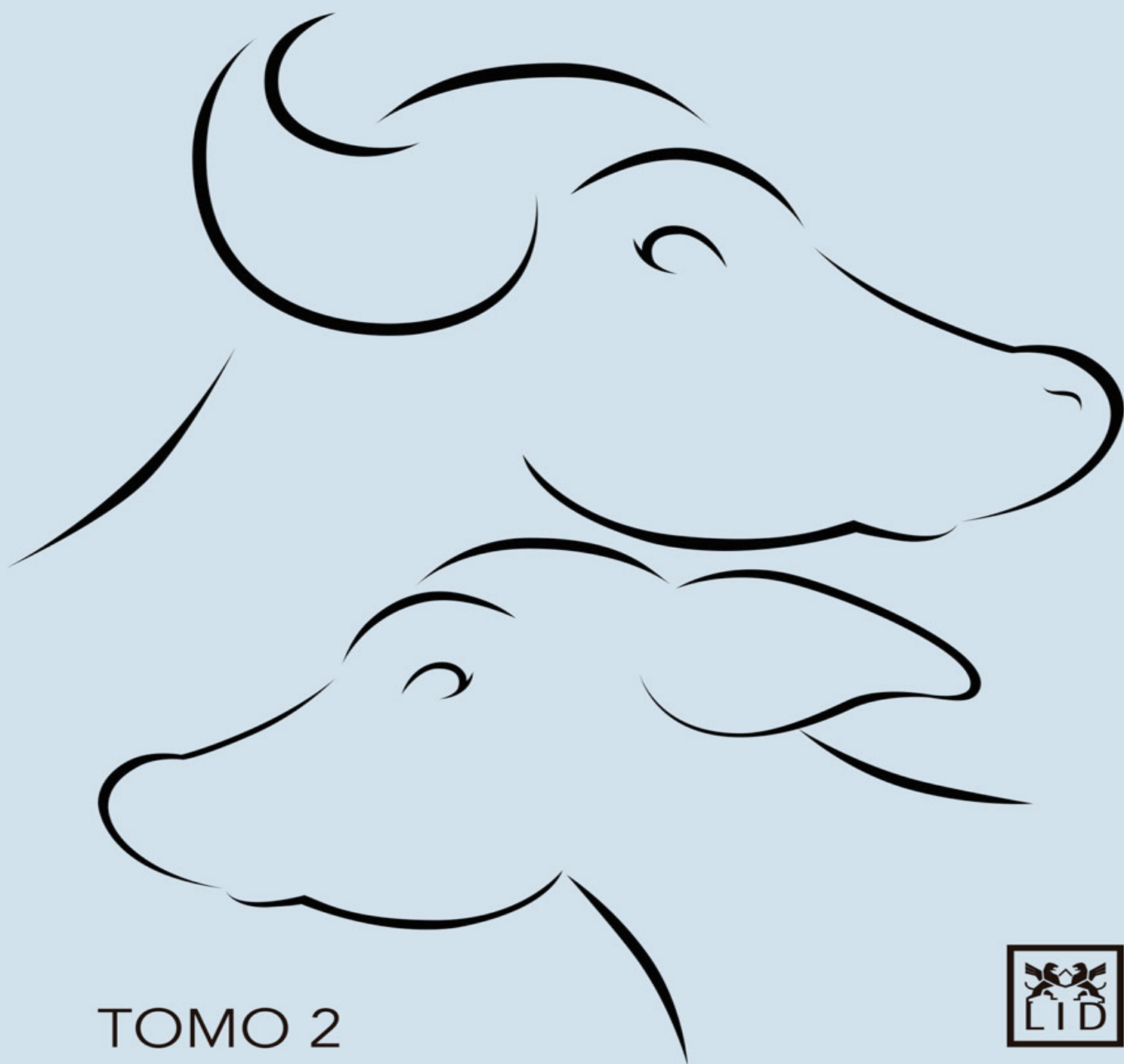


EL BÚFALO DE AGUA

Generalidades y características productivas



TOMO 2



#BúfalodeAgua

El búfalo de agua es una especie que ayuda a la producción pecuaria sustentable.

Eduardo Maitret Guichard
México

El búfalo es búfalo, merece y debe ser tratado e identificado como tal, por lo tanto, no debe compararse con otras especies.

Dr. Jorge André Mendes
Brasil

Cuando se muera por sequía o inundación el último vacuno, recién comenzará a morir el primer búfalo.

Dr. Exequiel Maria Patiño
Argentina

Brinda amistad, alimento, progreso, riqueza, amigos, ¿qué más se le puede pedir al búfalo?

Dr. Marco Zava
Argentina

El búfalo es la especie más noble, rústica y productiva para carne y leche saludables.

MVZ Efrain Chacon Condori

PIRELLA GÖTTSCHE LOWE

Bolivia

El búfalo de agua en América es como conducir un Ferrari último modelo en camino de terracería. Debemos buscar mejores vías para sus productos y así saber lo buenos que son.

Angelo Pluchino
Venezuela



EL BÚFALO DE AGUA

Generalidades y características productivas

TOMO 2



MADRID | CIUDAD DE MÉXICO | LONDRES
NUEVA YORK | BUENOS AIRES
BOGOTÁ | SHANGHÁI | NUEVA DELHI

Índice

Prólogo

SECCIÓN 4. Mejoramiento genético, zootecnia

1. Mejoramiento genético en el búfalo de agua

Introducción

De Mendel a la genómica

Valor fenotípico

Mejoramiento genético animal (MGA) y
evaluaciones genéticas

Parámetros genéticos en búfalos

Conclusiones

Referencias

2. Requerimientos nutricionales del búfalo de agua

Introducción

Consumo de materia seca (CMS)

Consumo de agua

Requerimientos de energía

Requerimientos de energía para el mantenimiento

Requerimientos de energía para la producción

Requerimientos de energía para la producción de carne

Requerimientos de trabajo

Requerimientos de proteína

Requerimientos de proteína para el mantenimiento

Requerimientos de proteína para la producción de leche

Requerimientos para la ganancia de peso

Requerimientos de minerales

Requerimiento de vitaminas

Conclusiones

Referencias

3. Calostro en el neonato y manejo de la alimentación de bucerros en desarrollo

Introducción

Importancia del calostro y alimentación en los bucerros

Nutrientes e inmunoglobulinas en el calostro

Manejo del calostro en los neonatos bubalinos

Falla de la transferencia de inmunidad pasiva en el bucerro

Sistemas de crianza y comportamiento productivo de bucerros

Comportamiento productivo posdestete

Conclusiones

Referencias

4. Manejo de pastizales y rotación de potreros para la crianza del búfalo de agua

Introducción

El pastoreo rotacional

Beneficios de la rotación de potreros

Los búfalos y los vacunos son diferentes

Comparación entre la digestión de los búfalos y los vacunos

Consumo voluntario de forrajes

Digestibilidad de los nutrientes

Metabolitos ruminales

Ecología microbiana del rumen

Balance de nitrógeno y eficiencia en el uso de la proteína

El manejo integral de los pastos y los forrajes en la producción de búfalos

Sobre los microorganismos del rumen

Sobre los requerimientos de nutrientes

Sobre la composición química de los forrajes

Sobre las necesidades de suplementación y la planeación forrajera

Factores que afectan y condicionan la producción de forrajes

Conclusiones

Referencias

5. Manejo zootécnico y buenas prácticas en la actividad bufalina

Introducción

Condición corporal

Maternidad

Búfalas en ordeño

Búfalas paridas sueltas (gestantes)

Búfalas paridas (vacías)

Búfalas gestantes

Búfalas vacías

Hembras de levante

Machos de levante y cebo

Bubillas de vientre

Bubillos para pie de cría

Búfalos como sementales

Conclusiones

Referencias

SECCIÓN 5. Reproducción en el búfalo de agua

1. Sincronización de la ovulación e inseminación en búfalas de agua

Introducción

Fisiología del ciclo estral en búfalas

Inseminación a celo natural

Sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo

Protocolos a base de progesterona

Resincronización

El factor humano como determinante del éxito de la inseminación

Monodosis farmacológicas para mejorar la eficiencia reproductiva

Nuestra experiencia en programas de control reproductivo

Conclusiones

Referencias

2. Evaluación y manejo reproductivo del búfalo doméstico

Introducción

Crecimiento, pubertad y madurez sexual

La importancia de la nutrición en el control endocrino de la reproducción en búfalos

Peso corporal, circunferencia escrotal y desarrollo testicular

Prácticas de alojamiento y alimentación en el crecimiento y desarrollo sexual de los búfalos machos

Examen de aptitud reproductiva (EAR) en búfalos

Selección y adiestramiento de búfalos machos para la recolección de semen

Bases de selección y mejora de la productividad del búfalo

Importancia de la selección de padres y madres de élite para el mejoramiento genético

Alojamiento

Alimentación

Manejo

Área de recolección de semen

Evaluación del semen

Trastornos reproductivos en búfalos

Conclusiones

Referencias

3. Aplicaciones de la reproducción asistida a la producción bubalina: transferencia de embriones y clonación

Introducción

Aspectos fundamentales de la producción de embriones

Embriones in vivo

Embriones in vitro

Nuevas estrategias para la aplicación de la biotecnología

Efecto de las unidades de producción sobre los resultados del programa de embriones

Clonación

Conclusiones

Referencias

SECCIÓN 6. Salud en el hato

1. Sanidad en el búfalo de agua

Introducción

Condiciones biológicas del búfalo de agua y
resistencia a enfermedades

Enfermedades hemotrópicas

Enfermedades neonatales

Enfermedades reproductivas

Enfermedades infecciosas crónicas

Enfermedades infecciosas agudas

Enfermedades de la glándula mamaria

Enfermedades parasitarias

Malformaciones congénitas

Conclusiones

Referencias

2. Principales infecciones entéricas en los bucerros

Introducción

Patógenos

Manejo clínico

Conclusiones

Referencias

SECCIÓN 7. Manejo *ante mortem* del búfalo de agua

1. Manejo *ante mortem* del búfalo de agua

Introducción

Manejo

Interacción humano-animal

Embarque y desembarque

Densidad de carga y espacio disponible

Transporte

Mercados, ferias y subastas de ganado

Condiciones y tiempo de espera en el
establecimiento de sacrificio

Hematomas en las canales bubalinas a causa del
manejo *ante mortem*

Conclusiones

Referencias

2. Aturdimiento y sacrificio del búfalo de agua

Introducción

Conducción y sujeción al cajón de aturdimiento

Fisiopatología del aturdimiento mecánico

Aturdimiento eléctrico

Factores a considerar durante el aturdimiento mecánico

Indicadores de sensibilidad e insensibilidad posaturdimiento

Sistemas de auditoría para monitorear el manejo

Conclusiones

Referencias

Semblanzas de los autores

Semblanzas del Comité Editorial

Página legal

Editores

Publicidad LID Editorial

Prólogo

Este libro, gran aporte a la bubalinocultura americana y mundial, muestra un excelente nivel en todos los trabajos. Algunos son casos profundos y extendidos, muy útiles para especialistas, científicos y para quienes quieran estudiar a fondo determinados temas. También son de gran ayuda para los criadores que buscan ampliar sus conocimientos sobre aspectos prácticos y científicos de la producción de búfalos. Quedan cubiertas las demandas de discernimiento sobre la ciencia e investigación por un lado, y sobre la producción y la industria por el otro.

Todos los capítulos son muy completos en información técnica, científica y práctica. Temas como la Genética, la Fisiología de la Nutrición, las biotecnologías para la reproducción, el manejo *pre* y *post mortem*, etc., son tratados con altísimo nivel.

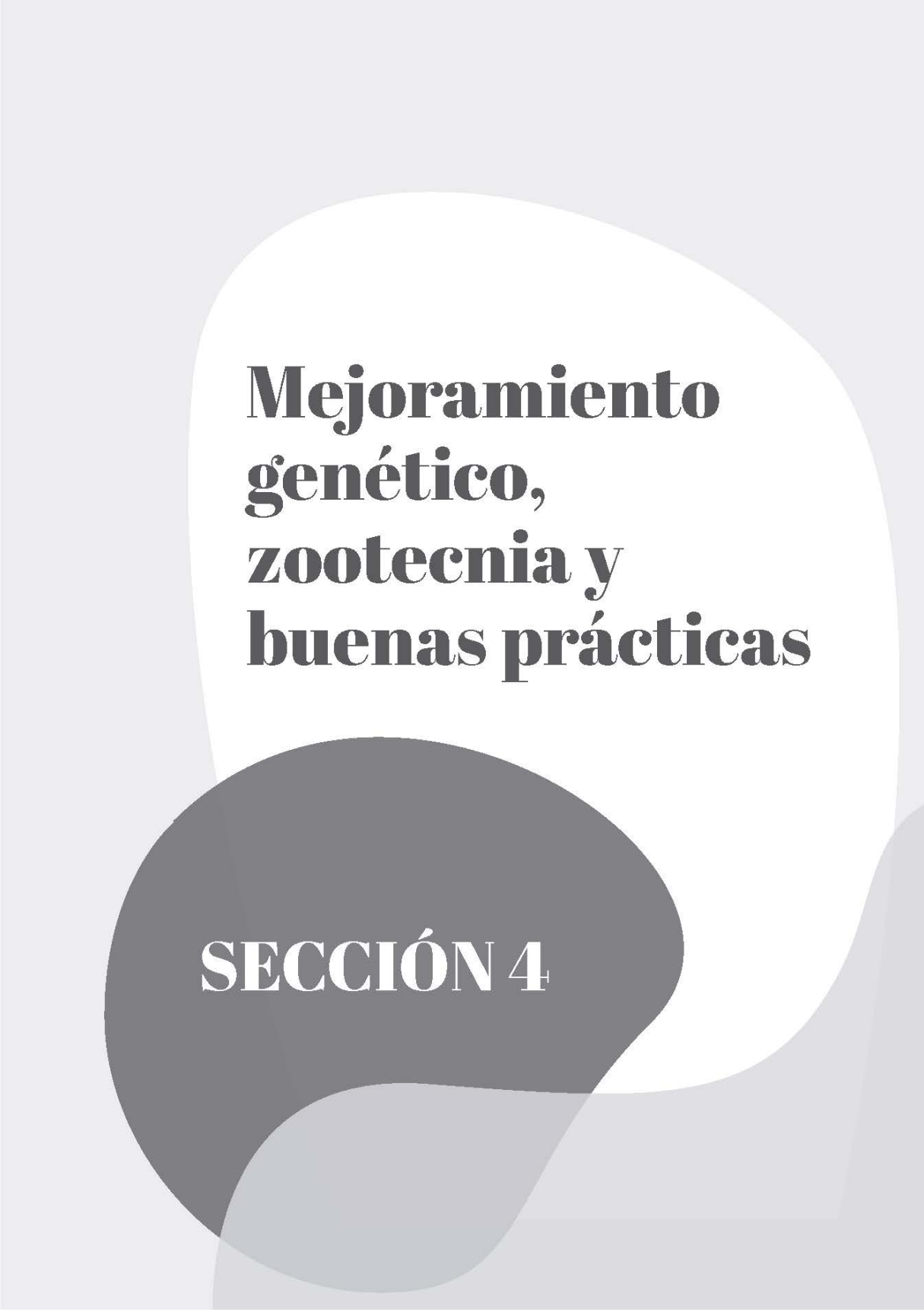
Se destaca la enorme cantidad de investigaciones y resultados absolutamente nuevos que refieren, en muchos casos, a trabajos anteriores; estudios realizados en nuestro continente, con nuestra realidad, que no necesitan ser extrapolados como me ocurría con investigaciones y estudios sobre temas muy variados de la bubalinocultura en los años setenta, ochenta, noventa y a principios de este siglo, cuando tenía que recabar información de otros continentes o de trabajos realizados con vacunos. Al principio viajamos por el mundo entero con ese propósito, ya que la comunicación para el intercambio de la escasa información, y de las experiencias, requería mucho más que ahora de la presencia y permanencia física en distintos

países, si es que queríamos analizar sus sistemas de producción en fincas y sus investigaciones en institutos y universidades.

Me alegra infinitamente comprobar el alto vuelo de los trabajos, de los sistemas de manejo y producción, y la riqueza de conocimientos alcanzados por los científicos, técnicos, investigadores y productores, en general jóvenes, del continente americano. Felicitaciones a los organizadores de esta obra que será de gran utilidad para la producción de búfalos de agua en todos nuestros países.

Ya no es solamente búfalo asiático: es búfalo americano, segundo en el mundo por su población y primero por su crecimiento, además del búfalo de agua europeo, egipcio y australiano.

Marco Zava



Mejoramiento genético, zootecnia y buenas prácticas

SECCIÓN 4

Mejoramiento genético en el búfalo de agua

Divier Antonio Agudelo Gómez

Introducción

El diseño y posterior implementación de un programa de mejoramiento genético en un sistema de producción animal está constituido por diferentes etapas. En la primera se define el (los) objetivo (s), es decir, se identifican las características que se desean mejorar; en la segunda se realiza la evaluación genética que permita determinar la línea base o punto de partida para poder cuantificar el progreso o ganancia a través del tiempo, esta valoración también permite estimar los parámetros genéticos (heredabilidad, correlaciones, repetibilidad, los valores y sus confiabilidades...) de los individuos estudiados; en la tercera etapa se lleva a cabo el proceso de selección para identificar a los animales considerados como «mejoradores», estos se aparearán entre sí y serán padres de la siguiente generación. Una vez realizado el ciclo, nuevamente se llevará a cabo la evaluación y se determinará el progreso genético o la respuesta alcanzada después de la selección, con el propósito de demostrar que un programa de mejoramiento genético es dinámico y debe ser permanente.

La eficiencia productiva en los sistemas de producción animal depende de varios elementos: la nutrición, la sanidad, el manejo, los factores ambientales y el componente genético; este último es el único que es atemporal y acompaña al individuo durante toda la vida (el resto suelen ser variables). En este sentido, es importante hacer una correcta selección de los reproductores, quienes deben tener valores genéticos superiores al promedio de la población y, de esta forma, contribuir a mejorar los promedios del sistema productivo.

En este capítulo se abordarán algunos conceptos de genética con el propósito de entender su aplicación o relación con los programas de mejoramiento; también se hará una breve revisión de los parámetros zootécnicos y genéticos estimados en trabajos de investigación

en varios países y, finalmente, se presentan algunos resultados que dan cuenta de su aplicación en el campo de las evaluaciones genéticas.

De Mendel a la genómica

Gracias a las observaciones sistemáticas del fraile Gregor Johann Mendel se formularon los principios básicos de la genética. Fueron tan importantes sus hallazgos que aún hoy siguen vigentes las tres leyes que postuló (leyes de Mendel), y sirven como fundamento para entender cómo se transmiten las características fenotípicas de padres a hijos. Los avances científicos de los siglos XX y XXI, la teoría cromosómica de Sutton y Boveri en 1902 (los alelos mendelianos se localizan en los cromosomas) y la posterior identificación de la cadena de ADN, permitieron pasar de los cromosomas a la base molecular, dando paso a la genética basada en las secuencias de nucleótidos. Fue en 1977 que se inició la secuenciación del ADN, cuya finalidad es determinar el orden de los nucleótidos (A, C, G y T) en la cadena de ADN. Para el año 2000 ya se contaba con el primer borrador de la secuencia del genoma humano.

Se sabe que el porcentaje de genes que se expresa activamente en un individuo es bajo y depende de factores reguladores, lo que explica las posibles diferencias, incluso entre gemelos idénticos que tienen la misma información en su genoma. La activación o inactivación de algunos puede tener efectos sobre la fisiología, la producción y la aparición de enfermedades.

Adentrándonos un poco en la especie bubalina *Bubalus bubalis bubalis* (búfalo de agua) se sabe que su genoma está formado por 25 pares de cromosomas. De acuerdo con información del National Center for Biotechnology Information (NCBI), en estos pares se tienen identificados 24,014 genes, muchos de ellos con múltiples formas alélicas que son responsables, junto con los factores ambientales, del fenotipo de los animales.

En los sistemas de producción animal, la mayoría de las características de interés económico varían continuamente, lo que significa que los individuos no pueden ser organizados en clases discretas. En el caso de los búfalos, la producción de leche y su composición (porcentaje de grasa, proteína y sólidos totales), la ganancia diaria de peso, el peso vivo a diferentes edades y el rendimiento en canal, son algunos ejemplos de características poligénicas (dependen del efecto de múltiples genes). Estos rasgos que se modifican de forma permanente se denominan caracteres cuantitativos, y el cambio que los distingue se denomina variación cuantitativa o continua. Enseguida se explica cómo se relacionan los diferentes tipos de acción génica y el ambiente con el fenotipo.

Valor fenotípico

El fenotipo de un animal como el búfalo es el valor observado al medir una de sus características y compararla con el promedio de la población, o con un grupo de individuos que sean contemporáneos. Debe tenerse en cuenta que algunas de estas particularidades están limitadas por el sexo, ejemplos de ello son la producción de la leche, la edad al primer parto y el intervalo entre partos que solo pueden ser evaluados en las hembras.

Para analizar las propiedades genéticas de una población se puede descomponer el valor fenotípico en sus partes, atribuibles a dos diferentes causas que lo determinan conjuntamente: el componente genotípico (**G**) y el ambiental (**M**). El primero es la constitución genética que posee un individuo, es decir, el arreglo particular de genes; el segundo comprende todos los factores no genéticos que lo influyen. Se podría decir

entonces que el genotipo y el ambiente son, por definición, los únicos determinantes del valor fenotípico. A partir de lo anterior se puede plantear que el genotipo confiere al búfalo cierto valor, y que el ambiente puede causar una desviación de este (favorable o desfavorable). Aritméticamente se podría plantear de la siguiente manera:

$F = G \pm M$, donde **F** es el valor fenotípico, **G** es el genotípico y **M** la desviación ambiental

Para un búfalo cualquiera, **G** está determinado en el momento de la concepción y **M** representa el efecto combinado de todos los factores ambientales que ejercen alguna influencia sobre él en el momento en que se mide **F**. En los sistemas de producción bubalinos las características de interés económico son de carácter cuantitativo, lo que significa que **F** y **G** dependen de muchos *loci* (lugares en el genoma donde se localizan los genes). En la mayoría de los casos, los genes que tienen algún tipo de efecto (positivo o negativo) sobre una particularidad cuantitativa no pueden ser identificados con facilidad, debido al pequeño efecto que ejercen sobre la característica en cuestión. Una solución a este problema es encontrar genes cuyos alelos tengan un efecto grande y fácilmente identificable sobre algún otro carácter (marcador genético), y examinar después el efecto de este *locus* sobre la singularidad. El modelo genético básico para los caracteres cuantitativos se representa por la siguiente ecuación:

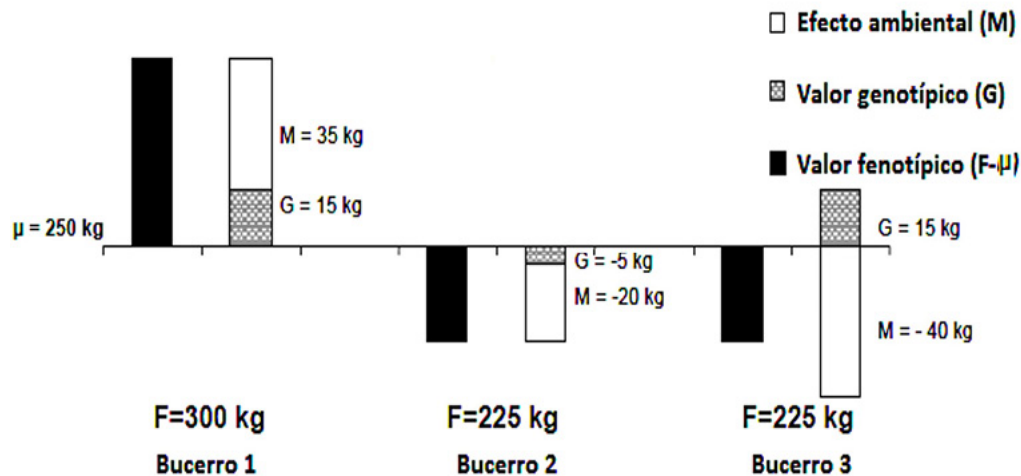
$F = \mu + G \pm M$, donde **μ** es la media poblacional, **G** y **M** se refieren a los valores definidos anteriormente.

El motivo por el cual se incorpora la media en el modelo es para enfatizar que, en la producción animal, los valores genotípicos y efectos ambientales son relativos con respecto a la población que se evalúa. No son valores absolutos, sino que sus valores numéricos dependen del promedio de desempeño de la población y, de este modo, se expresan como desviaciones de la media poblacional.

Genghini, *et al.*[1] ilustran por medio de un ejemplo el modelo básico para caracteres cuantitativos. En la **Figura 1** las columnas negras representan los pesos al destete (fenotipo) para tres bucerros (1, 2 y 3). Las columnas se extienden a partir de una línea horizontal que representa el peso al destete promedio de la población o media poblacional ($\mu=250$ kg). Si la columna negra está por encima de la línea denota que el peso al destete del individuo es superior a la media, si está por debajo indica que dicho valor fenotípico es inferior. Las columnas grises y blancas representan las contribuciones de los valores genotípicos y efectos ambientales al valor fenotípico, respectivamente.

Este es un ejemplo hipotético utilizado para la ilustración, pero en realidad el valor genotípico se puede conocer al realizar las evaluaciones genéticas en ambientes diferentes. En este ejemplo el bucerro 1 pesó 300 kg, su ventaja de 50 kg con respecto a la media se debe, parcialmente, a que posee un valor genotípico superior y estuvo en un mejor ambiente (madre más lechera, mejores pastos). Los bucerros 2 y 3 pesan 25 kg menos que el promedio. El bucerro 2 tiene menor valor genotípico y también fue sometido a un efecto ambiental desfavorable. Por su parte, el bucerro 3 es genotípicamente igual que el 1, pero de los tres animales fue el que estuvo sometido a las peores condiciones ambientales.

Figura 1. Representación esquemática de las contribuciones genética y ambiental sobre el peso al destete de tres bucerros



Fuente: Adaptado de Genghini, *et al.*[1b]

El valor genotípico **G** está conformado por los siguientes elementos o tipos de acción génica reflejados en la siguiente ecuación: $G = A \pm D \pm I$; donde **A** es la **aditividad** (valor de cría o valor genético) que permite saber cuánto mejor o peor es el rendimiento de la progenie de un individuo cuando se compara con el promedio poblacional. El valor aditivo **A** es la suma de los efectos independientes de todos los genes que afectan determinada característica, y su valor cuantitativo es estimado cuando se realizan las evaluaciones genéticas haciendo uso de la información genealógica y productiva de los animales, este

debe ser dividido entre dos ($\frac{A}{2}$) debido a que un individuo solo transmite la mitad de los genes a su progenie, el resultado se conoce como **habilidad predicha de transmisión** (PTA, por sus siglas en inglés) para características asociadas con la producción de leche, y como **diferencia esperada de la progenie** (EPD, por sus siglas en inglés) para las asociadas con la producción de carne; también se conoce como capacidad de transmisión o diferencia de la progenie (DP).

La letra **D** se refiere a la dominancia, que puede ser completa, parcial o presentar sobredominancia. En el primer caso se generan dificultades al momento de realizar procesos de selección, porque es imposible identificar los heterocigotos de los homocigotos ($AA=Aa$); si la dominancia es parcial, las pequeñas diferencias entre los heterocigotos y homocigotos podría ser atribuibles a factores ambientales, y no necesariamente a factores genéticos; la sobredominancia permite aprovechar el «vigor híbrido» o «heterosis», que es la superioridad de los animales heterocigotos (Aa) con relación al promedio de los padres homocigotos (AA, aa).

La **I** es la epistasis o interacción génica, algunos genes tienen la propiedad de enmascarar el efecto de otros que no son sus alelos, este tipo de acción puede ser favorable o desfavorable y generaría un limitante importante al momento de realizar proceso de selección, pues al identificar a un animal fenotípicamente superior al promedio, y esta superioridad se debe a la **I**, dicha superioridad no será transmitida a la progenie; afortunadamente no es un tipo de acción génica muy común en las características de interés económico[2].

En los últimos años, los avances en el campo de la genética han sido enormes: se pasó de la transición de los cromosomas a la base molecular de la herencia con el descubrimiento

de los nucleótidos y del ácido desoxirribonucleico (ADN); después se dio la prosecución de nucleótidos que permitió la secuenciación del ADN, procedimiento con el que se puede determinar el orden de los primeros y la secuenciación del genoma de prácticamente todas las especies conocidas[3].

El genoma es el conjunto de todos los genes, las secuencias reguladoras y toda la información contenida en el ADN de un individuo. Con las técnicas de secuenciación masiva se pudo identificar todo el material genético de un individuo, estableciendo que en algunas especies el porcentaje de genes que se expresa activamente es bajo, pues depende de factores reguladores. Esto explica que puedan existir diferencias en gemelos idénticos que poseen la misma información en su genoma; lo mismo —y con más razón aún— puede ocurrir en animales que, incluso siendo hermanos, pueden presentar rendimientos productivos muy diferentes. La activación o inactivación de algunos genes puede tener efectos sobre la fisiología, la aparición de enfermedades y la producción.

La epigenética estudia los elementos que regulan la expresión genética de una célula sin alterar la secuencia del ADN; esta ciencia permite marcar algunos genes que deben ser expresados. Otro avance digno de resaltar es el desarrollo de *chips* de ADN que se pueden utilizar para leer secuencias en algunas posiciones del genoma. Con esta técnica se logran identificar algunas variaciones en los individuos y en las poblaciones. Este método tiene algunas aplicaciones como el análisis de la expresión de los genes, de los factores de transcripción del ADN, la descripción de genotipos y también ayuda a estimar los parámetros y a predecir los valores genéticos de los animales con mayor confiabilidad[3b].

Mejoramiento genético animal (MGA) y evaluaciones genéticas

El MGA consiste en aplicar principios biológicos, económicos y matemáticos para encontrar estrategias óptimas de aprovechamiento de la variación genética existente en una especie en particular y maximizar su mérito. Esto involucra tanto la variación genética entre los individuos de una raza, como la variación entre razas y cruces.

La herramienta que más ha impactado el mejoramiento animal en el mundo es el control productivo y genealógico. En efecto, la medición objetiva de la producción de los animales sirve para hacer evaluaciones de los mismos, a fin de seleccionar y evaluar las razas y cruces, estimar los parámetros requeridos para los programas, medir aspectos económicos y optimizar el proceso. Las evaluaciones genéticas permiten medir los parámetros genéticos de una población, uno de los más importantes es la heredabilidad, que puede ser definida de dos formas: en sentido amplio (H^2) y en sentido estrecho (h^2).

La heredabilidad en sentido amplio es la relación entre la varianza genotípica total y la varianza fenotípica que puede expresarse de la siguiente manera: $H^2 = \mathbf{VG/VP}$. Esto refleja la variabilidad de los diversos tipos de acción de genes que comprenden efectos aditivos, efectos de dominancia, efectos de epistasia y efectos de interacción de genes por ambiente. La heredabilidad en sentido estrecho es la relación entre la varianza aditiva y la varianza fenotípica, puede expresarse así: $h^2 = \mathbf{VA/VP}$, y solo se considera la parte de varianza fenotípica proveniente del efecto aditivo de los genes. En algunos casos, para facilitar la interpretación del concepto heredabilidad se ha definido como el grado en el que los hijos se parecen a sus padres por alguna característica determinada. La heredabilidad puede tomar valores de entre 0 y 1, por lo tanto, entre más se aleje de cero se dice que la característica es más heredable; cuando toma valores cercanos a cero se entiende que dicha particularidad es poco heredable[2b].

Si una característica tiene alta h^2 , los animales con mayores niveles de producción suelen tener hijos con niveles altos de producción, y los que tienen bajos niveles productivos tendrán hijos con baja productividad. Por el contrario, si la característica presenta baja h^2 , los registros de producción de los padres no se verán reflejados en la producción de sus hijos[2c].

Parámetros genéticos en búfalos

Las características productivas en ganado son de naturaleza poligénica (controladas por muchos genes). Dichas particularidades son afectadas por el medio ambiente y de allí su gran variación. En los últimos años, dado el crecimiento poblacional que ha tenido el búfalo, la importancia económica que representa para los sistemas productivos y la generación de productos de alta calidad nutricional que de ellos se obtiene, esta especie ha logrado llamar la atención no solo de productores, sino también de científicos que han dedicado parte de su trabajo a realizar investigaciones sobre ella.

A principios de siglo eran escasos los estudios en los que se estimaban los parámetros genéticos en poblaciones bufalinas de los países del hemisferio occidental, por lo que había que recurrir a investigaciones realizadas en países asiáticos o particularmente en Italia; afortunadamente esto cambió y en los últimos años son múltiples los trabajos al respecto, lo que ha permitido sentar las bases para establecer programas de mejoramiento genético basados en datos locales y reales[4].

La característica que posiblemente se ha estudiado con más detenimiento ha sido la producción de leche, quizá por la importancia económica que esta representa en los sistemas de producción animal, además por la calidad de la misma, cualidad que le confiere propiedades nutricionales y organolépticas muy apreciadas en los mercados. A continuación, se presentan algunos parámetros zootécnicos y genéticos para algunas características de interés económico en los sistemas de producción bufalino.

En el **Cuadro 1** se presentan algunos resultados descriptivos de características asociadas con la producción de leche de poblaciones de búfalo, así como los valores de heredabilidad para estimados de diversas investigaciones en países donde la producción bufalina es importante.

Cuadro 1. Valores promedio, desviaciones estándar y heredabilidad estimada para características asociadas con la producción de leche de búfalo en distintos países

Característica	Grupo racial	N	Media ± SD	Heredabilidad	País
Producción de leche (kg)	Murrah	2,910	1631.5±642.1	0.28	Brasil
Producción de queso <i>mozzarella</i> PKM (kg)	Mediterránea	337,158	599.5±132.1	0.31	Italia
Producción de leche a 270 días (kg)	Mediterránea	1,408	2,965.6±642.1	0.33	Italia
Producción de grasa a 270 días (kg)			244.9±47.3	0.35	
Producción de grasa a 270 días (%)			8.3±0.9	0.27	
Producción de proteína a 270 días (kg)			137.5±22.9	0.19	
Producción de proteína a 270 días (%)			4.7±0.3	0.38	
Producción diaria de leche (kg)	Egipcio	174,619	7.33±3.03	0.20	Egipto
Producción de leche hasta el día 270 (kg) búfalas primer parto	Murrah y Mestizo	2,229	993.69±228.54	0.26	Colombia
Producción de leche hasta el día 305 (kg)	Sin definir	5,896	1,841.18±629.42	0.25	Brasil
Producción de grasa hasta el día 305 (kg)		3,325	124.58±38.16	0.22	

Característica	Grupo racial	N	Media $\pm$ SD	Heredabilidad	País
Producción de proteína hasta el día 305 (kg)		3,325	78.99 $\pm$ 23.49	0.26	
Producción de leche hasta el día 270 (kg) búfalas primer parto	Murrah y Mestizo	34,195	989.2 $\pm$ 257.7	0.30	Colombia
Producción total de leche (kg)	Murrah	888	1,775.31 $\pm$ 490.72	0.55	Brasil
	Mediterránea	469	1,714.67 $\pm$ 466.47	0.48	
	Mestizo	468	1,738.83 $\pm$ 524.33	0.39	

De acuerdo con los valores de heredabilidad anteriores, es evidente que las características asociadas con la producción de leche tendrían una respuesta aceptable para los procesos de selección, lo que permitiría obtener buenas ganancias genéticas en cada generación. Además de estimar la heredabilidad, es necesario calcular los valores genéticos de los animales, lo que es posible si y solo si se realizan controles productivos y se tiene un estricto control genealógico, así estos datos pueden complementar la información genómica de cada individuo. Esta información, procesada y analizada correctamente, generará resultados confiables para poder identificar a los animales que son superiores desde el punto de vista genético, pues como se evidenció en los primeros apartados de este capítulo, la evaluación fenotípica no es suficiente porque puede sobreestimar o subestimar el valor genético de un animal a partir de las condiciones ambientales a las que se encuentre sometido.

En los últimos años, la genómica ha cobrado importancia en los programas de mejoramiento genético. A partir de ella se tiene un conocimiento amplio del genoma de algunas especies animales y se sabe del efecto que pueden tener algunos alelos o fragmentos del genoma llamado polimorfismo de nucleótido simple (SNP, por sus siglas en inglés) sobre determinada característica. Estos datos permiten, junto con la información genealógica y productiva de los parientes, calcular el valor genético de un animal a edad temprana. La aplicación de este tipo de técnicas no solo ha facilitado y acelerado los procesos de selección, sino que ha disminuido el intervalo generacional y, una vez que se cuenta con datos productivos, la confiabilidad de los valores de cría aumenta[8b].

Un estudio que aplicó la evaluación genómica en búfalos egipcios permitió identificar algunos genes candidatos asociados con la producción de leche: se observaron 30 SNP localizados en los cromosomas 1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12 y 16 que explican cerca del 10 % de la varianza genética aditiva. Algunos de esos SNP también están asociados con otras funciones biológicas relacionadas con la producción de leche[8c]. En un estudio realizado en Brasil llegaron a la conclusión de que la información genómica permite calcular con mayor exactitud la heredabilidad, obteniendo desviaciones estándar más bajas y una mayor precisión en los valores genéticos estimados[10b]. En otra investigación, también en Brasil, por medio de evaluaciones genómicas se identificó que cuatro regiones del