



Tecnológico de Monterrey

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Querétaro

Mejora de biosistemas con genética y biotecnología (Gpo 201)

**Evidencia 1 - Proyecto final escrito con formato técnico especializado
(AD24)**

Profesores:

Dra. Dianella Iglesias Rodríguez

Paulino Martínez Lagunes

Dr. Luis Javier Montiel Olguin

Elaborado por:

Juan Pablo M. Villarreal G - A01352232

15 de Octubre de 2024. Querétaro, Qro.

Plan de mejoramiento genético para establo lechero en el CAETEC

En los establos lecheros existen diferentes parámetros para evaluar la productividad, los cuales se ven afectados por diferentes factores, entre estos las características fenotípicas de las vacas. En la producción lechera existen diversos factores que nos pueden afectar al momento de tener un buen rendimiento en la producción de leche, por ejemplo la salud del animal, la fertilidad y la conformación.

Es de suma importancia cuidar la salud de la ubre, debido a que tiene un impacto directo en la calidad de la leche. Un CCS alto indica una respuesta inflamatoria a infecciones intramamarias (IMI), sin embargo, la salud de la ubre no solo consta en mantener bajos niveles de células somáticas sino que también es importante reducir la incidencia de mastitis clínica y prevenir riesgos para la salud humana, como residuos de antibióticos en la leche y la transmisión de patógenos. (Schukken et al., 2003).

Parámetros productivos: comparación México y CAETEC.

En México, los sistemas de producción de leche varían ampliamente en cuanto a tecnología y escala, desde sistemas familiares hasta explotaciones intensivas. Aunque predominan los pequeños productores, con 91.6% manejando menos de 100 cabezas de ganado, los sistemas tecnificados han ganado relevancia. El sistema intensivo, presente principalmente en regiones como la Comarca Lagunera, emplea tecnología avanzada como la inseminación artificial, gestión genética y ordeña mecanizada, además de utilizar razas de ganado lechero de alta genética, como Holstein, Suizo Americano y Jersey, permitiendo una mayor producción y eficiencia. (Gallegos-Daniel et al., 2023).

Cada uno de estos sistemas cuenta con sus propios parámetros productivos, reproductivos y de manejo. En el CAETEC, la producción se basa en un sistema de ordeño robotizado. Este sistema permite una alta eficiencia en el proceso de ordeña, sin embargo, las vacas tienen que contar con las características fenotípicas ideales para poder sacarle un mayor rendimiento a esta tecnología. Para mostrar mejor el panorama en el CAETEC, se comparan los parámetros con la producción en México (Tabla 1.), de manera que se puede analizar el rendimiento actual de este establo lechero.

Parámetro	México	CAETEC
Producción de leche (kg/día)	32.3 ± 0.71 kg	37.3 kg
Producción de leche (litros/lactancia)	9000-1000 L	11,142 L
Contenido de grasa (%)	3.5% a 3.7%	3.17%
Contenido de proteína (%)	3% a 3.2%	3.27%
Intervalo entre partos (meses)	12.5 meses	14.2-14.3 meses
Servicios por concepción	1.8	2.94
Incidencia de mastitis (%)	16.9%	25.78%

Tabla 1. Parámetros en México y en el CAETEC. (Avilés Ruiz et al., 2024)

Ganado asignado para mejoramiento genético

Se asignaron 3 vacas diferentes del CAETEC para realizar un análisis y un plan de mejoramiento genético en estas, de manera que se identifiquen los sementales adecuados y algunas tecnologías de mejoramiento para mejorar la producción. Las vacas asignadas para la selección de sementales con el objetivo de un mejoramiento genético en sus crías, son las mostradas en la Tabla 2.

No. De Vaca	1228	1223	1211
No. De Reg./Arete	2210591228	2210591223	2210591211
Nombre o número de padre	MAXWELL	Magella	MAXWELL
No. de lactancia	1	1	2

Tabla 2. Datos de identificación de las vacas asignadas

Conformación de las vacas asignadas

Fotos de la vaca 1228



Fotos de la vaca 1223



Fotos de la vaca 1211



Basado en la conformación de las vacas asignadas, se realizó una evaluación de sus características físicas. En esta evaluación se tomaron en cuenta 17 diferentes características, las cuales fueron valoradas con una puntuación del 1 al 9 (exceptuando para las patas traseras vista lateral, ángulo de la cadera, colocación pezones delanteros, largo de pezones delanteros y colocación de pezones traseros, las cuales fueron valoradas del 1 al 5). Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 3.

No. de Vaca	1228	1223	1211
Estatura	6	6	5
Fortaleza	7	6	7
Ancho de la cadera	<u>5</u>	6	8
Profundidad corporal	7	6	7
Patas traseras vista lateral	5	<u>3</u>	4
Forma lechera	6	6	6
Patas traseras vista trasera	6	7	6
Ángulo de la cadera	<u>3</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
Ángulo de las pezuñas	6	8	6
Inserción delantera de la ubre	7	<u>3</u>	<u>5</u>
Colocación pezones delanteros	<u>4</u>	5	<u>7</u>
Altura ubre trasera	6	6	8
Largo de pezones delanteros	<u>7</u>	6	<u>5</u>
Ancho de ubre trasera	6	7	7
Ligamento medio suspensorio	8	<u>5</u>	<u>4</u>
Profundidad de ubre	6	7	6
Colocación de pezones traseros	<u>8</u>	6	<u>9</u>

Tabla 3. Puntuación de las características físicas de las vacas asignadas

Análisis de la puntuación

Con las puntuaciones obtenidas se analizaron cuáles eran las mayores áreas de mejora en las vacas seleccionadas, con el objetivo de buscar un semental adecuado.

1228

- Ancho de la cadera: Puntuación de 5. La vaca cuenta con un ancho de cadera medio-cerrado, en la cual lo ideal es que esté abierta para facilitar el parto.
- Ángulo de la cadera: Puntuación de 3. Tiene un ángulo de la cadera ligeramente bajo, siendo lo ideal una cadera media.
- Colocación pezones delanteros: Puntuación de 4. Tiene los pezones ligeramente abiertos, siendo lo ideal unos pezones centrados para mejorar el tiempo de ordeño.

- Largo pezones delanteros: Puntuación de 7. Pezones ligeramente largos.
- Colocación pezones traseros: Puntuación de 8. Pezones ligeramente cerrados, siendo lo ideal unos pezones centrados y rectos.

1223

- Patas traseras vista lateral: Puntuación 3. Patas traseras ligeramente rectas, lo ideal es que estén en un punto medio, ni tan anguladas ni tan rectas, así mejorando la estabilidad.
- Ángulo de la cadera: Puntuación 3. Tiene un ángulo de la cadera bajo, siendo lo ideal una cadera media.
- Inserción delantera de la ubre: Puntuación 3. La ubre se puede observar con una curvatura notable marcada hacia arriba, indicándonos una falta de fuerza en esta.
- Ligamento medio suspensorio: Puntuación 5. El ligamento no se marca lo suficiente para considerarlo fuerte, se marca en un punto medio. Es importante mejorarlo para una mayor estabilidad y producción.

1211

- Ángulo de la cadera: Puntuación 3. Tiene un ángulo de la cadera ligeramente bajo, siendo lo ideal una cadera media.
- Inserción delantera de la ubre: Puntuación 5. La ubre se muestra con una curvatura marcada, indicándonos una falta de fuerza.
- Colocación pezones delanteros: Puntuación 7. Los pezones delanteros se encuentran abiertos, teniendo que estar centrados.
- Ligamento medio suspensorio: Puntuación 4. El ligamento suspensorio se encuentra débil, no se marca mucho en la ubre de la vaca. Es importante mejorarlo para una mayor estabilidad y producción.
- Colocación de pezones traseros: Puntuación 9. Los pezones traseros se encuentran cerrados, con ángulo hacia adentro, además de no estar colocados a la misma altura de la ubre. Es indispensable mejorarlo ya que el robot de ordeño podría tardar más en ordeñar, así perdiendo tiempo de producción.

En general, se detectaron problemas generales como el ángulo de la grupa y el posicionamiento de los pezones, los cuales es de suma importancia tratar ya que estos tienen mucha influencia en la fertilidad y en el uso de los robots de ordeño, de manera que si no se mejoran, la producción puede llegar a bajar. El ángulo de la grupa tiene un efecto en la






fertilidad ya que un ángulo elevado está asociado con un intervalo entre partos (CI) más largo y un mayor riesgo de partos difíciles, lo que puede complicar el manejo reproductivo y, en consecuencia, afectar la producción láctea. (Wall et al., 2005). La posición de la ubre y de los pezones es importante para un buen desempeño con el robot de ordeña al momento del acoplamiento, por lo que una disposición adecuada facilita la localización precisa por parte de los sensores. Si los pezones no están alineados correctamente o presentan variaciones morfológicas significativas, puede resultar en pérdidas en la producción de leche debido a errores en el acoplamiento y a un mayor riesgo de lesiones en los pezones. (Sorrenti et al., 2008).












Selección de sementales para la mejora genética

En el CAETEC, se busca la mejora genética del ganado enfocado principalmente en el aumento en la producción de leche, por lo que para ello, hay que tener un enfoque abierto. En este establecimiento, se buscan sementales, los cuales nos brinden una genética adecuada para la producción en sistemas robotizados, esto quiere decir que son vacas calmadas y con buena colocación de ubres. Además de que se busca una protección contra la mastitis, para evitar pérdidas en producción.

Se utilizó el catálogo de sementales de la empresa *Select Sires* de ganado Holstein. En este catálogo se nos brinda la información de cada uno de los sementales con sus características, de las cuales, para la selección que se llevará a cabo para las vacas 1218, 1223 y 1211, se buscarán principalmente toros con las características *Robot Pro* y *Mastitis Resistant Pro*; además de buscar que la producción de leche sea positiva.

En la Tabla 4 se mostrarán los mejores sementales para cada una de las vacas, seleccionados por sus características físicas y productivas.

No de Vaca: 1228			
250HO15943 Strait	 	250HO16812 Crimson	  
<p>“Strait” cuenta con unas características adecuadas para mejorar a la vaca 1228, debido a que cuenta con ancho y alto de la grupa de +0.01 y -0.62 respectivamente, lo que quiere decir que es ligeramente más ancha que el promedio y más alta, lo que</p>		<p>El semental “Crimson” cuenta con unas características adecuadas para mejorar a la vaca 1228. El ancho y alto de la grupa son favorables ya que estos son de +0.41 y -0.22 respectivamente, esto nos dice que la hija podría llegar a tener la grupa más alta y</p>	

<p>haría que, en caso de heredar estos rasgos, la altura suba y quede en la óptima. En cuestión de los pezones, la colocación de los anteriores está en +0.58 y su altura en 0.77, además de que los posteriores en -0.06; con estos valores, se corregirá la posición de estos, quedando los anteriores un poco más cerrados y cortos, dejándolos en un punto medio de la ubre, así como los posteriores se abrirán un poco. Además cuenta con un aumento en la producción de leche de +348 PTA/lb.</p>	<p>ancha. Por parte de los pezones, la colocación de los anteriores está en -0.04 y su altura en 0.60, además de que los posteriores en -0.06; Esta modificación de los pezones junto con el Robot Pro, nos ayudará a mejorar la posición de estos para una mejor ordeña. Este semental nos brinda una mejora significativa en la producción de leche ya que cuenta con +1331 PTA/lb.</p>
<p align="center">No de Vaca: 1223</p>	
<p>7HO17378 Assist</p> <div>    </div>	<p>14HO17429 Pabulous-Red</p> <div>    </div>
<p>“Assist” nos brinda un aumento en la producción de leche, que es lo que se busca, con un +1403 PTA/lb. Además, para el mejoramiento de la vaca 1223 nos proporciona varias mejoras. En el ángulo de la grupa, la cual lo tiene bajo, Assist le da un ángulo más alto al tener -0.19. También proporciona una inserción de la ubre anterior y un ligamento suspensor más fuerte, con +1.41 y +1.21 respectivamente, haciendo que presente menos dificultades en la ubre. Respecto a la compatibilidad con el sistema de ordeño utilizado, esta cuenta con Robot Pro, además de mantener en una buena posición los pezones anteriores y posteriores.</p>	<p>La mejora genética proporcionada por Pabulous-Red es compatible con las características que se están buscando, cuenta con una producción de leche de +650, además de mejorar las características físicas de la vaca 1223 y mantener las que ya tiene correctas. 1223 cuenta con las patas traseras ligeramente rectas, por lo que con un +1.06 de curvatura, esto se puede corregir. Además, la inserción de la ubre que brinda es bastante fuerte con +2.80 y el ligamento suspensor lo mejora con +0.61, haciéndolo más fuerte. Además los sellos nos brindan características que se buscan para el ordeño y la salud.</p>
<p align="center">No de Vaca: 1211</p>	
<p>14HO17429 Pabulous-Red</p> <div>    </div>	<p>250HO15943 Strait</p> <div>   </div>
<p>En la vaca 1211 respecto a la grupa, se buscó mantener el ancho y elevar su ángulo, por lo que este semental es el adecuado debido a que cuenta con +1.49 y -0.43 respectivamente. Además de que muestra un fortalecimiento en el ligamento suspensor con +0.61 y un fortalecimiento en la inserción de la ubre anterior con +2.80,</p>	<p>Strait mejora la producción de leche con un +348. Respecto a las características específicas a mejorar de 1211, ayuda a elevar el ángulo de la cadera con +0.62, además de mantener el ancho de esta con +0.01. El fortalecimiento de la inserción de la ubre delantera y el ligamento suspensorio se cumplen de manera adecuada con +2.85</p>

<p>haciéndola realmente fuerte. El sello MastitisPro, proporciona una mejora en cuestión de la salud de la vaca. Por otro lado, nos mejora el posicionamiento de los pezones, ya que 1211 los tiene demasiado chuecos, dándoles un mejor ángulo con +0.50 para los anteriores y +0.05 para los posteriores.</p>	<p>y +0.20 respectivamente, además de contar con el sello RobotPro para una mejor eficiencia al momento del ordeño. Los pezones posteriores los abre un poco con un +0.06, mientras que los anteriores los recoge un poco con +0.8.</p>
---	---

Tabla 4. Sementales seleccionados

Tecnologías reproductivas utilizadas en los establos lecheros

En la actualidad, las biotecnologías reproductivas en el ganado bovino han evolucionado significativamente, dándonos diferentes herramientas para mejorar la eficiencia reproductiva y la productividad en la industria lechera. Entre estas tecnologías se encuentran la inseminación artificial (IA), la sincronización de ovulación, y el uso de semen sexado, que permiten un mayor control sobre la reproducción de las vacas. (Fernández et al., 2021).

Ovsynch y doble ovsynch

El protocolo Ovsynch se utiliza para sincronizar la ovulación en vacas lecheras y realizar la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Comienza con una inyección de GnRH que provoca la ovulación o luteinización de folículos grandes. Siete días después, se administra PGF2 α para inducir la regresión del cuerpo lúteo, y 56 horas después, una segunda inyección de GnRH induce la ovulación. La inseminación se lleva a cabo entre 16 y 20 horas después de esta última inyección, asegurando que la ovulación esté sincronizada con la inseminación. (Domínguez et al., 2015) (Souza et al., 2008).

El doble Ovsynch consiste en aplicar dos ciclos del protocolo Ovsynch, separados por una semana, seguido de la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) después del segundo ciclo (Nowicki et al., 2017). En este protocolo, se administra una inyección de GnRH, seguida de PGF2 α 7 días después. Tres días después de la inyección de PGF, se aplica una segunda inyección de GnRH. Una semana después, se aplica el protocolo de inseminación artificial mediante Ovsynch, osea otra vez GnRH seguido de PGF2 α 7 días después, luego la GnRH y la inseminación artificial. (Souza et al., 2008).

Este protocolo aumenta la fertilidad en vacas lecheras en lactancia en comparación con otras variantes del Ovsynch como el PreSynch, especialmente en primíparas. Reduce

significativamente el anestro anovulatorio al inicio del protocolo y mejora la uniformidad de las concentraciones de progesterona (P4), lo que favorece la fertilidad. (Herlihy et al., 2012).

Semen sexado

El semen sexado es un tipo de semen que ha sido tratado para separar espermatozoides que llevan el cromosoma X (femenino) de aquellos que llevan el cromosoma Y (masculino), permitiendo así controlar el sexo de la descendencia en el ganado. Su uso es beneficioso para optimizar rebaños, ya que los productores pueden obtener más hembras para mejorar la producción de leche, reducir costos asociados con machos, minimizar riesgos de enfermedades y mejorar la genética del rebaño. Algo a tener en consideración es que el semen sexado puede presentar tasas de concepción más bajas en comparación con el semen convencional.

Marcadores genéticos

Existen muchos marcadores genéticos, como el “polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción” (RFLP) o los “fragmentos polimórficos amplificados al azar” (RAPD), pero los polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) son particularmente valiosos en la cría de ganado debido a su abundancia, estabilidad e impacto en los rasgos fenotípicos. Los SNP son variaciones en una posición de nucleótido único en la secuencia de ADN y pueden ocurrir tanto en regiones codificantes como no codificantes de los genes. Los genes LAP3 y SIRT1 son genes muy importantes para la regulación de diversas funciones biológicas en el ganado, particularmente en relación con la fertilidad y los rasgos de producción de leche. LAP3 está involucrado en procesos metabólicos y regulación celular, mientras que SIRT1 es conocido por su papel en la longevidad, el metabolismo energético y la resistencia al estrés. Ambos genes contienen una gran cantidad de SNP que pueden influir de forma importante en los rasgos reproductivos. Un SNP notable es el rs722359733: C>T en el gen LAP3, ubicado en la región 5'UTR, que ha sido fuertemente asociado con el intervalo entre partos (CI) y los días abiertos (DO), mostrando que las vacas con el genotipo TT exhiben CI y DO significativamente más cortos en comparación con aquellos con genotipos CT y CC. Otro SNP importante es el rs110932626: A>G, encontrado en la región intrónica 12 del gen LAP3, que está vinculado a CI y DO; aquí, los animales heterocigotos (genotipo AG) demuestran CI y DO más cortos que los genotipos homocigotos GG y TT. Además, en el gen SIRT1, el SNP rs718329990: T>C ha mostrado asociaciones significativas con CI y DO, donde los animales

con el genotipo TT exhiben CI y DO más cortos en comparación con sus contrapartes TC y CC. (Worku & Verma, 2024)

Plan de mejora para el CAETEC

El plan de mejoramiento genético para el CAETEC, se centrará en la selección de sementales específicos para cada vaca para poder mejorar aspectos importantes como la producción de leche, la resistencia a la mastitis y la adaptabilidad a robots de ordeña. Para lograr esto, se analizarán las características fenotípicas de las vacas, seleccionando sementales que compensen los puntos débiles y fortalezcan los atributos deseados, como la eficiencia en la producción y la salud de la ubre. Este proceso se realizará de manera individualizada, asegurando que cada cruce tenga el mayor impacto genético positivo posible.

Además, se incorporará el uso de marcadores genéticos específicos (SNPs) como parte del programa de mejoramiento, enfocándonos en los genes LAP3 y SIRT1, específicamente que están asociados a la fertilidad sin comprometer la producción lechera. Para el análisis de estos marcadores genéticos, se utilizarán microarrays de ADN, una tecnología que permite la identificación masiva y precisa de SNPs en una muestra. Los SNPs que se evaluarán, son el rs722359733 en el gen LAP3 y el rs718329990 en el gen SIRT1, relacionado con la optimización de la fertilidad y el rendimiento reproductivo. Estas muestras, se pueden obtener de diferentes partes del animal como de pelo o sangre, las cuales serán procesadas en laboratorios, donde los microarrays analizarán simultáneamente miles de variantes genéticas. Esta tecnología permite obtener resultados detallados sobre la composición genética de los animales y sus potenciales reproductivos. (Worku & Verma, 2024) (Moreno & Solé, 2004).

El objetivo de analizar estos SNPs es identificar combinaciones genéticas favorables que mejoren tanto la fertilidad como la resistencia a enfermedades como la mastitis, sin comprometer los niveles de producción. El uso de microarrays proporciona una imagen genómica completa que permite tomar decisiones informadas sobre la selección de los mejores sementales para mejorar los rasgos genéticos deseados.

Bibliografía:

Boneya, G. (2021). Sexed semen and major factors affecting its conception rate in dairy cattle. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, 8(1), 99-107.

Cai, Z., Guldbrandtsen, B., Lund, M. S., & Sahana, G. (2019). Prioritizing candidate genes for fertility in dairy cows using gene-based analysis, functional annotation and differential gene expression. *BMC Genomics*, 20(1).
<https://doi.org/10.1186/s12864-019-5638-9>

Domínguez, S. F., Flores, L. R. M., Ordaz, R. L., Flores, C. F. A., Mapes, G., & Cerón, J. H. (2015). Gestación en vacas lecheras con dos protocolos de sincronización de la ovulación e inseminación a tiempo fijo. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 6(4), 393–404. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v6i4.4100>

Fernández, J. V. R., Gallardo, H. Á., Duarte, D. U., Islas, A. F., Pelayo, M. a. A., Utrera, A. R., Reynoso, S. P., & De La Torre Sánchez, J. F. (2021). Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 12, 39–78. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5918>

Gallegos-Daniel, C., Taddei-Bringas, C., & González-Córdova, A. F. (2023). Panorama de la industria láctea en México. *Estudios Sociales Revista De Alimentación Contemporánea Y Desarrollo Regional*. <https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1251>

Herlihy, M., Giordano, J., Souza, A., Ayres, H., Ferreira, R., Keskin, A., Nascimento, A., Guenther, J., Gaska, J., Kacuba, S., Crowe, M., Butler, S., & Wiltbank, M. (2012). Presynchronization with Double-Ovsynch improves fertility at first postpartum artificial insemination in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(12), 7003–7014.
<https://doi.org/10.3168/jds.2011-5260>

Holstein Association USA, Inc. (2020) Linear Descriptive Traits.
https://www.holsteinusa.com/pdf/print_material/linear_traits.pdf

Moreno, V., & Solé, X. (2004). Uso de chips de ADN (microarrays) en medicina: fundamentos técnicos y procedimientos básicos para el análisis estadístico de resultados. *Med Clin*, 122, 73-79.

Nowicki, A., Barański, W., Baryczka, A., & Janowski, T. (2017). OvSynch protocol and its modifications in the reproduction management of dairy cattle herds – an update. *Journal of Veterinary Research*, 61(3), 329–336. <https://doi.org/10.1515/jvetres-2017-0043>

Ruíz, R. A., Bravo, O. G. B., Chávez, A. J. G., & Albarrán, M. R. (2024). Principales sistemas de producción de leche en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. *Ciencias Veterinarias y Producción Animal*, 32-47.

Schukken, Y. H., Wilson, D. J., Welcome, F., Garrison-Tikofsky, L., & Gonzalez, R. N. (2003). Monitoring udder health and milk quality using somatic cell counts. *Veterinary Research*, 34(5), 579–596. <https://doi.org/10.1051/vetres:2003028>

Sorrenti, D. G., Cattaneo, M., & Villa, V. (2008). ULTRASONIC-BASED LOCALIZATION OF COW TEATS FOR ROBOTIZED MILKING. *Cybernetics & Systems*, 39(4), 310–332. <https://doi.org/10.1080/01969720802039453>

Souza, A., Ayres, H., Ferreira, R., & Wiltbank, M. (2008). A new presynchronization system (Double-Ovsynch) increases fertility at first postpartum timed AI in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 70(2), 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.03.014>

Wall, E., White, I., Coffey, M., & Brotherstone, S. (2005). The relationship between fertility, rump angle, and selected type information in Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science*, 88(4), 1521–1528. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(05\)72821-6](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(05)72821-6)

Worku, D., & Verma, A. (2024). Genetic variation in bovine LAP3 and SIRT1 genes associated with fertility traits in dairy cattle. *BMC Genomic Data*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12863-024-01209-x>