

FISIOLOGÍA DEL CRECIMIENTO

Dr. Armando Álvarez Díaz DrC.

INTRODUCCION

El crecimiento es una característica de desarrollo de los animales pluricelulares que traduce el aumento de tamaño físico del organismo. El desarrollo somático o crecimiento corporal es un proceso altamente complejo que requiere de dos premisas fundamentales: carga genética (ADN) y alimentación, en donde la primera aporta la información de la especie y del individuo heredada de los padres mientras la segunda aporta los nutrientes requeridos para el óptimo desarrollo. Crecer es por lo tanto un proceso multifactorial y complejo que comprende fenómenos de aumento de tamaño (hipertrofia) y cantidad (hiperplasia) de los tejidos. Los primeros cambios producidos en el crecimiento prenatal se deben principalmente a fenómenos de hiperplasia (aumento del número celular). El aumento del peso corporal en el estado prenatal (embrión-feto) es relativamente rápido y se produce de una forma exponencial en todas las especies animales aunque el índice real de crecimiento varía según la especie en función a la diferencia existente en el tamaño del esqueleto de la especie (padres y crías), peso de las crías al nacimiento y duración de la gestación. El crecimiento en la fase postnatal puede ser representado por una curva sigmoidea: primero se produce un crecimiento lento seguido de un alto índice de desarrollo, apoyado por el efecto de las hormonas sexuales, para seguidamente el índice de crecimiento ser muy reducido hasta alcanzar el grado de madurez somática o detención del crecimiento.

Al igual que el crecimiento fenotípico externo del cuerpo animal, las curvas de crecimientos de los diferentes tejidos y órganos son también sigmoideas pero lo hacen en diferentes tiempos. Según el medio por el cual los tejidos aumentan o mantienen su masa y según la capacidad funcional de reemplazar las partes dañadas, los tejidos se pueden clasificar en:

a.- Tejidos que renuevan su población celular como la epidermis (estrato germinativo), mucosa intestinal (enterocitos), células germinales masculinas (espermatozoides) y elementos hematopoyéticos (células sanguíneas) que crecen mediante proliferación a partir de células indiferenciadas de amplia capacidad mitótica produciendo células altamente diferenciadas sin capacidad mitótica. Estas células poseen una vida muy corta siendo sustituidas rápidamente por nuevas células procedentes de los estratos germinales indiferenciados.

b.- Tejidos que expanden su población celular como el observado en las glándulas endocrinas y exocrinas, hígado, riñones y pulmones en donde todas las células diferenciadas son capaces de entrar en mitosis y que sin embargo, una vez alcanzado su tamaño definitivo raramente desarrollan su actividad mitótica

señalándose que solo en ocasiones, en las que se produzca una pérdida de masa en el tejido, pueden realizarla.

c.- Tejidos estables como las neuronas o músculo esquelético y cardíaco que no proliferan más allá de ciertas etapas del desarrollo. Si se produce algún tipo de lesión solo vuelven a crecer mediante hipertrofia celular (músculo) o regeneración axónica (neuronas) ya que no poseen capacidad multiplicativa. En todo caso esta renovación es limitada por el tamaño final que el agrandamiento de las células permite. Por lo general, estas células sobreviven durante toda la vida del organismo completo.

El crecimiento somático, entendido como el desarrollo del esqueleto y la estimulación de la síntesis proteica, está regulado de forma endocrina mediante el eje hipotalámico-hipofisiario a través de la hormona del crecimiento o somatotropina (GH) en interacción con distintas hormonas y otros factores de carácter genéticos, nutricionales, metabólicos y medio ambientales. La mayoría de estas interacciones no están bien definidas, pero sin duda la hormona adenohipofisiaria del crecimiento (GH) es esencial para el desarrollo normal en cualquier especie animal.

EDAD

La edad es el avance de la vida en el tiempo, es el estado de adaptabilidad, de carácter limitado y pérdida progresiva a las exigencias físicas y síquicas de la vida según la longevidad de la especie. El concepto “edad” puede ser aplicado por el ser humano a sí mismo y a todas las especies animales en el “tiempo real hereditario de la vida” en el cual los animales nacen, crecen, se reproducen y mueren como manifestación fenotípica-funcional del reloj biológico innato presente en la información del ADN de la especie. El envejecimiento es un proceso lento, paulatino y acumulativo de desgaste funcional y pérdida de la capacidad reactiva del organismo en el decursar de la vida. La expectativa máxima de vida de las especies animales (esperanza de vida o longevidad máxima) es difícil de alcanzar por cuanto los animales mueren antes por múltiples causas endógenas y exógenas como son factores congénitos, accidentes, enfermedades, fallos alimentarios, sacrificio productivo, etc. El marcaje genético para la expectativa máxima de vida queda demostrado en el humano con la existencia de las conocidas familias longevas en donde los hijos llegan a alcanzar edades avanzadas logradas por los padres al tiempo que la influencia de los factores climáticos-alimentarios desempeñan un importante papel al comprobarse la existencia de áreas longevas en el planeta.

El envejecimiento comienza a marcarse en la morfofisiología del individuo a partir del último tercio de la vida reproductiva para, con el cese completo de esta función (en la hembra la menopausia) o su declinar lento (en el macho), prolongarse por un periodo de tiempo más o menos largo según la especie, hasta la muerte. La vejez, etapa final de la vida animal, prácticamente no existe para los animales de granja ya que son sacrificados para la alimentación humana cuando este es el propósito

que se persigue con su crianza (bovinos, cerdos, aves, conejos, etc) o cuando han culminado su objetivo productivo en la producción de leche, huevo y lana o por limitaciones físicas debido entre otras a fracturas y heridas complejas o como medida sanitaria de lucha contra enfermedades infecciosas, etc, por lo que solo alcanzan esta etapa los animales afectivos (perros y gatos) así como los de granja que tengan un alto grado de estima de las personas como son sementales, hembras de elevada producción, campeones de exposición, ganadores de premios, razones sentimentales, etc. Los animales salvajes en condiciones de cautiverio, bajo el cuidado atento de las personas, de ser adecuadas sus condiciones de tenencia, manejo, alimentación y salud, pueden duplicar la expectativa de vida tal como se reporta en los leones que en condiciones de vida libre la expectativa de vida alcanza los 12 años mientras que en condiciones de cautiverio (zoológicos) puede vivir hasta 25 años. A medida que los animales envejecen el peso específico del cuerpo aumenta al reducirse el % de agua corporal al tiempo que aumenta en adiposidad con pérdida progresiva de la masa muscular.

REGULACIONES ENDOCRINAS DEL CRECIMIENTO:

La regulación endocrina del crecimiento puede conceptuarse como un proceso de alta complejidad por las interacciones hormonales que lo apoyan y estimulan:

a.- Hormona del Crecimiento (GH).

Secretada por las células acidófilas de la hipófisis anterior o adenohipófisis, es la hormona decisiva para el crecimiento.. La liberación de GH, al igual que la de todas las hormonas que se elaboran en el lóbulo anterior de la hipófisis, no ocurre de una forma espontánea y constante, sino que es secretada de manera intermitente e irregular en forma pulsátil en todas las especies. La producción y liberación de la GH, aunque está regulada básicamente por la interacción entre su hormona liberadora estimuladora hipotalámica, la GHRH o growth hormone-releasing hormone y su hormona inhibidora hipotalámica, la somatostatina o SS o GHIH (growth hormone-inhibiting hormone), en el control de su secreción participan además otros neuropéptidos, diversos neurotransmisores y señales metabólicas y hormonales de origen periférico. La GH y la PRL (prolactina) son producidas por somatotropos y lactotropos acidófilos, respectivamente y se clasifican como somatomamotropinas. La GH y la PRL son proteínas de cadena simple que contienen dos y tres uniones disulfuro respectivamente. Existe un traslape de actividad entre la GH y la PRL debido a la similitud en la secuencia aminoacídica en un 50% aproximado. De las dos somatomamotropinas principales, la GH es única ya que su actividad es específica La somatostatina es un tetradecapéptido que inhibe la secreción del somatotropo de GH mientras que la GHRH es un polipéptido de 44 aminoácidos que estimula la secreción de GH por el somatotropo.

Hasta hace relativamente poco tiempo, solo cuatro de las hormonas adenohipofisarias (FSH, LH, TSH y ACTH) eran consideradas como trópicas porque su efecto principal era estimular la secreción de hormonas por glándulas

endocrinas específicas, localizadas en la parte periférica con relación a la hipófisis como ovarios para las dos primeras, tiroides para la tercera y adrenales para la última. Más recientemente, se ha añadido la GH a esta lista, debido a que la misma estimula en el hígado la producción de somatomedinas o factores de crecimiento similares a la insulina (IGF), los cuales ejercen el efecto indirecto de la GH al tiempo que establecen el control por retroalimentación negativa sobre la secreción de la GH adenohipofisiaria. De lo antes expresado, la PRL o prolactina permanece como la única hormona adenohipofisiaria para la cual la inhibición por retroalimentación negativa no se ha demostrado a través de hormonas producidas por sus tejidos blancos (ver capítulo de glándula mamaria).

Las funciones de la GH en el cuerpo son múltiples. Durante mucho tiempo no se podía explicar la discrepancia existente entre los resultados obtenidos in vitro y los obtenidos in vivo: in vivo la hormona de crecimiento estimula tanto la condrogénesis como la miogénesis lo que produce una aceleración del crecimiento somático. Sin embargo si la hormona de crecimiento era añadida in vitro a incubaciones de cartílago o músculo, no se podía demostrar nunca el efecto descrito. Resulto que esta acción no se ejerce directamente sobre el tejido blanco sino que a través de la influencia de la hormona del crecimiento sobre el hígado que es estimulado para la producción de los factores de crecimiento similares a la insulina (IGF) o somatomedinas. Estas sustancias median la acción de la GH in vivo. La hormona de crecimiento produce en los condrocitos un aumento de la absorción de iones de sulfato inorgánico por lo que el factor producido por el hígado fue denominado, primeramente, sulfation factor. Poco después se informó de la existencia en sangre de una sustancia parecida a la insulina, que hacia bajar el nivel de glucosa en sangre, pero cuya secreción no podía ser suprimida ni con un nivel extremadamente bajo de la glicemia y por esta razón se les llamó non suppressible insulin like activity (NILA). Más tarde resulto que NILA se estimula por la hormona del crecimiento y el nombre se cambió por insulin like growth factor (IGF). Hoy esta claro que el IGF más importante, pues hay varios, es la misma sustancia que la somatomedina C que media los importantes efectos facilitadores del crecimiento de la GH. La somatomedina C o IGF-1 es la que produce un aumento de la síntesis de proteínas en todas las células corporales al tiempo que estimula la división celular (mitosis).

Los factores de crecimiento similares a la insulina (IGF) son dos péptidos con estructura y función similar a la insulina (Insulin-like growth factors), los IGF-I y IGF-II. El IGF-I o somatomedina C es un péptido de 70 aminoácidos mientras que la somatomedina A o IGF-II tiene 67 aminoácidos en su constitución química. Ambos compuestos son sintetizados fundamentalmente en el hígado, pero también en otras áreas del cuerpo como riñones y cartílagos. La capacidad sintetizadora de IGF por los cartílagos estimula el autocrecimiento de los mismos por dos mecanismos de acción: autocrino (autoestimulación) y paracrino (a través del líquido intersticial). De los IGF, secretados a la circulación sistémica, solo el 1% en el plasma circula en forma libre ya que el resto lo hace unido a proteínas transportadoras (BP) de 2 tipos: IGFBP de 150K e IGFBP de 30K. La función de

estas proteínas, al igual que lo que ocurre con la GH, no es solamente la de transporte, sino la de establecer un reservorio de IGF que aumenta la vida media de estos compuestos (desde 10-20 min hasta 18 horas), lo que hace que los niveles plasmáticos se mantengan de forma bastante estables en sangre a lo largo de la época del crecimiento garantizando la actividad estimuladora continua para el desarrollo.

En la actualidad se plantea la existencia de numerosos estímulos fisiológicos para la liberación de la GH, por lo que todavía no se conoce con certeza si la misma tiene lugar por un aumento de la GHRH o por una disminución en la secreción de somatostatina. Entre los estímulos positivos para la secreción de GH se encuentran la hipoglicemia del hambre (periodo postprandial), determinadas condiciones de estrés, una fuerte actividad física corporal, el sueño profundo e inclusive se ha demostrado que la hipófisis segrega grandes cantidades de GH de forma episódica sin ningún estímulo aparente. Este conocimiento de las condiciones bajo las que se libera la hormona del crecimiento es importante para valorar los niveles de GH en sangre por lo que al igual que lo que ocurre con muchas otras hormonas, una medición única de su nivel en sangre, puede por la secreción episódica, llevar a interpretaciones erróneas de la situación real

La regulación de la frecuencia de pulsación de descarga de GH es clave en la producción de sus efectos biológicos, ya que los tejidos blancos de la hormona son tantos o más sensibles a la manera como la hormona llega a ellos que a la cantidad de GH propiamente dicha. Así pues este tipo de secreción pulsátil estaría en relación con la ausencia de inducción de procesos de desensibilización en los receptores para GH. La secreción pulsátil de GH se produce a intervalos frecuentes durante el día y la noche; así, por ejemplo, en las ratas se ha demostrado que la secreción de GH sigue un ritmo circadiano, con pulsaciones de secreción que se producen a intervalos de 3,3 h durante periodos de 24h. En los rumiantes las concentraciones de GH en el plasma no parece que coincidan con las fluctuaciones diurnas, ni con los periodos de ingestión de alimentos por lo que en estas especies no parece existir un ritmo circadiano secretor. Lo que es un hecho indiscutible es que individualmente, cada animal posee un patrón de secreción característico determinado genéticamente; por esto, la GH aparece en sangre periférica en diversas oleadas con periodicidades que varían de unos animales a otros. En el humano los tres o cuatro pulsos circadianos (por 24 horas), así como la liberación de la hormona del crecimiento acoplan con el sueño profundo o paradójico en el niño al tiempo que estos valores disminuyen en el adulto y se reducen aun más en la llamada tercera edad.

La secreción pulsátil de la GH es el resultado de la interacción entre GHRH y SS y sus niveles en la adenohipófisis. El balance de estas dos hormonas hipotalámicas determina la amplitud y los picos de secreción episódica de GH. Así, se considera que la secreción episódica de GH se inicia por una secreción pulsátil de GHRH, la cual esta precedida por una moderada reducción del tono normal inhibitorio mantenido por la SS. En este sistema de balance hormonal, aparentemente,

predomina la somatostatina, cuya mayor potencia frente a la GHRH a dosis equimolares se ha puesto de manifiesto tanto in vitro como in vivo. La liberación de GHRH y SS esta regulada por la actividad de neuronas hipotalámicas adyacentes, las cuales procesan información de las áreas más altas dentro del SNC. Esta información es transmitida vía aminas biógenas, las cuales actúan con transmisores para inhibir o estimular la secreción de estos péptidos hipotalámicos. Estos sistemas se complican además por el hecho de que otros muchos péptidos presentes en el hipotálamo pueden estimular la secreción de GH bajo ciertas condiciones. La GH puede inhibir su propia secreción a través de un mecanismo de retroalimentación complejo que actúa en el SNC, variando los niveles de GHRH y SS (probablemente por un aumento en los niveles de SS), sin descartar una acción directa a nivel hipofisiario.

En el plasma la GH, a pesar de ser una hormona proteica, es transportada por un tipo de proteína de unión (GHBP o GH binding protein). Una gran parte de la GH circula unida a estas proteínas sin que se conozca mucho acerca de la importancia fisiológica de estas GHBP. Se piensa que podrían controlar la interacción entre la GH y sus receptores, incrementando la vida media de la hormona en sangre o regulando la concentración de GH libre que puede acceder a las células dianas o tejido blanco lo que dosifica su efecto estimulante sin que el mismo alcance al tejido blanco como una oleada de forma intermitente. Estas proteínas transportadoras crean un reservorio de GH, al limitar su degradación impidiendo su aclaramiento por los riñones, debido al alto peso molecular del complejo.

La hormona del crecimiento presenta dos formas de acción: directa e indirecta. En su acción directa, la hormona actúa sobre sus receptores de membrana específicos en todas las células susceptibles de crecer mientras que en su acción indirecta, la más importante, lo hace mediante los IGF (Factores de Crecimiento Insulínicos) producidos principalmente por los hepatocitos que ocupan un lugar relevante en el metabolismo animal. La elevación de los niveles de GH puede producir aumento en el índice de crecimiento muscular del cuerpo así como en la producción de leche y/o de lana mediante la interacción de diversos factores metabólicos. La GH bien sea directa o indirectamente, estimula los procesos anabólicos, la división (mitosis) y el crecimiento celular, la osteogénesis (huesos) y condrogénesis (cartílagos) que deciden el crecimiento del esqueleto, estimula la síntesis de proteínas (actividad promotora del crecimiento) por lo que determina un balance nitrogenado positivo, incrementa la oxidación de las grasas (actividad lipolítica) que caracteriza la delgadez del individuo en crecimiento e inhibe el transporte de glucosa hacia el interior de las células (efecto diabetógeno). Este efecto diabetógeno explica el porque para crecer es necesario que el animal posea un páncreas funcional capaz de que con su secreción de insulina, amortigüe la hiperglicemia. La GH o Somatotropina incrementa tanto el tejido óseo como los tejidos blandos del cuerpo. Los efectos anabolizantes de la GH ocurren en tejidos tan variados como huesos, cartílagos, músculos, hígado y una serie de vísceras (corazón, pulmones, riñones, intestinos) y glándulas (páncreas, adrenales). Solo el crecimiento del sistema nervioso central y el de otros pocos tejidos parecen ser independientes de la GH.

La secreción de los IGF, estimulada por la GH en todos los tejidos pero con particular importancia en los hepatocitos (hígado), depende en gran medida del estado de nutrición del organismo, así, en situaciones de desnutrición, aunque sean normales los niveles de GH, los niveles en plasma de IGF son muy bajos. Estas concentraciones se ven afectadas también, por las hormonas tiroideas y más especialmente por las hormonas sexuales, que parecen desempeñar un papel importante con su aumento durante la pubertad que se traduce un efecto positivo del desarrollo o crecimiento somático en esta etapa de la vida. Las funciones estimulantes del sistema GH-IGF sobre el desarrollo corporal se manifiestan mediante los siguientes efectos:

1- Efecto sobre el crecimiento somático que se desarrolla fundamentalmente a partir del crecimiento óseo. El hueso es un tejido vivo en constante proceso de formación-resorción que garantiza su estabilidad, compactación y adaptación a las líneas de tensión que se ejerzan según la actividad corporal. Como se señaló con anterioridad, además del sistema GH-IGF, otras hormonas, como las tiroideas, insulina, glucocorticoides y sexuales, así como las relacionadas con el metabolismo del calcio: calcitonina, parathormona y vitamina D hormona, van a ejercer también un importante papel modulador local en los procesos de formación ósea. El crecimiento del hueso implica dos procesos complementarios: por una parte, un aumento en longitud, y por otra parte, un incremento en la masa celular y extracelular. El crecimiento en longitud de los huesos se produce por osificación endocondral o reemplazamiento del cartílago de crecimiento. Existe una continua osificación de este cartílago en la zona más próxima a la diáfisis del hueso al tiempo que se está produciendo un crecimiento del cartílago en la zona más cercana a la epífisis del hueso; estos dos procesos son los causantes del crecimiento óseo. Histológicamente el cartílago de crecimiento es una zona de gran multiplicación de condrocitos, en donde hay una intensa síntesis de proteoglicanos, responsables de la estructuración de la trama ósea para el depósito de la matriz ósea, el fosfato de calcio o hidroxapatita. En cartílagos y huesos la GH incrementa la incorporación de SO_4^{2-} en los proteoglicanos, la incorporación de timidina en el ADN del condrocito y la conversión de prolina en hidroxiprolina en el colágeno. El aumento de esteroides sexuales en la pubertad bloquea la proliferación del cartílago dando lugar a su desaparición, por lo que se detiene el crecimiento longitudinal en los huesos, aunque puede persistir el efecto positivo sobre el ensanchamiento de los mismos; este efecto de las hormonas sexuales es más señalado en los estrógenos que en los andrógenos por lo que en la hembra, al ser más precoz a los efectos de desarrollo sexual (pubertad), inicia más temprano el crecimiento pero también se detiene más temprano, es decir, la hembra en principio marca más precoz el crecimiento pero también se detiene más rápido lo que se constituye, en línea general en una característica de dimorfismo sexual, al ser menores en talla y menos robustas que los machos.

Aunque en un principio se consideraba que la GH no actuaba directamente sobre el hueso, sino a través de los IGF, datos más recientes muestran que la propia hormona es capaz de estimular en forma directa al tejido cartilaginoso en crecimiento (condrogénesis), de manera que la combinación GH-IGF-1 estimularían diferentes poblaciones de condrocitos; la GH induciría la diferenciación de una población de células progenitoras (precondrocitos) que comenzarían a producir IGF-1 y esta desencadenaría la proliferación clonal y maduración de los condrocitos diferenciados por mecanismos auto y paracrinos como efecto biológico de retroalimentación positiva sobre estas células estimulando su proliferación y diferenciación. De esta forma, la GH podría estimular localmente la síntesis de IGF-1 que potenciaría al elaborado por los hepatocitos y este factor de crecimiento junto con la GH actuarían estimulando el proceso de la osificación endocondral.

También la hormona del crecimiento estimula a nivel de los osteoblastos la síntesis local de IGF-1 que a su vez ejerce un autoefecto biológico de retroalimentación positiva sobre estas células estimulando su proliferación y diferenciación. Los osteoblastos sintetizan una matriz rica en colágeno y proteoglicanos, en la que se depositan los cristales de hidroxapatita mineralizándose de esta forma el hueso adquiriendo las propiedades características que le permiten ser el tejido de sostén del cuerpo contra la gravedad por lo que, en principio, la GH regularía el metabolismo óseo de una forma indirecta a través del IGH-1.

2.- Efectos metabólicos. En su acción directa, la hormona del crecimiento moviliza los ácidos grasos del tejido adiposo (lipólisis) para la obtención de fuentes adicionales de energía. La GH parecer desarrollar dos acciones contrarias sobre el metabolismo de los glúcidos ya que el efecto consecutivo a su administración aguda produce una disminución del nivel de glucosa en sangre (hipoglicemia) así como un descenso de los niveles en plasma de los ácidos grasos libres por un tiempo relativamente breve, una hora aproximadamente, que se compara con la acción similar a la insulina (IGF-1) para seguidamente desencadenar una acción completamente opuesta (hiperglicemia). El cuadro metabólico hiperglicemiante de la GH, también conocido como efecto diabético, se manifiesta como resultado de la movilización de los depósitos de grasa (gluconeogénesis) y glucógeno (glucogénesis) hacia la formación de glucosa y la inhibición del sistema transportador de glucosa por la membrana celular.

3.- Efecto sobre el sistema inmunitario. En sentido general se ha comprobado que la GH ejerce un papel positivo sobre la respuesta inmunitaria y los órganos linfoides del organismo demostrándose que las células del timo presentan receptores para esta hormona. Se ha observado que en seres humanos con déficit de GH su administración terapéutica exógena aumenta la capacidad inmunitaria. En estudios realizados en vacas y cabras con mástitis se ha demostrado un efecto beneficioso en la recuperación de estos animales con tratamientos cortos con GH. En las células hematopoyéticas la GH es considerablemente mitógena estimulando la proliferación de las células sanguíneas, respuesta lógica por la necesidad de los eritrocitos para el transporte de los gases respiratorios (oxígeno y bióxido de

carbono) hacia y desde los tejidos. A nivel del riñón, la ausencia de GH provoca una disminución del índice de filtración glomerular, del flujo sanguíneo renal y de la secreción tubular por lo que compromete, en cierta medida, el funcionamiento renal.

4.- Efecto sobre la lactación. Por su positivo efecto sobre la lactación, en que logra incrementar hasta un 10% la producción de leche, la GH bovina (bGH) es empleada por algunos productores. La inyección de la hormona del crecimiento bovino aumenta la producción de leche en vacas por un incremento en los sustratos alternativos de energía a la glándula mamaria. Así, la ausencia de niveles altos de glucosa en el plasma en las grandes productoras de leche, es el reflejo del incremento en la utilización de la glucosa para la síntesis de leche. Parece ser que en las vacas en lactación se puede inducir el desarrollo del tejido mamario con GH más fácilmente y con mayor regularidad que con la prolactina (PRL) además de sus efectos anabólicos en otras partes del cuerpo. Quizás la GH sea la hormona adenohipofisaria más relacionada con la lactación por acción propia y su sinergia con la PRL. También se ha observado que aumentando las concentraciones de GH mediante la administración a largo plazo de GHRH (hormona liberadora de GH), se produce un aumento de la producción de leche.

b.- Sistema hormonal de apoyo al crecimiento

- Glándula tiroidea. El papel de las hormonas del tiroides, triyodotironina (T_3) y tiroxina (T_4), en el crecimiento esquelético sería permisivo, ya que la GH no es capaz de estimular el desarrollo óseo en animales hipotiroideos. La falta de respuesta de los tejidos a la GH obedecería a un defecto de las células en la respuesta a los IGF que son los mediadores de las acciones indirectas de la GH en el crecimiento. Las hormonas tiroideas también contribuyen al crecimiento estimulando la síntesis y secreción de GH en la hipófisis al tiempo que median, por su potente efecto estimulante sobre el metabolismo basal, potenciando de una forma positiva la síntesis proteica y la multiplicación celular.

- Páncreas endocrino. Esta glándula accesoria al sistema digestivo elabora en los islotes de Langerhans un conjunto de hormonas relacionadas con el control del nivel de glucosa en la sangre (glicemia). La insulina además de su papel primario como reguladora en la homeostasis del nivel de glucosa en sangre al estimular el transporte facilitado de la misma por la membrana celular (acción hipoglicemiante), puede funcionar como estimulante del crecimiento ya que por un lado coopera en el suministro energético a las células y por otro lado podría aumentar el crecimiento fetal estimulando la producción de los IGF. Para algunos investigadores, la insulina, al igual que las anteriores hormonas, solo ejercería una acción facilitadora estimulando la captación y utilización de los sustratos necesarios para el crecimiento al tiempo que garantiza su correcto empleo a nivel celular siendo especialmente importante en la estimulación del transporte de aminoácidos y glucosa al interior de las células apoyando el efecto anabólico. La GH no puede estimular el crecimiento en animales sin páncreas funcional o alimentados con dietas carente o pobre en carbohidratos. La insulina se opone a los efectos

cetógeno y diabetógeno de la GH. La otra hormona pancreática, el glucagon, es hiperglicemiante por su efecto sobre la glucogénesis hepática lo que coopera con la GH ante estados transitorios de ayunos o déficit energético.

- Calcitonina, Vitamina D y PTH. El efecto combinado de la calcitonina y la vitamina D, por sus funciones fisiológicas es de forma positiva para el crecimiento corporal por cuanto ambas apoyan el proceso de la condrogénesis de los cartílagos y huesos al ser, la calcitonina, una hormona hipocalcemiante que estimula la multiplicación de los osteoblastos y la vitamina D hormona ser hipercalcemiante que estimula la absorción de calcio a nivel intestinal. La Calcitonina es una hormona elaborada por las células parafoliculares o "C" del tiroides, por lo que también se le conoce como tirocalcitonina, con la función primaria de producir un cuadro de hipocalcemia ya que estimula la actividad osteoblástica o formadora del tejido óseo sintetizándose la matriz ósea y la sustancia fundamental, es decir, esta hormona es estimulante de la síntesis de los huesos al tiempo que estimula la precipitación local del calcio para la formación de la hidroxapatita. La vitamina D hormona (1,25, dihidroxicolecalciferol) es un compuesto hormonal obtenido a partir de su forma vitamínica mediante un complejo proceso ya que la misma es producida por los riñones partir de un sustrato inactivo elaborado por el hígado (1, hidroxicolecalciferol) que a su vez empleó como sustrato un compuesto precursor obtenido como resultado de la acción de los rayos ultravioletas sobre la dermis de la piel (colecalfiferol) donde se almacena la vitamina D (D₂ y D₃) absorbida a nivel intestinal a partir de los alimentos (calciferol); esta vitamina-hormona tiene un efecto hipercalcemiante ya que la misma estimula la absorción activa del calcio contenido en los alimentos por los enterocitos de la mucosa intestinal. De esta forma la combinación vitamina D hormona-calcitonina apoya el crecimiento o desarrollo somático.

En relación con el control de la calcemia, no podemos dejar de mencionar a la PTH u hormona paratiroidea elaborada por las células principales de esta glándula, con un potente efecto hipercalcemiante ya que entre sus acciones se constituye en la hormona responsable de producir la activación de la vitamina D hormona a nivel de los riñones por lo que estimula, indirectamente, la absorción de calcio por la mucosa intestinal. En la etapa de crecimiento, los animales deben tener cubiertos los requerimientos de calcio en la dieta para evitar el efecto no positivo de esta hormona por cuanto ella desencadena procesos de resorción ósea al estimular la actividad de los osteoclastos, de ahí la importancia de las fuentes alimentarias evitar este efecto negativo que atenta contra el desarrollo somático.

- Glándulas sexuales. Las hormonas sexuales desempeñan un importante papel en la regulación del crecimiento puberal y también en el control de la secreción de GH. A los efectos estimulantes, las hormonas masculinas (andrógenos) elaboradas en los testículos, poseen un papel más potente que las hormonas femeninas (estrógenos) elaboradas en los ovarios. Tanto la testosterona como la dihidrotestosterona son potentes agentes anabólicos que aceleran el crecimiento lineal, el aumento de peso y el incremento de la masa muscular lo que determina

que los machos en los vertebrados superiores (mamíferos y aves) tengan un mayor desarrollo corporal en masa y peso que las hembras. Aunque la presencia de GH es esencial para la existencia de efectos sobre el crecimiento por parte de los andrógenos, estos pueden a su vez aumentar la secreción hipofisiaria de GH en dosis bajas con ascenso progresivo tal como acontece con la instauración de la pubertad y el desarrollo “in crescendo” de la producción hormonal testicular hasta fijar los caracteres masculinos secundarios y apoyar el desarrollo final de los caracteres primarios. Los estrógenos por su parte poseen un efecto estimulador sobre el crecimiento y la producción de IGF en el hígado en dosis bajas, mientras que a altas dosis inhiben directamente ambos procesos, de ahí que la pubertad femenina precoz determina un animal de menor talla ya que estas hormonas propician la soldadura precoz de las diáfisis y epífisis óseas. No obstante, ambos tipos de hormonas sexuales desarrollan una función importante de apoyo a la GH ya que estimulan la condrogénesis, la miogénesis, la síntesis proteica y la multiplicación celular con el conocido efecto de “estiramiento puberal”.

- Glándulas adrenales. Los glucocorticoides son potentes hormonas inhibitoras del crecimiento lineal por diversas causas. Un componente importante resultante de la actividad de estas hormonas es la inhibición de la secreción de GH bajo condiciones estresantes, es decir, situaciones de estrés sostenido influyen negativamente o detienen el crecimiento. En perros jóvenes, afectados por el síndrome de Cushing (exceso crónico de glucocorticoides por desajuste hormonal) se produce un cese del crecimiento. En la génesis compleja de las causas por las cuales los glucocorticoides influyen negativamente sobre el crecimiento corporal tenemos su intervención estimulante en el catabolismo proteico, su efecto hiperglicemiante bloqueador de la utilización de la glucosa por las células, su acción inhibitora en la formación del colágeno y la incorporación de prolina a nivel de los cartílagos así como la disminución de la secreción de la hormona de crecimiento por el eje hipotalámico-hipofisiario.

FACTORES DE CRECIMIENTO

Además de la hormona del crecimiento y su conjunto hormonal de apoyo (tiroideas, calcitonina, vitamina D hormona y hormonas sexuales) los procesos del crecimiento están influidos por factores de crecimiento que se producen localmente en los tejidos. Estos factores de crecimiento o growth factors (GF) estimulan el crecimiento y diferenciación de las células que los producen (efecto autocrino) o de células vecinas (efecto paracrino) tal como se describió para los IGF. Los efectos crónicos se muestran preferentemente en el plano del crecimiento y de la diferenciación celular, siendo los más conocidos los producidos por el IGF-1. Este factor de crecimiento actúa como un débil mitógeno y un potente factor de diferenciación que mantiene a las células en su estado diferenciado, estimulando la síntesis de ADN y la proliferación celular en un gran número de tipos celulares; se cree que los IGF median todos o la mayoría de los efectos de la GH en el proceso del crecimiento óseo y además poseen una serie de efectos en diversos tejidos, incluyendo

músculo esquelético, cartílago, adipositos y fibroblastos. La administración de IGF-1 incrementa la velocidad del crecimiento, aumenta el espesor de la epífisis tibial, aumenta la incorporación de timidina y sulfato en el cartílago y aumenta el peso de órganos tales como riñón, bazo y timo. Actualmente se piensa que su acción es fundamentalmente local, actuando de forma paracrina, más que como una hormona clásica.

Al igual que las IGF, el resto de los factores de crecimiento son un grupo de moléculas polipeptídicas con capacidad de estimular o inhibir la división celular e inducir la diferenciación. Esta influencia sobre procesos tan importantes como el crecimiento y la diferenciación y especialización celular, hace que sus trastornos se hallen en el origen de muchas enfermedades, entre las que merecen destacarse las de tipo neoplásico. Los más estudiados hasta el momento pueden agruparse dentro de familias que poseen a su vez diversas variantes de una forma determinada:

En la familia de los Factores de Crecimiento α están el Factor de Crecimiento Epidérmico (EGF) y el Factor Transformante del Crecimiento α (TGF α). El factor de crecimiento epidérmico es similar a la urogastrona, proteína dosificada en la orina de seres humanos, que inhibe la secreción ácida gástrica y promueve la proliferación y epitelización de la mucosa gástrica a partir de las células germinales. El EGF es sintetizado en un gran número de tejidos en el organismo y se encuentra en diversos fluidos biológicos como en la saliva que al ser aplicada por los animales mediante la lengua en las heridas cutáneas facilita el proceso de reparación de la piel y su musculatura correspondiente. Por su parte, el TGF α es sintetizado fundamentalmente por los tejidos en autorregeneración. Los receptores para el sistema EGF/TGF α se localizan prácticamente en todos los tipos celulares excepto en las células hematopoyéticas; las áreas en las que se localizan en mayor proporción son cerebro, tiroides, piel, hígado y placenta.

La familia de Factores de Crecimiento Transformante Beta (TGF β -1 y TGF β -2) presentan la propiedad singular de poder estimular o inhibir el crecimiento celular, no solo dependiendo del tejido, sino que pueden estimular o inhibir un mismo tipo de célula dependiendo de las circunstancias en que se encuentren. Presentan una gran similitud estructural con la inhibina y la activina y con la hormona inhibidora de Muller (MIH) que es elaborada por las células de Sertoli en el momento de la diferenciación sexual del embrión masculino para atrofiar al conducto femenino. En cuanto a sus acciones específicas, estos TGF β son factores diferenciadores para muchos tejidos y tienen importantes acciones sobre el control de la adhesividad celular, ya que aumentan la síntesis y el depósito de los componentes de la matriz extracelular.

La familia de los Factores de Crecimiento de Fibroblastos (FGF) se trata de un conjunto de diversos péptidos, estructural y funcionalmente relacionados entre sí, compuesto por los factores ácido (aFGF) y básico (bFGF) y el FGF-5. Estos péptidos que interactúan con la heparina, son factores ampliamente distribuidos pero con capacidad de síntesis en pocos tejidos, entre ellos fundamentalmente el

tejido nervioso encefálico. Al estar ampliamente distribuidos poseen acción sobre el crecimiento y la función de numerosos tipos celulares mereciendo destacarse entre otras funciones, su participación en los procesos de reparación tisular, desarrollo embrionario, modulación de respuestas endocrinas y regulación del crecimiento del cerebro.

Los Factores de Crecimientos Derivados de las Plaquetas (PDGF) es una familia de polipéptidos mitógenos que fueron originalmente aislados de plaquetas humanas, aunque posteriormente se han encontrado en otros tipos celulares en menor cantidad. Sus principales acciones son participar en el desarrollo de la placenta y el tejido de la glía nerviosa (gliogenesis) así como en la cicatrización de las heridas, al ser liberados durante la segunda etapa del proceso de cicatrización (taponamiento plaquetario) tras la agregación y desgranulación de las plaquetas en el sitio de la lesión vascular. Además de los PDGF, que actúan sobre una amplia variedad de tipos celulares, otros son específicos para determinados tipos de células como son los conocidos Factores de Crecimiento con Alto Grado de Especificidad Tisular entre los que se encuentra el factor de crecimiento neutral (NGF) sintetizado en diversas regiones del sistema nervioso central y en las glándulas salivales que posee acciones específicas sobre el desarrollo y mantenimiento de neuronas simpáticas y sensoriales, la eritropoyetina que estimula el proceso de la formación de los glóbulos rojos por la médula ósea roja, las citoquinas que son sustancias reguladoras producidas por los linfocitos (linfoquinas) y monocitos (interleuquinas) con papeles específicos en la diferenciación y crecimiento de los linfocitos.

EL CRECIMIENTO Y LA PRODUCCIÓN ANIMAL

El crecimiento es uno de los procesos más importante de la producción ganadera. En todos los vertebrados superiores, la curva de crecimiento representando gráficamente el peso en función de la edad, es una sigmoide parecida a una S estirada con excepción del humano cuya edad juvenil es muy prolongada como efecto adaptativo de evolución de la especie que permite un incremento en el tiempo de educación y preparación del joven para la vida social. Un estimado general del desarrollo corporal muestra que la mayoría de los mamíferos alcanzan la pubertad aproximadamente con el 30% del peso adulto mientras que el humano lo logra con el 50-60% de su peso adulto lo que demuestra otra diferencia marcada de esta especie.

Es un hecho indiscutible que el crecimiento potencial está bajo el control genético por lo que es hereditario para la especie y la raza al tiempo que esta directamente influenciado por factores tales como alimentación, clima, sexo y estado de salud entre otros. El crecimiento es el aumento, con la edad, de las dimensiones lineales del cuerpo y/o del peso vivo unido a cambios importantes en la composición corporal. El incremento del peso vivo se corresponde con la acumulación de líquidos y el desarrollo de la masa muscular (hiperplasia e hipertrofia) por lo que los cambios en la composición corporal se deben a tasas diferenciales de crecimiento

de los tejidos y órganos. El crecimiento prenatal o desarrollo fetal está influenciado, en primer lugar, por el cumplimiento de los requerimientos nutricionales de la madre gestante, de ahí la importancia de satisfacer sus necesidades con dietas bien balanceadas. El cambio de peso vivo con la edad (en el tiempo) se conoce como crecimiento ponderal. El nivel de desarrollo que se alcanza durante la etapa fetal hasta el momento del nacimiento, depende de la especie animal y así tenemos que los neonatos de rumiantes y aves presentan un grado superior a los cerdos ya que tienen un menor contenido de agua unido a un nivel superior de contenido en grasas y proteína corporal.

En el sistema de la cadena alimentaria, los mamíferos de grandes tallas corporales son herbívoros que se alimentan de pastos o hierbas como el elefante (*Loxonta africana*) o el gorila (*Gorilla gorilla*) o filtradores del alimento como la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) que se alimenta del krill, pequeños organismos del plancton. Las especies de los niveles tróficos altos de la cadena alimentaria, como los carnívoros, son generalmente de talla pequeña o mediada, aunque algunos llegan a alcanzar gran complexión física y fortaleza que los convierte en los animales más temidos. Los carnívoros son animales preparados, desde todo punto de vista fisiológico, para agredir, entre otras causas, ante la sensación de hambre

Durante la vida prenatal, la temperatura ambiente es quizás el factor climático más importante que afecta el crecimiento fetal; es frecuente observar que hembras de razas inadaptadas de ganado de clima templado, gestadas en condiciones del verano tropical, paren crías pequeñas y débiles que incluso pueden morir al no tener fuerzas para mantener la posición erguida y mamar. En condiciones normales de desarrollo de la gestación, el feto crece poco en un inicio para comenzar un crecimiento mayor en el último tercio. Posterior al nacimiento, se inicia el crecimiento postnatal que, en su primera etapa para los mamíferos, depende tanto de las condiciones medio ambientales como de los factores ambientales impuestos por la madre (hembras polítopas en el nido) y la cantidad de leche producida.

Todos los animales crecen rápidamente cuando son jóvenes; la madurez sexual se adquiere primero que la madurez física. A medida que se acerca la madurez física, la velocidad de crecimiento disminuye hasta que se alcanza una etapa en la cual el sistema óseo-muscular cesa su desarrollo hiperplásico y reduce su desarrollo hipertrófico a no ser que entrenamientos específicos lo mantengan pero sin crecer.

La curva de crecimiento es el resultado de la interacción de dos fuerzas opuestas, una que lo acelera (excitación) y otra que lo frena (inhibición). En una primera etapa se produce un crecimiento o desarrollo somático acelerado, observado en la línea ascendente de la sigmoide (fase de autoaceleración) donde predominan las fuerzas aceleradoras que generan un incremento en el desarrollo somático y en el peso corporal siendo la suma de la hiperplasia (multiplicación celular) e hipertrofia (aumento de tamaño) celular y la acumulación del material tomado del medio ambiente (componentes del alimento).

En el punto de inflexión de la curva, ambos procesos de autoaceleración y autoinhibición se interfieren por lo que comienza la desaceleración del crecimiento con la particularidad de que este momento coincide con la pubertad cuando el crecimiento, bajo el influjo de la hormonas sexuales alcanza su máxima velocidad provocándose el conocido “estiramiento corporal”. Con la pubertad se inicia la entrada en juego funcional del eje hipotalámico-hipofisiario-gonadal que determina la producción de las hormonas sexuales: estrógenos en las hembras y testosterona en los machos que se caracterizan por el potente estímulo positivo anabólico sobre el metabolismo corporal. Un hecho marca la diferencia de los sexos en este momento de “inflexión puberal”: las hembras con su pubertad precoz con relación a los machos crecen más temprano pero se detienen también más temprano mientras que los machos inician el desarrollo de crecimiento algo más tarde pero también se demoran más en detenerlo lo que decide un desarrollo corporal superior y más robusto en estos que en las hembras. Aunque ambas hormonas son anabólicas, la testosterona tiene una potencia superior por lo que el resultado es, en los machos, un cuerpo más grande, sólido y potente físicamente.

Al parecer, una reducción moderada en la ingestión de energía no causa efectos en animales restringidos durante la etapa máxima de crecimiento debido al conocido “crecimiento compensatorio” que es una respuesta rápida en todos los animales, de cualquier especie, cuando en el inicio del desarrollo (etapa de autoaceleración) posterior a una etapa de sub-alimentación, en donde se retardó o detuvo el crecimiento, al ser mejorada la dieta los animales crecen a una velocidad superior que los conduce a alcanzar el tamaño y peso de sus congéneres alimentados normalmente y aunque aún no se conoce la explicación fisiológica a este tipo de aceleración máxima podemos especular que son animales con todas las condiciones genético-funcionales normales por lo que una vez corregida la deficiencia alimentaria se multiplica la respuesta corporal positiva al eliminarse el “efecto frenado”. En esta etapa del crecimiento, una reducción moderada en la ingestión de energía, al parecer, no causa efectos en la composición de la canal siempre que los animales restringidos puedan recuperarse con la misma dieta que reciben los animales no restringidos. Se ha comprobado no obstante que a pesar de que la realimentación de los animales, posterior a una restricción severa de alimentos, es capaz de que estos alcancen el mismo peso que los animales testigos no restringidos, no es posible lograr restaurar la composición de la canal por cuanto la sub-alimentación no solo repercute sobre la reserva de grasa corporal, sino también tiene un efecto negativo sobre la masa muscular lo que contribuye a su depauperación.

El cuerpo animal es un sistema cerrado por lo que en un momento determinado, según información genética, el desarrollo corporal como crecimiento se detiene por la entrada en acción de las fuerzas inhibitoras y cese de las fuerzas aceleradoras, es la denominada fase autoinhibidora como expresión de la relación genotipo-medio ambiente que decide el fenotipo de la especie animal en sus indicadores desarrollo y peso corporal.

Los principales indicadores del crecimiento animal son el incremento de peso vivo (masa corporal) y el tamaño (longitud y altura). En realidad la combinación peso-tamaño resulta el indicador más frecuente al interrelacionarse según la etapa de desarrollo. El desarrollo corporal puede, en general, ser dividido en tres etapas secuentes caracterizadas, la primera por un crecimiento relativamente armónico entre peso y tamaño, la segunda por el incremento significativo en el tamaño (crecimiento puberal) y una tercera por el incremento significativo en el peso (adulto). Para la producción comercial, las medidas de eficiencias están relacionadas con el peso vivo final en la granja o cebadero aunque le corresponde al peso de la canal, masa muscular con soporte óseo (animal eviscerado y sin piel) la que determina el rendimiento real productivo. Dos aspectos importantes para el valor de la canal en cualquier especie animal son el grado de magrez de la carne (contenido mínimo de grasa) y su aspecto atractivo y comestible.

Los animales crecen no solo incrementando su peso corporal sino también combinando las proporciones corporales. En la primera fase, el crecimiento procedente del cráneo fluye hacia la parte facial de la cabeza y hacia la región lumbar (aumento en longitud del cuerpo) y en la segunda fase se inicia por la porción distal de las extremidades avanzando hacia la región ventral del cuerpo para terminar proyectándose también en la región lumbar (aumento en altitud del cuerpo). De lo antes expuesto podemos inferir que el crecimiento se desarrolla primero en largo y después en alto con la particularidad de que le corresponde a la región lumbar ser la parte del cuerpo que alcanza la madurez más tardía en desarrollo, de manera que lo antes expresado explica porque es importante que las hembras, en sentido general, no se gesten hasta que hallan logrado el desarrollo corporal medio de la especie y de la raza.

Durante el crecimiento se ha demostrado que no solamente existe un orden anatómico de desarrollo sino que también existe un orden de prioridad en relación con la "colocación" de los nutrientes en los diferentes tejidos correspondiéndole el primer lugar a los sistemas nervioso (cerebro en particular) y digestivo lo que garantiza la vida de relación, el ajuste de las funciones corporales y el aporte de nutrientes al resto del cuerpo seguidos en orden por los huesos y músculos que aseguran el movimiento y la reacción del cuerpo y el tejido adiposo (grasa corporal) como fuente de reserva energética. Aunque la conformación y composición corporal en la madurez es un producto del control genético, según la especie y la raza, es un hecho indiscutible que el nivel de alimentación en general y el nivel energético en particular determinan la conformación y composición durante el tiempo de crecimiento activo. Se ha demostrado que en los animales "de carne" un periodo de inanición no tiene efecto significativo sobre el desarrollo de la musculatura de la columna vertebral y proximal de las extremidades, musculaturas de sostén del cuerpo contra la gravedad para el desarrollo del movimiento, pero sí retarda considerablemente el desarrollo de la musculatura tóraco-abdominal. En general los órganos vitales empleados para el mantenimiento de la vida son los primeros en desarrollarse en tanto las áreas destinadas a la producción de grasa, músculo, mamás, etc, son las más tardías en su crecimiento. Algunas partes consideradas

“despojos” como el tubo digestivo y la cabeza se desarrollan precozmente por la importancia que tienen en el desarrollo del resto del cuerpo en tanto que regiones de mayor interés económico para el consumo humano como el lomo es de desarrollo lento.

En las aves el tamaño del pollito al nacer está directamente relacionado con el peso del huevo del que procede aunque no se ha demostrado que exista alguna relación directa de que este indicador influya en forma apreciable sobre el peso del ave adulta. La velocidad de crecimiento del polluelo después del nacimiento es muy inferior a la de un mamífero como el conejo, hecho que se atribuye a la alimentación postnatal ya que mientras que el conejo como mamífero, es alimentado sobre la base de la leche materna, alimento muy rico en proteína y grasa, el polluelo se alimenta, generalmente, de alimentos voluminosos y de poca riqueza proteica que debe procurarse del medio; el polluelo de la paloma experimenta una velocidad de crecimiento muy superior al de la gallina por cuanto se alimenta de la leche del buche de la madre y de alimentos semidigeridos por los padres lo que ingieren directamente del pico de estos. Comparativamente mientras los pichones de la paloma alcanzan un ritmo del crecimiento del 300% en el primer mes de vida, los pollitos solo logran como promedio el 160%; el ritmo de crecimiento de las aves es muy superior para los polluelos de las aves nidícolas, que alimentan a las crías en el nido, que para las aves nidífugas que abandonan el nido deambulando por el medio ambiente por lo que las crías deben alimentarse por sí mismas.

FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DEL CUERPO ANIMAL.

❖ RAZA

Las razas tradicionales de carne (Hereford, Angus, Charolais) tienen un crecimiento mayor que los animales lecheros al tiempo que se caracterizan por poseer un fenotipo pesado, ancho y de exterior rectangular a diferencia de las razas tradicionales de leche que son menos pesadas, estrechas y de exterior triangular con base posterior o pélvica.

La hipertrofia muscular en algunas razas de ganado como la Piedemonte se asocia con rendimientos más altos que los normales al señalarse que el mayor desarrollo muscular se debe a un menor contenido de grasa corporal, huesos más ligeros, piel más fina, patas reducidas y menor contenido visceral por lo que los animales presentan un rendimiento superior de la canal al sacrificio.

La transmisión hereditaria de algunos caracteres del animal, como el color del pelaje, la configuración de los cuernos, etc, es intensa por cuanto no dependen de las condiciones nutritivas y medio ambientales mientras que caracteres como el crecimiento, que si dependen en mayor grado de estas condiciones, tiene menos fuerza de transmisión.

En los bovinos lecheros, la Holstein crece más rápidamente que la Hereford planteándose que la tasa de crecimiento esta directamente relacionada con el tamaño del cuerpo adulto. Al nacimiento, las crías Charolais, Holstein y Brown Swiss son considerablemente mayores que el promedio normal de las razas de bovinos domésticos demostrándose que las crías de Hereford se corresponden con los animales promedios mientras que las crías Aberdeen Angus y Brahman son de las menores siendo su peso al nacer bien por debajo del promedio.

❖ EDAD Y SEXO

El peso de la canal se incrementa con el peso vivo y la edad en una relación lineal. En el bovino, el peso vivo al destete, cuando este ocurre a los 6 o más meses, es superior para los machos que para las hembras; las correlaciones fenotípicas y genéticas del peso al nacer muestran un efecto positivo de este con el peso al destete pero no de forma estrecha. El estatus sexual del animal influye sobre la tasa de crecimiento y la composición corporal; los toros crecen del 8 al 12% más rápido que las novillas al poseer una eficiencia alimentaría superior.

Es conocido que en la edad de sacrificio, las novillas tienen un peso corporal inferior a los novillos y aunque sus canales presentan mayor rendimiento, también contienen mayor cantidad de grasa. Se ha comprobado que comparativamente toros y novillas Holstein sacrificados entre los 360 y los 450kg de peso vivo, los primeros presentan un rendimiento menor en canal al tener pieles más pesadas y menor grado de adiposidad que las novillas.

Al contrario que de lo que ocurre en otras especies de granja, en el cerdo existen pocas diferencias sexuales en el peso; mientras que en bovinos y ovinos los machos poseen una proporción de músculos mayor con índice menor de grasa, en los cerdos esta proporción se manifiesta a la inversa. Los cerdos jóvenes poseen un menor índice de conversión de alimentos que los cerdos viejos al tiempo que los machos enteros presentan bastante menos grasa que los machos castrados y hembras por lo que poseen un mejor índice de conversión de alimentos si se conoce que la producción de un Kg de grasa precisa más alimentos que la formación de un Kg de músculo o hueso. En las aves domésticas, el macho crece más rápidamente y durante un periodo de tiempo más prolongado que la hembra; en estas especies, el cuerpo de las pollitas alcanza la madurez más precoz que el de los machos

En el bovino los terneros pesan más al nacer que las terneras y las crías individuales más que las crías gemelas. La castración de los machos tiene a su favor que los animales depositan grasa más rápidamente y que su carne tiene mejor textura y un sabor menos fuerte que la de toros enteros (no castrados) al tiempo que se evita características sexuales secundarias como el temperamento agresivo y la acometividad sexual del macho por lo que pueden alojarse junto con

novillas al tiempo que son más fáciles de manejar, no obstante el desarrollo de sistemas de alimentación intensiva (machos no castrados) con dietas de alta energía produce animales de carne magra muy codiciada en el mercado debido al efecto positivo de las hormonas androgénicas como promotoras del crecimiento. El crecimiento y conversión en los toros es superior a los de los animales jóvenes (novillos y novillas).

❖ MEDIO AMBIENTE

La temperatura ambiental óptima para el crecimiento de todas las especies de animales de granja se sitúa en el rango de 17°C a 32°C para el desarrollo satisfactorio de especies autóctonas según las adaptaciones morfofuncionales evolutivas al medio; se señala un rango óptimo de 20°C a 25°C para cerdos y una media de 27°C para gallinas y roedores (ratas y ratones). Es un hecho cierto que los animales adaptados a clima templado presentan un mayor desarrollo corporal que los de clima caliente como adaptación del área superficial del cuerpo para la retención del calor. Los animales aclimatados a zonas templadas, cuando son conducidos jóvenes a zonas de clima tropical, retrasan e incluso detienen el crecimiento así como la edad de madurez sexual presentándose serios problemas reproductivos, no obstante cuando se les mantiene y cruza con razas autóctonas de clima tropical, las primeras generaciones tienen un aumento de peso más limitado que las siguientes como influencia del proceso de aclimatación.

La temperatura medioambiental repercute significativamente sobre la actividad metabólica y fisiológica del cuerpo animal influyendo sobre el indicador crecimiento. Las altas temperaturas ambientales determinan una respuesta termorreguladora en los animales que decide una reducción en la producción y un incremento en la pérdida de calor de manera que se disminuye el metabolismo como consecuencia del descenso en la secreción de las hormonas tiroideas lo que reduce el consumo voluntario de alimentos al tiempo que aumenta el gasto de energía para la disipación del calor (sudor o jadeo) con disminución de las reservas corporales de grasa, nitrógeno y agua lo que influye negativamente sobre el crecimiento. Las variaciones de la temperatura ambiental repercuten sobre importantes indicadores del medio interno como son los equilibrios hidromineral y metabólico al influir sobre el consumo de agua, la producción volumétrica de orina, los niveles de glicemia y glucógeno hepático, el nitrógeno plasmático total, los compuestos nitrogenados digeribles, la retención de nitrógeno y la relación sodio / potasio plasmática y urinaria. A los efectos evolutivo del desarrollo corporal en función a la temperatura ambiental, los animales de clima frío son grandes con extremidades cortas y los animales de clima caliente son pequeños con extremidades largas.

❖ ESTADO DE ALIMENTACIÓN

El factor que más afecta el rendimiento o crecimiento en cualquier especie animal es la satisfacción de sus necesidades metabólicas-fisiológicas según el tipo de dieta que consume. La alimentación, en calidad y cantidad, es un factor estimulador o inhibidor del crecimiento. En el ganado Brahman (Cebú), se han constatado rendimientos del 52,0% en dietas de alto contenido de forraje al compararse con rendimientos superiores (56%) en régimen dietético de sólo concentrado lo que demuestra el valor de la dieta y su influencia sobre el crecimiento animal, no obstante el problema es dilucidar cual es más económico y sustentable. El ganado autóctono, de respetársele su acción conductual e incrementar directamente su dieta energética es más productivo con un menor costo económico de crianza.

A los efectos de la alimentación es importante respetar el alimento ofertado para el cual la especie tiene adaptado su sistema digestivo por lo que las raciones tienen que considerar este aspecto en primer lugar. Un hecho interesante se observa en el perro, animal carnívoro por excelencia, que en su plasticidad ingestiva evolutiva por su estrecha relación en convivencia con el humano ha asimilado perfectamente una dieta de omnívoro que inclusive con un bajo nivel de proteína logra obtener su crecimiento o desarrollo potencial según la raza.

PROMOTORES DE CRECIMIENTO

❖ PREPARADOS ESTIMULANTES.

Con el objetivo de acelerar la velocidad de crecimiento y la productividad se emplean concentrados vitamínicos con aportes de vitamina A, D y E sobre todo en el período autoexcitador del crecimiento así como durante la gestación y la lactación; a estas mezclas promotoras se le añade el complejo B en concentrado para cerdos y aves. Cuando los animales se mantienen en condiciones estabuladas sin acceso al sol, se debe suplir la dieta con vitamina D. La adición de mezclas minerales que contengan cantidades adecuadas de calcio, magnesio, fosfato y sodio así como trazas de manganeso, zinc, cobre y cobalto apoyan los procesos de desarrollo corporal al comportarse como promotores del crecimiento aunque deben balancearse según la especie animal por lo que para los bovinos tiene mayor importancia la adición de correctores ricos en fosfatos mientras que en cerdos y aves las mezclas ricas en calcio ocupan el primer lugar.

El aporte de vitaminas del complejo B en la dieta prácticamente no tiene ningún valor en el caso de los herbívoros debido a la acción sintetizadora de estas por los microorganismos que desarrollan la actividad fermentativa de los alimentos (celulosa, hemicelulosa, etc). En los rumiantes la importante actividad fermentativa y de síntesis vitamínica en el saco retículo-ruminal (fermentación pregástrica) es capaz de cubrir todas las necesidades corporales de vitaminas del complejo B (estimulante metabólico) y K (apoya el proceso de coagulación de la sangre) por lo que en estas especies en condiciones de alimentación normal, sobre la base de pastos, no se observan síntomas carenciales de las mismas. En los rumiantes el

empleo en la dieta de la urea, compuesto nitrogenado no proteico (NNP), aprovecha la capacidad de síntesis proteica de los microorganismos ruminales que facilita la multiplicación de estos y permite el establecimiento de un mejor proceso fermentativo lo que se traduce en una utilización más óptima del alimento apoyando el crecimiento.

En los herbívoros monogástricos como caballos y conejos, el proceso fermentativo y sintetizador vitamínico acontece en el segmento ceco-cólico del intestino grueso (fermentación postgástrica), de manera que estas especies deben ajustar acciones fisiológicas motoras intestinales o de conducta para evitar las pérdidas de las mismas por las heces fecales y así vemos que en el caballo se establece una potente actividad antiperistáltica de retorno del contenido colónico del colon transversal al dorsal y al ciego unido a las dos áreas de estrechamiento (marcapasos intestinales) que demoran el avance del quimo hacia el colon ventral donde finalmente se elaboran y almacenan las heces fecales e inclusive un cierto nivel de coprofagia sobre todo en los primeros meses de vida y en el conejo se desarrolla el reciclaje del contenido cecal (cecotrofas) por el tubo digestivo (seudocoprofagia). En las aves domésticas se describe la conducta de coprofagia con el mismo objetivo

En la alimentación de cerdos y aves se emplean mezclas alimenticias ricas en suplementos vegetales que contengan aminoácidos como metionina y lisina. El empleo de antioxidantes sintéticos en la dieta protege de la oxidación a sustancias sensibles como ácidos grasos no saturados, carotenos y xantofila (pigmento más importante de la yema del huevo); en las mezclas de alimentos que contienen grasas, los antioxidantes impiden la formación de peróxidos. La adición de emulsionantes a la dieta facilita la emulsificación de las vitaminas liposolubles (A, D y E) lo que aumenta el nivel de absorción de estas con sus efectos positivos promotores de crecimiento en los animales jóvenes.

❖ ANTIPARASITARIOS

Los antiparasitarios en general tienen un efecto promotor del crecimiento al ejercer su acción sobre los parásitos intestinales que expolían los nutrientes del hospedero por lo que retrasan el crecimiento del mismo al tiempo que algunos, como el Vermisol (tetramisol), se consideran por su acción, estimulantes del apetito y la conversión por su efecto anabólico. El empleo de coccidiostáticos evita las lesiones de la mucosa intestinal al tiempo que mejora el proceso digestivo y reduce el efecto expoliante parasitario por lo que se convierte en un promotor positivo del crecimiento en animales jóvenes en general y en aves y conejos en particular.

❖ ALIMENTOS CON ADITIVOS ANTIMICROBIANOS

Es un hecho indiscutible que mantener un buen nivel de salud animal requiere la prevención de ataques por bacterias patógenas; la alteración específica de la población bacteriana (microflora) del rumen bajo control, según el efecto deseado, puede tener beneficios para ayudar a los procesos fermentativos que aquí se desarrollan a partir del alimento ingerido. Los compuestos antimicrobianos se clasifican en antibióticos inóforos y no inóforos y probióticos; en el caso de los dos primeros se administran en dosis muy por debajo de las terapéuticas mientras que como probióticos se consideran aquellos microorganismos (como el lactobacilo del yogurt) y compuestos que influyen en el balance de la población microbiana intestinal para incrementar el crecimiento y la eficiencia de la producción animal. Manipular la población microbiana del rumen puede conducir a la reducción en la producción de metano (CH_4) que es una importante pérdida energética o al cambio del metabolismo energético en relación con las proporciones de los ácidos grasos volátiles (AGV) incrementando la producción de propiónico (gluconeogénico directo en el hígado) o modificar positivamente el metabolismo del nitrógeno y las proteínas por lo que se estimula el crecimiento o desarrollo corporal.

- Antibióticos ionóforos.

Comprende a aquellos antibióticos que, como la monesina, transforman el transporte iónico de moléculas monovalentes (sodio, potasio) y bivalentes (calcio) a través de las membranas celulares modificando el patrón de la microflora ruminal reduciendo la producción de metano y acetato, incrementando el nivel de propionato, la utilización del nitrógeno y pueden aumentar también la digestibilidad de la materia seca (MS) en los rumiantes por lo que incrementan la eficiencia alimentaria al tiempo que elevan la tasa de crecimiento corporal de los animales alimentados con dietas altas de forrajes; este promotor de crecimiento puede suministrarse adicionándolo al alimento o mediante la ubicación de bolos de control de descarga directamente en el rumen de animales en pastoreo. Los antibióticos ionóforos se absorben a nivel intestinal, son rápidamente metabolizados en el hígado y reintroducidos en forma inactiva al lumen intestinal por la bilis.

- Antibióticos no ionóforos

Empleados como promotores de crecimiento actúan en el segmento intestinal desarrollando y estabilizando el adecuado equilibrio microbiológico entre los microorganismos normales y los patológicos que puede verse afectado por diversos factores como malas condiciones de higiene, enfermedades, estrés, etc. El efecto positivo sobre la tasa de crecimiento corporal de estos antibióticos al tiempo que promueven un estado de salud satisfactorio, pudiera estar dado por otras acciones entre las que se encuentran la prevención de la colonización intestinal por coliformes patógenos, la alteración de la absorción intestinal, la inhibición del crecimiento bacteriano y su influencia positiva en el equilibrio microbiológico. Este tipo de promotor de crecimiento consiste en lactobacilos y estreptococos seleccionados y adicionados al alimento. Su empleo en la recuperación de

animales posterior a severos cuadros de diarrea permiten el desarrollo acelerado de la flora normal y por lo tanto de la estabilización del patrón digestivo.

Otros tipos de antibióticos empleados como promotores de crecimiento son bacitracina, tetraciclina en varias formas, penicilina y estreptomina. En la actualidad este tipo de promotor de crecimiento está sometido a una crítica y condena creciente por cuanto su empleo puede dar lugar a cepas de microorganismos resistentes a su acción lo que disminuye la eficacia terapéutica de los mismos tanto para el control de enfermedades infectocontagiosas en los animales como en las personas que consumen este tipo de carnes, inclusive puede desencadenar cuadros de alergia al consumo de estas carnes por personas sensibilizadas a un tipo de antibiótico. Es de importancia significativa tener el conocimiento que, cuando los animales son criados en adecuadas condiciones de manejo, tenencia, alimentación e higiene óptima, estos antibióticos no tienen ninguna o apenas una apreciable acción favorable sobre el crecimiento. En nuestros días se estimula la producción animal de carácter ecológico libre del empleo de antibióticos. En realidad los mejores resultados del empleo de antibióticos como promotores del crecimiento se observan en animales de escaso desarrollo y condiciones de tenencia antihigiénica sugiriéndose que sus efectos son indirectos al reducir, en la flora microbiana intestinal, el nivel de microorganismos patógenos que, aunque no manifiestan en el animal síntomas de enfermedad, si producen toxinas que retrasan el desarrollo corporal al tiempo que estimulan la flora productora de vitaminas (complejo B) que apoyan la actividad metabólica corporal necesaria para el crecimiento.

❖ PROMOTORES HORMONALES

La adición de hormonas, principalmente sexuales y del crecimiento (GH) está también prohibida en numerosos países por el efecto dañino que pueden ejercer sus residuos sobre el humano a pesar de que estudios realizados señalan que no se encuentran residuos en las carnes de suspenderse la administración de la hormona 48 horas antes del sacrificio y en otros estudios se demuestra que no existe riesgo alguno para la salud humana o animal la aplicación al suelo de excretas de animales tratados con estrógenos, no obstante residuos hormonales de pollos en ceba han provocado trastornos reproductivos en visones alimentados con desperdicios de tales pollos. Las hormonas más comunes empleadas en el engorde de los animales son los estrógenos.

Esteroides endógenos: Son los producidos por las glándulas sexuales correspondiéndoles al estriol, la progesterona y la testosterona ser los compuestos de mayor empleo como anabólicos. Generalmente se administran mediante implantes de liberación lenta insertados en la oreja.

- Estradiol: Es un potente agente anabólico en rumiantes a dosis de 5-100pg/ml en sangre. En sus efectos se señala un incremento en la retención de nitrógeno, la tasa de crecimiento (10-20% en novillas) y la eficiencia de la alimentación (5-8%). Se emplea de preferencia en los novillos aunque posee una cierta acción anabólica en las novillas. No es efectivo como agente anabólico en cerdos y se utiliza, combinado con andrógenos, en el carnero.

- Testosterona: Potente agente anabólico en relativa alta concentración en sangre (1-5ng/ml) no es empleada comúnmente como estimulante anabólico en los animales de granja. Concentraciones elevadas en sangre inducen el comportamiento sexual característico del macho manifestándose agresión y monta.

- Progesterona: No posee en la actualidad una clara evidencia de su acción anabólica en los animales de granja demostrándose que en realidad el empleo del acetato de melengestrol (MGA) estimula la tasa de crecimiento en novillas al suprimir el estro.

Esteroides sintéticos: Son generalmente más potentes y con menor efecto androgénico que los esteroides endógenos por lo que no desencadenan significativos efectos adversos sobre la conducta,. El acetato de trenbolona (TBA) tiene afinidad por los receptores androgénicos por lo que produce el mismo efecto de la testosterona sobre el crecimiento; le corresponde al TBA ser el más común de los empleados en bovinos, tener cierto nivel de aplicación en el carnero y no utilizarse en cerdos y caballos. De los estrógenos sintéticos no esteroideos el dietilestilbestrol (DES) o hexestrol, empleado con cierta frecuencia en algunos países, es criticado severamente su uso en otros por ser genotóxico, no metabolizarse con facilidad y excretarse, en forma de diversos compuestos afines, por las heces fecales.

El empleo de la tiroxina por implantación en la madre (48mg) entre las 4-6 semanas del parto aumenta significativamente el peso del ternero al destete (4% superior). Los compuestos bloqueadores de la actividad tiroidea generan un incremento del peso corporal por reducción del metabolismo basal. La GH es empleada con éxito en bovinos y carneros, no así en las aves; en su efecto estimulador del crecimiento necesita del apoyo de un nivel adecuado de proteínas en la dieta. La GH recombinada incrementa en el cerdo hasta un 20% de la ganancia diaria con un 5 % menos de alimentos ingeridos señalándose que los animales requieren un 20% menos de alimentos para ganar un kg de peso vivo.

❖ OTROS PROMOTORES.

Múltiples compuestos son empleados con mayor o menor éxito como aditivos promotores de crecimiento entre los que se encuentran los aromatizantes que explotan la palatabilidad de los animales incorporándole sabores naturales o artificiales al alimento, los tamponantes o reguladores del pH que controlan el nivel

de acidez gástrica y los pigmentos o colorantes que mejoran el aspecto de la dieta al hacerla más palatable a la vista.

La táctica para la protección de nutrientes del ataque microbiano en el rumen (**nutrientes by-pass**) suele basarse en el tratamiento químico de los alimentos. El tratamiento con taninos o formaldehído modifica la estructura de las proteínas de forma tal que se impide su hidrólisis por los microorganismos al tiempo que garantiza su digestión por la batería enzimática luminal y membranosa intestinal. No obstante, aún persisten dificultades para alcanzar con exactitud el grado apropiado de protección, por lo que la forma más práctica para conseguir que las proteínas atraviesen el saco retículo-ruminal sin degradarse consiste en emplear alimentos a los que los microorganismos “no están acostumbrados” y por lo tanto están inadaptados, como son los alimentos de origen animal (harina de pescado entre otros). La protección de los carbohidratos solubles como el almidón, es aún más difícil aunque el almidón de algunos alimentos como el presente en sub-productos del arroz y en mucho menor grado el maíz, parece escapar con cierta posibilidad a la fermentación en el rumen. Si los rumiantes alimentados de forma intensiva reciben alimentos ricos en energía, suelen serlo en forma de una clase de nutrientes que en condiciones naturales escapa al proceso fermentador y estos son los triglicéridos.