominados ganglios, y nervios periféricos que van a todas las porciones del organismo, surgiendo al exterior de la médula y el encéfalo; anatómicamente separados (SNC y SNP), funcionalmente interconectados e integrados (Romer y Parsons, 1981; Kierman, 2000).

El SNC es hueco debido a la unión dorsal durante el desarrollo de dos pliegues neurales ectodérmicos (Kardong, 1998).

I. II. SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

I. II. 1. ENCÉFALO

El encéfalo es el principal centro integrador de los órganos sensoriales y de la locomoción, está constituido por sustancia blanca, formada por fibras mielínicas y por sustancia gris que se encuentra formando los cuerpos neuronales; está recubierto al igual que la médula espinal por las meninges, que lo sostienen y protegen al mismo tiempo que se encargan de su riego sanguíneo. En los vertebrados inferiores se encuentra situado en un solo plano y dispuesto en línea recta, en el caso de los vertebrados superiores adultos se va plegando progresivamente de manera que queda dentro de la bóveda craneal. Tiene dos hemisferios cerebrales, que comienzan a desarrollarse en los reptiles (Montagna, 1981).

El encéfalo puede ser dividido en cinco regiones principales (Figura 1), el *telencéfalo*, formado por los bulbos olfatorios, los hemisferios cerebrales, y los ventrículos laterales; el *diencéfalo*, formado por el epítalamo, tálamo e hipotálamo, así como por el tercer ventrículo; el *mesencéfalo*, formado por el tectum óptico, tegmentum y el acueducto cerebral, el *metencéfalo*, donde se localizan el cerebelo y el puente, y por último, el *mielencéfalo* o médula oblongada, en estas dos últimas porciones encontramos el cuarto ventrículo cerebral (Kluge, 1977).

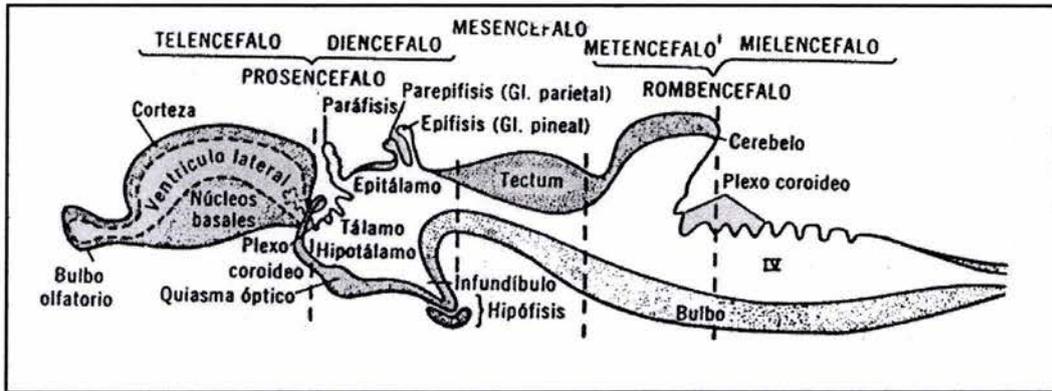


Figura 1. Principales regiones del encéfalo de elasmobranquio
(Tomada de Romer y Parsons, 1981)

I. II. 2. ENCÉFALO DE ANFIBIOS

La organización del encéfalo de los anfibios es muy similar a la de los peces; en ambos grupos existen centros encefálicos especiales muy desarrollados, cada uno de ellos relacionado con un sistema sensorial. En anfibios como en peces, no se observa la existencia de una porción dominante del encéfalo que integre la actividad en su conjunto, como ocurre con la neocorteza cerebral de los mamíferos (Young, 1980).

Tanto en anuros como en urodelos los dos hemisferios se encuentran conectados anteriormente con los bulbos olfatorios (Figura 2); en urodelos, los bulbos olfatorios se continúan con el encéfalo anterior, pero en los anuros se encuentran separados. El encéfalo anterior es más avanzado con respecto al de los peces (Montagna, 1981). Los hemisferios cerebrales se encuentran más separados uno del otro que en los peces, de manera que comparten un ventrículo pequeño; los lóbulos ópticos son de tamaño moderado en anuros y más pequeños en urodelos (Hildebrand, 1982).

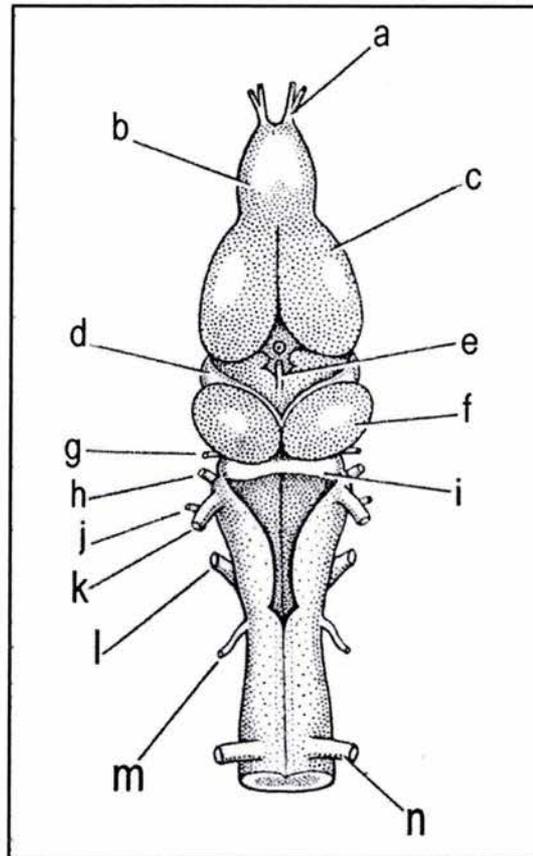


Figura 2. Encéfalo de rana, en vista dorsal. a) nervio olfatorio; b) lóbulo olfatorio; c) hemisferio cerebral; d) tracto óptico; e) epífisis, f) lóbulo óptico; g) nervio craneal 4, h) nervio craneal 5; i) cerebelo, j) nervio craneal 7, k) nervio craneal 8; l) nervios craneales 9, 10 y 11; m) nervio espinal 1; n) nervio espinal 2 (Tomada de Young, 1980).

En la parte posterior de los hemisferios cerebrales de la rana, existen regiones que reciben fibras ascendentes relacionadas con impulsos táctiles y ópticos, por lo que estos pueden actuar como centros coordinadores. También en anuros (pero no en urodelos), se encuentra una división parcial del tálamo en núcleos sensoriales independientes, como se observa en los mamíferos relacionados con el tacto, la vista y otros tipos de receptores (Young, 1980).

I. II. 3. MÉDULA ESPINAL

La médula espinal se encuentra dentro de la columna vertebral, en el canal raquídeo, está formada por una serie de segmentos llamados neurómeros que están señalados por la presencia de nervios, donde cada raíz dorsal se separa de una serie de raicillas que se fijan a la médula espinal a lo largo del segmento correspondiente (Young 1980).

La estructura general de la médula espinal en un corte transversal se observa que está formada por dos tipos de sustancias: la sustancia gris (Figura 3), la cual es interna, tiene una forma irregular parecida a una “H”, formada de los cuerpos celulares, campos dendríticos y segmentos iniciales de axones, a los cuales debe su color. Los brazos superiores son denominados astas dorsales, que representan la parte sensorial, ya que reciben información sensitiva del cuerpo mediante los nervios espinales y los brazos inferiores se denominan astas ventrales, son más cortas, y representan la parte motora de donde salen las señales a los músculos; entre estas dos astas se encuentran las astas laterales (Hilderbrand, 1982).

La sustancia blanca se encuentra rodeando a la sustancia gris, está compuesta principalmente de fibras nerviosas que conectan diferentes niveles de la médula espinal entre si y con el encéfalo. Estas fibras poseen una vaina de mielina, la cual da su color característico (Kardong,1998).

La sustancia blanca en la médula espinal (Figura 3) se encuentra dividida por el surco mediano dorsal y la fisura mediana en la parte ventral, dividiéndola en lado izquierdo y lado derecho; a su vez, cada lado se encuentra dividido en tres cordones: cordón dorsal, situado entre el asta dorsal y el septo mediano dorsal; cordón lateral localizado entre el asta dorsal y el asta ventral además del cordón ventral, situado entre la fisura mediana y el asta ventral (Kluge, 1977).

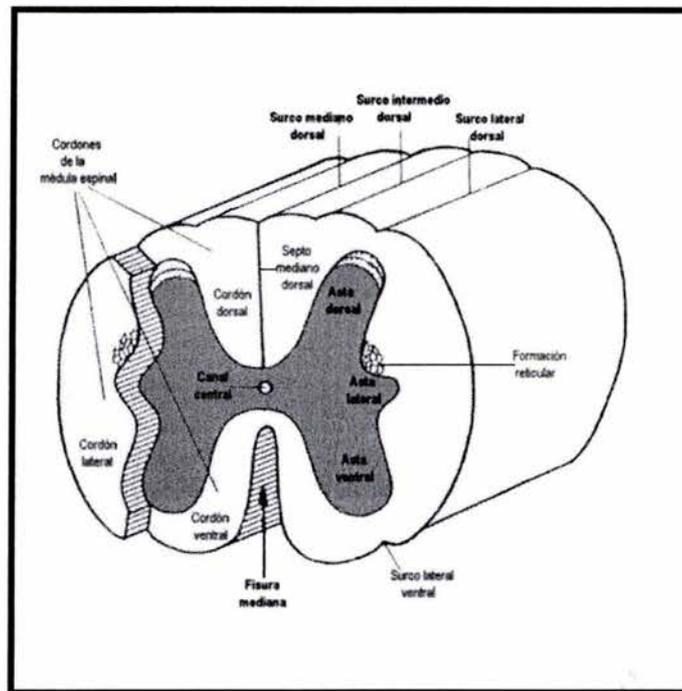


Figura 3. Corte transversal esquemático de la médula espinal (Tomada de Kluge, 1977)

La falta de alineación por los engrosamientos de la médula espinal, puede deberse al incremento del volumen del área del canal central. El más notorio, el engrosamiento del plexo braquial, que ocurre dentro de los canales vertebrales cervicales caudales en casi todos taxa de mamíferos, y el engrosamiento del plexo lumbosacral que se presenta dentro de los canales lumbares o incluso en las vértebras torácicas (Kluge, 1977).

La importancia de la médula espinal radica en que en ella se completa el circuito entre la información sensorial entrante, se integra, coordina y se transmite a cualquier lugar donde se proyecte dentro del SNC, mediante la selección de efectores que han de ser activados o inhibidos permitiendo la coordinación entre sus distintas partes, así como enviar las respuestas apropiadas (Hildebrand, 1982).

I. II. 4. MÉDULA ESPINAL DE ANFIBIOS

La organización de la médula espinal de los anfibios es muy parecida a la de peces, es una estructura originada a partir del tubo neural que se continúa del extremo caudal del encéfalo; se encuentra protegida por la columna vertebral y en el adulto no ocupa completamente el interior del canal raquídeo, se encuentra recubierta por unas membranas de origen conjuntivo llamadas meninges. En una sección transversal se pueden observar vías ascendentes sensoriales dorsales y descendentes motoras ventrales localizadas en la periferia de la médula formando fascículos bien definidos de sustancia blanca, viajando hacia y desde varias porciones del cuerpo; la sustancia gris se localiza centralmente y contiene los somas, dendritas y terminales presinápticos, sus prolongaciones son denominadas astas dorsales con neuronas sensoriales y las astas ventrales con las neuronas motoras individualizadas (van Gehuchten 1897; Eckert, 1989; Nadal, 2001).

La médula espinal de urodelos es muy similar a la de peces, pero en anuros presenta engrosamientos cervicales y lumbares, la sustancia gris tiene columnas dorsales, ventrales y los ganglios sensitivos son completamente extramedulares, las neuronas motoras se localizan en el asta ventral (Montagna, 1981).

En secciones transversales, la médula espinal de urodelos no presenta la materia gris en la clásica forma de “H”, rodeada por materia blanca típica de los vertebrados tetrápodos, más bien, la materia gris es compacta con apariencia ovalada, las astas dorsales están formadas por una sustancia gelatinosa donde se han encontrado elementos mayores que en el asta dorsal de adultos (Nieuwenhuys 1964, van Gehuchten 1897).

I. III. SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

El sistema nervioso periférico es el encargado de recoger la información a nivel tegumento (exterorecepción), estructuras somáticas (propiocepción) y viscerales (interorecepción), para que después mediante vías sensitivas sea conducida al sistema nervioso central donde es procesada (Romer y Parsons, 1981).

El sistema nervioso periférico consta de haces de fibras nerviosas o nervios distribuidos por las regiones del cuerpo; los que se encuentran conectados al cerebro se denominan nervios craneales y los que salen de la médula espinal se conocen como nervios espinales (Torrey, 1962).

Los nervios espinales dorsales y ventrales de cada segmento del cuerpo, se unen fuera de la columna vertebral y a su vez se unen a la médula espinal por raíces dorsales y ventrales separadas, de cada raíz surge una hilera de ramas adyacentes. Cada raíz dorsal se une a la médula al mismo nivel que la raíz ventral correspondiente. Generalmente las fibras motoras viscerales salen de la médula por la raíz ventral, dejando a la raíz dorsal las neuronas sensitivas solamente (Hildebrand, 1982).

Las raíces dorsales muestran, al entrar en la médula una separación medial y una subdivisión lateral. La mayoría de las fibras de la raíces dorsales se bifurcan inmediatamente en dicha entrada en ramas descendentes y ascendentes (Cajal 1909).

Las raíces espinales se ven modificadas debido al desarrollo de las patas y la cola, lo cual origina que los nervios espinales no salgan a través de los orificios vertebrales de manera perpendicular a la médula, sino que viajan cierta distancia por el canal raquídeo; existen 10 pares de nervios craneales pero el primero de ellos se pierde en estado embrionario (Young, 1980; Kierman, 2000).

II. ANTECEDENTES

El contorno básico de la anatomía espinal se ha documentado en muchos de los trabajos del siglo pasado, el más notable y comprensivo fue resumido por Ariens, *et al.* (1936). En la mayoría de los vertebrados, la organización básica de la médula espinal es segmentaria, con relación uno-a-uno entre los segmentos somáticos y los nervios espinales que llevan las fibras sensorias y motoras.

Nieuwenhuys (1964), documentó un incremento en la médula espinal causado por los aumentos en la materia blanca y gris a nivel de los miembros. Este modelo se complementa en los segmentos espinales que proporcionan a los miembros un aumento en el número de fibras entrantes y salientes (nervios) y también por los incrementos en el número de cuerpos celulares (la materia gris); además, encontró variaciones de la organización espinal básica única para la clase amniota.

Cajal (1909), reporta que las raíces dorsales al entrar a la médula forman una separación medial y una subdivisión lateral, además de que la mayoría de las fibras cuando entran inmediatamente se bifurcan en ramas ascendentes y descendentes. En las preparaciones con el método de tinción con nitrato de plata (método rápido de Golgi) se observó que las proyecciones de la raíz dorsal en la médula de los urodolos son básicamente similares a las de anuros aunque más simples.

Schonbach (1969), estudió la neuroglía de la médula espinal del *Triturus viridescens*, donde identificó tres elementos gliares: las células ependimarias en la porción más profunda de la médula, los astrocitos y los oligodendrocitos.

Davis, *et al.* (1989, 1990), después de varios estudios donde amputaba la cola de las salamandras, concluyó que son los únicos vertebrados adultos que pueden recuperar las funciones locomotoras posteriores al corte transversal en todos los niveles de la médula espinal.

Holland y Holland (1999), sugieren que algunos mecanismos genéticos y modelos del sistema nervioso vertebrado ya operaban en los cordados ancestrales y que el cordón nervioso de los cordados invertebrados, antepasados inmediatos de los vertebrados, incluyó un diencéfalo, un mesencéfalo, un telencéfalo y la médula espinal.

Sánchez-Camacho, *et al.* (2002), realizaron un estudio del origen y desarrollo de las catecolaminas en la médula espinal en tres órdenes de anfibios y por inmunohistoquímica señalaron la existencia de cuatro centros en el cerebro que contribuyen a la inervación catecolaminérgica, un componente del tubérculo ventrolateral posterior, el núcleo periventricular, el núcleo coeruleus, y el núcleo del tracto solitario, de esta manera, el modelo observado es similar en todas las especies de anfibios estudiadas. En cuanto al desarrollo, los resultados muestran una secuencia temporal en la aparición de grupos celulares con catecolaminas que se proyectan a la médula espinal de los anuros y se organizan a lo largo del eje cefálico-caudal.

Doré, *et al.* (2002), establecieron la pertinencia para utilizar el análisis estadístico de 16 índices volumétricos correspondientes a igual número de estructuras telencefálicas, para diferenciar a dos familias, Salamandridae y Plethodontidae, concluyendo que las estructuras telencefálicas pueden usarse para clasificar a los urodelos, además, las relaciones derivadas del análisis de las estructuras telencefálicas proporcionan valiosa información sistemática.

III. MODELO ANIMAL

Los anfibios son tetrápodos básicamente pentadáctilos, presentan la piel desnuda y húmeda debido a sus abundantes glándulas epidérmicas, no poseen escamas, su respiración es branquial en estado larvario y pulmocutánea o branquial en adultos, el cráneo se articula a través de dos cóndilos a la única vértebra cervical (atlas), el corazón es tricavitario con dos atrios y un ventrículo; son organismos anamniotas con desarrollo post-embriionario con una metamorfosis en algunas especies para alcanzar su estado definitivo (Nadal, 2001).

Dentro de la clase Amphibia se encuentra la subclase Lissamphibia, la cual está representada por tres órdenes: Apoda, Anura y Urodela. Los Urodelos son comúnmente conocidos como salamandras y ajolotes (del náhuatl *axolotl*: atl, agua y *xolotl*, monstruo; “monstruo acuático”), de cuerpo alargado y caudado en estado adulto, poseen cuatro dedos en las extremidades anteriores y cinco en las posteriores, sus vértebras son anficélicas u opistocélicas, y las larvas se parecen al adulto, encontrando aquí a la familia Ambystomatidae, representada por 28 especies, 15 de ellas mexicanas, las cuales presentan fecundación interna, branquias en estado adulto, sin metamorfosis en algunas especies y vértebras anficélicas. (Casas y McCoy, 1979; Duellman y Trueb, 1994).

El nombre científico *Ambystoma mexicanum* (Figura 4) fue establecido por la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica en 1798. Esta especie mide alrededor de 20 cm de largo, posee en el lomo una especie de aleta que llega hasta la región caudal; es de color pardo oscuro con pequeñas manchas blanquecinas de gran eficacia críptica, pues les permite confundirse con las piedras. Pueden respirar por branquias (tres pares de branquias externas laterales) y pulmones. Habitan en el norte de los Estados Unidos, sur de Canadá y este de Alaska hasta la Meseta Central de México, donde es mas abundante (Álvarez del Villar, 1983; Uribe, 2002).



Figura 4: *Ambystoma mexicanum* (Sugiura, 2005)

Esta especie es original del lago de Xochimilco y en estos momentos su hábitat presenta cierto grado de contaminación y la tendencia a sufrir desecación (Calderón, 1986), por lo que es considerada como una especie sujeta a protección especial de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2001).

En la literatura científica ha ocupado un espacio importante, en donde se describe su embriología, cronología, anatomía y endocrinología; en la actualidad se considera un modelo experimental adecuado para realizar estudios sobre regeneración, metamorfosis, trasplante y radiación. Además de que han sido descritos como “neoténicos obligados”, es decir, parecen no sufrir metamorfosis en la naturaleza, pero en condiciones de laboratorio se ha logrado inducir (Ortega, 2000).

IV. JUSTIFICACIÓN

La neuroanatomía es una fuente rica de rasgos para el análisis filogenético. La arquitectura del sistema nervioso central de vertebrados es reconocible en algunos de los vertebrados más antiguos conocidos y sus variaciones se han usado como características en reconstrucciones filogenéticas de muchos grupos vertebrados, incluso de agnatos y mamíferos (Ulinski, 1983).

La morfología funcional de especímenes paleontológicos confía en la relación entre la estructura observada y función del taxa viviente. Las estructuras convergentes entre especies vivas y las especies fósiles se interpreta como el producto de la adaptación por selección natural y como un indicador de la similitud funcional (Giffin, 1992).

La estructura de la médula espinal es una fuente confiable de información sobre la función y estilo de vida de amniotas fósiles. Adicionalmente, sólo una cantidad limitada de información sobre la anatomía de la médula espinal de especies vivientes está disponible. Sin embargo, los rasgos que hacen al sistema nervioso accesible para la interpretación funcional son verdaderos tanto para la médula espinal como para el cerebro. El modelo estructural de la médula espinal y su rango de variación en los amniotas vivientes, facilita las interpretaciones funcionales (Ariens, *et al.* 1936).

Los estudios realizados para conocer la relación del tamaño de la médula espinal y del canal neural indican que esto es bastante difícil de medir, ya que al exponer la médula para medirla, el canal es destruido, además de que la disección de tejido fresco no es particularmente útil, cuando la médula es tan suave por su forma y composición. Este problema puede superarse al utilizar organismos que lleven un proceso de fijación o congelación, dependiendo de su tamaño (Giffin, 1992). Por este motivo se utiliza un proceso de fijación del tejido en este trabajo.

En el presente trabajo se realizó una descripción detallada de la morfología de las raíces espinales dorsales del ajolote *Ambystoma mexicanum*, dado que no existe en la literatura ninguna descripción de este tipo, y cuya variabilidad podría estar involucrada en procesos adaptativos. Este trabajo cobra una mayor importancia si se toma en cuenta que actualmente el ajolote es uno de los modelos biológicos experimentales más utilizados, por lo que se espera que la información aportada por este trabajo constituya una herramienta útil para estudios comparativos, así como para analizar la evolución de los propios anfibios y del resto de los tetrápodos.

V. OBJETIVOS

Objetivo General

- ✓ Analizar si existe simetría en los nervios raquídeos de *Ambystoma mexicanum* en cuanto al número de raicillas raquídeas dorsales y el significado morfofuncional de las mismas.

Objetivos particulares

- ✓ Obtener mediante una disección las raíces raquídeas dorsales de *Ambystoma mexicanum*.
- ✓ Analizar la variación en cuanto al número de las raicillas raquídeas dorsales de *Ambystoma mexicanum*.
- ✓ Analizar el significado morfofuncional del número de raicillas raquídeas de *Ambystoma mexicanum*.

VI. MÉTODO

Se obtuvieron 15 especímenes de *Ambystoma mexicanum* del Vivario de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Anatomía Animal Comparada en la Unidad de Morfología y Función.

En el laboratorio, se tomaron sus datos merísticos con un vernier y fueron pesados en una balanza (precisión 0.01g.), posteriormente, los organismos fueron fijados con formol al 4% neutralizado (Apéndice 1).

Se disectaron los músculos desde la porción cefálica hasta la región caudal exponiendo la médula espinal y las raíces espinales.

Los esquemas de las raíces espinales fueron realizados de forma directa y por medio de fotografías y dibujos, los cuales se analizaron para precisar el patrón presente.

Se realizó una descripción de la anatomía de las raicillas raquídeas de *Ambystoma mexicanum* con los esquemas correspondientes. La nomenclatura utilizada se basó en los criterios de la Nomina Anatómica Internacional (Schaller, 1996).

Finalmente se llevó a cabo el análisis de la simetría respecto al número de raicillas por medio de un análisis de proporciones, y una prueba de X^2 con un $\alpha= 0.05$, posteriormente se discutió el significado dicha simetría utilizando el criterio de Gould (Gould, 1985).

VII. RESULTADOS

Los organismos obtenidos fueron pesados y medidos, el peso promedio fue de 41.43g \pm 2.557g y la longitud corporal promedio de 18.48 cm. \pm 0.884cm (Apéndice I).

En las Figuras 5 y 6 se observa la manera en que las raíces espinales dorsales salen de la médula espinal de *Ambystoma mexicanum*, también podemos ver que la médula espinal está formada por una serie de segmentos llamados neurómeros y están señalados por la presencia de nervios. Además se encontró que no todas las raíces espinales están formadas por una sola raicilla raquídea sino que pueden encontrarse dos como se observa en las figuras 8 a 40.

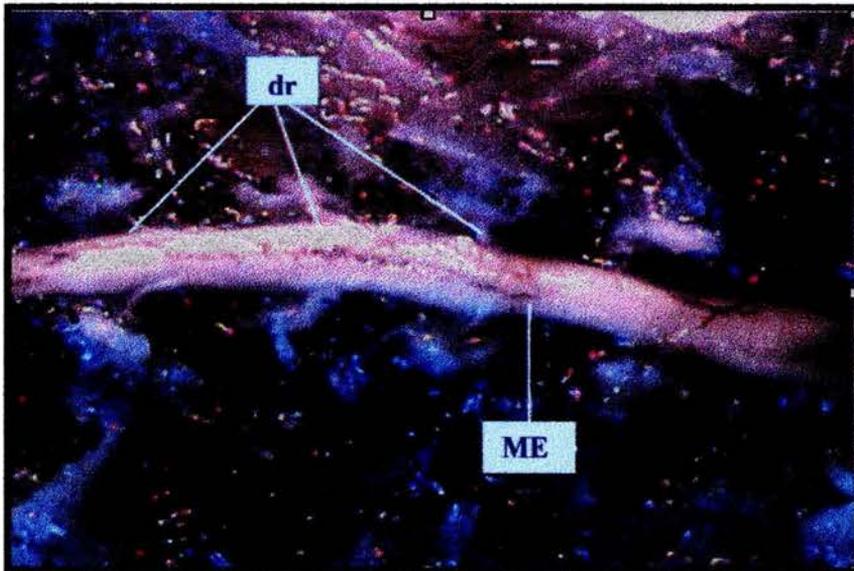


Figura 5: Fotografía (10x) de la distribución de las raíces espinales dorsales (dr) expuestas en la médula espinal (ME).

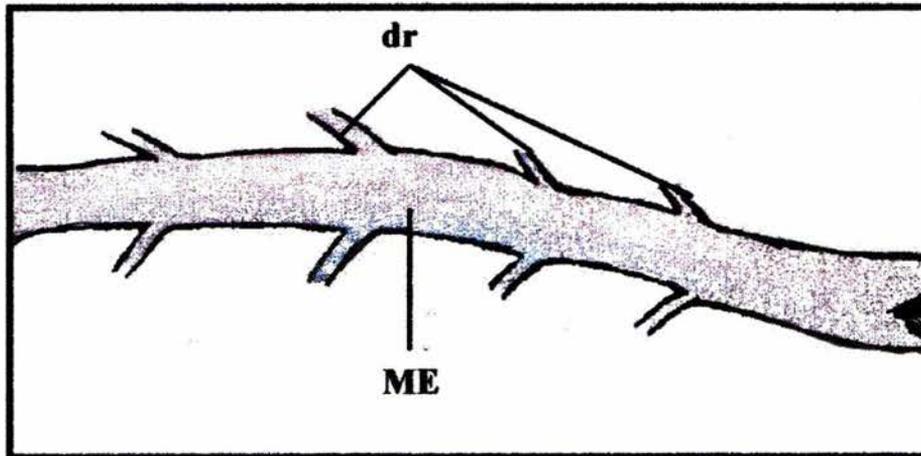


Figura 6: Esquema de la distribución de las raíces espinales dorsales (dr) expuestas en la médula espinal (ME).

La columna vertebral del *Ambystoma mexicanum* se divide en cuatro regiones, la primera es el segmento cervical, el siguiente es el segmento del tronco, continuando con el segmento sacro compuesto de una sola vértebra y por último se encuentra el segmento caudal, estas divisiones pueden ser observadas a continuación en la Figura 7.

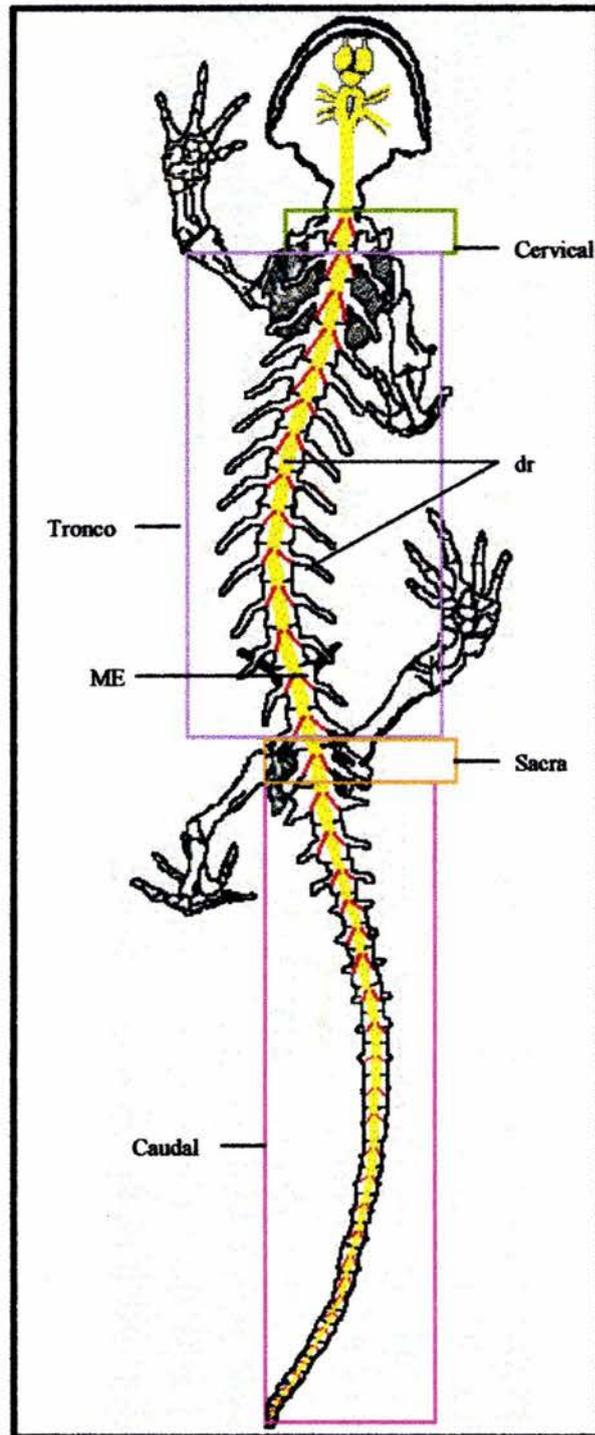


Figura 7: Esquema donde se observan las divisiones de la columna vertebral en *Ambystoma mexicanum*, mostrando el encéfalo y la médula espinal (ME) en color amarillo, además de las raíces espinales dorsales (dr) en color rojo.

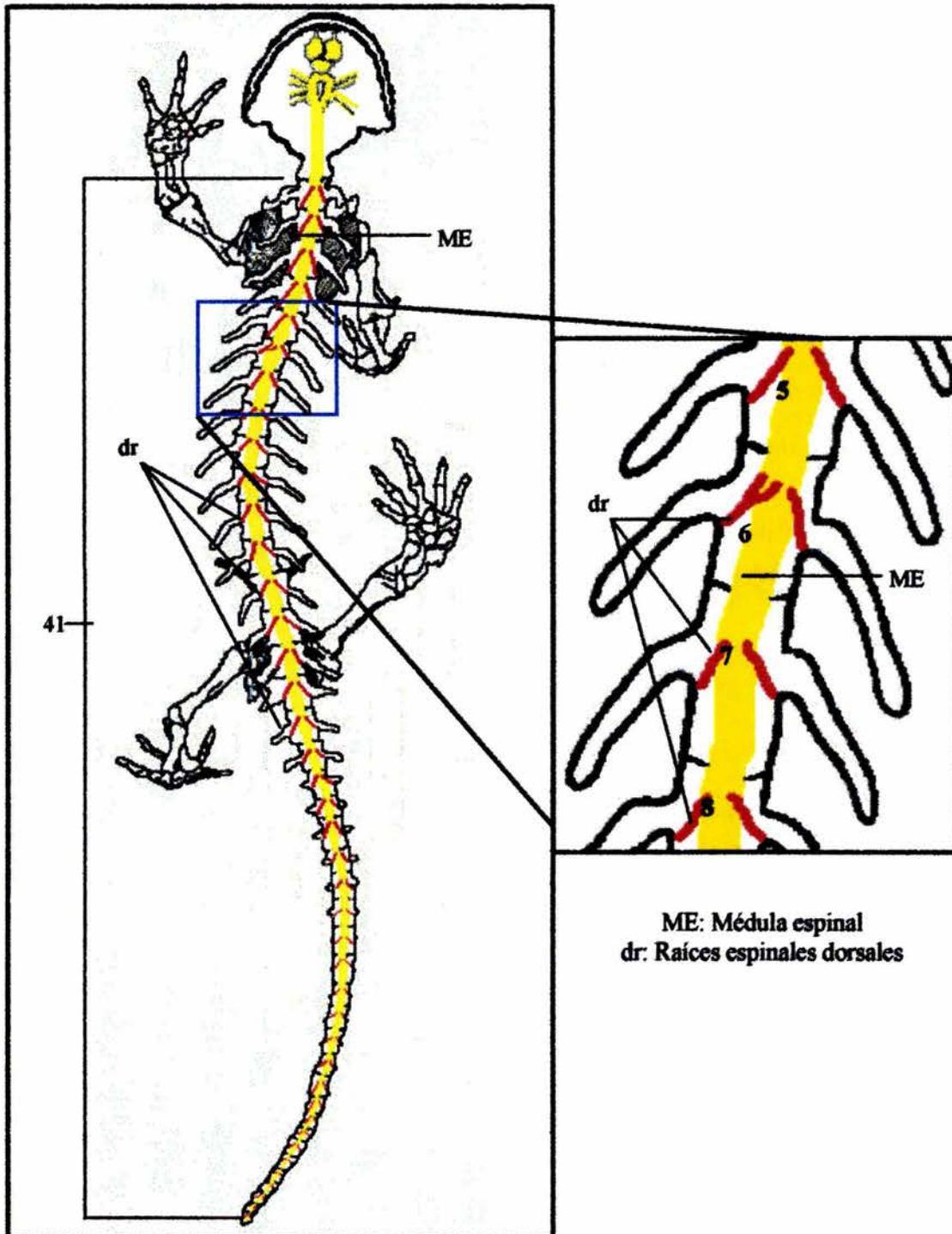


Figura 8: Esquema del organismo 1 donde se observan 41 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 23).

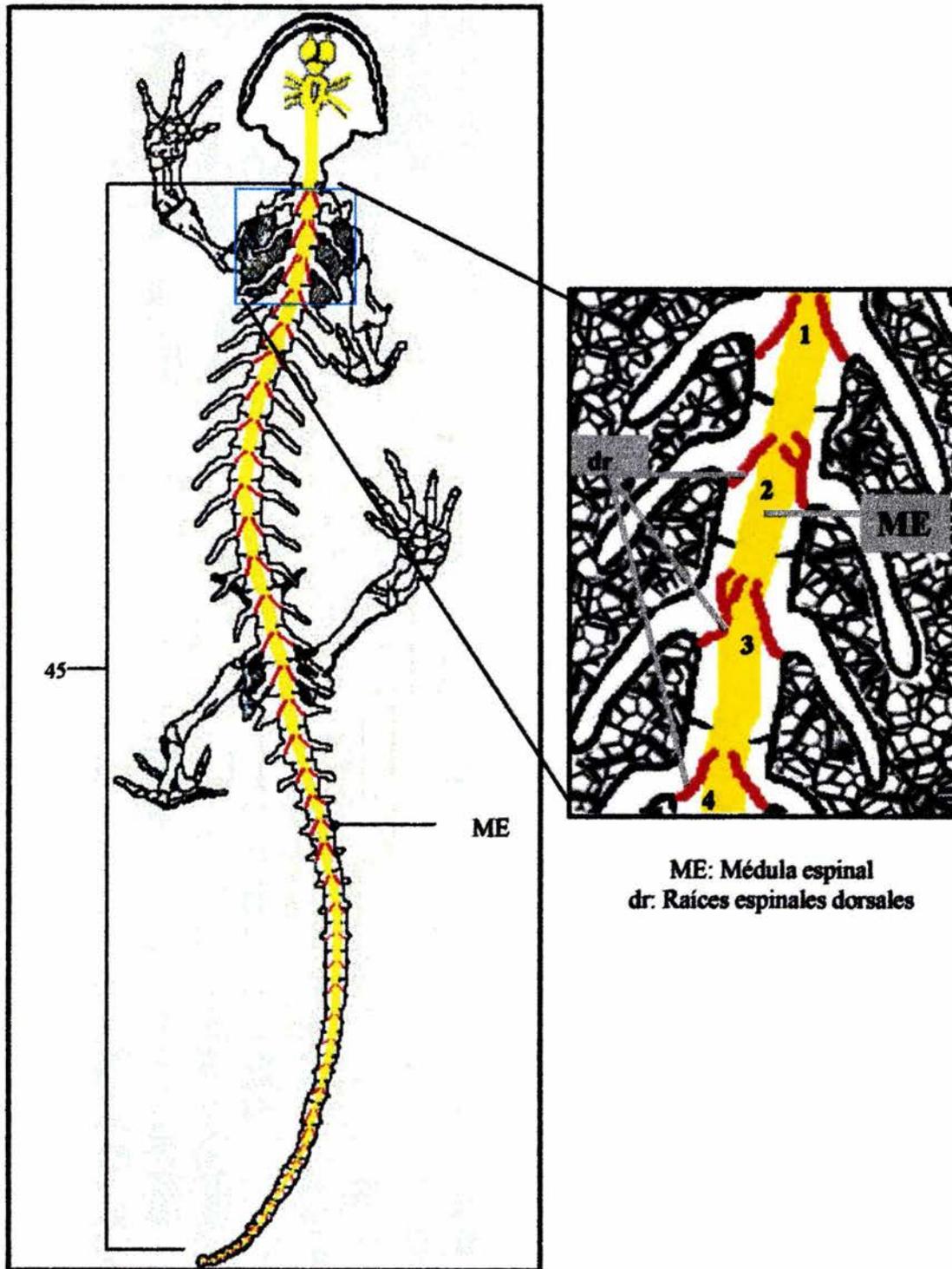


Figura 9: Esquema del organismo 2 donde se observan 45 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema con dos raíces dorsales espinales compuestas de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figuras 24 y 25).

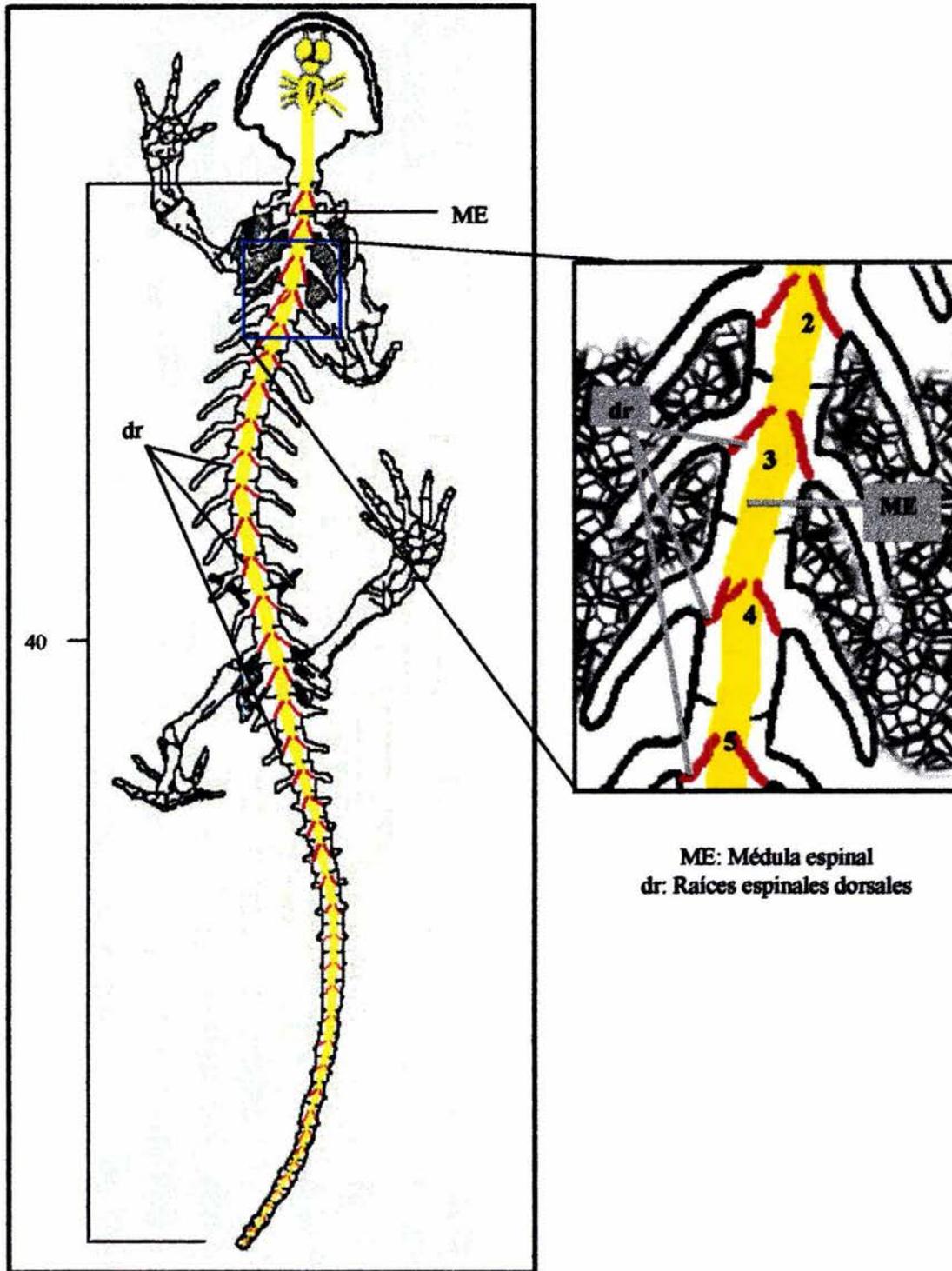


Figura 10: Esquema del organismo 3 donde se observan 40 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 26).

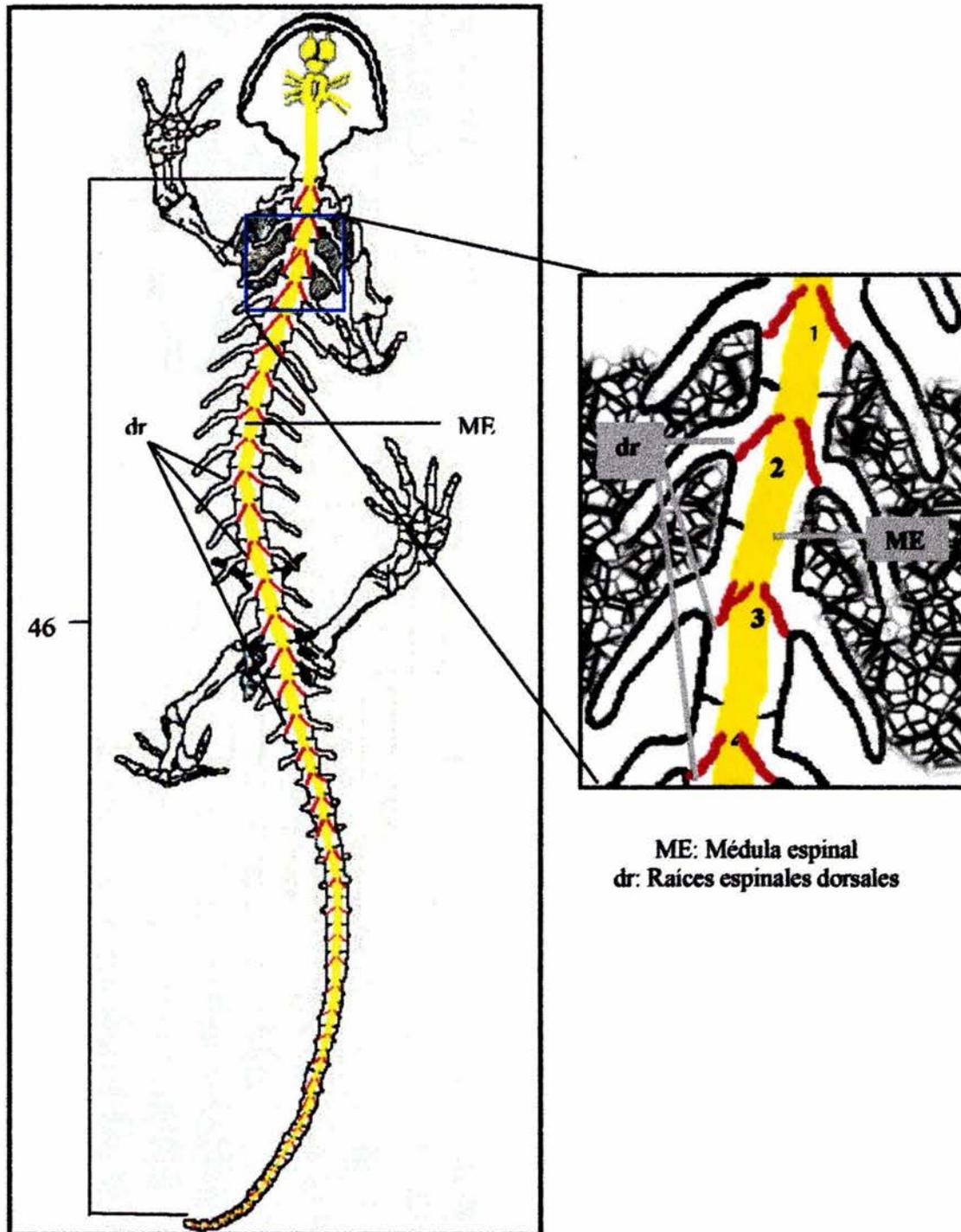


Figura 11: Esquema del organismo 4 donde se observan 46 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 27).

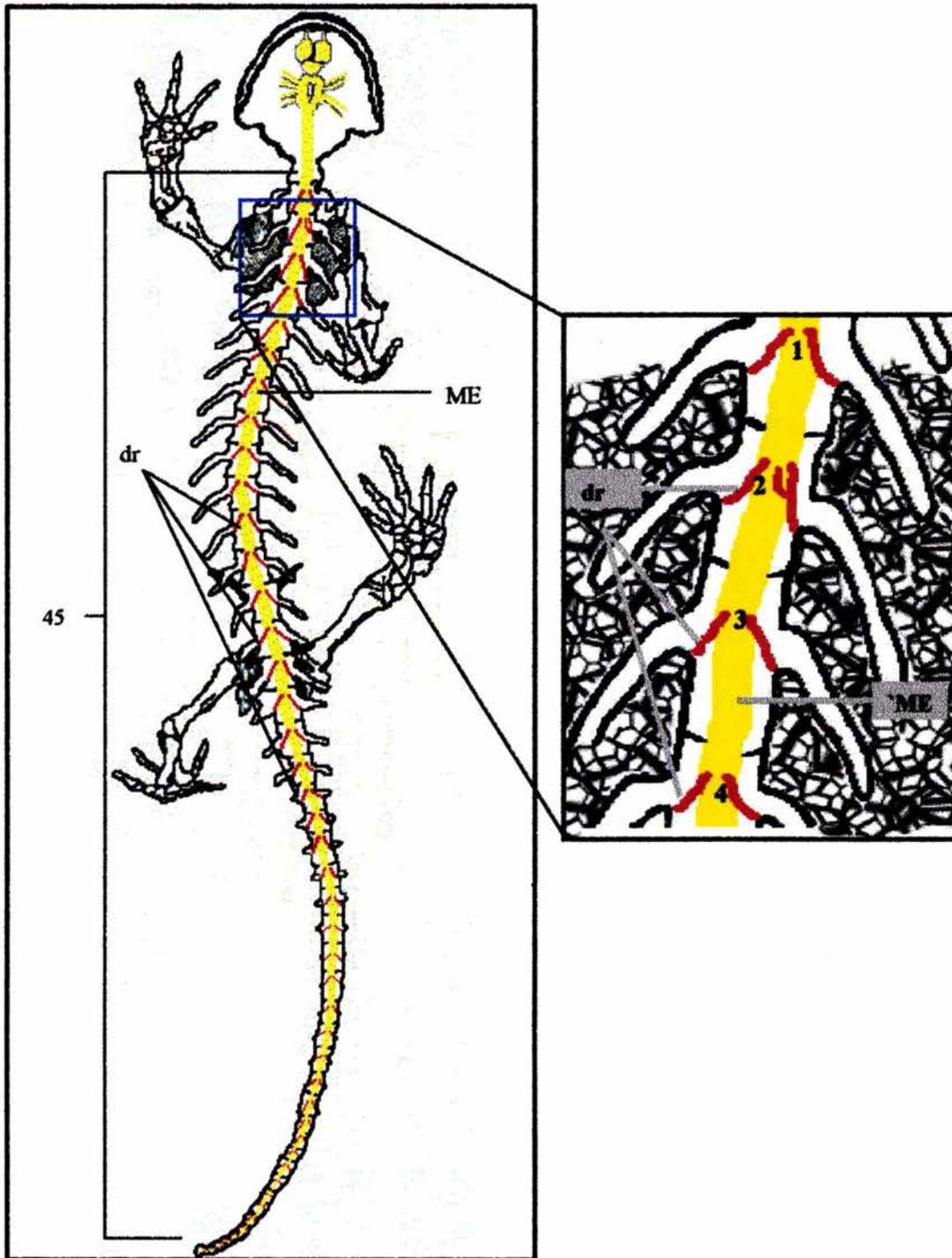


Figura 12: Esquema del organismo 5 donde se observan 45 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 28).

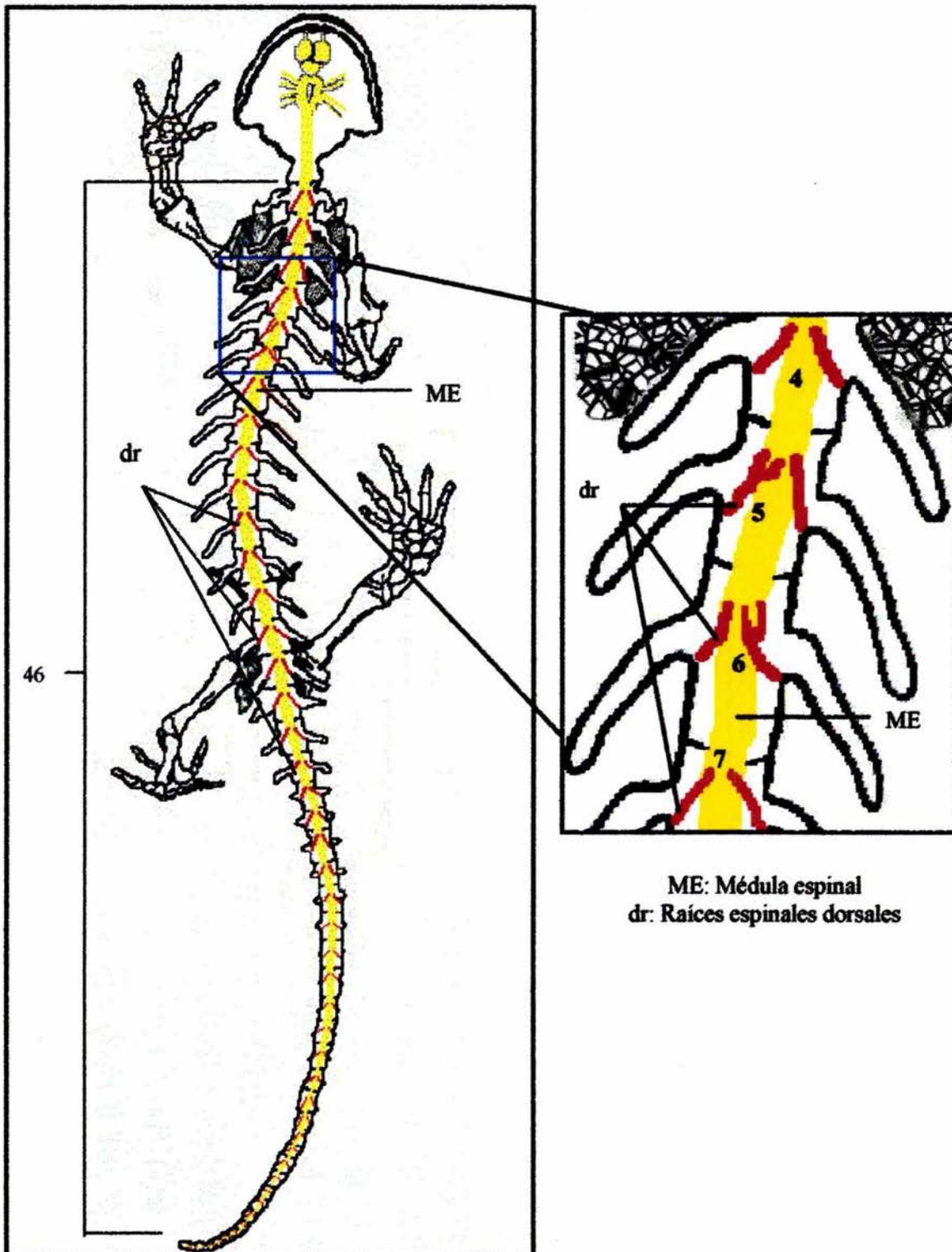


Figura 13: Esquema del organismo 6 donde se observan 46 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de dos raíces dorsales espinales compuestas de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figuras 29 y 30).

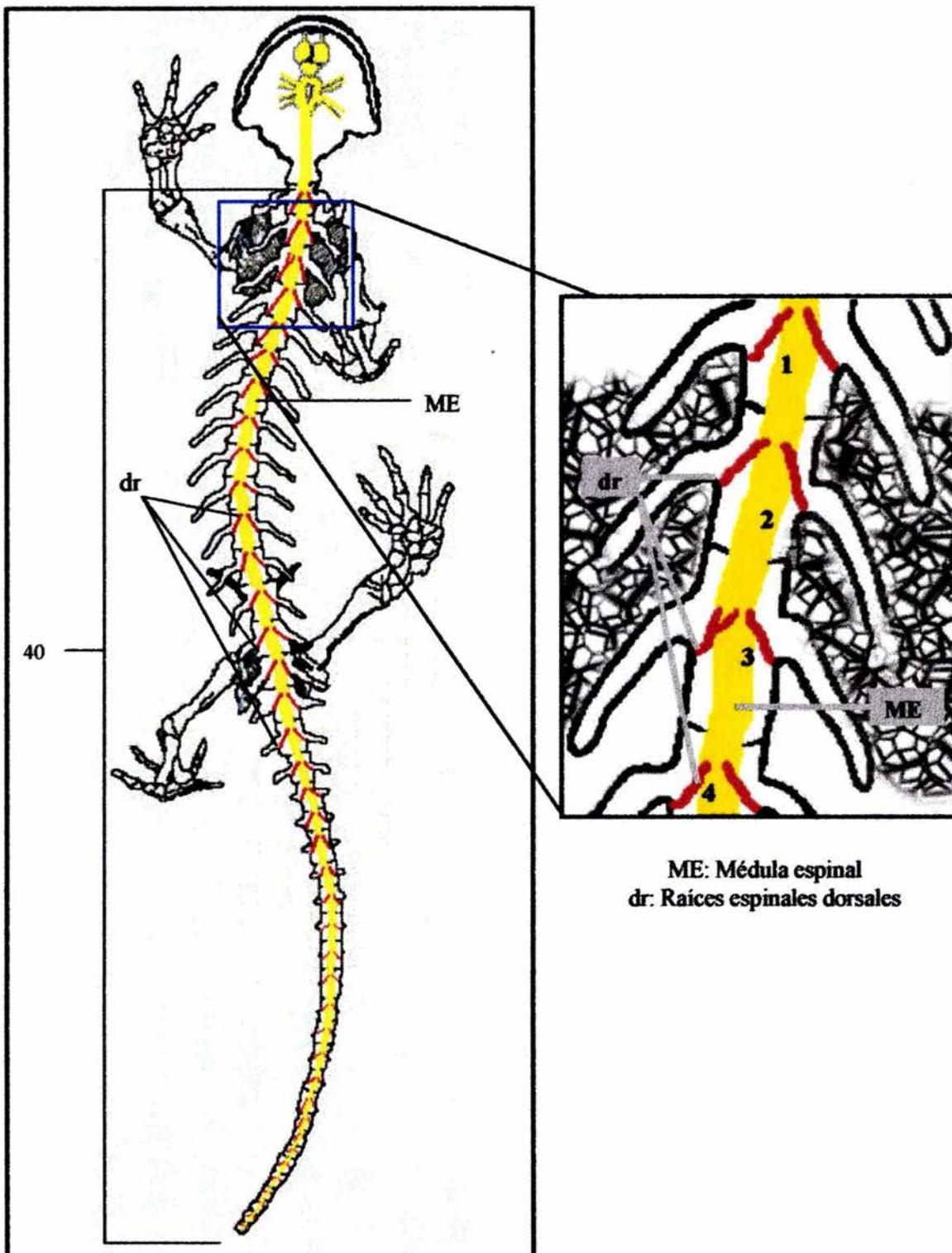
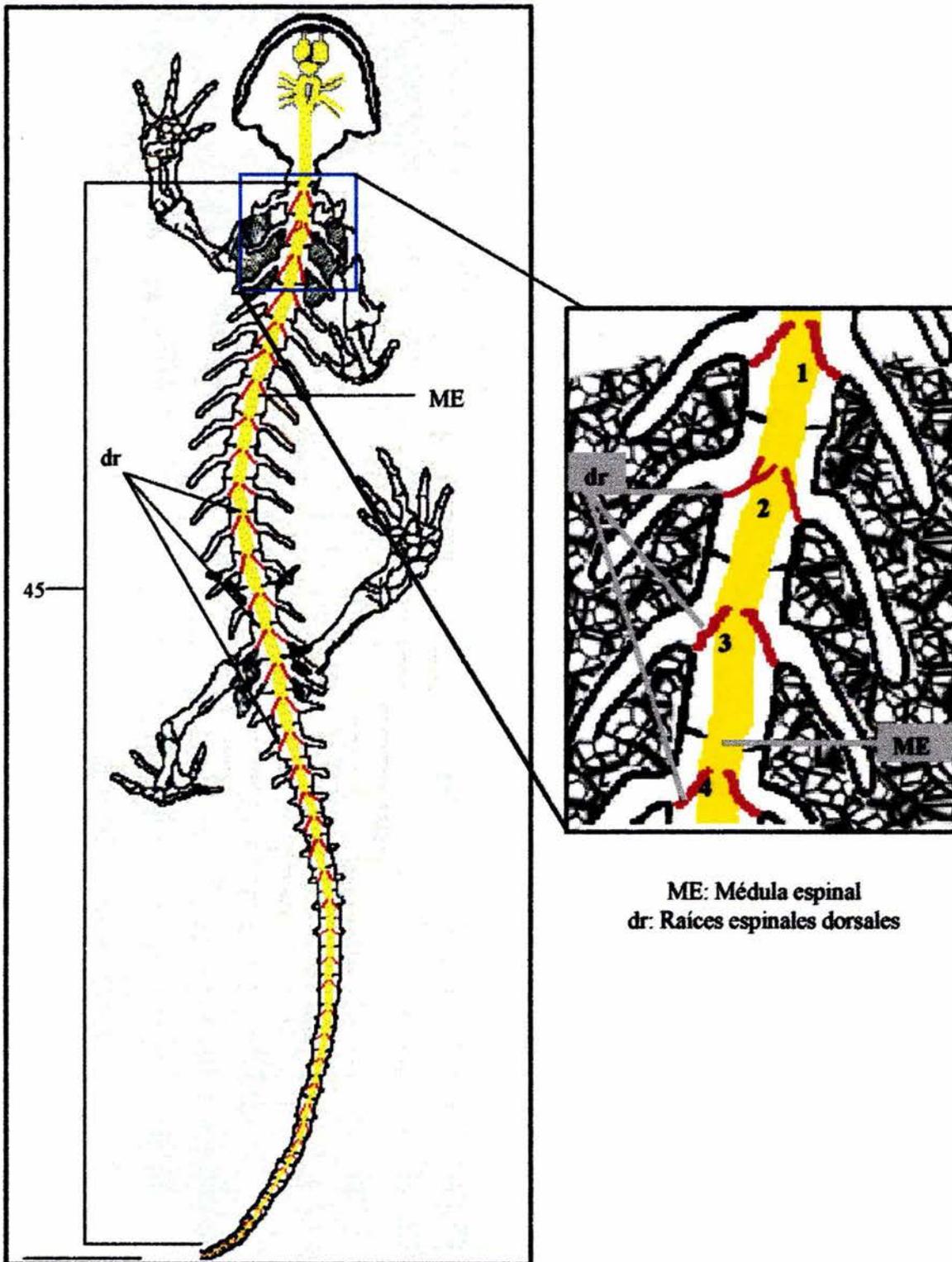


Figura 14: Esquema del organismo 7 donde se observan 40 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 31).



ME: Médula espinal
dr: Raíces espinales dorsales

Figura 15: Esquema del organismo 8 donde se observan 45 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 29).

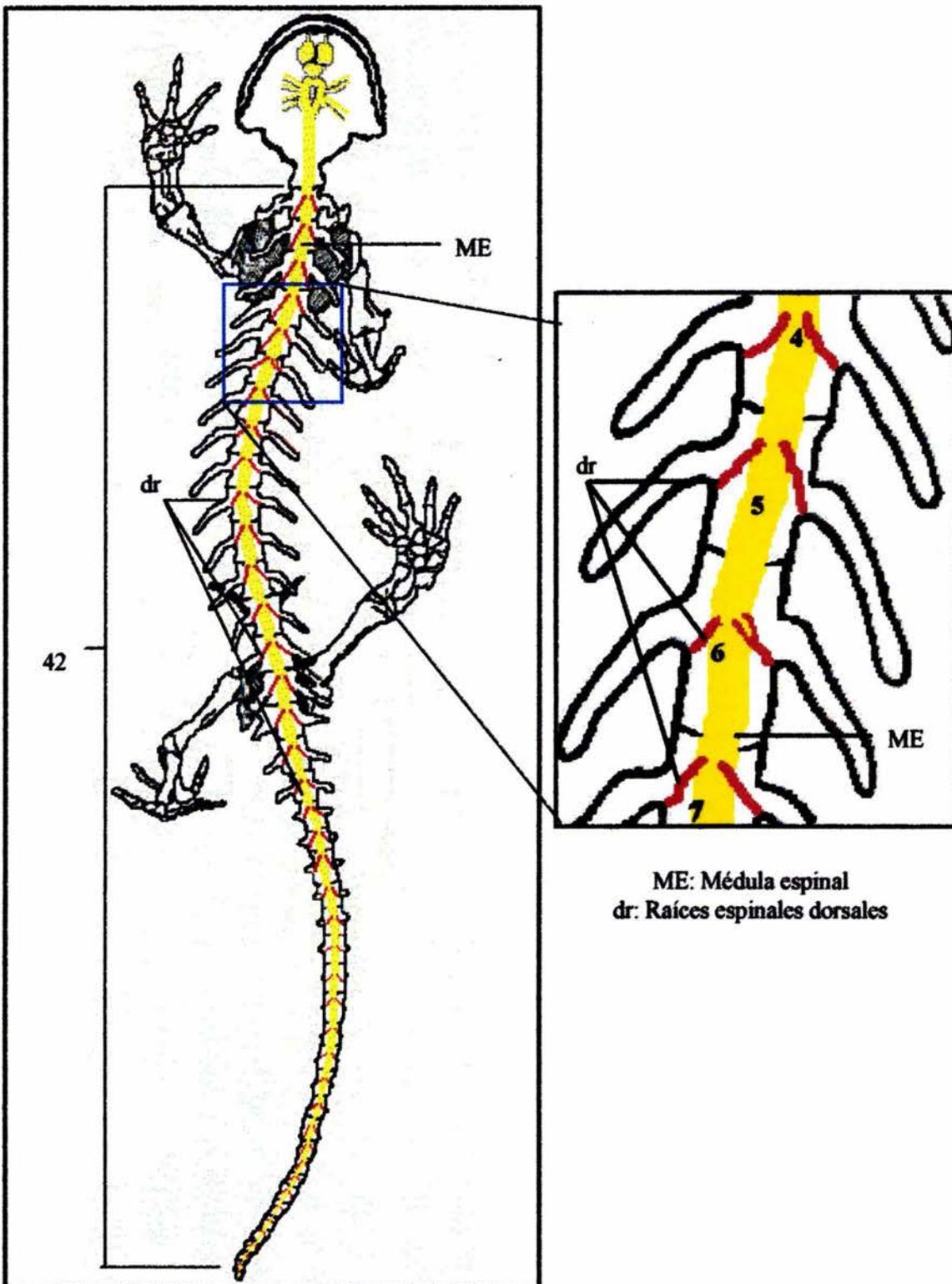


Figura 16: Esquema del organismo 9 donde se observan 42 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 33).

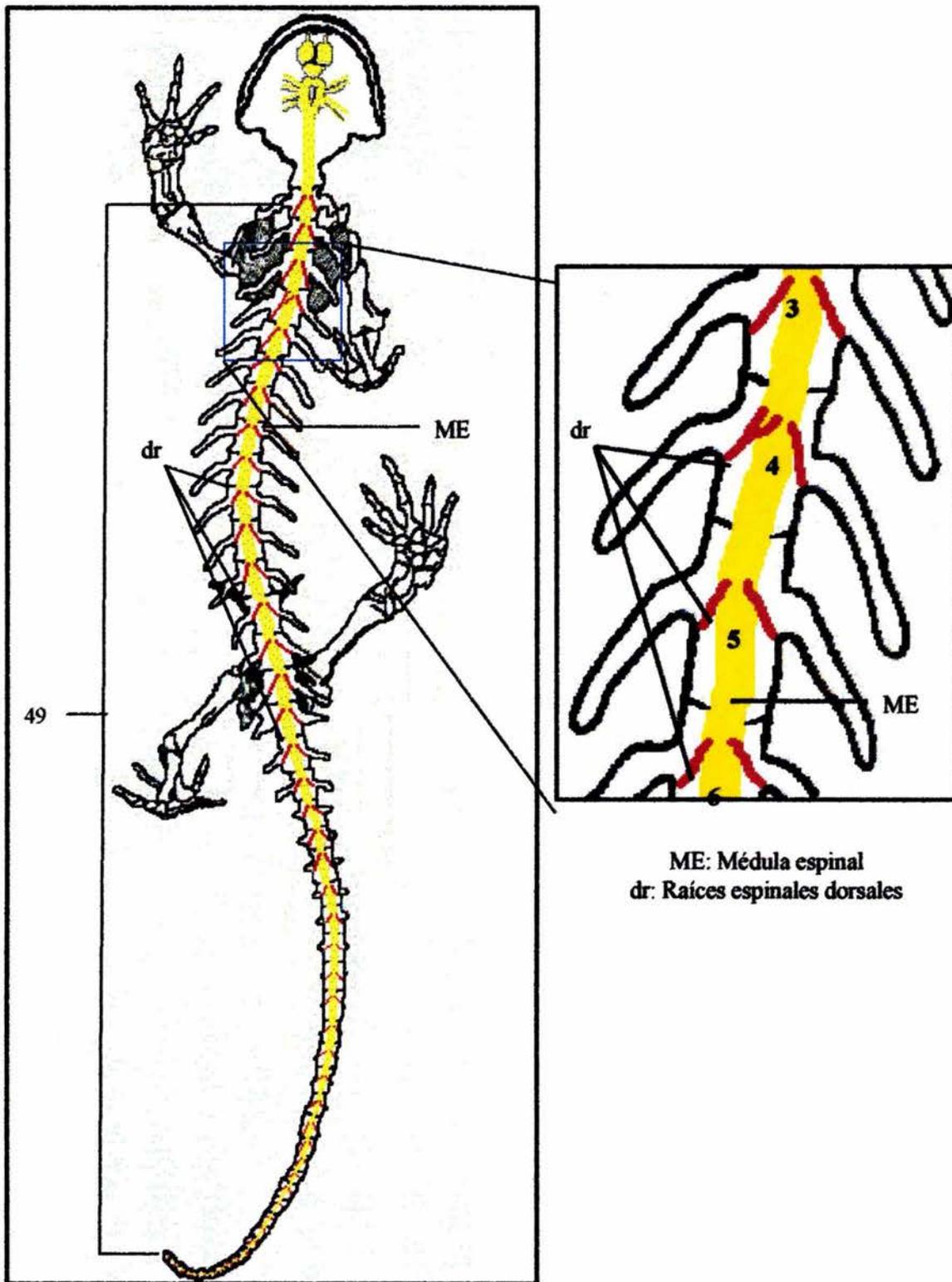
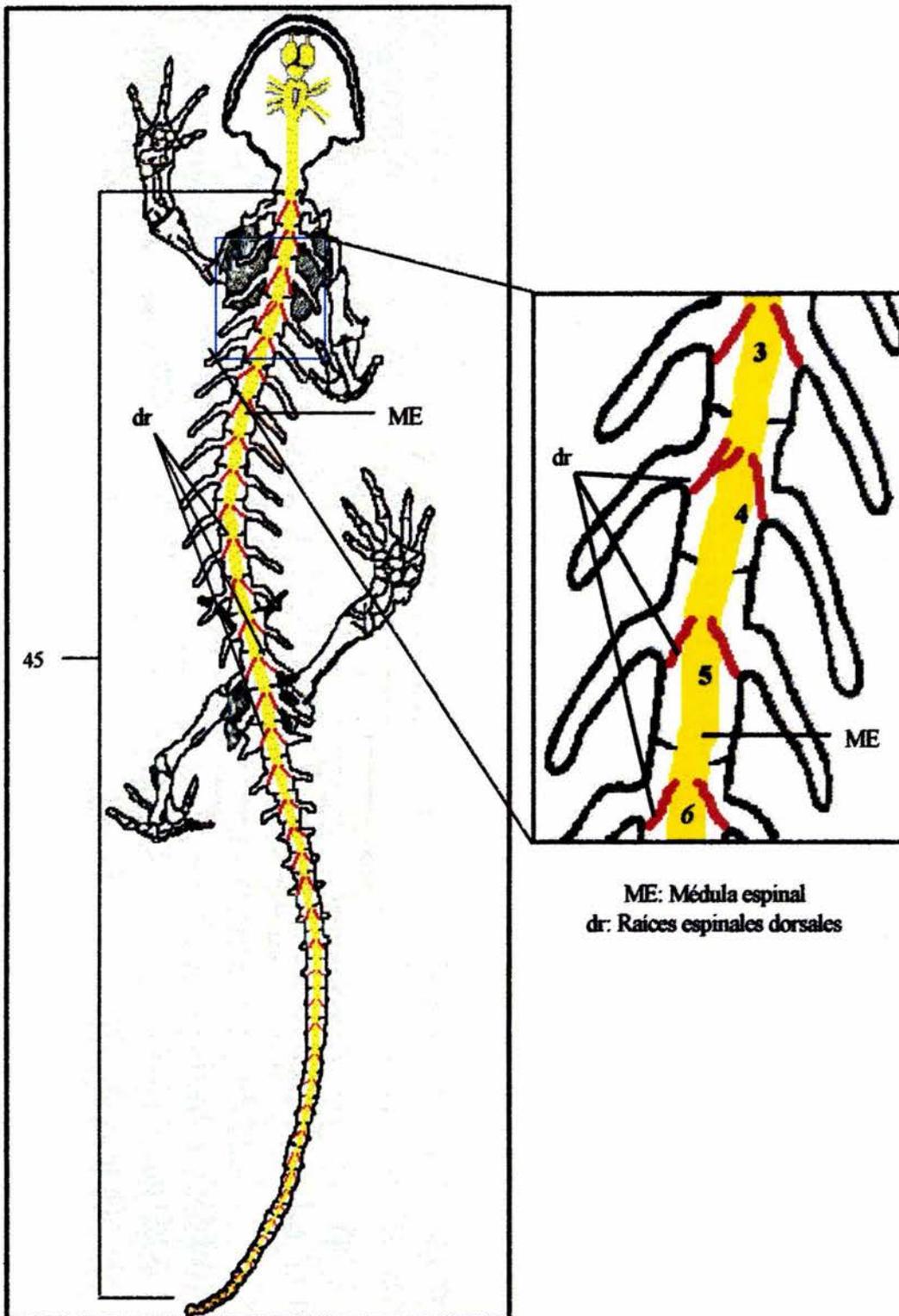
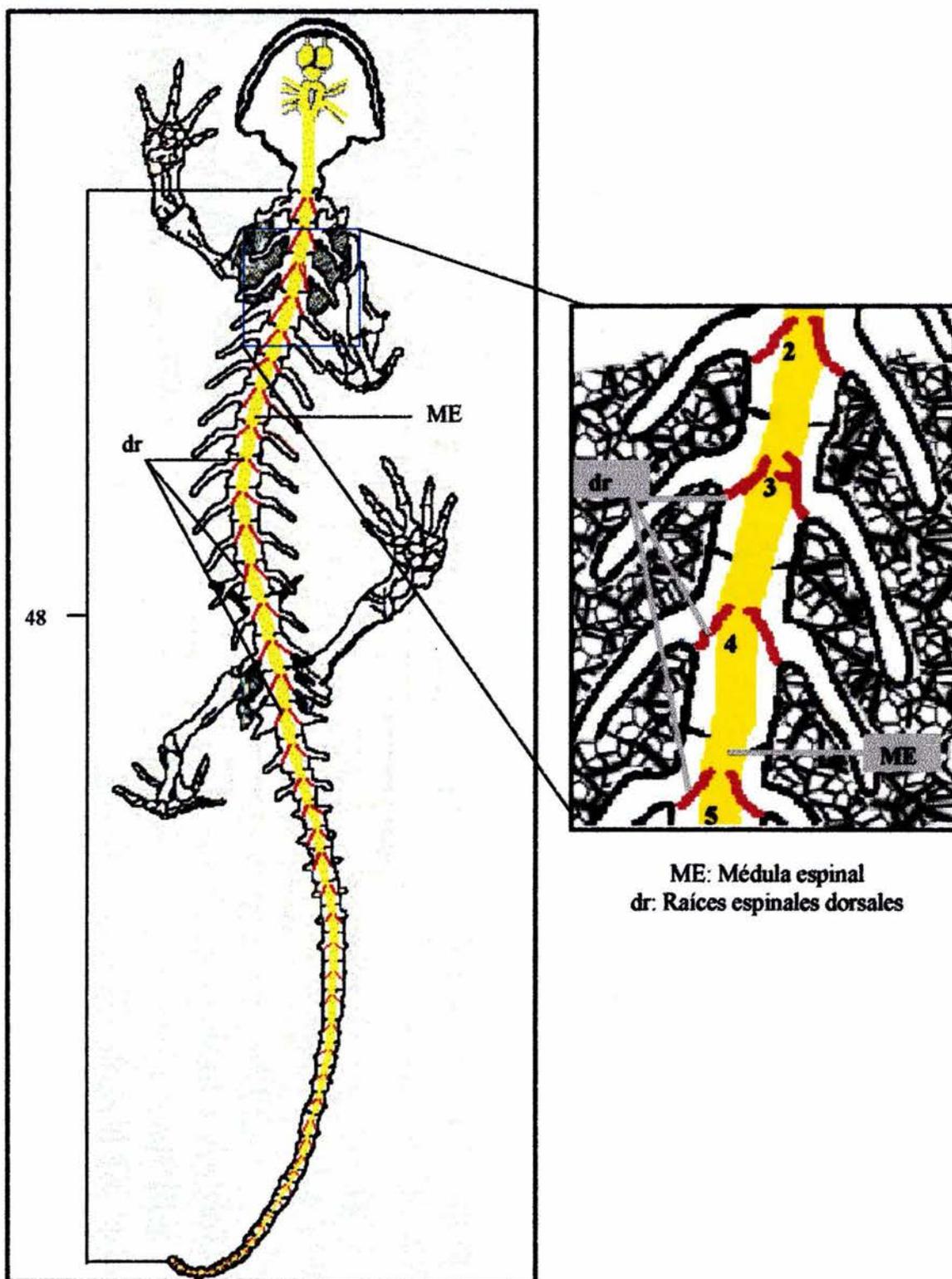


Figura 17: Esquema del organismo 10 donde se observan 49 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 34).



ME: Médula espinal
dr: Raíces espinales dorsales

Figura 18: Esquema del organismo 11 donde se observan 45 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 35).



ME: Médula espinal
dr: Raíces espinales dorsales

Figura 19: Esquema del organismo 12 donde se observan 48 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 36).

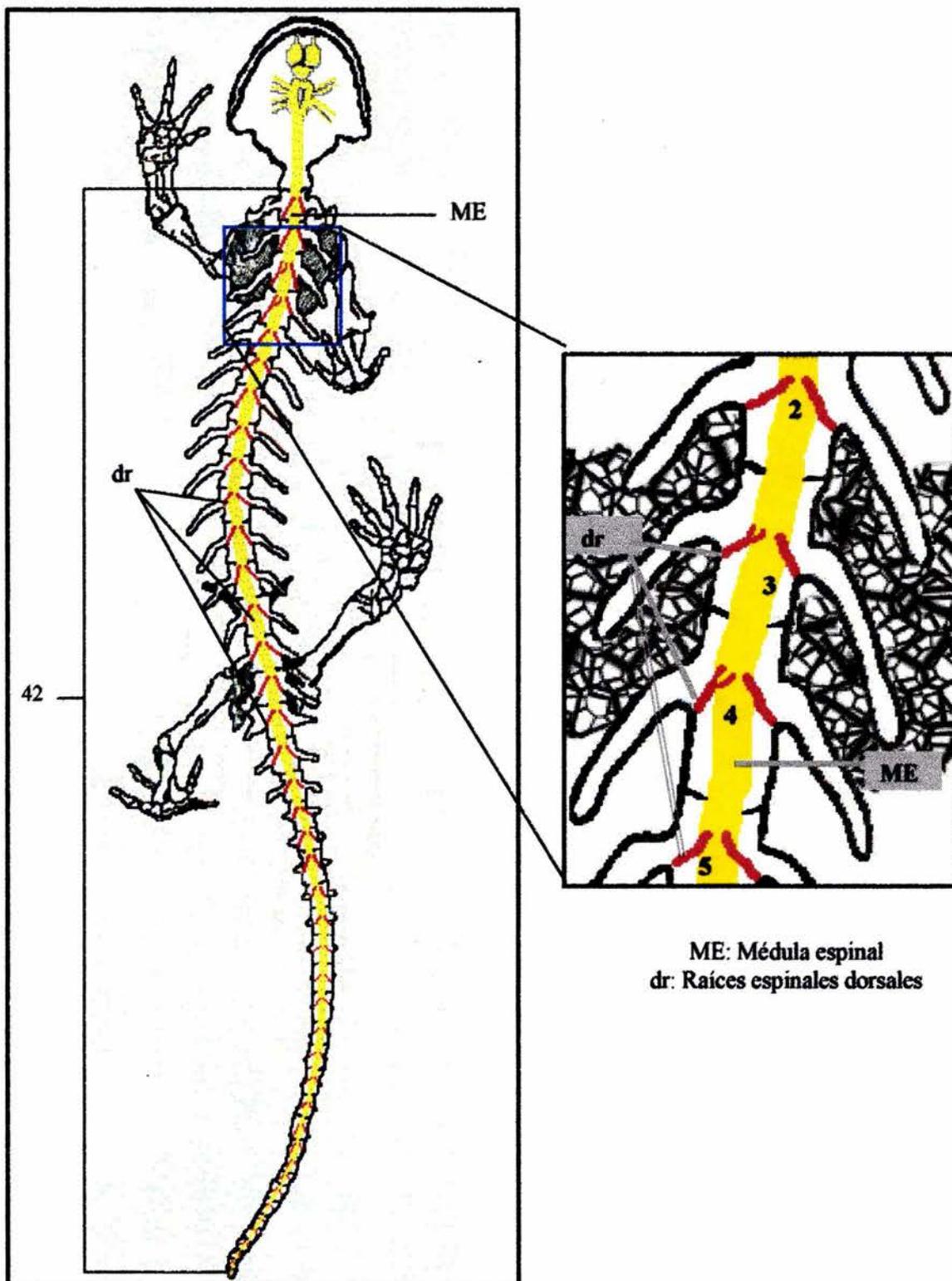


Figura 20: Esquema del organismo 13 donde se observan 42 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de dos raíces dorsales espinales compuestas de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 37 y 38).

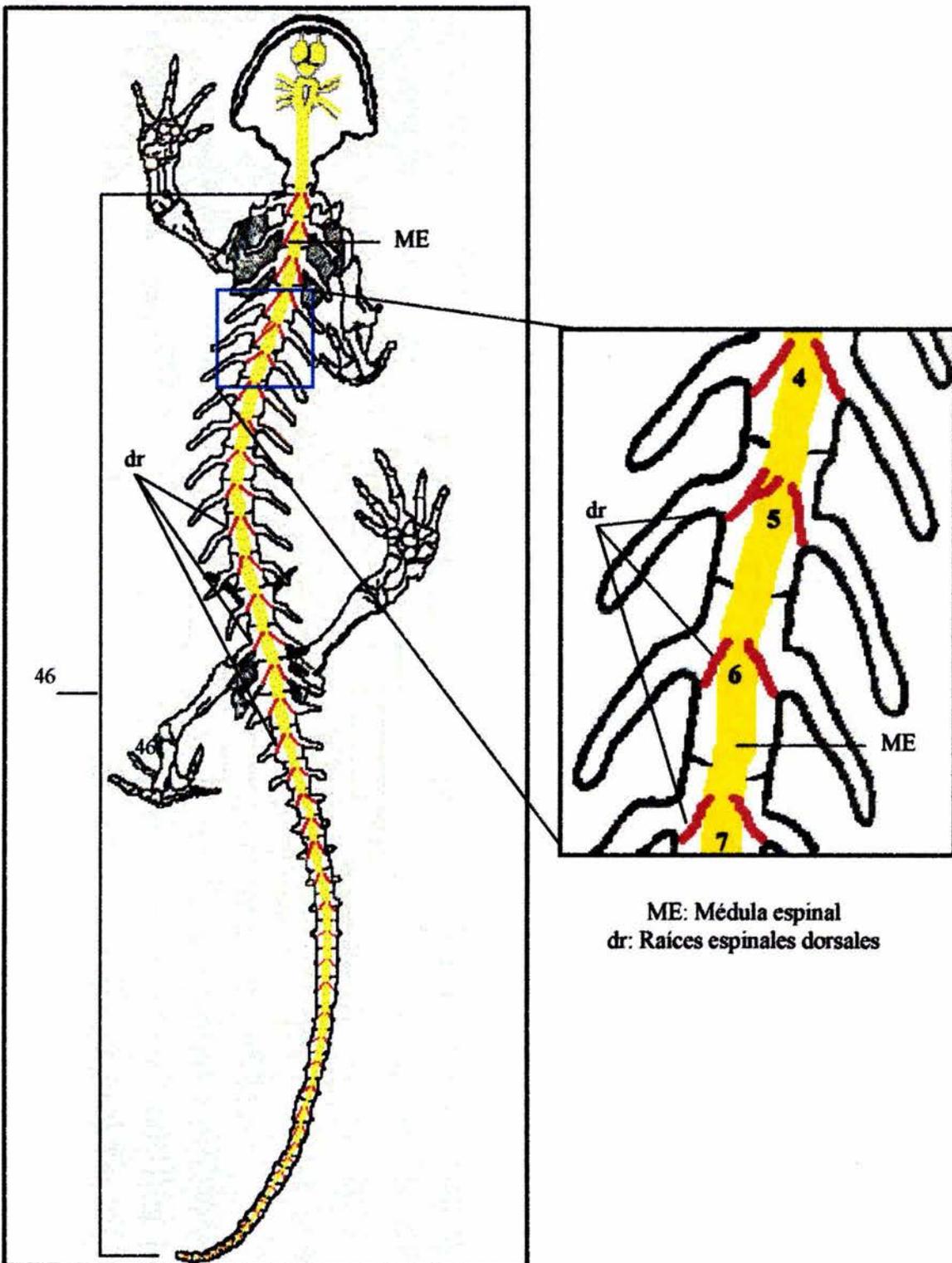


Figura 21: Esquema del organismo 14 donde se observan 46 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 39).

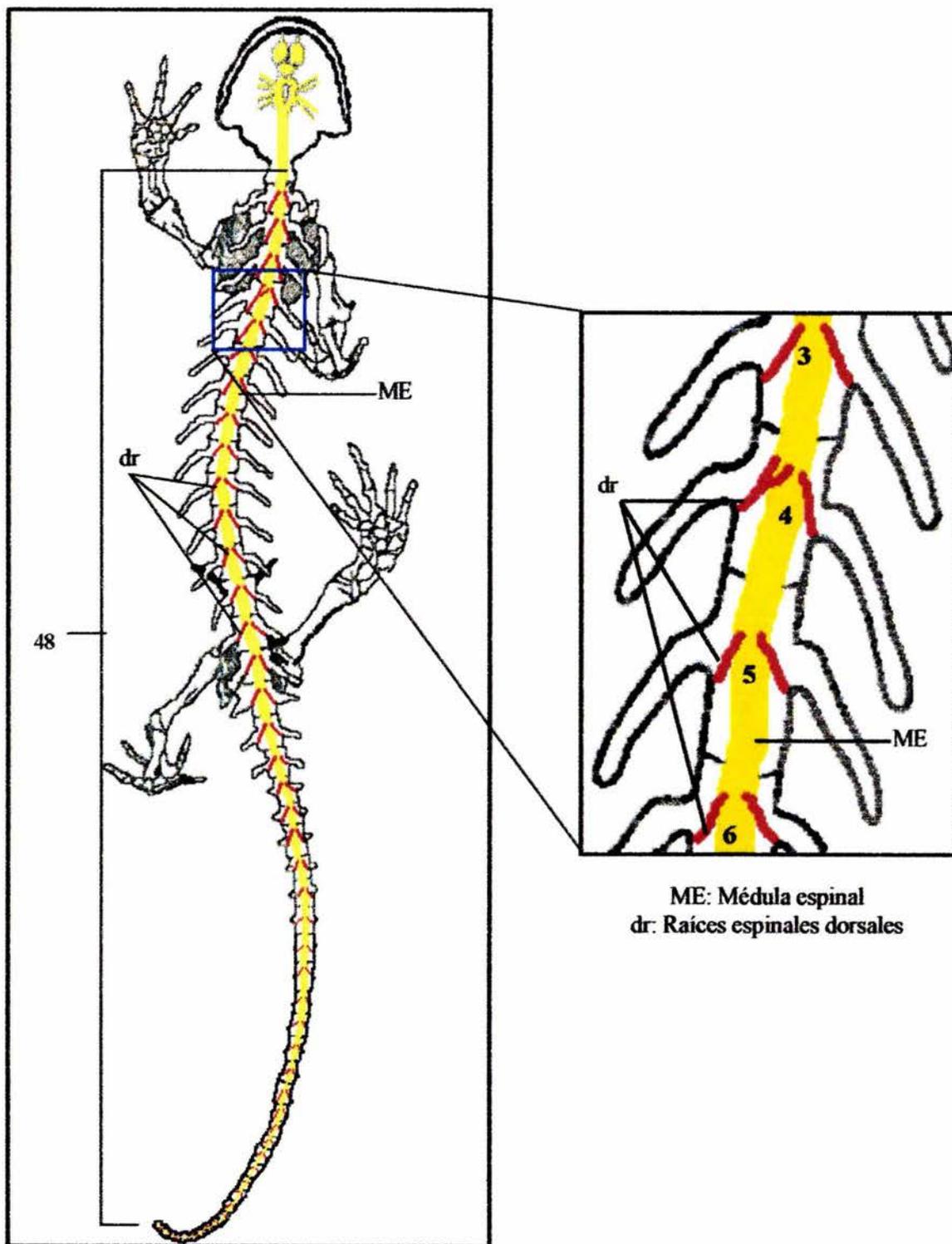


Figura 22: Esquema del organismo 15 donde se observan 48 pares de raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* (izquierda); a la derecha se muestra un esquema de una raíz dorsal espinal compuesta de dos raicillas raquídeas en el segmento del tronco (Figura 40).

En las figuras 23 a 41, observamos una serie de fotografías donde se muestran las raíces pares (dr) en los especímenes estudiados (ME: Médula espinal).

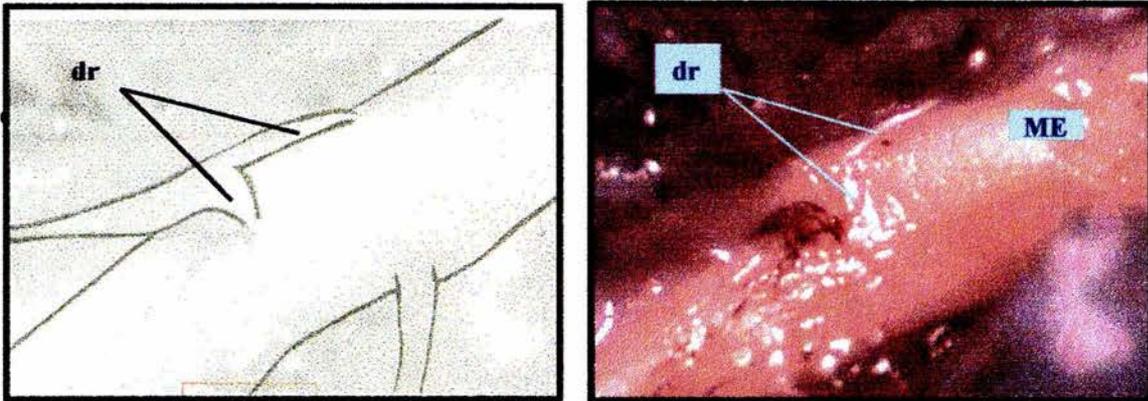


Figura 23: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 1.

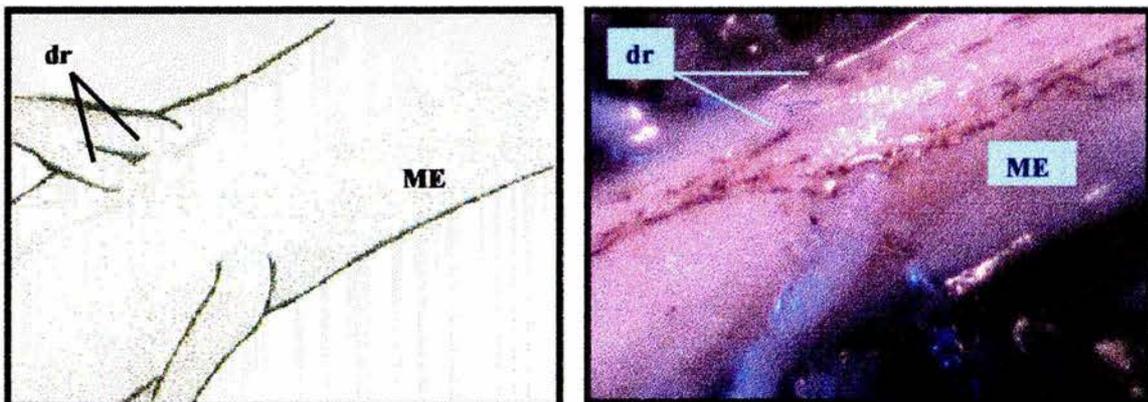


Figura 24: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 2.

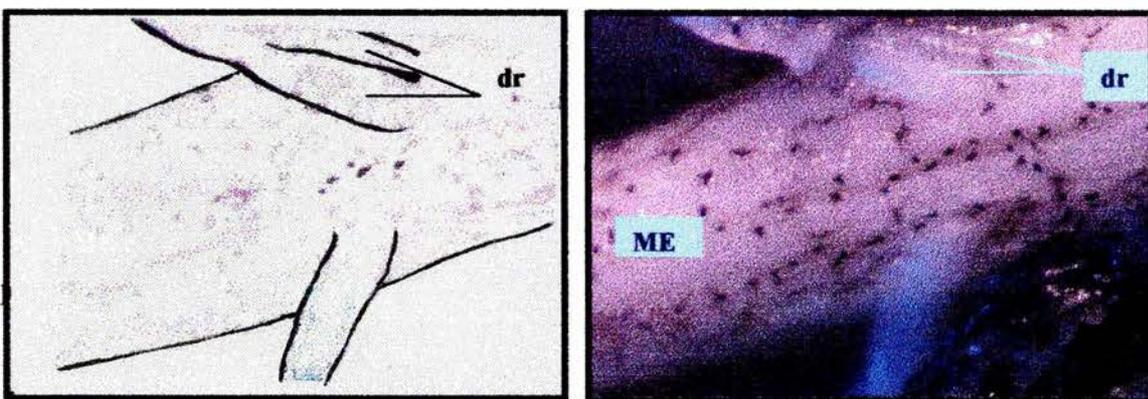


Figura 25: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 2.

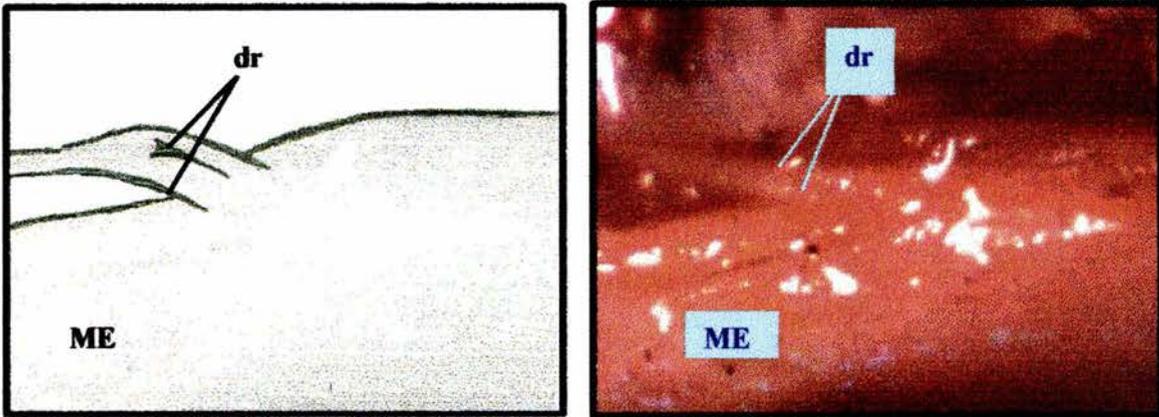


Figura 26: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raiz espinal en el organismo 3.

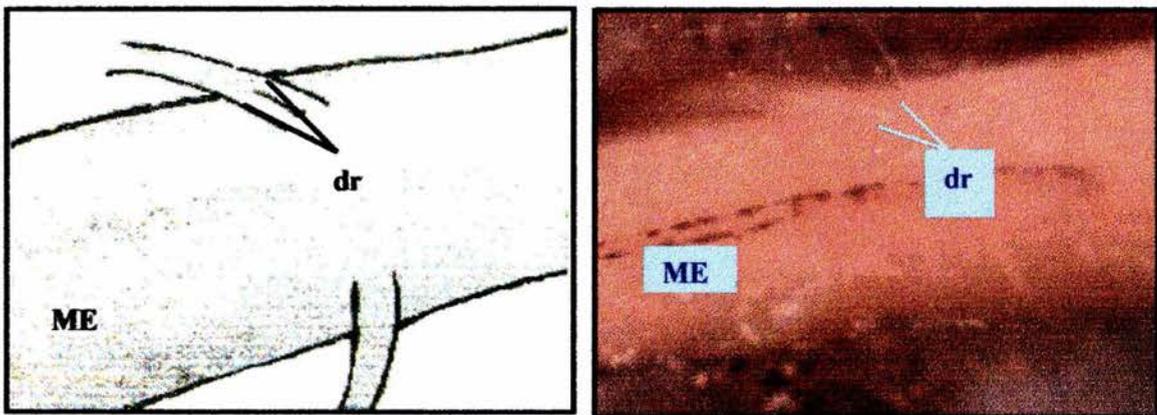


Figura 27: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raiz espinal en el organismo 4.

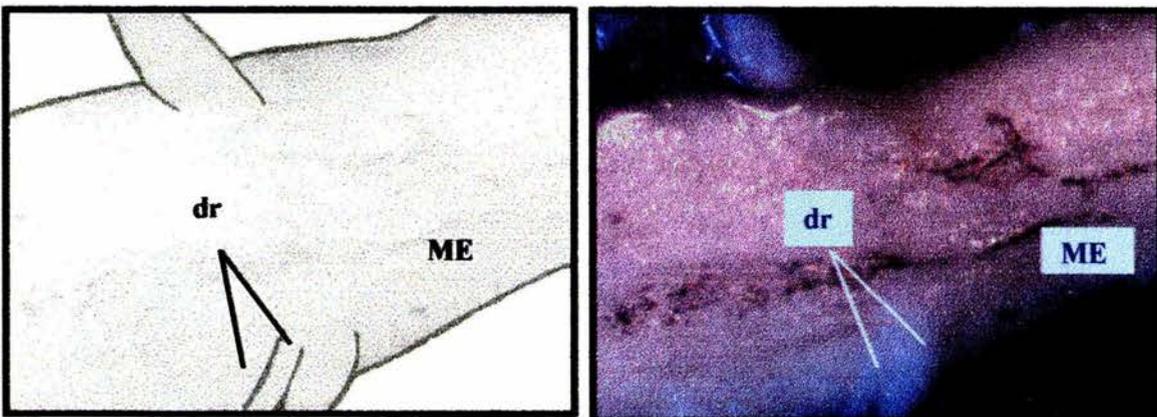


Figura 28: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raiz espinal en el organismo 5.

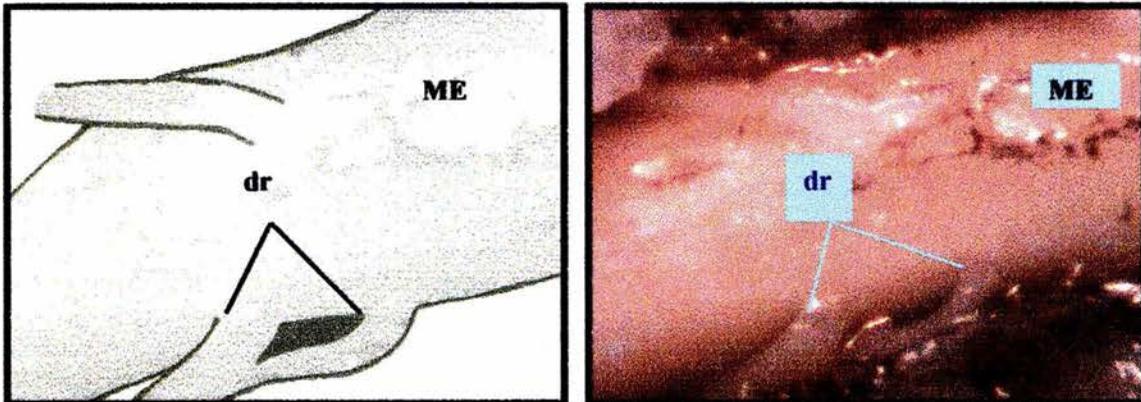


Figura 29: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 6.

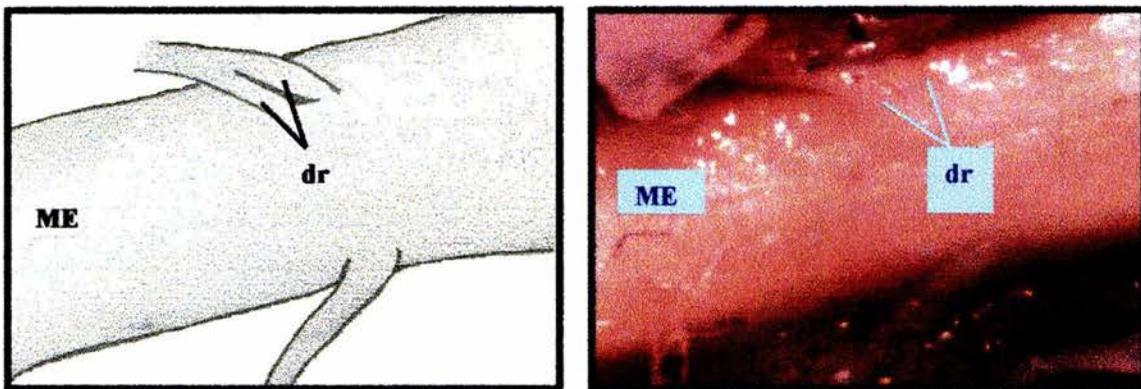


Figura 30: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 6.

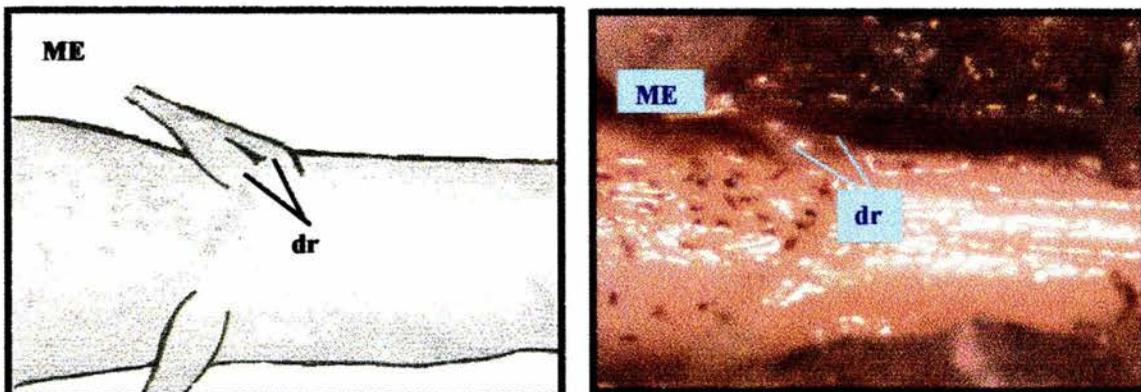


Figura 31: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 7.

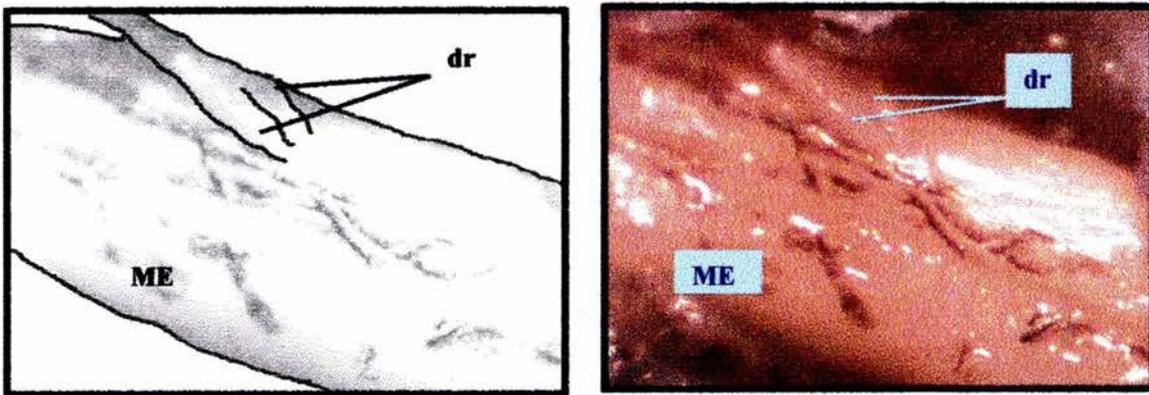


Figura 32: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 8.

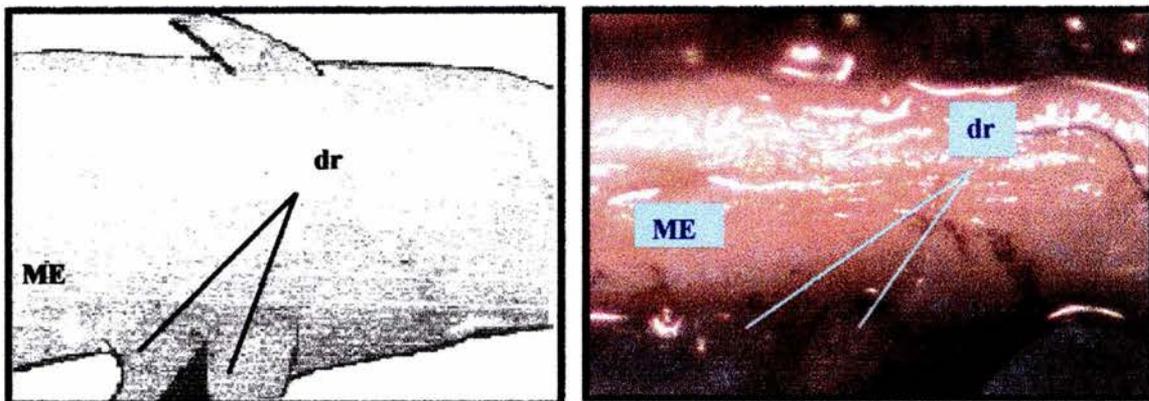


Figura 33: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 9.

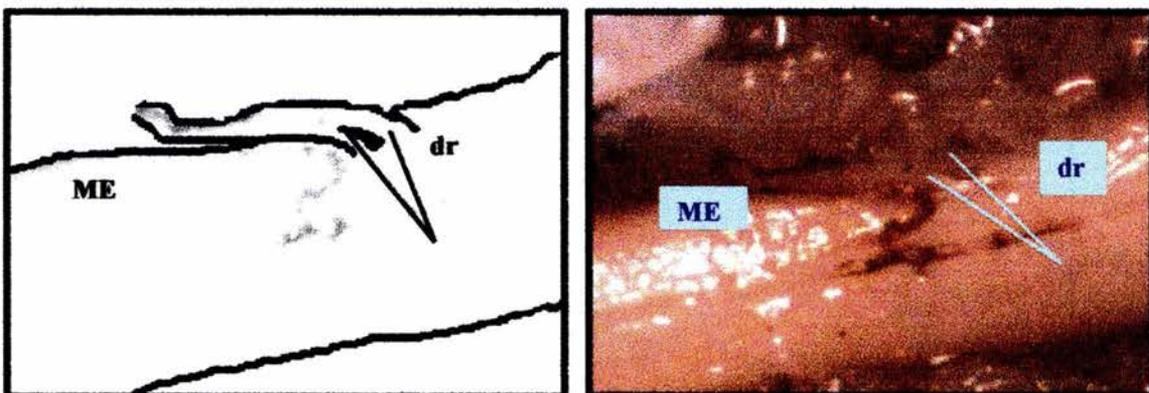


Figura 34: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 10.

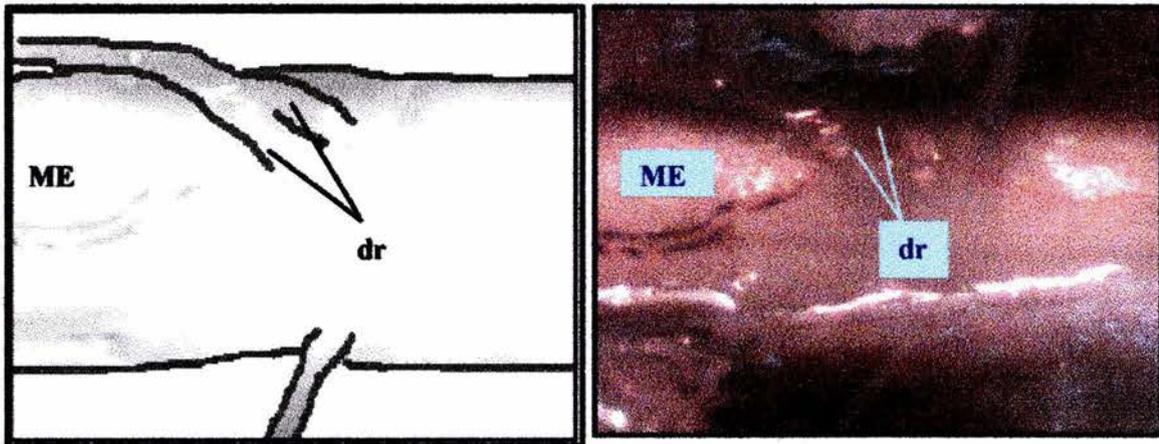


Figura 35: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 11.

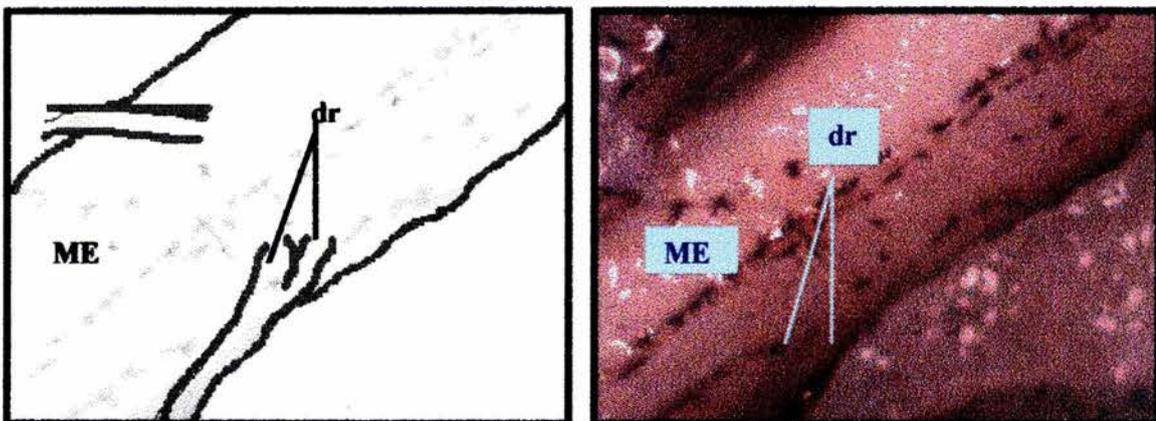


Figura 36: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 12

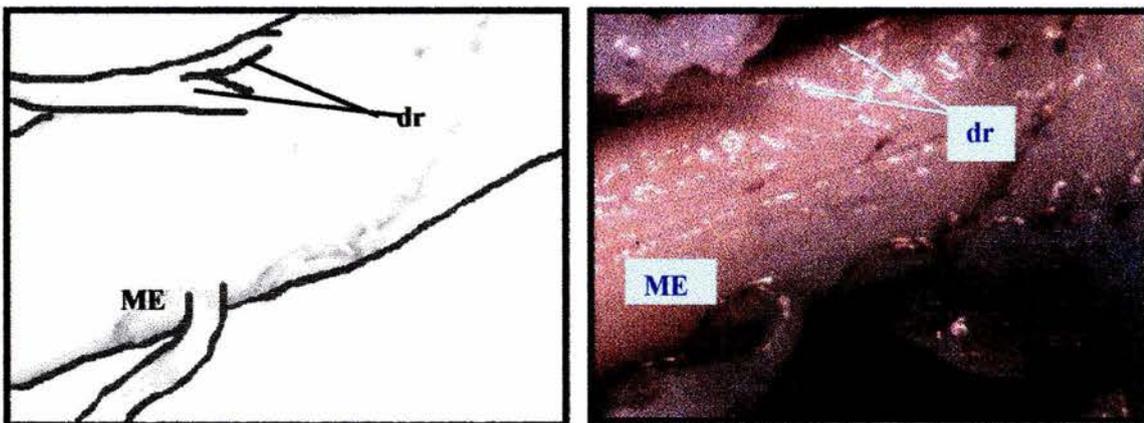


Figura 37: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 13.

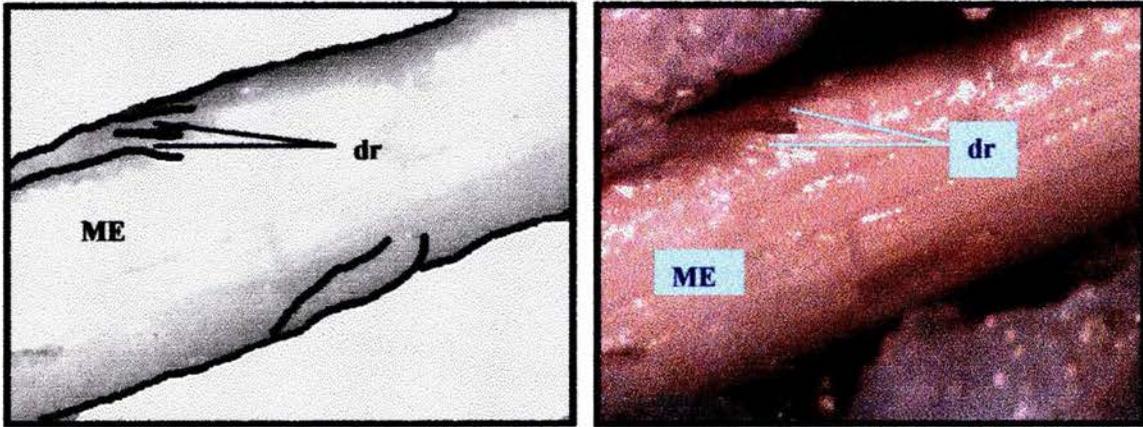


Figura 38: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 13.

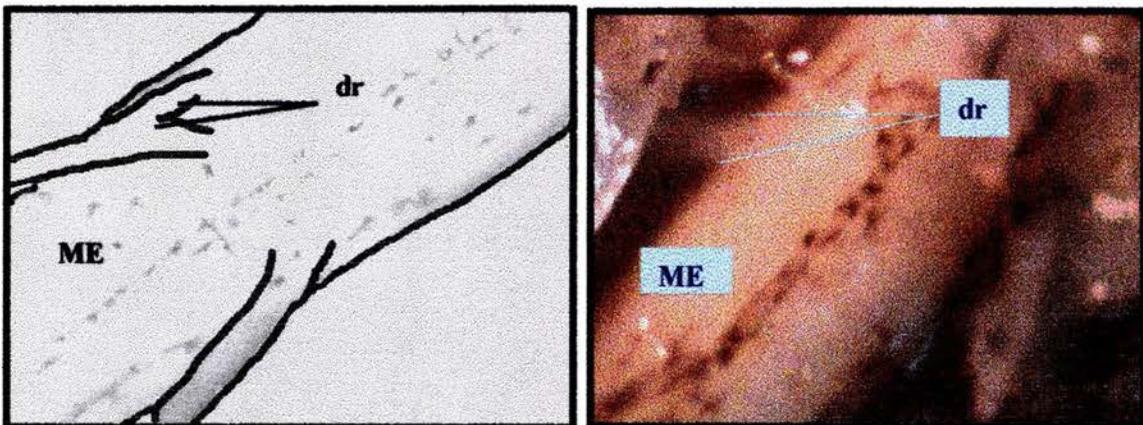


Figura 39: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 14.

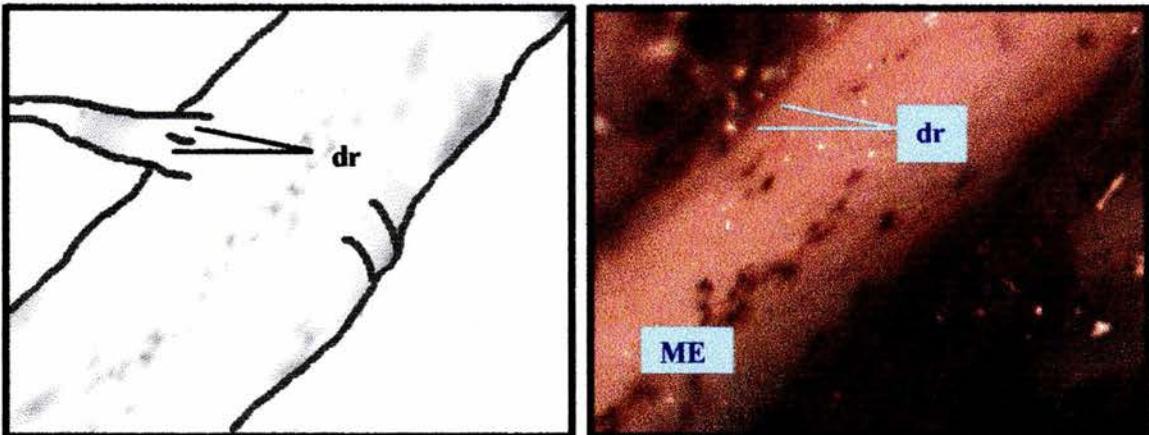


Figura 40: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha, tomada a 60x) donde se observan dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal en el organismo 15.

Como podemos observar en la siguiente serie de fotografías, las raíces espinales están compuestas de una sola raicilla raquídea, este es un patrón que no muestra una gran variación en los organismos analizados, por lo que lo podemos considerar constante.

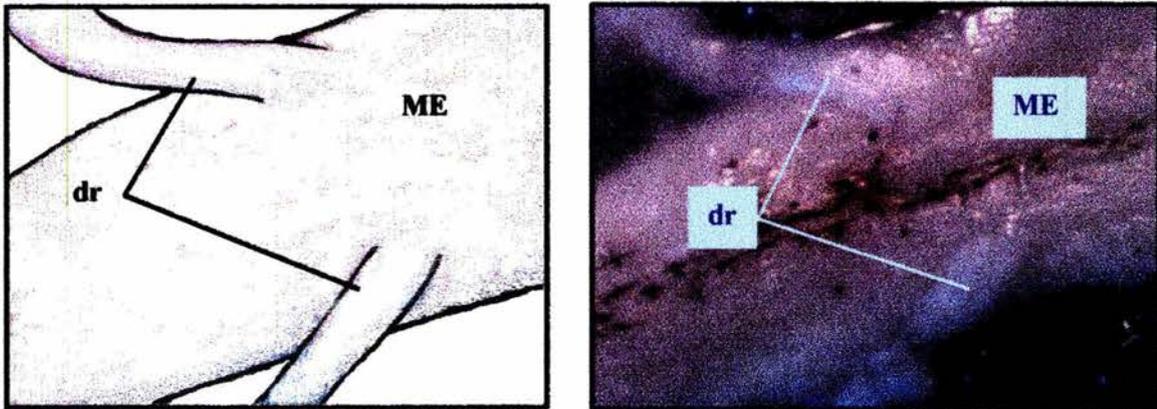


Figura 41: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha) donde se observan las raíces espinales dorsales formadas de una sola raicilla raquídea (60x) en el organismo 4, correspondiendo a las raíces dorsales número 21.

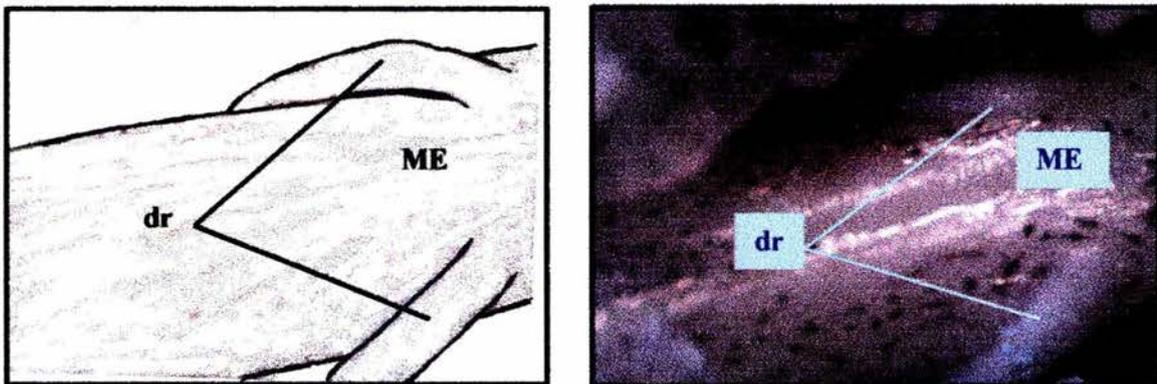


Figura 42: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha) donde se observan las raíces espinales dorsales formadas de una sola raicilla raquídea (60x) en el organismo 13, correspondiendo a las raíces dorsales número 19.

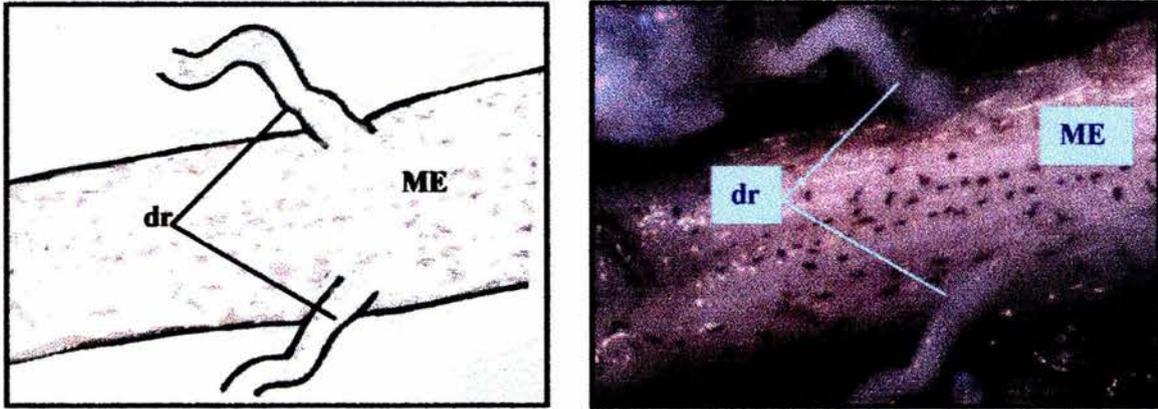


Figura 43: Esquema (izquierda) y fotografía (derecha) donde se observan las raíces espinales dorsales formadas de una sola raicilla raquídea (60x) en el organismo 1, correspondiendo a las raíces dorsales número 15.

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El patrón en la organización de las raíces espinales en *Ambystoma mexicanum* es casi constante. Algunas de las diferencias observadas en los organismos analizados son el número total de pares de raíces espinales dorsales que van de 40 a 49 pares (Figuras 8 a 22), así como en el número de raicillas espinales dorsales, encontrando en todos los casos al menos una raíz formada de dos raicillas raquídeas (Figuras 23 a 37) y en el caso de los organismos 2, 6 y 13, estos presentan dos raíces de ese tipo (Figuras 9, 11 y 17).

Las raíces espinales que se encuentran formadas de dos raicillas raquídeas se localizan únicamente en el segmento torácico entre la segunda y la sexta vértebra en su mayoría del lado izquierdo (Tabla 1).

Organismo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Raíz Tronco	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2
4	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
6	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
TOTAL	41	45	40	46	45	46	40	45	42	49	45	48	42	46	48	

Tabla 1: Número total de raíces dorsales y variación de raicillas entre las raíces 2 a 6 (tronco), mostrando la izquierda (I) y derecha (D).

La variación observada en la tabla, nos indica la existencia de una asimetría en dicha región.

En la tabla 2 se observan los porcentajes de la variación entre el lado izquierdo y derecho de los organismos entre el segundo y el sexto par de nervios, el lado que presenta una mayor variación es el izquierdo con 13 raíces compuestas por dos raicillas raquídeas que representan el 1.94% del número total de raíces, mientras que el derecho solo cuenta con 5 raíces compuestas por dos raicillas, que representan el 0.74% del número total de raíces.

Izquierda	Aparece	% de variación	Derecha	Aparece	% de variación
2	1	5,55555556	2	2	11,11111111
3	4	22,22222222	3	1	5,55555556
4	5	27,77777778	4	0	0
5	2	11,11111111	5	0	0
6	1	5,55555556	6	2	11,11111111

Tabla 2: Número de veces que aparecen dos raicillas raquídeas formando una raíz espinal con su porcentaje de variación.

Para determinar si existen diferencias entre el número de raíces formadas por dos raicillas en el lado izquierdo y el lado derecho de *Ambystoma mexicanum*, se realizó la prueba estadística de X^2 con un $\alpha = 0.05$, donde no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos lados.

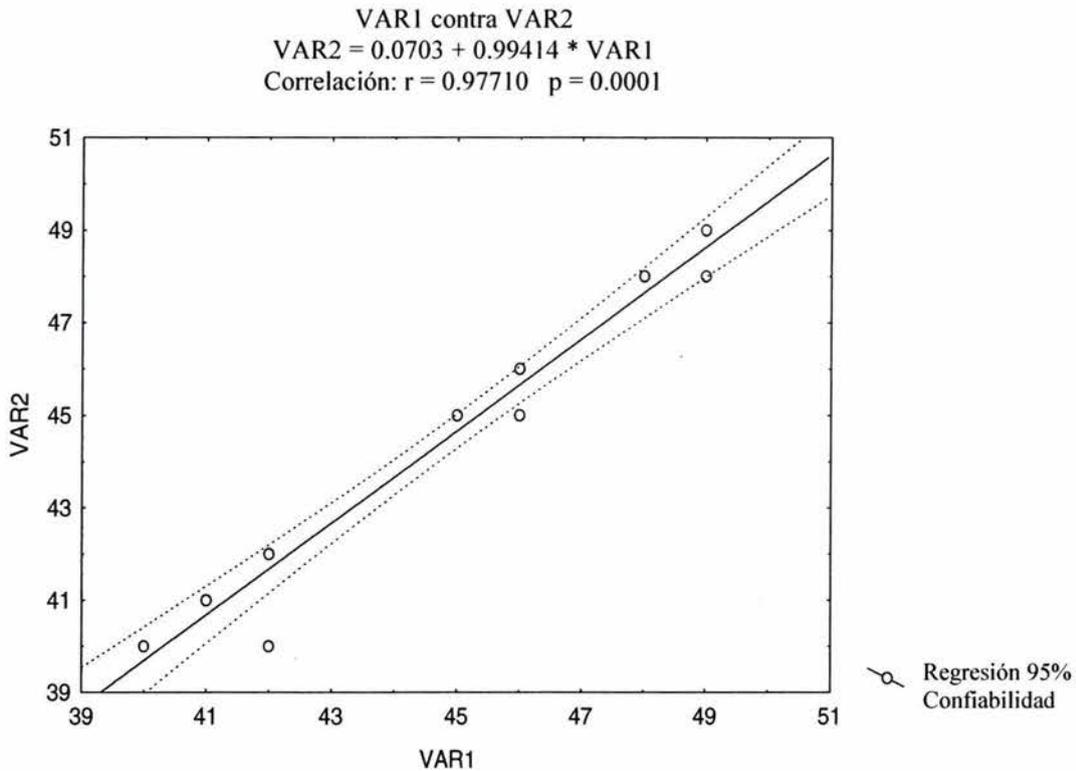
Sin embargo en cuanto a los porcentajes de la tabla 2, podemos observar que si existe una alta variabilidad de acuerdo al criterio de Gould, sobre todo en la tercera y cuarta raíces izquierdas donde el porcentaje es mucho más alto que los demás, en estos casos y en base a dicho criterio, hay evidencia de la existencia de diversificación, por lo que el carácter no está sometido a procesos de selección (Gould, 1985).

En el caso de las raíces 3 y 4 derechas, 2, 5 y 6 izquierdas y derechas, se tiene una variabilidad menor al 18% por lo que se puede ser que el carácter se encuentra sometido a presiones de selección probablemente debidas a procesos de especiación.

Con los datos obtenidos del número de vértebras y el número de raíces que presentan los organismos (Tabla 3), se llevó a cabo un análisis de correlación para determinar el grado de dependencia, el cual se muestra en la gráfica 1, donde se observa que la probabilidad es $p = 0.0001$ la cual es menor a 0.05, por lo que existen evidencias que permiten afirmar que el número de raíces depende del número de vértebras del organismo.

Organismo	Número de Raíces	Número de Vértebras
1	41	41
2	45	45
3	40	42
4	46	46
5	45	46
6	46	46
7	40	40
8	45	46
9	42	42
10	49	49
11	45	45
12	48	49
13	42	42
14	46	46
15	48	48

Tabla 3: Número de raíces espinales dorsales y número total de vértebras.



Gráfica 1: Análisis de correlación para verificar la dependencia entre el número de raíces y el número de vértebras.

En cuanto a las pruebas de correlación entre la longitud total y la longitud cabeza-tronco, la longitud caudal y la longitud del tronco, se obtuvieron en todos los casos probabilidades menores a $p = 0.05$ (Apéndice II), por lo que, existen evidencias significativas que la longitud cabeza-tronco, caudal y del tronco dependen de la longitud del organismo, lo que nos indica que si existe una relación entre los datos merísticos obtenidos.

La naturaleza, los animales y los propios seres humanos muestran ejemplos diversos de simetría bilateral, pero en algunas ocasiones esta simetría bilateral no existe parcial, ni totalmente, y decimos que hay asimetría derecha o izquierda cuando hablamos de estructura, o lateralización en el caso de funciones. En este orden de ideas la lateralización de una función implica la experimentación en busca de asimetrías. La mayoría de las especies existentes presentan simetría bilateral en muchas de sus funciones (Moller, 1997).

La mayoría de los animales prefieren utilizar un lado del cuerpo más que el otro. Son preferencias individuales que sólo en los seres humanos se han convertido en una preferencia de especie (Wittlin, 1993).

Esta lateralidad funcional está relacionada con la dominancia hemisférica cerebral, la especialización hemisférica cerebral y el origen y funcionamiento de algunas actividades mentales superiores.

El problema de la lateralización de funciones cerebrales es un problema científico acerca del cual tenemos explicación fenomenológica de algunas de sus manifestaciones. En los humanos las dos funciones lateralizadas mejor estudiadas son el lenguaje y la utilización preferencial de la mano diestra. Las dos funciones mencionadas parecen descansar sobre asimetrías en la estructura y microestructura cerebral susceptibles de ser investigadas (Moller, 1997).

Estas diferencias en cuanto a la variación del número de raicillas raquídeas nos indican características propias del organismo que pudieran verse modificadas por su estilo de vida, como pueden ser las siguientes:

Los urodelos tienen que mantener largo y musculoso su tronco y cola debido a que su locomoción es de manera ondulatoria, además de que la construcción del cuerpo de un urodelo es fundamentalmente fusiforme.

Se conocen dos sistemas de locomoción para estos organismos, uno cuando apoyan directamente el vientre en el suelo y reptan avanzando con rapidez, tocando apenas el suelo con sus patas, siendo el agente de la locomoción la contracción de los miotomos; el otro cuando levanta su cuerpo sobre las patas con las cuales lo impulsa hacia delante en forma de palancas y se mueve más despacio.

El hecho de que el peso esté sostenido por las cuatro patas, somete a la columna vertebral a tensiones nuevas, como la de actuar como una viga que sostiene todo el peso del cuerpo y lo envía hacia las extremidades (Young, 1980).

Los miembros de la familia Ambystomatidae normalmente excavan en la tierra, ya que son animales exclusivamente carnívoros, por lo que cuentan con un cuerpo robusto, además de que cuentan con un sistema de órganos de los sentidos distribuidos en líneas por el tronco y la cabeza.

El sistema de órganos de los sentidos de los urodelos está funcionalmente compuesto de dos receptores diferentes, los electroreceptores, que probablemente se usan para descubrir campos eléctricos débiles de las presas en un rango corto y los órganos mecanosensoriales localizados en la línea lateral, también llamados neuromastos, los cuales tienen la función de descubrir los movimientos del agua mientras el organismo atrapa a las presas (Hildebrand, 1982).

Este tipo de sistema de órganos de los sentidos está ausente en los organismos pertenecientes a los anuros; por lo cual es posible que las asimetrías observadas sean debidas a hábitos propios de los organismos estudiados, pero la demostración de esto último cae fuera de los objetivos del presente trabajo.

IX. CONCLUSIONES

En general podemos decir que la organización anatómica de las raicillas espinales dorsales de *Ambystoma mexicanum* se encuentra con una variación anterior de las raíces espinales localizada entre el segundo y sexto par de nervios espinales dorsales, posiblemente debido a su actividad locomotora, guiada por una preferencia sensorial..

También se observó que existe una estabilidad en el número asimétrico de raicillas raquídeas en las raíces espinales dorsales izquierdas del tercero y cuarto nervios, ya que pueden existir organismos con uso preferente del lado izquierdo del cuerpo.

Así mismo, encontramos que existe una variabilidad en el número de raicillas raquídeas dorsales izquierdas y derechas del segundo al sexto nervio espinal dorsal con excepción de las izquierdas del tercero y cuarto nervios.

En cuanto al número de raíces y el número de vértebras, podemos decir que existen evidencias que indican que el número de raíces espinales dorsales de *Ambystoma mexicanum* dependen del número de vértebras del organismo. Por otra parte de igual manera la longitud cabeza-tronco, del tronco y la longitud caudal dependen de la longitud corporal total.

Para dar una interpretación más completa de la variación sería ideal complementar este estudio con otra investigación en donde se compare el comportamiento del animal, con el número de raicillas espinales dorsales.

Debido a que existe una cantidad limitada de información disponible de la anatomía de la variación en el número de raicillas espinales de la médula espinal en organismos vivientes, el presente trabajo es un acercamiento sobre el análisis anatómico de las raíces espinales dorsales de *Ambystoma mexicanum*, esperando que éste pueda ser la base para posteriores estudios comparativos en otros grupos, que contribuyan al análisis filogenético de especímenes paleontológicos, determinar posibles relaciones de parentesco entre las diferentes especies, así como también a la evolución de los anfibios y del resto de los tetrápodos.

X. APÉNDICE I

Los datos merísticos se tomaron como una medida de control y verificación para la especie, los datos que se tomaron y su representación esquemática son los siguientes:

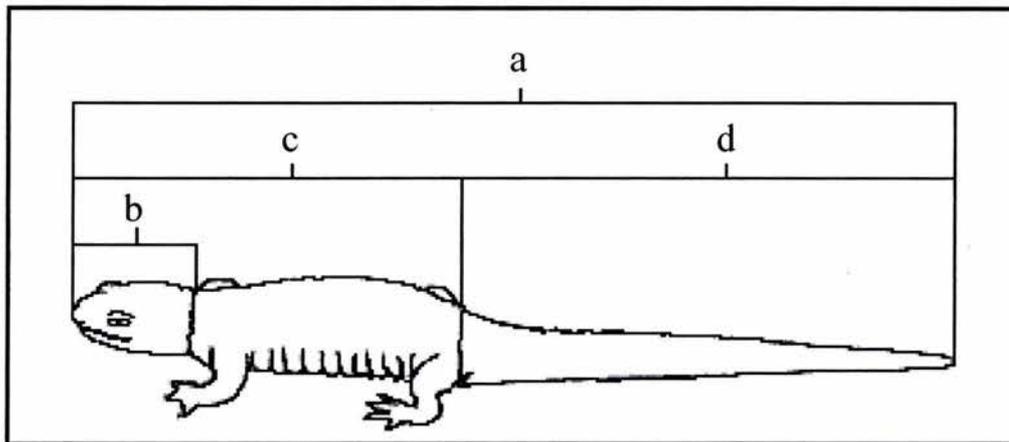


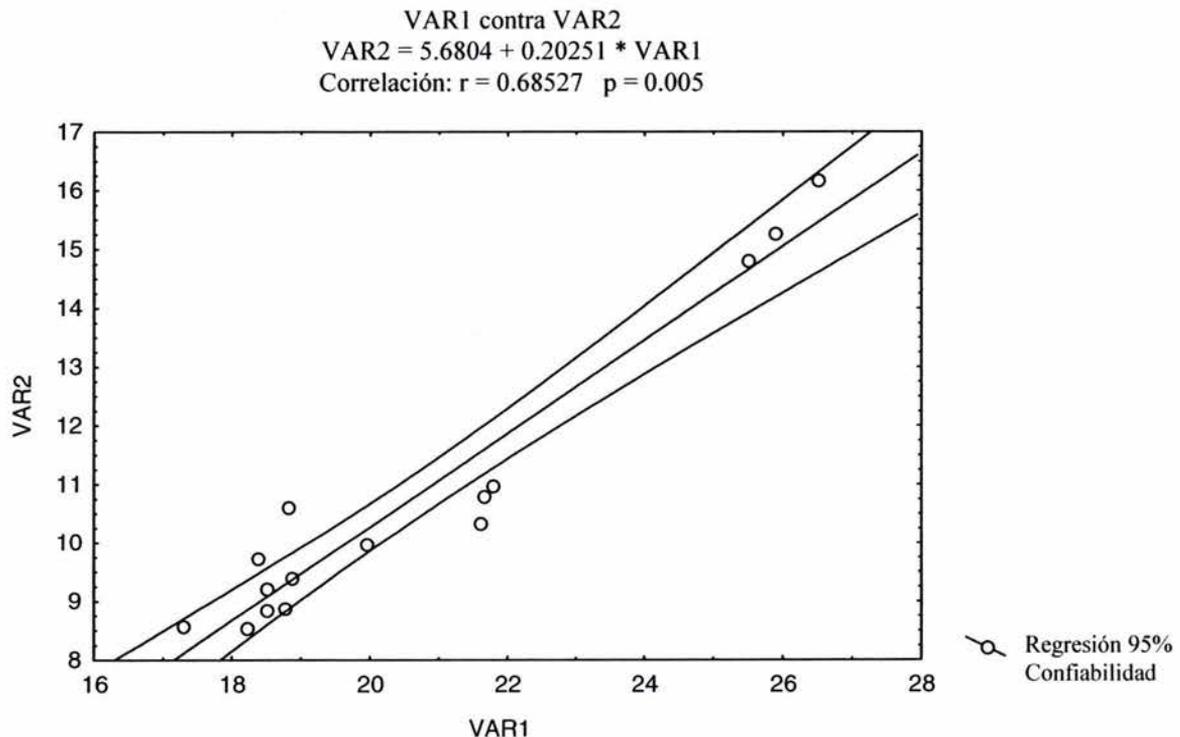
Figura 45: Diagrama de las medidas merísticas tomadas a los organismos de *Ambystoma mexicanum* utilizados.

Número	Peso (gr)	Longitud (cm)			
		Total (a)	Cabeza (b)	Cabeza-Tronco (c)	Caudal (d)
1	36.4	19.92	2.59	9.97	9.95
2	34.5	17.30	2.33	8.57	8.73
3	53.6	18.81	2.66	10.63	8.18
4	47.1	18.38	2.60	9.72	8.66
5	57.5	18.23	2.52	8.56	9.67
6	29.9	18.50	2.36	9.23	9.27
7	35.6	18.86	2.61	9.39	9.47
8	37.8	18.76	2.46	8.87	9.89
9	85	25.51	3.59	14.82	10.69
10	103.1	21.6	3.61	10.34	11.26
11	81.8	26.51	3.58	16.18	10.33
12	90.5	21.66	3.71	10.81	10.85
13	91.1	25.89	4.17	15.27	10.62
14	82	21.78	3.52	10.99	10.79
15	88.8	23.82	3.72	13.17	10.65

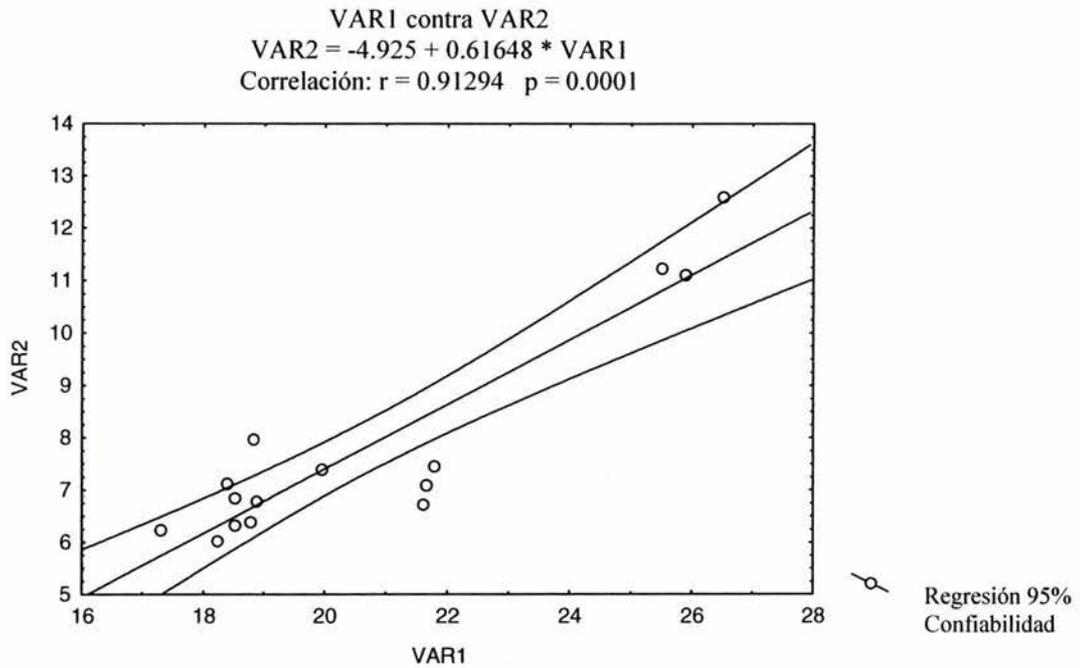
Tabla de datos merísticos realizados los organismos trabajados de la especie *Ambystoma mexicanum*

XI. APÉNDICE II

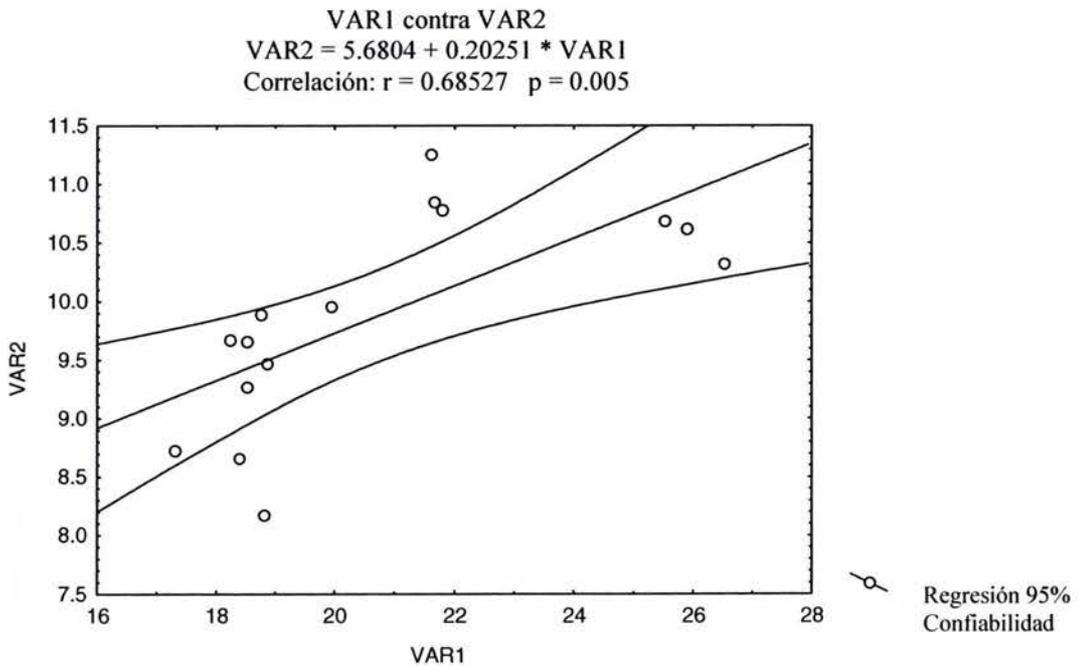
A partir de los datos métricos se realizaron análisis de correlación para establecer si existen evidencias de dependencia entre los datos obtenidos, a continuación se muestran las gráficas de las pruebas donde se comparan la longitud total con la longitud cabeza-tronco, la longitud total con la longitud del tronco y la longitud total con la longitud caudal.



Gráfica 4: Prueba de correlación para verificar la dependencia entre la longitud total y la longitud cabeza-tronco.



Gráfica 5: Prueba de correlación para verificar la dependencia entre la longitud total y la longitud del tronco.



Gráfica 6: Prueba de correlación para verificar la dependencia entre la longitud total y la longitud caudal.

XII. LITERATURA CITADA

- 📖 Álvarez del Villar, J. 1983. Los Cordados. Ed. Texto e imagen S.A. México.
- 📖 Ariens K. C.U., Huber, C.G. and Crosby E.C. 1936. The comparative anatomy of vertebrates, including man, vol. 2. MacMillan, New York.
- 📖 Cajal, S.R. 1909. Histologie do Système Nerveux de l'Homme et des Vertébrés. Tome 1. maloine. París.
- 📖 Calderón, S.I.A. 1986. Estado actual del las especies del género *Ambystoma* (Amphibia: Caudata) de algunos lagos y lagunas del eje neovolcánico central. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala. UNAM. México.
- 📖 Casas, A.G. y McCoy, C.J. 1979, Anfibios y reptiles de México. Ed. Limusa. México.
- 📖 Davis, B.M.; Duffy, M. T. and Simpson, S.B. 1989. Bulbospinal and intraspinal conections in normal and regenerated salamander spinal cord. *Exp. Neurol.* 103:41-51.
- 📖 Davis, B.M.; Ayers, J.C.; Koran, L.; Carlson, J.; Anderson, M.C. and Simpson, S.B. 1990. Time course of salamander spinal cord regeneration and recovery of swimming: HRP retrograde pathway tracing and kinematic analysis. *Exp. Neurol.* 108:198-213.

- 📖 Doré, J.C., Ojasoo, T. and Thireau, M. 2002. Using the Volumetric Indices of Telencephalic Structures to Distinguish *Salamandridae* and *Plethodontidae*: Comparison of Three Statistical Methods *J.theor .Biol* 214:427-439.
- 📖 Duellman, W.E. and Trueb, L. 1994. Biology of amphibians. The Johns Hopkins University Press. USA.
- 📖 Eckert, R. 1989. Fisiología Animal. Ed. Interamericana-McGraw Hill. 3a edición. España.
- 📖 Giffin, E. B. 1992. Functional implications of neural canal anatomy in Recent and fossil marine carnivores. *Journal of Morphology*. 214, 357-374.
- 📖 Gould, S. J. 1985. Ontogeny and phylogeny. Harverd University Press. USA.
- 📖 Hildebrand, M. 1982. Anatomía y embriología de los vertebrados. Limusa.
- 📖 Holland, L Z. y Holland, N.D. 1999. Chordate origins of the vertebrate central nervous system. *Current opinion in neurobiology*. 9:596-602.
- 📖 Kardong, K.V. 1998. Vertebrados, anatomía comparada, función y evolución. McGaw-Hill, Interamericana. 2ª edición.
- 📖 Kierman, J.A. 2000. El sistema nervioso humano. Ed. McGraw Hill-Interamericana.
- 📖 Kluge, A. G. 1977. Chordate Structure and Function. 2º ed. Ed Macmillan Publishing Co., Inc. New York.

- 📖 Moller A.P. 1997. La nature préfère la symétrie. *La Recherche*, 304:50-55.
- 📖 Montagna, W. 1981. Anatomía comparada. Omega. España.
- 📖 Nadal, J. 2001. Vertebrados. Ed. Omega. España. México
- 📖 Nieuwenhuys, R. 1964. Comparative anatomy of the spinal cord. *Prog. Brain Res.* 11:1-57.
- 📖 Ortega, C.A. J. 2000. El ajolote. *Elementos*. 36:55-59.
- 📖 Romer A. S. y Parsons T. S. 1981. Anatomía Comparada. Interamericana. México
- 📖 Sánchez-Camacho, C., Martín O. López, J.M, Moreno N., Smeets, W. J. A. J., Donkelaar, H. J. y González, A. 2002. Origin and development of descending catecholaminergic pathways to the spinal cord in amphibians. *Brain Research Bulletin*, Vol. 57, Nos. 3/4. 325–330.
- 📖 Schaller, O. 1996. Nomenclatura Anatómica Veterinaria. Acvihra. España.
- 📖 Schonbach, C. 1969. The neuroglia in the spinal cord of the newt, *Triturus viridescens*, *J. Comp. Neurol.* 135:93-120.
- 📖 SEMARNAT, 2001. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – lista de especies en riesgo. <http://semarnat.gob.mx>. Fecha de acceso octubre 2004.

- 📖 Sugira, Y. y McClung, E. 2005. La vida prehispánica en un hábitat insular construido por el hombre en la Ciénega de Chignahuapan, Santa Cruz Atizapán, Estado de México, México. <http://www.famsi.org/reports/98024es>. Fecha de acceso Mayo 2005.
- 📖 Torrey, T. W. 1962. Morfogénesis de los Vertebrados. 3ed. Limusa. México. Pp. 576.
- 📖 Ulinski, P. S. 1983. Dorsal Ventricular Ridge; a Treatise on Forebrain Organization in Reptiles and Birds. New York: John Wiley and Sons.
- 📖 Uribe, G.A. 2002. Aislamiento y caracterización de bacterias patógenas de *Ambystoma mexicanum*. Tesis de Licenciatura. FES Iztacala. UNAM. México.
- 📖 van Gehuchten, A. 1897. La moëlle épinière des larves batraciens (*Salamandra maculosa*). *Arch. Biol.* 15:599-619.
- 📖 Wittlin W., Roschmam R. 1993. Emotion relate hemisphere asymetry: subjective emotional responses to laterally presented films. *Cortex.* 3: 431-48.
- 📖 Young, J.Z. 1980. La vida de los vertebrados. Ed. Omega. España.