

Resultados sostenibles de la nutrigenómica porcina (Parte II)

FERNANDO R. FEUCHTER A.

Universidad Autónoma Chapingo

Centro Regional Universitario del Noroeste (México)

La mayoría de los consumidores de carne de cerdo son jóvenes que nacieron en 1980, tienen una formación urbana y educación superior, forman parte de las generaciones Y, Z y Alfa. Demandan un producto que provenga de granjas con valores neutros de emisiones de CO₂ atmosféricos y prácticas de manejo zootécnico de bienestar establecidas para minimizar la contaminación e implementando controles de sanidad animal y aislamiento epidemiológico.

Para minimizar enfermedades se debe desinfectar y esterilizar superficies por aspersión de los agentes oxidantes (hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, ácido peracético), compuestos halógenos (eidóforos), aldehídos (formaldehído y variantes), por irradiación luz ultravioleta. Nuevas moléculas desinfectantes β Ciclodextrinas, calix macrocíclico, cinnamaldehído (canela), carvacol, *polyethylenimine*.

Usar y recuperar toda el agua con ahorro, reciclado y cero descargas. Además, existe un laudato de la iglesia católica para reforzar la economía circular y el máximo

aprovechamiento de los recursos, como es la generación de energía calórica y eléctrica por medio de lagunas biodigestoras con los efluentes que producen gas metano para combustible de un motor generador Caterpillar resistente al ácido sulfúrico y otros gases corrosivos. El Papa sugiere reducir la ingesta mundial de cárnicos en la sociedad pudiente de mayor ingesta, no para contraer el mercado de consumo mundial, sino para hacer llegar una mayor oferta de proteína animal de calidad nutritiva a un estrato económico-social en un escalafón inferior. Trabajé en una empresa que exporta cortes finos de cerdo al mercado asiático y desde el matadero se envían a la planta de rendimiento la cabeza, hígado, corazón, riñones y manitas a la planta de rendimiento. Es decir, se tiraba carne a la basura.

Para producir energía, los sedimentos sólidos se asientan en la laguna biodigestora y las aguas sobrantes se pueden usar en labores de limpieza y riego. Existen otras formas de excluir los sólidos de los efluentes líquidos. La NOM 001-W3COL-1996 señala los límites de contaminantes permitidos. Las heces tratadas alcanzan un valor agregado y se separan las aguas que pueden ser recicladas. De esta manera sí es factible postular la producción sostenible de carne de cerdo, acelerando la innovación y aplicando en granja los avances de la investigación. Se han reducido

las emisiones por cada tonelada de cerdo producido. En 2005 era de 2,90 toneladas de CO₂ y en el 2020 solo de 1,75 Ton de CO₂. Se quiere alcanzar la neutralidad para el año 2050 y reducir efluentes a menos de 50 mg de nitrato por litro de excrementos.

Están disponibles en el mercado múltiples aditivos de origen fitobiótico (hierbas, oleorresinas) que apoyan la falta de antibióticos en el alimento balanceado. La silimarina contiene fosfolípidos que reducen la toxicidad de los aflatoxinas (800 metabolitos). Acondicionadores intestinales botánicos que previenen diarreas renovando enterocitos, uniendo las paredes celulares y renovando el epitelio intestinal; moduladores de microbiota; probióticos son cepas vivas de microorganismos (*Lactobacillus rhamnosus*, *E. faecium*,

TABLA 3

Name ¹	Physical form	Mol.wt/GE (MJ/kg)	Dissociation constant (pKa)	CR ²	Odour
1. Formic	Liquid	46.03/5.7	3.75	++(+)	Pungent
2. Acetic	Liquid	60.05/14.6	4.76	+++	Pungent
3. Propionic	Oily liquid	74.08/20.6	4.88	++	Pungent
4. Butyric	Oily liquid	88.12/24.8	4.82	+	Rancid
5. Lactic	Liquid	90.08/15.1	3.86	(+)	Sour milk
6. Sorbic	Solid	112.1/27.85	4.76	(+)	Mildly acrid
7. Fumaric	Solid	116.1/11.5	3.02/4.38	0 to (+)	Odourless
8. Malic	Solid/Liquid	134.1/10.0	3.46/5.10	(+)	Apple
9. Citric	Solid	192.1/10.2	3.1/4.8/6.4	0 to ++	Odourless
10. Ca-formate	Solid	130.1/11.0		0	Neutral
11. Ca-lactate	Solid	308.3/30.0		0	Neutral
12. Ca-propionate	Solid	184.1/40.0		0	Neutral
13. K-diformate	Solid	130.0/11.4		0	Neutral
14. Ca-butyrate	Solid	214.0/48.0		0	Rancid
15. Mg-citrate	Solid	214.4/10.0		0	Neutral
16. Na-lactate	Solid	112.1/15.0		0	Neutral

¹ Monocarboxylic (1-6); dicarboxylic (7-8); tricarboxylic (9); organic salts (10-16);
² CR =corrosiveness rate: high (+++), medium (++), low (+), negligible (0).



Bifidobacterium breve, *B. longum*, *Akkermansia*); postbióticos o productos metabólicos benéficos derivados de los probióticos que mantienen la homeostasis intestinal; prebióticos (fructo-oligosacáridos, galacto-oligosacáridos, manano-oligosacáridos) son fermentados por el microbioma; simbióticos, aceites esenciales, enzimas, inmunoestimulantes, minerales orgánicos con base de aminoácidos (Zn, Cu, Mg, Fe, Co), bufferizantes. En general se busca que el epitelio intestinal del lumen (abertura) sea una barrera fisiológica a las infecciones que causan el síndrome de chorro (diarrea) y la buena consistencia del tejido impide el paso de compuestos dañinos (bacterias y compuestos no digeridos), que pueden activar una cascada inflamatoria en la citoquina NFkB provocando una producción excesiva de varios compuestos con oxígeno (peróxidos) para combatir microbios, pero que también dañan colateralmente a las células intestinales. Ante esta debilidad la *E. coli* se adhiere a las células intestinales para producir toxinas que inducen a la pérdida de agua y electrolitos dando por resultado la manifestación de la diarrea y sus efectos patológicos. El caso clínico se acentúa en presencia de alergénicos del alimento (pasta de soja mal cocida) y antígenos (peptidoglicanos de células o bacterias muertas) provocando más inflamación, porque son un sustrato nutritivo para la proliferación de otras bacterias.

El lechón requiere mantener en el estómago un pH ácido ayudado por butirato sódico protegido que mejora las vellosidades intestinales, su integridad, tamaño y densidad aumentando la capacidad de digestión y absorción de los nutrientes; glutamina, glicanos, creatinina, u otros ácidos orgánicos de cadena corta y sales (tabla 3) con sus propiedades físico-químicas; incluyendo ácido benzoico, antioxidantes de cimenol, flavonoides (polifenoles, proancianidinas). Los mananos son antioxidantes provenientes del cultivo de levaduras que actúan como anti polisacáridos protegiendo contra infecciones intestinales.

Montmorillonita o bentonita es una arcilla de silicatos con propiedades antibacteriales, otras arcillas como zeolita, sepiolite, attapulgite, no son bentonitas, pero pueden ser secuestrantes de micotoxinas.

En general los resultados experimentales en granjas de cerdo no muestran mejoras contundentes en los parámetros productivos, pero 1.378 genes pueden expresar su valor productivo. Las vellosidades del yeyuno son más largas y hay cambios en la estructura del microbioma de la ceca, con muchos beneficios generales en la homeostasis intestinal durante la síntesis de proteína y modulación inmune. La glutamina repara la pared intestinal durante la diarrea y es fuente de energía. La inclusión de betaína favorece la digestión. La cisteamina recubierta de grasa favorece la calidad de la canal y músculo magro. Las dietas con mucha pasta de soja son deficientes de ácido guanidinoacético precursor de la síntesis de arginina-lisina, su suplementación ahorra energía ATP para reducir su síntesis. Lisina y metionina son precursores de carnitina para lograr canales magras, por lo que su suplementación ahorra aminoácidos de alto precio.

Lecitinas para la digestibilidad del alimento. Hay disponibles varias fuentes de enzimas de origen bacteriano y fúngico con actividades digestivas diferentes por cada grupo. El exceso de fibra incrementa el nitrógeno en las heces, pero liberan menos N en forma de gas y se formaron ácidos grasos volátiles con mejor estabilidad y masa de la microbiota intestinal que reduce la emisión de gases con efecto invernadero. La fibra y oligosacáridos estimulan la liberación de una hormona del crecimiento somatotropina. El incluir somatotropina recombinante en la dieta de finalizado deprime el consumo diario, pero aumenta la ganancia de tejido magro y en esta situación un exceso de lisina es contraproducente a la producción. Hay polímeros de tres o más carbohidratos en la fibra (salvado, cascarillas, pajas), que no son digestibles ni >

➤ absorbidos en el tracto digestivo, que acumulan peso en el estómago y bajan el conteo de *E. coli* en el intestino, reducen la diarrea durante el destete y podrían mejorar la producción. Las fibras solubles (cascarilla de soja, pulpa de remolacha agregada hasta 18%, inulina) reducen el crecimiento diario con menos energía y proteína digerida, pero baja la mortalidad. Los lechones pequeños tienen preferencia por el arroz blanco, la avena extruida y la pasta de soja. Evitan los cereales molidos de avena, trigo, maíz, sorgo, cebada y los sobrantes de panadería. De las proteínas prefieren harina de pescado, soja 45%, leche descremada y lupinus albus. No quieren proteína de patata, canola, gluten de trigo, girasol y el concentrado de soja. Prefieren alimentos comprimidos sobre los molidos en polvo. Al incluir pasta de canola en la dieta se debe suplementar con 1000 µg/kg de yodo para contrarrestar cualquier efecto negativo de los glucosinatos. El yodo no mejora los parámetros productivos, pero es un excelente antioxidante y muy económico.

La microbiota produce 578 metabolitos. Los aditivos estimbióticos no digeribles, adaptados a la microflora del sistema digestivo, fermentan xilo-oligosacáridos que ayudan a la fermentación natural de la fibra presente en la dieta produciendo ácidos grasos volátiles e incrementando la digestibilidad de algunas proteínas. Los polisacáridos no amiláceos no estructurales como la pulpa de remolacha, o la cascarilla del grano de soja estimulan las bacterias intestinales para producir ácidos grasos volátiles, bajando la urea en la orina y el pH intestinal, con menos nitrógeno excretado en el ambiente. Hay moléculas de almidón resistentes al proceso de digestión en el estómago que modulan la composición del microbioma en colon y ceca estimulando la expresión del transportador monocarboxilado *SLC16A1* y glucagón GCG, para producir ácidos grasos de cadena corta. La

inclusión de lipofosfolípidos (lipidol, lisofosfolidil colina) y enzimas exógenas causan que la membrana del intestino permita el paso de energía, por una acción detergente que causa más permeabilidad; la harina de trigo se hace más viscosa y digerible. Con salvado de trigo se detectan transportadores catiónicos de AA y miosina. Al agregar Daizeína (isoflavones) o lisoletinas con capacidad antioxidante presente en las leguminosas, estas actúan como fitoestrógenos causando mayor ganancia de peso, elevando la insulina, testosterona y superóxido dismutasa. El extracto de semillas de la fruta de *Dimocarpus longan Lour*, se pueden incluir en 20% de la dieta ya que contiene polifenoles (carilagin, gallic, glicósidos flavonoides, ellagitánicos). Agregando polifenoles en la dieta se estimula la expresión de los genes del desarrollo muscular, metabolismo de lípidos, incrementando la inmunidad. La pasta de *Camelina sativa* activa los genes hepáticos y los extractos de *Lupinus angustifolius* tienen también beneficios. En Dinamarca se exprimen los forrajes verdes para extraer su jugo y se deshidrata el líquido para sustituir la pasta de soja. Los aceites esenciales carvacol, thymol y otras 40 especias más (azafrán, vainilla Xanat), incluir eubióticos, plantas aromáticas con factores nutricionales que estimulan secreciones digestivas, reducen la acción de patógenos digestivos. Los terpenos mejoran 10% la ganancia de peso y el 3% la conversión alimenticia. Incluir 10 ppm de Astaxantina un terpeno-carotenoide que combate la oxidación celular como antioxidante ampliamente usado en la acuicultura, con beneficios en avicultura, pero todavía experimental en cerdos, mejoró el color de la carne y redujo la grasa dorsal, pero no se obtuvieron incrementos de peso adicionales, www.researchgate.com. Si en la dieta de gestación se agrega 1,6% de inulina 90 días se acorta el tiempo del proceso o la labor de parto y se obtiene más leche para alcanzar un

destete más pesado. Altos niveles de vitaminas A,B,C,D,E en la dieta actúan como promotores del crecimiento. Para emular los beneficios metabólicos del RAC se usa aceite de coco y girasol. Se requiere la consulta de expertos para incluir somatotropina en la dieta, si se desea exportar. Hay mercados que restringen su uso. Es un momento épico para regular matemáticamente, con un balance neutral, los contaminantes CHON en la atmósfera y suelo, reducir la huella ecológica del sector porcino e incluso revirtiendo los

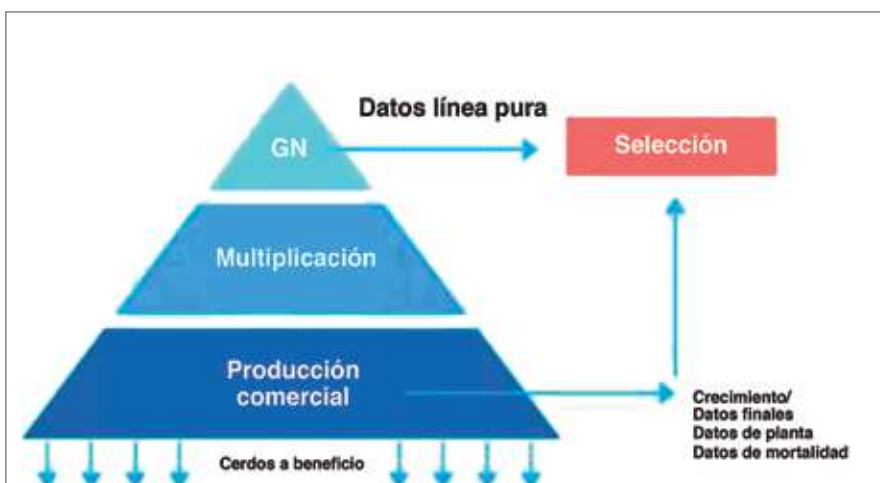


FIGURA 5 Objetivos de selección genética para reproductoras.

TABLA 4 Avances en la producción y productividad.

INDICADOR	1980	2022
Tasa de parición %	83	85-95
Lechones nacidos totales	10	15-17
Lechones vivos por camada	9	13-15
Mortalidad de lechones %	10	3-16
Destetados por hembra	8	11-13
Partos/Hembra/Año	2	2.5
Destetados/Hembra/Año	16	36
Mortalidad de las hembras %	2	2-15
Edad al destete	28	21
Peso al destete kg	5	7
Peso de venta	95	130
Conversión global	3.5	2.6

saldos negativos mediante el aprovechamiento de energías voltaicas y eólicas.

FUTURO DE LA NUTRIGENÓMICA PORCINA SOSTENIBLE

La nutrigenómica es el estudio de la expresión de los genes y caminos metabólicos dependientes de los alimentos y nutrientes. La epigenética es el estudio de los cambios heredables en la expresión de los genes que no implican cambio en su ADN. Ambos estudios enfocan la programación fetal con la nutrición y manejo preparto. Los alimentos y sustancias químicas naturales pueden regular genes y encender o limitar su expresión metabólica, factores de transcripción y funciones metabólicas que van a unirse a receptores del núcleo celular desde el intestino o músculos, metabolitos precursores o producción de proteína. Hay 500 genes relacionados con la miogénesis, metabolismo de la energía, estructura muscular, otros cDNA presentes. Hay una variación de 0.01% del polimorfismo en cerdos que expresa diversidad de expresión de los individuos. A mayor entendimiento de las múltiples reacciones bioquímicas se podrá mejorar la producción, crecimiento animal y calidad de la carne.

La nutrigenómica porcina sostenible para los núcleos reproductores lleva un avance de 10 años, pero los verdaderos valores acumulados para el pie de cría estarán presentes en el año 2030. Alcanzar el mejoramiento genético debe esperarse hasta el 2050 con líneas resilientes a enfermedades, reducción de agua potable, cambio climático desfavorable, mejorar eficiencia en nutrientes ya que el 18% de la energía se va en las heces, otro 3% en la orina, generar calor corporal 20%, hay muy poco alimento para producción. Los genes que ocupan la posición CD163 son clave para detectar genotipos resistentes a enfermedades virales e inmunidad a PRRS *lows Wur* del cromosoma 4. Se busca una genética con población robusta y resiliente, marcadores genéticos de resistencia a bacterias gen FUT1 para *E. coli F18*, caracterización genética de 38 fenotipos de inmunidad (innata y adaptativa), parámetros hematológicos y de estrés (agudo

y crónico). Los problemas van a seguir existiendo, pero muchos avances productivos se han de lograr.

Las cerdas altamente hiperprolíficas son más grandes con mayor musculatura, con talla larga, más glándulas mamarias y número de tetas que reciben un gran desafío durante la lactación al tener más de 14 lechones, son magras en su capa dorsal, presentan una constitución ósea más fuerte. Tienen mayor capacidad abdominal para la ingesta de alimentos. Hay que hacer adecuaciones nutricionales para esta genética, como en el rediseño de infraestructura de corrales o alojamientos, nuevos equipos e instalación de registros con monitoreo electrónico, todo un manejo en la porcicultura de precisión. Ello implica nuevo personal profesional y capacitación constantes, para alcanzar el cambio tecnológico.

Los objetivos de selección genética para las madres reproductoras: Eficiencia para finalizar la engorda 34%, habilidad materna 24%, tamaño de camada 20%, longevidad de la hembra 8% resiliencia 8%, calidad de la carne 3%, valor de la canal 3%.

La industria porcina no necesita más lechones nacidos, sino incrementar el peso al destete, mejorar parámetros económicos de ganancia diaria de peso, conversión y eficiencias alimenticia, y menos mortalidad. La mortalidad en destete en 2018 era de 3,47% y alcanza en 2021 4,41%. Ejemplo: Una granja con 28 lechones nacidos vivos por hembra por año con 5% de mortalidad hasta el destete, comparado con un sistema de producción que alcanza 30 lechones nacidos vivos por hembra/año, pero con 10% de mortalidad, destetan los mismos lechones. Hoy por hoy, los enfoques de selección genética se dirigen a la producción de leche de la cerda cambiando su morfología y fenotipo y no ejemplares de exposición. Un ejemplo exagerado sería si una hembra tiene dos lechones al parto, hembra y macho, con alto peso al nacer, con formación corporal perfecta, aplomos, número de tetas, obtienen dos pezones cada uno para lactar y alcanzan el máximo peso al destete. Estos ejemplares no son seleccionados para el pie de cría porque el total del peso de la camada al destete es bajo. Como individuos >

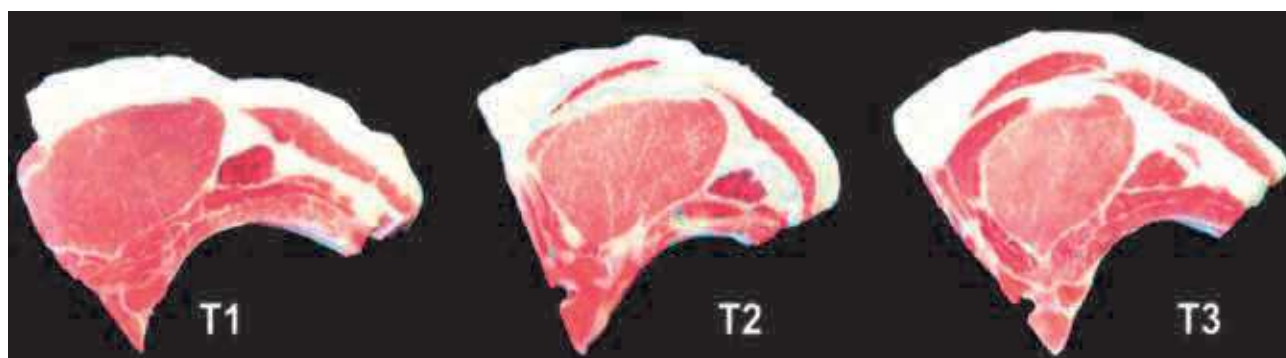


FIGURA 6 Calidad de la carne con dietas bajas en lisina e incluyendo *Perilla frutescens*.

➤ son buenos para competir en una exhibición de feria, no como candidatos a reemplazo reproductor. Su madre se saca del núcleo reproductor por bajo desempeño.

Otra camada con 18 lechones nacidos vivos de menor peso y desteta 16 lechones. Un tercio de los lechones de la camada sin ser ejemplares magníficos, pueden ser seleccionados como reemplazos y su madre se queda en el núcleo reproductor. El resto de los animales pasa al engorde.

El INIFAP de México registra 30 lechones destetados por hembra por año. Las cerdas alcanzan una esperanza de vida produciendo 70 cerdos al matadero. Las granjas con más alta tecnología, el 54% de su pie de cría logra más de 14 lechones destetados al parto y, en este grupo, tan solo el 10% obtiene más de 16 lechones.

La nutrigenómica no altera el DNA o modifica los genes, busca selectivamente encender o apagar la actividad de genes, ello ha permitido que los sementales terminales de la raza Duroc logren avances genéticos en cuatro años para reducir severamente la grasa dorsal y, al mismo tiempo, superar los valores de marmoleo muscular. Un grupo de investigadores de Tailandia mejoraron la calidad de la canal con dietas bajas en lisina incluyendo semillas de *Perilla frutescens*. Foto mdpi-res (Figura 6).

Las mejores razas para marmoleo de cortes son representadas por la Landrace italiana, Vasca o Ibérico, Wujin, Mangalista, Meishan, Gascon, Kurobuta, Jeju black,

Una alimentación pobre de la cerda en el último tercio de la gestación causa en el recién nacido un incremento de glicoproteína intestinal favoreciendo las poblaciones de *E. coli* e incluso otras bacterias dañinas.

Usando salvado en la dieta se puede conocer el contenido de betaína y creatinina en la sangre y darle seguimiento a su eliminación del plasma para valorar la calidad de la dieta. La metionina en la dieta de gestación participa en la calidad e implantación del ovocito y su crecimiento y desarrollo fetal hasta el peso al nacer, mejorando el tejido del útero con más depósito de proteína y flujo sanguíneo. Otros donadores de metilo como ácido fólico,

colina, vitamina B6 y 12 reaccionan en el proceso. La suplementación de estas vitaminas y niacina, para evitar la síntesis de triptófano (que es muy caro) en niacina, incrementan los niveles de homocisteína en el plasma del embrión, fortaleciendo la competencia inmune. Estos lechones al nacer tienen un crecimiento rápido y generan metabolitos intermedios y potencialmente dañinos a la salud si quedan libres, por lo que necesitan ser eliminados por medio de suplementos vitamínicos contenidos en las especificaciones del requerimiento nutricional tradicional. La suplementación con vitamina A, D y cobre en la dieta de las cerdas gestantes incrementa el peso al nacer. Un nivel bajo de homocisteína en el suero sanguíneo incrementa los linfocitos en señal de alarma. El cerdo de 6 semanas convierte rápidamente el triptófano en nicotinamida si la dieta es baja en vitamina B3 y B6. Excepto en la raza Pietrain, que tiene esta reacción más lenta que la raza Duroc y por ello logra más depósito muscular del triptófano. Los Duroc presentan más carnosina (β Alanina+LHistidina) y se puede suplementar extra.

No es conveniente incrementar los niveles de proteína de la dieta ya que provoca un incremento de la temperatura rectal, doblemente inconveniente en días calurosos. Fortificando con aminoácidos artificiales se atenúa la presencia de *Salmonella*. Con una dieta de destete con 23% de proteína y sin antibióticos el cerdo es altamente susceptible a diarreas, por lo que hay que ajustar a 16% con suplemento de AA sintéticos e incluir enzimas fosfatasa-fitasa u otras alcalinas. Las estrategias www.pig333.com señalan que la dieta con alta proteína causan metabolitos tóxicos en el lumen (amonio, H₂S, aminos). Bajar la proteína a 17% pasada una semana al destete minimiza la fermentación de la proteína y reduce diarreas. Una dieta de 13,5% CP, con ingredientes altamente digestibles para cerditos de 10-20 Kg de peso, cumpliendo con los requerimientos nutricionales de aminoácidos incluyendo AA sintéticos, avanza bien. Dietas altas en proteína reducen la expresión del acetil carboxidasa CoA y baja la expresión del transportador de carboxilo. Una

dieta de 14,5% PC altera el metabolismo del consumo de energía muscular ayudando al marmoleo, causando menor síntesis en las cadenas de proteína. Con poca proteína se mejora la eficiencia de los transportadores de aminoácidos en el músculo esquelético y la digestibilidad de la proteína total. Los genes que codifican proteínas *elF2B1*, *elF4e* son activados principalmente por leucina y arginina. Los antibióticos también actúan en incrementar la expresión de genes transportadores de aminoácidos (*CAT1*, *EAAC1*, *ASCT2*, *LAT1*) y de péptidos *Pept1* en el intestino delgado. La suplementación con aminoácidos sintéticos estimula genes transportadores +AT y b0 en duodeno, y en el ileum el gen *BOAT1*.

Subir el nivel del carbonato de calcio CaCO_3 por su capacidad buferizante en apoyo al estrés calórico, se sube el Ph del estómago, cuando se necesita que el ambiente sea ácido. Causa que baja la digestibilidad de la proteína y baja la actividad o acción soluble de la fitasa. Baja el consumo de alimento, menor utilización del *Zn* y *P*, se pueden presentar piedras en riñón, baja la tasa de crecimiento aún más si hay deficiencia de fósforo o rango alto de *Ca:P*.

El sulfato de cobre y el óxido de zinc son suplementos minerales que se incluyen en la dieta por arriba de los requerimientos nutricionales a nivel terapéutico para lograr un efecto antimicrobiano, modulando positivamente la microbiota intestinal con mejoras en el incremento de peso diario y reducen drásticamente el uso de antibióticos en la dieta como promotores del crecimiento. Sin embargo, el 90% del excedente mineral es excretado en las heces, por lo que países importadores de carne exigen regular estas cantidades. El sulfato de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ de la dieta pasa a través del estómago como ion cuproso Cu^+ llegando reducido al intestino en forma iónica Cu^{++} donde puede ser

absorbido por la membrana de los enterocitos y, en presencia de bacterias, ocasionan una inhibición en la liberación de la enzima hidrolasa producida en la bilis. La bilis utiliza 0,01% del cobre suplementado y el hígado solo acumula 1%, así que el 83% del *Cu* se excreta en los excrementos y el resto por la orina.

El óxido de zinc ZnO ayuda a los lechones destetados en un momento de baja inmunidad inhibiendo poblaciones de *Escherinchia coli* y *Lactobacillus spp* que pueden provocar diarreas. Pasando de la dieta al estómago se disocia en ZnO^{++} causando estrés oxidativo a las membranas de las bacterias, lo que minimiza sus poblaciones de ataque fisiológico. La falta de niveles terapéuticos de *Cu* y *Zn* en la dieta obligan a buscar alternativas como reducir los niveles de proteína, incrementar las cantidades de aminoácidos artificiales, no alterar el balance de la microbiota del sistema digestivo, mantener la integridad de la mucosa intestinal y sus funciones inmunes. Las formas orgánicas de zinc no sustituyen a las acciones antimicrobianas de los minerales. Si bien el glucinato de zinc reduce pérdidas de la canal fría, minimizando el estrés oxidativo de la carne, mejora la fertilidad de las hembras y se obtienen menos lechones de bajo peso al nacer.

Si la dieta contiene micotoxinas es conveniente incluir metabisulfito de sodio para secuestrar toxinas. Los aceites poliinsaturados pueden afectar el sabor de la carne. Incluir 1000 mg/kg de magnesio en el alimento previene la exudación PSE de la canal.

Para cerdos en crecimiento se han determinado cinco fases para valorar los niveles de lisina acordes al nivel de consumo por edad o peso. La Universidad de Kansas ha puesto para su consulta libre el *Swine Lysine Calculator*. La figura 7 muestra la lisina digestible ileal.

Agregar L Carnitina un AA que regula la homeostasis de la

energía por medio del acetyl CoA en el citosol y mitocondria en la dieta encadena una transcripción en la carne, mejorando la masa muscular y estructura ósea al estimularse señales de IGF-1 que inhiben la expresión de 211 genes y otros que están apagados, inhibidos, silenciados o atrofiados proapoptótico. Incrementa las miofibras musculares y miosina. En hembras L Carnitina logra más lechones vivos al nacer, no incrementa el peso individual del lechón al parto, pero si el peso total de la camada. Los estudios de transcripción con glutamina 76 en el intestino, un aminoácido esencial en la división celular, intervienen en la síntesis de purina, pirimidina >

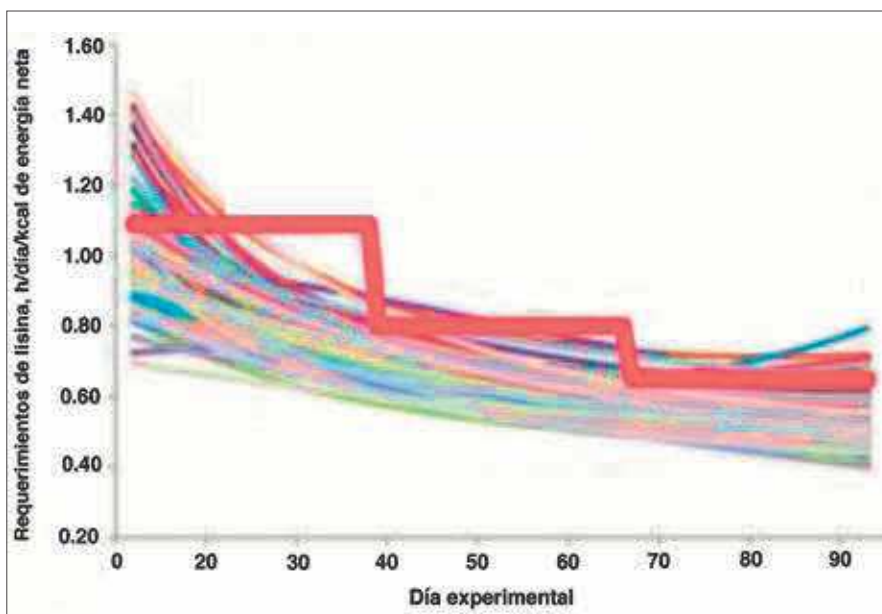


FIGURA 7 Lisina digestible ileal.

► y síntesis de arginina. Tienen una respuesta positiva en los mecanismos moleculares y expresión de genes en crecimiento y desarrollo del sistema digestivo de lechones, removiendo los oxidantes, pero minimizando los genes que activan la inmunidad. La suplementación de 0.8% de L Arginina desde el inicio de la dieta de gestación fortalece la circulación sanguínea, el crecimiento placentario, desarrollo fetal embrionario por la vasculogénesis y angiogénesis; favoreciendo la sobrevivencia de embriones, que resultan en más lechones nacidos vivos, de mayor peso al nacer y alcanzan mejor crecimiento al destete. Afecta la expresión placentaria de 575 genes, de los cuales 146 son activados y 429 genes son regulados a una menor actividad. La expresión diferenciada de genes influye en el metabolismo de los nutrientes, producción de poliaminas, síntesis de proteína,

protéolisis, angiogénesis, desarrollo inmune, respuestas antioxidativas, promueve una fuerza adhesiva entre la membrana corioalantoidea y el epitelio endometrial, como funciones de insulina, transformación del factor del crecimiento β y la ruta de señalización Notch controlando los destinos celulares. La glutamina ayuda a prevenir la disfunción y atrofia intestinal al cambiar de lactancia a comida sólida o grumos. Una dieta con menos de 30% de treonina señala que la transcripción en el íleo alteró

la expresión de 320 genes involucrados en las defensas, inmunidad, síntesis de proteína, metabolismo de energía. Se incrementó la permeabilidad celular y la absorción de la glucosa, afectando la integridad intestinal.

Para las marranas se busca un crecimiento fetal (arginina, ácido fólico, betaína, vitamina B12, carnitina, zinc, cromo). El suplemento de cromo no ha funcionado, debe estar como nutriente natural de los insumos de la dieta. Para formarse el calostro se presenta una gran demanda de proteína en la hembra para poder formar 450 compuestos que constituyen el calostro. Para incrementar el volumen de calostro y mayor producción de leche (DLMetionina, ácido DL-2-hidroxi-4-metiliobutanoico, arginina, L Carnitina, triptófano, valina, vitamina E, fitogénicos 77 activos. Para modular en la marrana su estado oxidativo e inflamatorio (ácidos grasos poliinsaturados, vitamina E, selenio, fitogénicos activos, plasma seco).

Después de la monta, a los 12-25 días se puede reducir la mortalidad embrionaria y fallas en la implantación. En los

35-75 días ocurren pérdidas ya que la placenta necesita desarrollarse para sostener la capacidad de oxigenación sanguínea y demandas nutritivas de los embriones. En el primer 1/3 de la gestación existe necesidad de aminoácidos arginina, leucina, glicina en el lumen del útero alrededor del proceso de implantación para activar funciones celulares del ambiente intrauterino. Durante la implantación hay un proceso inflamatorio histotrófico con altas intervenciones de citoquinas, limphokinas, hormonas, enzimas y factores de crecimiento considerados de riesgo por la gran actividad de la mucosa intrauterina. Por tanto, la aportación de nutrientes, compuestos que ayuden a bajar el proceso inflamatorio y estrés oxidativo son ideales para disminuir la reabsorción embrionaria temprana. A los 2/3 del final de la gestación se observan carencias de

aminoácidos no esenciales en el ciclo de Krebs y ciclo de la urea con las vías metabólicas de arginina y glutamina. El máximo crecimiento de tejido y funciones de la placenta se incrementan para proveer sustratos y nutrientes que regulen la expresión genética, síntesis de proteína, angiogénesis. Para una camada numerosa y crecimiento fetal se incrementa el nivel de cromo (insumos con cromo, no suplemento), agregar suplemento de L Carnitina y ácidos grasos omega, lisina y L Arginina. Además, muchos



aminoácidos ramificados al final de la gestación deben estar incrementados en las diferentes dietas de cambio o transición para reducir la acción catabólica del momento fisiológico. De esta manera los alimentos con capacidad vaso dilatadora en la dieta de las marranas, pueden aumentar la capacidad de transferir nutrientes al embrión a través del útero y cordón umbilical que mejoran la vascularización de la placenta. A mayor crecimiento placentario se obtiene un feto más nutrido. El crecimiento fetal se acentúa después de los 77 días de gestación y se incrementa en la dieta de la marrana mayor cantidad de aminoácidos para que las células tropoplásticas *mTOR* retomen la señal de los aminoácidos hacia los fetos. Una dieta de gestación baja en proteína 6.5%PC causa que muchos fetos desarrollen deficiencias intrauterinas por un pobre metabolismo de las lipoproteínas. Una dieta baja en energía solo afecta la condición corporal de la hembra y no del feto. Subir el consumo de alimento 20% al final de la gestación ayuda a que la madre suba de peso, pero no hay

efecto positivo en los fetos. Incrementar abruptamente el alimento una semana antes del parto se disparan los aminoácidos y energía consumida causando un sobre peso de la hembra, sin efecto positivo en los lechones. Una marrana con exceso de grasa corporal se le dificulta el proceso de parto, genera resistencia a la insulina, causa desbalance metabólico para la siguiente lactación. Se conoce bien en la práctica, pero se siguen presentando cerdas gordas al parto.

Es importante enlazar la genética con la nutrición, ambas deben trabajar simultáneamente y juntos. <https://research.wur.nl>

Al incluir vitamina E y selenio en la ración se inhibe la transcripción de genes que causan la fosforilación oxidativa indicando que el oxígeno liberado es enlazado. Bajas dosis de vitamina A en el alimento mejoran la calidad de la carne. La función normal de la hormona de la tiroides es transcrita por el selenio. Los leucocitos modulan el perfil de los genes del sistema inmune, células neurales haciendo cambios fisiológicos. Incluir selenio en la dieta para marranas en lactación permite que el lechón absorba mejor el calostro. Ofrecer el consumo de selenio al largo plazo mejora el sistema inmune innato ya adquirido.

Los animales pueden ser inoculados al incluir en la dieta cepas de *Kazachstania slooffiae* un hongo benéfico de las excretas para controlar *Enterococcus* y otras bacterias dañinas. Por medio de tecnología genómica se están estudiando más de 200.000 enzimas de interés comercial cultivando hongos, bacteriófagos, levaduras para aislar esas proteínas antibacteriales, proteolíticas, oxidativas e hidrolizantes. Cepas de *Lactobacillus* y *Prevotella* producen aminoácidos que mejoran el crecimiento del lechón. Hay hospederos virus naturales protectores que reducen infecciones y regulan el sistema inmune del animal. Estas líneas de investigación son como las levaduras del futuro.

CONCLUSIÓN

Los avances de la investigación del pasado al futuro aplicada en el campo apoya la producción rentable de forma segura, aplicando tecnología de precisión, para obtener una mayor cantidad de proteína animal y derivados de la carne del cerdo, criando animales con el mejor manejo zootécnico, nutrición y cuidados propios del bienestar animal, utilizando eficientemente y con menor impacto ambiental los recursos naturales de manera sostenible, para alimentar sanamente a la población mundial existente y futuros habitantes en generaciones venideras. ■

BIBLIOGRAFÍA

- <https://www.extension.iastate.edu/news/new-pork-industry-sustainability-tool-and-fact-sheet-available> The wean to finish pork sustainability calculator del Iowa Pork Industry Center
- <https://www.nature.com/articles/nature11622>

- https://www.pic.com/wp-content/uploads/sites/3/2021/03/PIC-Nutrition-Manual_English-Imperial.pdf
- <https://bmcbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7007-10-90>
- <https://cabiagbio.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43170-022-00111-9>
- <https://www.pigprogress.net/webinar-accelerate-your-piglet-vision/>
- Feuchter A.F.R. 2022 Creep feeding lactating piglets.
- Feuchter A.F.R. 2022 Nueva porcicultura sostenible.
- Feuchter A.F.R. 2022 Avances del siglo XXI en la nutrición porcina
- Feuchter A.F.R. 2005 Producción de cerdos de vida sana, sin antibióticos y transgénicos. https://www.amvec.com/memories/memorias/2005/2005_017.pdf
- Feuchter A.F.R. 2018 <https://www.porcicultura.com/destacado/Los-avances-de-la-investigacion%252C-del-pasado-al-futuro>. <https://bmeditores.mx/porcicultura/asistencia-del-parto-suministro-de-calostro-al-lechon-iii/>
- https://mdpi-res.com/d_attachment/foods/foods-11-00907/article_deploy/foods-11-00907-v3.pdf?version=1649417779
- https://www.researchgate.net/profile/Michael-Tokach/publication/38419956_Effects_of_dietary_astaxanthin_on_the_growth_performance_and_carcass_characteristics_of_finishing_pigs/links/00b7d531bfd8e8de93000000/Effects-of-dietary-astaxanthin-on-the-growth-performance-and-carcass-characteristics-of-finishing-pigs.pdf?origin=publication_detail
- INIFAP <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5866>
- https://www.pig333.com/articles/feeding-strategies-for-excellence-at-weaning-piglet-feeding_15654/
- <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/nutricion-desarrollo-nuevos-alimentos-t48418.htm>
- <https://research.wur.nl/en/publications/improving-feed-efficiency-in-pigs-bridging-genetics-and-nutrition>
- <https://www.porcicultura.com/destacado/Los-avances-de-la-investigacion%252C-del-pasado-al-futuro>
- https://www.amvec.com/memories/memorias/2005/2005_017.pdf
- <https://fdocumento.com/document/formatted-produccion-de-cerdos-de-vida-el-uso-de-contenedores-y-la-programacion.html?page=3>
- <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612660005>
- <https://studylib.es/doc/7223487/descargar-completo-el-ejemplar-de-octubre-2006>
- <https://www.gob.mx/aserca/documentos/revista-claridades-agropecuarias>
- Feuchter A.F.R. 2018 Diagnóstico sonorensis y nacional ganadero. <https://online.pubhtml5.com/lgdk/gvfv/#p=15> página 12-18 # 282
- Feuchter A.F.R. <https://online.pubhtml5.com/lgdk/tixa/#p=30> página 29.43 #286