



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **UNIDAD ACADÉMICA DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS**

#### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título: Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Ciencias Veterinarias

**Autor:**

Falconí Flores Mercy Alexandra

**Tutor:**

MSc. Cartuche Macas Luis Favian

**Cotutor:**

Ph.D. Chacón Marcheco Edilberto

**LATACUNGA –ECUADOR**

**2025**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador”, presentado por Falconí Flores Mercy Alexandra, para optar por el título Magíster en Ciencias Veterinarias.

### **CERTIFICO**

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, abril, 22, 2025



firmado electrónicamente por:  
**LUIS FAVIAN  
CARTUCHE MACAS**

.....  
Cartuche Macas Luis Favian

CC: 1714681531

# APROBACIÓN TRIBUNAL

El Trabajo de Titulación: **Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador**, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magíster en Ciencias Veterinarias. El trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, mayo, 05, 2025



Miguel Angel  
Gutiérrez Reinoso  
Time Stamping  
Security Data

.....  
PhD. Dr. Gutiérrez Reinoso Miguel Ángel  
CI: 0502236623  
Presidente del tribunal

1fadd557-938 Firmado digitalmente  
3-4b0a-a09b- por  
e86cea3a9716 1fadd557-9383-4b0a-  
a09b-e86cea3a9716  
Fecha: 2025.05.07  
20:35:08 -05'00'

.....  
MSc. Silva Deley Lucía Monserrath  
CC: 0602933673  
Lector 2



Firmado electrónicamente por:  
RAFAEL ALFONSO  
GARZON JARRIN  
Validar únicamente con FirmaEC

.....  
PhD. Garzón Jarrin Rafael Alfonso  
CI: 0501097224  
Lector 3

## **DEDICATORIA**

A mi hijo, mi mayor ejemplo e inspiración.

A mi esposo, por su confianza en mí.

A mi madre, por el apoyo en todo momento.

Su amor me impulsa cada día y por ustedes estoy aquí.

Con cariño

Mercy

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por brindarnos formación de excelencia y apoyar a los profesionales para su desarrollo, sus programas permiten que alcancemos metas que parecían difíciles de lograr.

A mis docentes, por recordarme tantas enseñanzas y brindarme muchas nuevas experiencias y conocimientos, pero sobre todo por acercarme nuevamente al campo que tanto extrañaba.

Al Ingeniero Luis Cartuche Msc., por el gran apoyo brindado a esta causa, su guía ha sido un pilar fundamental, gracias por el tiempo y los conocimientos entregados.

Falconí Flores Mercy Alexandra

## **RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, mayo, 07, 2025



.....  
Falconí Flores Mercy Alexandra

1709277691

## RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente Trabajo de Titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, mayo, 07, 2025



.....  
Falconí Flores Mercy Alexandra  
1709277691

## AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: **Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador** contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del Tribunal en la predefensa.

Latacunga, mayo, 05, 2025



.....  
PhD. Dr. Gutiérrez Reinoso Miguel Ángel

CI: 0502236623

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD ACADÉMICA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**Título: Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador**

**Autor:** Falconí Flores Mercy Alexandra

**Tutor:** MSc. Luis Cartuche Macas

**Cotutor:** Ph.D. Chacón Marcheco Edilberto

**RESUMEN**

La inseminación artificial en la ganadería bovina se considera uno de los hitos más importantes en la reproducción animal, ya que permite la mejora genética, eficiencia reproductiva y control sanitario. La presente investigación estudia como en el Ecuador, ha ido evolucionando la importación y la producción nacional del semen bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial. Se aplicó una metodología mixta, con un enfoque exploratorio, descriptivo y explicativo, utilizando datos secundarios provenientes de Agrocalidad, INEC, ESPAC y el sistema de datos abiertos del Estado. Se analizaron registros de importaciones entre 2013 y 2023, así como la disponibilidad de toros por raza y el uso estimado de pajuelas. Los resultados indican que se importaron 3.738.389 dosis de semen, con un promedio anual de 339.853 dosis, siendo Estados Unidos, Brasil, Canadá y Nueva Zelanda los principales proveedores. Las razas lecheras más importadas fueron Holstein, Jersey, Brown Swiss y Gyr, y las cárnicas Charolais, Brangus, Nelore, Angus y Brahman. Se estimó que entre el 10,34 % y 16,11 % de las vacas mayores a dos años fueron inseminadas artificialmente, evidenciando un uso aún limitado en comparación con otros países. La investigación concluye que la IA es una biotecnología con potencial para lograr el mejoramiento genético, pero su adopción enfrenta desafíos técnicos, económicos y de capacitación, siendo necesario implementar políticas públicas que promuevan su uso, el registro de producción nacional de semen y el establecimiento de bancos de germoplasma regionales para preservar la diversidad genética bovina.

**PALABRAS CLAVE:** Inseminación artificial; semen bovino; biotecnología reproductiva; importación.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
UNIDAD ACADÉMICA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**Title: EVOLUTION OF THE IMPORTATION AND NATIONAL PRODUCTION OF BOVINE SEMEN AND ITS IMPLICATIONS FOR ARTIFICIAL INSEMINATION IN ECUADOR**

**Author: Falconí Flores Mercy Alexandra**

**Tutor: Magister Luis Cartuche**

**ABSTRACT**

Artificial insemination in cattle is considered one of the most important milestones in animal reproduction, as it has enabled genetic improvement, reproductive efficiency and sanitary control with the best results. This research studies how bovine semen imports and domestic production have evolved in Ecuador and its implications for artificial insemination. A mixed methodology was applied, with an exploratory, descriptive, and explanatory approach, using secondary data from Agrocalidad, INEC, ESPAC, and the State's open data system. Import records from 2013 to 2023 were analyzed, as well as the availability of bulls by breed and the estimated use of straws. The results indicate that 3,738,389 doses of semen were imported, with an annual average of 339,853 doses, noting that United States, Brazil, Canada, and New Zealand were the main suppliers. The most imported dairy breeds were Holstein, Jersey, Brown Swiss, and Gyr, and the beef breeds were Charolais, Brangus, Nelore, Angus, and Brahman. It was estimated that between 10.34% and 16.11% of cows over two years old were artificially inseminated, demonstrating its still limited use compared to other countries. The research concludes that AI is a biotechnology with the potential to achieve genetic improvement, but its adoption faces technical, economic, and training challenges. It is necessary to implement public policies that promote its use, to register national semen production, and to establish regional germplasm banks to preserve bovine genetic diversity.

**KEYWORD: Artificial insemination; bovine semen; reproductive biotechnology; importation.**

Daniela Alejandra Hurtado Salazar con cédula de identidad número: 1717412868 Licenciada en Lingüística Aplica con mención en Traducción con número de registro de la SENESCYT 1027-2020-2194989; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador de: Mercy Alexandra Falconí Flores ,aspirante a magister en Ciencias Veterinarias

Latacunga, abril, 21, 2025



Daniela Alejandra  
Hurtado Salazar



.....  
Daniela Alejandra Hurtado Salazar  
1717412868

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN .....   | 1  |
| Justificación.....   | 1  |
| Planteamiento del problema.....  | 1  |
| Hipótesis o preguntas de investigación.....                              | 2  |
| Objetivos de la Investigación .....                                      | 2  |
| Objetivo General .....   | 2  |
| Objetivos Específicos.....   | 2  |
| CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....                                  | 3  |
| 1 POBLACIÓN BOVINA EN ECUADOR .....                                      | 3  |
| 1.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA .....  | 5  |
| 2 PRINCIPALES RAZAS BOVINAS DEL ECUADOR .....                            | 6  |
| 3 BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS .....                                     | 8  |
| 3.1 Importancia de las biotecnologías reproductivas .....                | 10 |
| 3.1.1. Mejora genética y aceleración de la selección genética.....       | 10 |
| 3.1.2. Eficiencia reproductiva y productiva .....                        | 11 |
| 3.1.3. Reducción de costos y optimización de recursos.....               | 13 |
| 3.1.4. Preservación de la biodiversidad y conservación de especies ..... | 14 |
| 3.1.5. Mejora en la salud y bienestar animal.....                        | 14 |
| 3.1.6. Impacto en la producción sostenible .....                         | 14 |
| 3.2. BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS EN ECUADOR .....                       | 15 |
| 3.3. INSEMINACIÓN ARTIFICIAL .....                                       | 17 |
| 3.3.1. Inseminación artificial basada en la detección del celo .....     | 19 |
| CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                   | 20 |
| 1. Enfoque metodológico. ....  | 20 |
| 2. Tipo de investigación .....   | 20 |
| 3. Población y muestra .....   | 21 |
| 4. Propuesta de investigación.....                                       | 21 |

|   |    |
|---|----|
| 5. Análisis de bases de datos de importaciones.....                             | 21 |
| 6. Análisis de bases de datos de población bovina.....                          | 21 |
| 7. Análisis estadístico.....  | 22 |
| CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                       | 22 |
| 1. Población e inseminación artificial en hembras mayores a 2 años de edad..... | 22 |
| 2. Resultados importación de semen bovino.....                                  | 23 |
| 3.2 Resultados país de origen de material genético.....                         | 25 |
| 3. Resultados Razas bovinas importadas .....                                    | 26 |
| 3.3 Discusión .....   | 26 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....   | 30 |
| CONCLUSIONES.....   | 30 |
| RECOMENDACIONES .....   | 31 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 32 |

## **INDICE DE TABLAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Población Bovina Ecuador año 2024.....  | 3  |
| Tabla 2. Número de predios según tipo de explotación.....  | 4  |
| Tabla 3. Cabezas de ganado vacuno, número de vacas ordeñadas y producción de leche, por regiones, 2023 (en Unidades y Litros)..... | 6  |
| Tabla 4. Análisis de la población bovina y las pajuelas potencialmente utilizadas.....   | 23 |
| Tabla 5. Evolución de importación de material genético bovino en el Ecuador entre 2013-2023. ....                                  | 24 |
| Tabla 6. Crecimiento/decrecimiento de importaciones por país.....  | 25 |
| Tabla 7. Producción de material genético nacional de algunos países.....   | 27 |

## **INDICE DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Número de cabezas de ganado vacuno por raza (miles de cabezas) en el Ecuador... 8                                      | 8  |
| Figura 2. Número de pajuelas importadas por país entre 2013-2023 .....   | 24 |
| Figura 3. Proporción de toros disponibles por raza en el año 2024 por la finalidad de leche (izquierda) y carne (derecha). ..... | 26 |

## **INFORMACIÓN GENERAL:**

- Título del Trabajo de Titulación:** Evolución de la Importación y Producción Nacional de Semen Bovino y sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador.
- Línea de investigación:** Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.
- Proyecto de investigación asociado:** Recursos Zoogenéticos Locales, conservación y desarrollo sostenible.
- Grupo de Investigación:** Biodiversidad y Conservación Animal.

## **INTRODUCCIÓN**

### **Justificación**

Una de las principales biotecnologías reproductivas utilizadas a nivel mundial, es la inseminación artificial (IA), su práctica ha permitido por décadas la mejora genética del ganado y por este medio, un aumento de la eficiencia de la producción láctea y cárnica. Para la aplicación de esta biotecnología, se requiere la producción y/o importación del semen bovino.(1)

En Ecuador, la producción ganadera se ha identificado como una de las principales fuentes de empleo de las zonas rurales y un importante pilar en la economía nacional, tanto por la producción láctea como por la producción cárnica.(2) Con la finalidad que mejorar la productividad y competitividad de esta industria, las técnicas de inseminación artificial son una herramienta clave. Por lo que el acceso a esta tecnología, a la producción y la importación de semen en el Ecuador y la evolución de estos procesos, resulta crucial para evaluar sus efectos en la sostenibilidad del país en el sector ganadero.

Adicionalmente, entender la dinámica de estos procesos a lo largo del tiempo permitirá identificar retos y oportunidades para mejorar el acceso a otras tecnologías reproductivas para los productores ecuatorianos especialmente para los pequeños y medianos.

La presente investigación explora cómo ha evolucionado la dinámica de la importación y producción nacional de semen bovino en Ecuador y sus implicaciones en la inseminación artificial, con el fin de proporcionar información para futuras políticas públicas y tácticas de desarrollo en el sector pecuario.

### **Planteamiento del problema**

¿Cómo ha evolucionado la importación y producción nacional de semen bovino y cuáles son sus implicaciones en la inseminación artificial en Ecuador?

### **Hipótesis o preguntas de investigación**

Hipótesis: El uso de inseminación artificial bovina en el Ecuador es menor al 10%.

Pregunta de investigación: ¿Cuál es el porcentaje de uso de inseminación artificial en la población bovina del Ecuador como indicador de mejora genética?

### **Objetivos de la Investigación**

#### **Objetivo General**

Analizar la evolución de la importación y producción nacional de semen bovino y evaluar sus implicaciones en la inseminación artificial en el Ecuador.

#### **Objetivos Específicos**

1. Evaluar la población bovina de Ecuador mediante las bases de datos de ESPAC y de AGROCALIDAD.
2. Analizar las importaciones de semen bovino al Ecuador mediante la base de datos de la SENAE.
3. Analizar la relación de la población bovina que es reproductivamente activa con las importaciones de semen bovino en el uso de inseminación artificial.

# CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

## 1 POBLACIÓN BOVINA EN ECUADOR

El Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador por sus siglas SIPA, es un servicio de información estadística del sector agropecuario del país, que nace a partir de un ordenamiento de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales (LOTRTA), cuya función es recopilar los datos agro productivos, analizar y procesar la información para su posterior publicación.

Según el SIPA, en el año 2023, en el Ecuador existieron 3.723.196 cabezas de ganado bovino. Las provincias con las mayores existencias de cabezas de ganado bovino fueron: Manabí con 727.201, Chimborazo con 343.612, Cotopaxi con 292.654 y Azuay con 258.259 cabezas (3).

La Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario-Agrocalidad, como ente rector de la sanidad animal del Ecuador, ejecuta 2 veces al año el programa de vacunación contra la fiebre aftosa con carácter obligatorio y cuyo reporte, permite mantener un control de la población bovina del país. Al año 2024, la Agencia reportó las siguientes cifras que se indican en la Tabla 1.

*Tabla 1. Población Bovina Ecuador año 2024*

| <b>Provincia</b>                      | <b>Cabezas de ganado</b> |
|---------------------------------------|--------------------------|
| <b>Manabí</b>                         | 990.525                  |
| <b>Pichincha</b>                      | 374.045                  |
| <b>Esmeraldas</b>                     | 348.459                  |
| <b>Guayas</b>                         | 304.475                  |
| <b>Chimborazo</b>                     | 266.268                  |
| <b>Cotopaxi</b>                       | 261.294                  |
| <b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b> | 227.189                  |
| <b>Loja</b>                           | 202.105                  |
| <b>Azuay</b>                          | 179.181                  |
| <b>Morona Santiago</b>                | 168.109                  |
| <b>Bolívar</b>                        | 163.057                  |
| <b>Carchi</b>                         | 161.726                  |
| <b>El Oro</b>                         | 153.461                  |

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| <b>Cañar</b>            | 150.020   |
| <b>Zamora Chinchipe</b> | 141.706   |
| <b>Sucumbíos</b>        | 135.712   |
| <b>Tungurahua</b>       | 123.839   |
| <b>Imbabura</b>         | 109.000   |
| <b>Los Ríos</b>         | 83.409    |
| <b>Orellana</b>         | 82.347    |
| <b>Napo</b>             | 47.885    |
| <b>Pastaza</b>          | 25.455    |
| <b>Santa Elena</b>      | 19.241    |
| <b>Total general</b>    | 4'718.508 |

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario-Agrocalidad.

Los datos reportados, indican que en el Ecuador existen 4'718.508 cabezas de ganado, y las provincias con mayor número de bovinos son: Manabí, Pichincha, Esmeraldas y Guayas. Con respecto al tipo de producción de los bovinos, en la Tabla 2 se puede observar la distribución por predios y su tipo de explotación.

*Tabla 2. Número de predios según tipo de explotación*

| <b>Provincia</b>                      | <b>Carne</b> | <b>Leche</b> | <b>Lidia</b> | <b>Mixta</b> | <b>Total general</b> |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
| <b>Chimborazo</b>                     | 3.306        | 4.436        | 48           | 25.728       | 33.518               |
| <b>Manabí</b>                         | 1.433        | 490          | 47           | 30.971       | 32.941               |
| <b>Cotopaxi</b>                       | 5.039        | 6.168        | 125          | 17.119       | 28.451               |
| <b>Pichincha</b>                      | 1.681        | 12.928       | 48           | 9.100        | 23.757               |
| <b>Tungurahua</b>                     | 3.648        | 6.390        | 162          | 7.503        | 17.703               |
| <b>Guayas</b>                         | 240          | 46           | 16           | 13.684       | 13.986               |
| <b>Azuay</b>                          | 206          | 8.256        | 14           | 5.453        | 13.929               |
| <b>Bolívar</b>                        | 250          | 49           | 37           | 12.613       | 12.949               |
| <b>Loja</b>                           | 69           | 44           | 81           | 10.806       | 11.000               |
| <b>Cañar</b>                          | 122          | 9.040        | 21           | 1.795        | 10.978               |
| <b>Esmeraldas</b>                     | 720          | 58           | 11           | 8.311        | 9.100                |
| <b>Carchi</b>                         | 808          | 3.278        | 8            | 4.848        | 8.942                |
| <b>Imbabura</b>                       | 1.676        | 1.376        | 25           | 4.590        | 7.667                |
| <b>Santo Domingo de los Tsáchilas</b> | 1.791        | 2.799        | 2            | 2.882        | 7.474                |
| <b>Zamora Chinchipe</b>               | 1.064        | 249          | 12           | 5.342        | 6.667                |
| <b>Sucumbíos</b>                      | 859          | 78           | 1            | 4.789        | 5.727                |
| <b>Morona Santiago</b>                | 1.157        | 132          | 4            | 4.198        | 5.491                |
| <b>El Oro</b>                         | 1.684        | 52           | 2            | 3.182        | 4.920                |
| <b>Los Ríos</b>                       | 548          | 98           | 11           | 3.227        | 3.884                |
| <b>Napo</b>                           | 393          | 360          | 7            | 2.769        | 3.529                |
| <b>Orellana</b>                       | 675          | 79           | 5            | 2.760        | 3.519                |
| <b>Santa Elena</b>                    | 1.577        | 7            | 0            | 211          | 1.795                |

|                |     |     |   |     |       |
|----------------|-----|-----|---|-----|-------|
| <b>Pastaza</b> | 734 | 137 | 1 | 682 | 1.554 |
|----------------|-----|-----|---|-----|-------|

**Fuente:** Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario-Agrocalidad.

## 1.1 DISTRIBUCIÓN GEOGRAFICA

Ecuador es un país ubicado al noroeste de América del Sur, que cuenta con una extensión territorial de 256.370 km<sup>2</sup>. Posee cuatro regiones naturales: Litoral o Costa, Interandina o Sierra, Amazónica u Oriente, e Insular o Galápagos. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), quien informa través de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023 (3), el país posee una superficie plantada de pastos cultivados de 2,3 millones de ha, que representa un crecimiento negativo del 0,2 % respecto a los datos reportados del año anterior. Con respecto al ganado bovino, durante al año 2023, se documentó un decrecimiento del 3,6 % con relación al año 2022; se puede observar que, la región Sierra, es la que concentra el mayor número de cabezas de ganado a nivel nacional con un 54,8%, después se ubica la región Costa con el 36,6%, y con un menor aporte, la Amazonía que reporta el 8,6%. Para el año 2023, el país alcanzó una producción diaria de leche promedio de 5,6 millones de litros, lo que equivale a un rendimiento diario de 6,6 litros/vaca en promedio. Desglosando los datos referentes a la producción láctea, tenemos que, en la región Sierra se produjeron 4,3 millones de litros, que equivale al 77,7 % de la producción nacional de leche, le sigue la región Costa con el 18,3 % y la Amazonía con el 4,0 %. Si se desglosa por regiones al promedio de producción de leche por vaca al día, la región Sierra está a la cabeza con 7,7 litros/vaca, que se explica por la gran cantidad de bovinos de razas lecheras presente y la alimentación de las reses que es mayormente a base de pastos cultivados y pastos naturales. La Amazonía se ubica en el segundo lugar con una producción de 5,5 litros/vaca y la Costa, que posee sobre todo ganadería mixta está en el tercer lugar con 4,3 litros/vaca (Tabla 3).

Tabla 3. Cabezas de ganado vacuno, número de vacas ordeñadas y producción de leche, por regiones, 2023 (en Unidades y Litros)

| <b>Región</b>               | <b>Número de cabezas</b> | <b>Número de vacas ordeñadas</b> | <b>Producción de leche</b> |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| <b>Nacional</b>             | 3.723.196                | 841.529                          | 5.581.133                  |
| <b>Sierra</b>               | 2.039.677                | 564.662                          | 4.339.952                  |
| <b>Costa</b>                | 1.363.680                | 236.835                          | 1.019.113                  |
| <b>Amazonia</b>             | 318.957                  | 39.958                           | 221.566                    |
| <b>Zonas no delimitadas</b> | 882                      | 73                               | 502                        |

**Fuente:** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023 (3).

Evaluando los datos expuestos, se entiende las razones por las cuales, el sector agropecuario es de gran importancia para la economía del Ecuador, esto se puede evaluar al revisar los datos del Valor Agregado Bruto del Sector (VAB) de las actividades de *Cría de Animales*, que para el año 2023 aportó con USD 482.6 millones en el equivalente a una participación del 0,65% sobre el PIB (Producto Interno Bruto) y un crecimiento de 0,32% en comparación a la cifra del año 2022. (4) .

## **2 PRINCIPALES RAZAS BOVINAS DEL ECUADOR**

El Ecuador cuenta con una gran diversidad en la genética del ganado bovino, en las regiones Costa y Amazonía se encuentran sobre todo razas de ganado para producción carne y doble propósito, y en la Sierra, donde la producción láctea es mayoritaria, el ganado lechero en sus diferentes razas es más preponderante (5) (6).

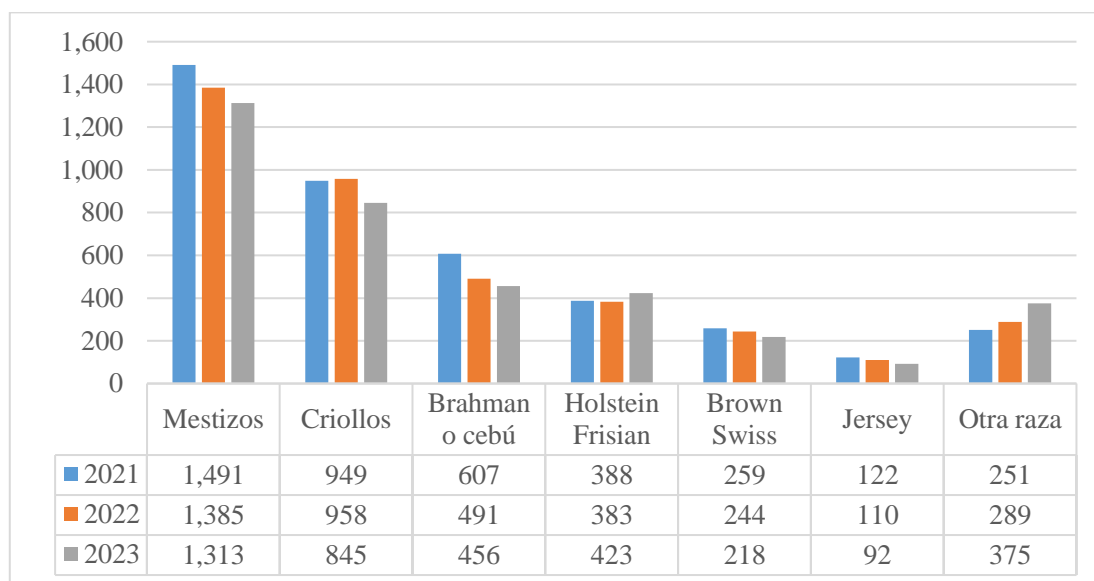
La ganadería bovina desempeña un papel primordial en la producción de proteína (carne y leche) de origen animal para la población, constituyéndose en una de las principales actividades agropecuarias a nivel nacional. En este aspecto, la composición y distribución racial del hato bovino en el Ecuador es un factor determinante en la eficiencia productiva y en la adaptación de los sistemas de explotación a las condiciones ambientales del país. Según el ESPAC (3), el ganado mestizo es el grupo

predominante, con un inventario de 1,3 millones de cabezas, lo que representa un 35,3 % del total (Figura 2). Este tipo de ganado se caracteriza por su adaptabilidad a distintas condiciones climáticas y su versatilidad productiva, lo que lo convierte en una opción estratégica en sistemas de producción tanto extensivos como semi-intensivos (7). En segunda posición se encuentra el ganado criollo, con un 22,7 % del total de cabezas censadas. Estas razas, derivadas de poblaciones introducidas durante la colonización y adaptadas a lo largo de los siglos a las condiciones locales, presentan ventajas en términos de rusticidad, resistencia a enfermedades y eficiencia en el aprovechamiento de recursos forrajeros (8). El origen de las razas bovinas ecuatorianas probablemente proviene de las razas del sur de España, sin una influencia reciente significativa de las razas cosmopolitas taurinas o cebuinas (8).

Pese al predominio de los bovinos mestizos y criollos, en el país se identifica la presencia de diversas razas especializadas en la producción de carne o producción de leche. Tenemos, por ejemplo, la raza Brahman o Cebú, conocida por su resistencia al calor y a parásitos externos, esta raza es ampliamente utilizada en regiones tropicales y subtropicales (9). En 2023, se registraron 456 mil cabezas, evidenciando una ligera reducción respecto a años anteriores. La raza Holstein Friesian es la raza lechera por excelencia, caracterizada por su alta producción de leche y su capacidad de respuesta a dietas balanceadas (10). En 2023, el censo reportó 423 mil cabezas, con un incremento respecto a 2022. La raza Brown Swiss, que se considera una raza de doble propósito, ya que combina una producción lechera aceptable con una buena tasa de crecimiento en sistemas cárnicos (11). La población de esta raza en 2023 se estimó en 218 mil cabezas, manteniendo una tendencia estable en comparación con periodos previos. La raza Jersey se destaca por su capacidad de producir leche con alto contenido de sólidos totales, lo que la hace ideal para la industria láctea (12). En 2023, se contabilizaron 92 mil cabezas, reflejando una reducción progresiva en su presencia dentro del hato nacional. Finalmente, la encuesta muestra una categoría donde se agrupan diversas razas con menor representatividad en el inventario bovino del Ecuador. En 2023, el

número de cabezas de este grupo alcanzó 375 mil, lo que indica que existe una tendencia al alza en comparación con años anteriores.

*Figura 1. Número de cabezas de ganado vacuno por raza (miles de cabezas) en el Ecuador.*



**Fuente:** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2023 (3).

### 3 BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS

La biotecnología reproductiva representa un campo de estudio y aplicación dentro de la ciencia animal que durante las últimas décadas ha presentado grandes avances, permitiendo mejoras sustanciales en la eficiencia productiva y la conservación de los recursos genéticos. Si nos referimos a la Convención sobre la Diversidad Biológica (CDB) de la FAO, vigente desde 1993, el término “biotecnología” engloba cualquier aplicación tecnológica que emplee sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos con fines específicos. Bajo este concepto general, la biotecnología reproductiva comprende un conjunto de técnicas avanzadas que modifican, optimizan o controlan los procesos fisiológicos de la reproducción animal con el propósito de acrecentar la eficiencia

productiva, perfeccionar la calidad genética y contribuir a la preservación de especies de interés zootécnico. Estas tecnologías han adquirido una importancia creciente en la ganadería, la acuicultura y la producción avícola, permitiendo maximizar la rentabilidad de los sistemas productivos y reducir el impacto ambiental mediante la optimización del uso de recursos (13).

La historia de las biotecnologías reproductivas, no se remonta solo a un par de siglos atrás, al contrario existen registros citados que mencionan que en el siglo XIV, hubo episodios de robo de semen equino entre tribus árabes, que por las noches colocaban paños en el interior de las yeguas rivales y luego de la monta de los caballos, retiraban los paños y se llevaban consigo el material seminal, que posteriormente colocaron en el interior de sus propias yeguas. (14)

No solo los árabes tuvieron experiencias empíricas sobre la reproducción animal, varias culturas antiguas, por medio de la observación de los procesos de reproducción naturales, pudieron desarrollar técnicas empíricas que se asemejan a las usadas actualmente, por ejemplo, los sumerios ensayaron la inseminación artificial en ovinos. (14)

Las biotecnologías reproductivas permitieron un crecimiento muy acelerado de la producción lechera durante el siglo XX, para los ganaderos, el cambio de la monta natural a la inseminación artificial significó la evolución de la gestión de sus rebaños, se eliminó por ejemplo la necesidad de tener toros en cada granja, y permitió también el poder seleccionar buenos ejemplares machos sin tener que comprarlos. (15)

Los sistemas de producción ganadera han tenido en las biotecnologías reproductivas un pilar fundamental para llegar a procesos eficientes, apoyando a mejoras en genética, nutrición y salud de los animales durante los últimos 100 años. La FAO en su Conferencia Técnica Internacional “*Estado Actual y opciones para las biotecnologías ganaderas en los países en desarrollo*” del año 2010, nos lista las biotecnologías utilizadas en la reproducción animal, estas son:

- Inseminación artificial

- Monitoreo de progesterona
- Sincronización de estro
- Fecundación in vitro y transferencia de embriones
- Crio preservación
- Determinación del sexo del semen y el embrión
- Clonación
- Marcadores moleculares, selección genómica
- Transgénesis
- Edición del genoma

(16)

### **3.1 Importancia de las biotecnologías reproductivas**

Las biotecnologías reproductivas han transformado la producción ganadera al proporcionar herramientas innovadoras para mejorar la genética, optimizar la eficiencia reproductiva y productiva, reducir costos, preservar la biodiversidad, mejorar el bienestar animal y promover la sostenibilidad.

#### **3.1.1. Mejora genética y aceleración de la selección genética**

La mejora genética en bovinos mediante biotecnologías reproductivas ha permitido acelerar el progreso genético en hatos lecheros y cárnicos. La inseminación artificial (IA) es una técnica pionera que revolucionó el uso de toros de alto mérito genético, incrementando la tasa de progreso genético hasta cuatro veces en comparación con métodos tradicionales de reproducción natural (17). Esta tecnología ha sido complementada con el uso de semen sexado, que permite seleccionar el sexo de la progenie con una precisión del 90%, optimizando la producción de hembras para sistemas lecheros o machos para sistemas cárnicos (18).

Por otro lado, la transferencia de embriones (TE) ha demostrado ser una herramienta crucial para multiplicar genotipos superiores. Una vaca donante puede producir hasta 10 crías por año mediante protocolos de superovulación y TE, lo que representa un

incremento significativo frente a los métodos convencionales (19). Además, la fertilización in vitro (FIV) permite obtener embriones a partir de óvulos inmaduros y semen criopreservado, logrando tasas de desarrollo embrionario del 35-45%. Estas técnicas no solo aceleran el progreso genético, sino que también permiten preservar líneas genéticas valiosas mediante criopreservación (20).

La selección genómica ha revolucionado la mejora genética al permitir evaluar el potencial genético de los animales con mayor precisión y rapidez. Esto reduce el intervalo generacional y aumenta la intensidad de selección, lo que se traduce en un progreso genético más rápido y eficiente. Además, la integración de marcadores moleculares permite identificar genes asociados a características productivas y de salud, mejorando la precisión en la selección de reproductores (21).

### **3.1.2. Eficiencia reproductiva y productiva**

La eficiencia reproductiva en bovinos ha mejorado significativamente gracias a las biotecnologías. La sincronización estral mediante dispositivos intravaginales y protocolos hormonales permite controlar el ciclo reproductivo con precisión, incrementando las tasas de concepción en un 15-20%. La combinación de IA con semen sexado y TE ha optimizado los índices reproductivos al reducir los períodos abiertos y aumentar la tasa de preñez en receptoras.(22)

La eficacia de las dosis de semen utilizadas para lograr la preñez en vacas se ha estudiado en el contexto del uso de semen convencional y semen sexado (procesado para separar los espermatozoides portadores de cromosomas X e Y). Estos estudios han revelado diferencias significativas en las tasas de preñez según el tipo de semen y la concentración espermática utilizada (23) (24). En el caso del semen convencional, una dosis estándar que contiene  $15 \times 10^6$  espermatozoides ha mostrado tasas de preñez promedio del 61.47% en vaquillas, mientras que el semen sexado, que generalmente se utiliza con dosis más reducidas (entre  $2$  y  $4 \times 10^6$  espermatozoides), presenta tasas de preñez ligeramente inferiores, que oscilan entre el 51.45% y el 56%. En vacas lecheras Holstein adultas, las tasas de preñez con semen sexado congelado son aún más bajas, alcanzando valores entre el 23% y el 25.4%, en comparación con tasas superiores al

43.9% observadas en vaquillas jóvenes. Esto sugiere que la edad del animal influye significativamente en la eficacia del semen sexado, siendo las vaquillas más propensas a lograr una preñez exitosa (25) (26) (27).

La cantidad de pajillas de semen requeridas por preñez en vacas varía según el tipo de semen utilizado, la concentración espermática y las técnicas de inseminación. Los estudios demuestran que con semen sexado se necesitan entre 2 y 2.27 pajillas por preñez exitosa, mientras que con semen convencional este número puede reducirse significativamente. Un experimento clave reveló que al diluir una dosis estándar de semen congelado ( $10 \times 10^6$  espermatozoides) en cuatro pajillas de  $2.5 \times 10^6$  cada una, se logró un índice de 0.5 pajillas por preñez sin afectar la tasa de concepción. Esto significa que una sola dosis puede generar hasta 1.97 preñeces cuando se fracciona correctamente (28).

En programas que combinan semen sexado y convencional, los cálculos prácticos indican que para obtener 11 preñeces en vacas se requieren 25 pajillas de semen sexado (2.27 por preñez), mientras que en vaquillas se necesitan 22 pajillas para el mismo resultado (2 por preñez). Estos valores asumen tasas de concepción del 50-55% para semen sexado y consideran factores como la habilidad del técnico, que influye en el 80% del éxito de la inseminación artificial (29) (30).

La implementación de la inseminación artificial a tiempo fijo (IATF) en el ganado bovino de la sierra y la costa del Ecuador presenta diferencias significativas debido a factores ambientales, genéticos y de manejo. En la región sierra, el clima es más fresco y estable, lo que puede favorecer la implementación de programas de IATF. Sin embargo, la altitud puede afectar la fertilidad y el desarrollo embrionario, requiriendo ajustes en el manejo reproductivo. Por otro lado, en la costa, el clima es más cálido y húmedo, lo que puede aumentar el estrés térmico y reducir la eficacia de la IATF. Esto requiere estrategias adicionales para manejar el calor y mantener la salud reproductiva del ganado (31). Los resultados reproductivos también reflejan estas diferencias. En la sierra, los resultados de la IATF suelen ser más consistentes debido a las condiciones climáticas más estables y el acceso a mejores servicios veterinarios. Las tasas de preñez

pueden ser más altas en comparación con la costa. En la costa, las tasas de preñez pueden ser más variables debido al estrés térmico y a la menor accesibilidad a servicios veterinarios especializados. Sin embargo, con un manejo adecuado, es posible mejorar los resultados reproductivos (32).

En sistemas tropicales, las técnicas como la aspiración folicular transvaginal (Ovum Pick-Up, OPU) han demostrado ser eficaces para obtener ovocitos viables incluso en condiciones adversas. Estudios reportan que esta técnica produce hasta 25 ovocitos por sesión con tasas de desarrollo embrionario del 30-40%. Esto es especialmente relevante en razas adaptadas a climas cálidos como *Bos indicus*, donde las respuestas a superovulación son inferiores a las observadas en *Bos taurus* (33).

La superovulación controlada es fundamental para maximizar la eficiencia reproductiva. Protocolos que combinan FSH con GnRH han demostrado mejorar las respuestas ováricas en un 30%. Además, la evaluación embrionaria no invasiva mediante espectroscopía Raman permite predecir la viabilidad embrionaria con alta precisión, reduciendo el número de transferencias fallidas y mejorando la eficiencia general del programa reproductivo (34).

### **3.1.3. Reducción de costos y optimización de recursos**

Las biotecnologías reproductivas han reducido los costos asociados a la reposición genética y optimizado el uso de recursos naturales. La criopreservación de semen y embriones permite almacenar material genético valioso para su uso futuro, disminuyendo la necesidad de mantener grandes poblaciones de animales reproductores. Esto se traduce en menores costos operativos y mayor flexibilidad para implementar programas genéticos estratégicos (35).

La producción in vitro de embriones minimiza el número de receptoras necesarias al garantizar altas tasas de viabilidad embrionaria post-transferencia. En sistemas intensivos, esta tecnología reduce un 30% los costos por unidad producida al optimizar el manejo reproductivo y disminuir las pérdidas asociadas a fallas gestacionales (36).

#### **3.1.4. Preservación de la biodiversidad y conservación de especies**

La conservación genética mediante biotecnologías es esencial para preservar razas autóctonas y garantizar la sostenibilidad frente al cambio climático. Los bancos genómicos almacenan millones de dosis espermáticas criogenizadas y embriones vitrificados para proteger recursos genéticos únicos. Estas estrategias son fundamentales para evitar la pérdida genética causada por fenómenos ambientales extremos o enfermedades epidémicas (37).

Además, tecnologías emergentes como la edición génica CRISPR/Cas9 están siendo exploradas para corregir alelos desfavorables en razas vulnerables. Esto podría revolucionar los programas de conservación al permitir modificar características específicas sin comprometer la diversidad genética global. La criopreservación de ovocitos también ha avanzado significativamente, alcanzando tasas de supervivencia del 93% post-vitrificación, lo que facilita la conservación de material genético femenino valioso (Wang et al., 2025).

#### **3.1.5. Mejora en la salud y bienestar animal**

Las biotecnologías también contribuyen al bienestar animal al reducir el estrés asociado a prácticas tradicionales. La sincronización hormonal mediante dispositivos automáticos disminuye el manejo físico directo y mejora los índices reproductivos sin comprometer la salud animal. Además, la selección genética asistida por marcadores moleculares permite identificar individuos resistentes a enfermedades como mastitis o fiebre aftosa, reduciendo el uso excesivo de medicamentos veterinarios (39).

La evaluación embrionaria no invasiva también reduce el estrés en las receptoras al minimizar el número de transferencias fallidas y mejorar la tasa de gestación exitosa. Además, la producción in vitro de embriones reduce la necesidad de mantener grandes poblaciones de receptoras, lo que contribuye a mejorar el bienestar animal al disminuir el número de animales sometidos a procedimientos reproductivos invasivos (39).

#### **3.1.6. Impacto en la producción sostenible**

La integración de biotecnologías reproductivas reduce significativamente la huella ambiental por unidad producida. Estudios han demostrado que estas tecnologías disminuyen un 22% las emisiones de metano por litro de leche producido al optimizar la eficiencia alimenticia y reducir los ciclos productivos. Además, las técnicas como FIV permiten maximizar el rendimiento productivo sin necesidad de incrementar el número total de animales en operación (40).

La selección genética para eficiencia alimenticia ha demostrado ser crucial para reducir el uso de recursos naturales. Animales seleccionados para tener una mayor eficiencia alimenticia requieren menos alimento por unidad de producción, lo que reduce la presión sobre los recursos naturales y minimiza el impacto ambiental. Además, la producción sostenible se ve reforzada por programas integrados que combinan selección genética con manejo ambiental adaptativo, asegurando que los sistemas ganaderos sean resilientes frente a desafíos climáticos mientras mantienen altos niveles productivos (41).

### **3.2. BIOTECNOLOGÍAS REPRODUCTIVAS EN ECUADOR**

Las biotecnologías reproductivas en bovinos han adquirido relevancia en Ecuador como herramientas para optimizar la eficiencia productiva y genética en sistemas ganaderos, aunque su implementación enfrenta desafíos multifactoriales. La inseminación artificial (IA) constituye la técnica más difundida, la misma que comenzó en 1952, pero no se consolidó hasta los primeros años de la década de los 70s. Se registraron un total de 4.950 vacas inseminadas en 2023 mediante pajuelas importadas principalmente de Estados Unidos y Canadá. Sin embargo, su aplicación se concentra en hatos especializados, alcanzando una penetración limitada del 15% en la población bovina nacional debido a barreras como la adaptación climática de razas foráneas y deficiencias en manejo nutricional. (42) Estudios evidencian que la eficacia de la IA en condiciones tropicales se reduce hasta en un 30% comparado con zonas templadas, particularmente en razas *Bos taurus* como Holstein, cuya diversidad genética ha

disminuido un 40% desde 1990 por endogamia derivada de programas intensivos de selección (43).

En paralelo, técnicas avanzadas como la transferencia de embriones (TE) y la fertilización in vitro (FIV) han ganado terreno en proyectos locales, aunque su adopción se restringe a iniciativas institucionales y hatos de alto valor genético. Por ejemplo, el proyecto liderado por la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) busca incrementar la producción embrionaria mediante protocolos de superovulación con hormonas recombinantes (FSH), logrando un promedio de 6,2 embriones transferibles por donante en condiciones experimentales. Estos avances tecnológicos, respaldados por una inversión inicial de \$33.000, apuntan a reducir la dependencia de importaciones de material genético y a preservar razas autóctonas en riesgo, como el bovino criollo del altiplano, cuya población ha disminuido un 60% en la última década (34).

La integración de tecnologías reproductivas ha demostrado impactos positivos en parámetros productivos: en ganado Charolais, la aplicación sistemática de protocolos de sincronización estral aumentó la tasa de partos anuales de 1,2 a 1,8 por vaca entre 2008-2022. No obstante, este progreso ha generado efectos colaterales, como un incremento del 0,8% en la consanguinidad por generación, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias complementarias de selección genómica. Programas piloto públicos en Cotopaxi han logrado avances promisorios, inseminando 160 bovinos de razas especializadas con semen sexado y mejorando la producción láctea en un 22% mediante la identificación de alelos asociados a resistencia climática. Pese a estos logros, la ausencia de bancos de germoplasma locales limita la conservación de recursos genéticos únicos y perpetúa la dependencia de material exógeno (44).

Los obstáculos para la adopción masiva de estas tecnologías incluyen limitaciones económicas, técnicas y regulatorias. El costo promedio de la TE (\$300-500 por embrión) y la FIV (\$1.000 por ciclo) las hace inaccesibles para el 85% de los pequeños productores, quienes carecen de subsidios estatales específicos. Adicionalmente, solo el 20% de los ganaderos en zonas como Guayaquil reciben capacitación en manejo reproductivo, lo que reduce la eficacia de la IA en condiciones tropicales húmedas. La

heterogeneidad en protocolos para razas *Bos indicus*, predominantes en regiones costeras, genera variabilidades del 35% en tasas de gestación, evidenciando la necesidad de estandarizar procedimientos adaptados a contextos locales (45).

Para maximizar el potencial de estas tecnologías, se requiere un enfoque integral que combine innovación científica, políticas públicas y conservación genética. Priorizar redes de investigación interinstitucionales permitiría desarrollar protocolos reproductivos adaptados a desafíos como el estrés térmico y la baja calidad forrajera. Paralelamente, programas de subsidios para adquisición de semen sexado y capacitación en IA, replicando modelos exitosos, podrían democratizar el acceso a pequeños productores. Finalmente, la creación de bancos de germoplasma regionales emergería como estrategia clave para preservar razas criollas y reducir la vulnerabilidad del sector ante fluctuaciones en el mercado global de material genético (46).

### **3.3.INSEMINACIÓN ARTIFICIAL**

La inseminación artificial marca el hito más importante de la reproducción animal, ya que fue la primera metodología usada como biotecnología en los procesos reproductivos; sus inicios se remontan a inicios del siglo XX en Rusia y Dinamarca, pero esta técnica se extendió ampliamente cuando sus resultados fueron conocidos, sobre todo por la utilidad para aumentar la tasa de preñez y para impulsar la mejora genética del ganado empleando a progenitores con un alto desempeño en sus parámetros productivos (47).

La recolección del semen y colocación en la vagina fue la metodología más antigua para el proceso de IA. Luego se realizó la inseminación en el cuello uterino con la implementación del uso del espéculo como instrumento para permitir la observación del orificio cervical. La historia data que la IA fue creada alrededor del año 1937 por unos veterinarios daneses, que hicieron una descripción metódica del proceso, describiendo paso a paso como debía realizarse la Inseminación, mencionando incluso el uso de guantes, la introducción de la mano dominante por el recto para poder sujetar

el cuello uterino y permitir el paso de una pistola de inseminación a través del cuello uterino para realizar la colocación del semen, por lo que a esta técnica se la llamó Inseminación Artificial por el método recto vaginal.(15)

La implementación de la IA (inseminación artificial) ha permitido la combinación de ejemplares con genética sobresaliente, optimizando la producción de crías con alto valor comercial. Entre sus ventajas más destacadas se encuentran la disminución de peligros físicos de los manejadores y las hembras que son asociados al uso de toros durante monta natural, el incremento en los índices de preñez y la posibilidad de acceder a material genético de machos altamente productivos (48). Aunque en sus inicios la IA fue adoptada principalmente por razones higiénicas, con el tiempo su impacto en el mejoramiento genético se volvió evidente. Un hito importante en su evolución fue el desarrollo de técnicas de criopreservación del semen en la década de 1940, lo que permitió su almacenamiento por periodos indefinidos. Adicionalmente, la IA ha favorecido la mejora de la fertilidad y producción lechera mediante el cruzamiento entre razas *Bos indicus* y *Bos taurus*, combinando el carácter de resistencia de las primeras con la alta productividad de las segundas. Como resultado, se han obtenido animales más adaptados a las condiciones ambientales del trópico y subtropical (49).

La IA ha sido una herramienta clave en el mejoramiento genético del ganado bovino en Ecuador, permitiendo la introducción y consolidación de diversas razas con alto potencial productivo. Esta técnica consiste en la colocación de semen seleccionado en el útero de las vacas, facilitando la reproducción de ejemplares con características deseables y optimizando la producción de los parámetros más importantes, esto es la leche y la carne bovinas.

En el ámbito de la producción lechera, las razas Holstein, Brown Swiss y Jersey han sido ampliamente promovidas mediante programas de inseminación artificial. Estas razas se caracterizan por su alta capacidad de producción láctea y adaptación a diversas condiciones climáticas. En particular, la raza Holstein Friesian ha experimentado una notable reducción en la diversidad de linajes paternos debido a la IA, lo que puede

llevar a una uniformidad genética que, si bien puede resultar en una mayor producción lechera a corto plazo, también aumenta la vulnerabilidad a enfermedades y reduce la capacidad de adaptación a cambios ambientales (50). Esto subraya la necesidad de diversificar las fuentes de semen y monitorear continuamente la variabilidad genética para prevenir posibles efectos adversos en la salud y productividad del ganado (51).

En cuanto a la producción de carne, la inseminación artificial ha facilitado la introducción de razas como Gyr, Angus (negro y rojo), Beefmaster, Braford, Brangus (negro y rojo), Charolais, Nelore y Hereford. Estas razas son reconocidas por su eficiencia en la conversión alimenticia y calidad de la carne, contribuyendo significativamente al mejoramiento de los hatos destinados a la producción cárnica en el país. Razas cárnicas como la Charolais han mostrado que con la aplicación de diferentes métodos de crianza utilizando individuos genéticamente de alta calidad influye en las tasas de endogamia y la pérdida de diversidad genética a lo largo del tiempo, lo cual podría minimizarse utilizando recursos genéticos foráneos en la población actual de ganado Charolais ecuatoriano, lo que tiene relación con la IA como herramienta de mejoramiento genético (44).

### **3.3.1. Inseminación artificial basada en la detección del celo**

El método inicial para realiza el proceso de inseminación artificial en hembras bovinas fue la IA a celo natural. En este caso, se realizaba la recolección de semen del toro y la posterior inseminación de la hembra mediante la técnica recto-vaginal, aproximadamente 12 horas después de la manifestación natural del celo, sin la necesidad de congelación ni el uso de hormonas exógenas. Para determinar el momento óptimo de inseminación, se empleaba la regla “am-pm”, donde las hembras detectadas en celo durante la mañana eran inseminadas en la tarde-noche y viceversa (52).

Considerando que la ovulación de las vacas se produce hacia el final del estro, aproximadamente 12 horas después de su inicio, y la inseminación debe realizarse entre 6 y 24 horas previas a la ovulación. La observación de tasas de concepción en animales inseminados fuera de este rango llevó al establecimiento de la regla "am-pm". La efectividad de la IA depende de múltiples factores, entre ellos, el momento exacto de

la inseminación en relación con la ovulación, ya que realizarla demasiado pronto o demasiado tarde puede afectar la viabilidad del ovocito y la funcionalidad de los espermatozoides (53).

El método clásico de detección del celo se basa en la visualización del comportamiento de las hembras, la palpación de los ovarios y el registro de eventos como la monta. Sin embargo, presenta limitaciones debido a variaciones en el ciclo estral de cada vaca, las condiciones ambientales y el manejo del hato (54).

## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. Enfoque metodológico.**

El enfoque de la investigación propuesta es de tipo mixta (cualitativa y cuantitativa). La investigación se fundamentó en un método cualitativo para desarrollar una teoría a partir de los datos investigados. En lugar de iniciar con una hipótesis, los investigadores que utilizan la teoría fundamentada parten de un área de estudio y recopilan datos relacionados con ella.

### **2. Tipo de investigación**

La presente investigación es exploratoria, descriptiva, y explicativa. Se utilizó una investigación descriptiva que combina métodos teóricos (revisión documental, abstracción) y empíricos (observación, bases de datos, resultados encuestas ESPAC) para analizar fenómenos sin alterarlos. Los primeros contextualizan el estudio, mientras los segundos recogen datos directos. Su integración permite descripciones rigurosas y fundamentadas.

### **3. Población y muestra**

Los datos de esta investigación se consideran como población total tanto de los datos de población proporcionados por Agrocalidad como los datos de las importaciones de material genético.

### **4. Propuesta de investigación**

Se propone esta investigación dado que se cuenta con suficientes datos históricos tanto de la población bovina registrada por AGROCALIDAD, así como los de la política de datos abiertos del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, en cuanto a importaciones del material genético.

### **5. Análisis de bases de datos de importaciones**

Para el análisis de las importaciones de semen bovino se utilizó la base de datos del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la información y de la Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador alojada en el Sistema de Datos Abiertos (<https://datosabiertos.gob.ec/>). En este sistema se seleccionó la base de datos de registros de importaciones aduaneras de régimen general de los años 2013-2024. Posteriormente se filtró y seleccionó la subpartida 511993000 correspondiente a semen bovino, en total se obtuvo 738 registros de importación que incluyo información de año, mes, país, cantidad comercial, peso, entre otras.

### **6. Análisis de bases de datos de población bovina**

Para el análisis de la población bovina se utilizó las bases de datos de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Para estimar el uso de

inseminación artificial se utilizó dos bases de datos la primera del SIFAE de AGROCALIDAD de Única Fase de Vacunación contra Fiebre Aftosa entre 2015-2023 y la del ESPAC 2013-2023

. Se considero la población de hembras en etapa fértil (>2 años de edad) que tiene relación con la edad a primer parto, por ejemplo Carrillo Álvarez et al., 2024 (55) publicaron una edad al primero parto de alrededor de 30 meses en la raza Holstein en Ecuador. El número total de hembras aptas para la inseminación artificial (vacanas/vacas) fueron de 2 911 480. El requerimiento teórico de número de pajuelas por inseminación artificial para lograr una hembra preñada es de 1 a 1.5 servicios por preñez.

Para el análisis de las razas importadas se diseñó una base de datos de los toros por raza disponibles en los catálogos de las empresas importadoras registradas en AGROCALIDAD.

## **7. Análisis estadístico**

Las bases de datos fueron diseñadas en el programa Microsoft Excel 2021, en total se diseñaron cuatro bases de datos: (1) importación de pajuelas por año, (2) número de toros disponibles por casa genética calificada por AGROCALIDAD, (3) población de hembras mayores a 2 años de edad del ESPAC entre 2013-2023 y (4) población de vacas entre 2015-2023 de AGROCALIDAD. Estas bases de datos fueron procesadas con estadística descriptiva en el programa SPSS.

# **CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## **1. Población e inseminación artificial en hembras mayores a 2 años de edad**

En la tabla 4 se muestra la evolución de la población bovina entre 2013-2023 tanto por la encuesta del INEC (ESPAC) como por los resultados de la vacunación de AFTOSA

realizado por AGROCALIDAD. Se observo que en promedio se produjo una reducción del 2.49% y 0.77% para los datos de ESPAC y AGROCALIDAD, respectivamente en los periodos evaluados.

*Tabla 4. Análisis de la población bovina y las pajuelas potencialmente utilizadas*

| <b>Año</b>  | <b>De 2 o más años de edad (Vacas) ESPAC</b> | <b>De 2 o más años de edad (Vacas) AGROCALIDAD</b> | <b>Promedio de pajuelas importadas año</b> | <b>% Inseminación * ESPAC</b> | <b>% inseminación** AGROCALIDAD</b> |
|-------------|--|--|--|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>2023</b> | <b>1,443,542</b>                             | <b>1,686,810</b>                                   | 348855                                     | 16.11%                        | 10.34%                              |
| <b>2022</b> | 1516391                                      | <b>1,717,229</b>                                   | 391974                                     | 17.23%                        | 11.41%                              |
| <b>2021</b> | 1586276                                      | <b>1,683,228</b>                                   | 350352                                     | 14.72%                        | 10.41%                              |
| <b>2020</b> | 1741919                                      | <b>1,645,514</b>                                   | 385018                                     | 14.74%                        | 11.70%                              |
| <b>2019</b> | 1694566                                      | <b>1,607,209</b>                                   | 392870                                     | 15.46%                        | 12.22%                              |
| <b>2018</b> | 1559687                                      | <b>1,570,205</b>                                   | 373444                                     | 15.96%                        | 11.89%                              |
| <b>2017</b> | 1617601                                      | <b>1,583,171</b>                                   | 317088                                     | 13.07%                        | 10.01%                              |
| <b>2016</b> | 1594593                                      | <b>1,582,382</b>                                   | 277112                                     | 11.59%                        | 8.76%                               |
| <b>2015</b> | 1574844                                      | <b>1,583,699</b>                                   | 269303                                     | 11.40%                        | 8.50%                               |
| <b>2014</b> | 1766419                                      | -  | 302313                                     | 11.41%                        | -                                   |
| <b>2013</b> | 1889236                                      | -  | 330060                                     | 11.65%                        | -                                   |

\*Número de animales de hembras mayores a 2 años de edad según el ESPAC; \*\* Número de animales de hembras mayores a 2 años de edad según AGROCALIDAD

Por otro lado, a pesar del decrecimiento, en los últimos años se observa una ligera recuperación en el año 2023 con respecto a 2022 en los datos de AGROCALIDAD, a pesar de que los datos de ESPAC muestren lo contrario, esto en la población total. En este sentido el efecto de que ESPAC sea una encuesta y AGROCALIDAD una fuente de toda la población podría estar generando estos resultados.

## **2. Resultados importación de semen bovino**

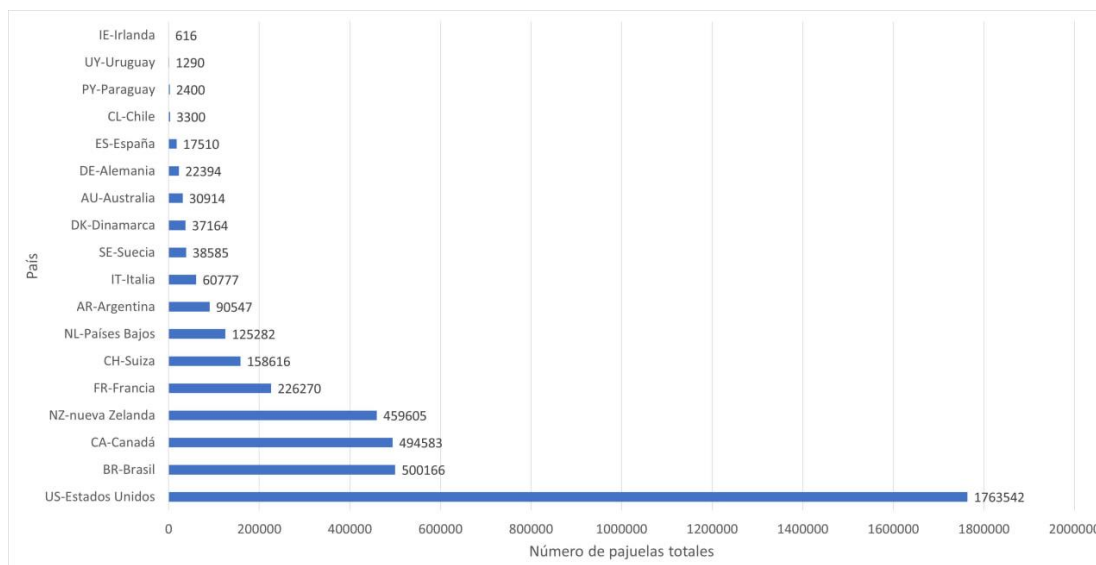
Entre 2013 y 2023 se han importado 3'738.389 dosis de semen con un promedio anual de 339.853,5 dosis (tabla 5), en la figura 1 se muestra la evolución de la importación por año, en la que se observa una tendencia estable de importación, con ligeros incrementos en el año 2019 y 2022. A nivel nacional no existe una estadística de producción de pajuelas.

Tabla 5. Evolución de importación de material genético bovino en el Ecuador entre 2013-2023.

| Año             | Cantidad  | Tasa de crecimiento, % |
|-----------------|-----------|------------------------|
| <b>2013</b>     | 330060    |                        |
| <b>2014</b>     | 302313    | 91.59                  |
| <b>2015</b>     | 269303    | 89.08                  |
| <b>2016</b>     | 277112    | 102.90                 |
| <b>2017</b>     | 317088    | 114.43                 |
| <b>2018</b>     | 373444    | 117.77                 |
| <b>2019</b>     | 392870    | 105.20                 |
| <b>2020</b>     | 385018    | 98.00                  |
| <b>2021</b>     | 350352    | 91.00                  |
| <b>2022</b>     | 391974    | 111.88                 |
| <b>2023</b>     | 348855    | 89.00                  |
| <b>Total</b>    | 3738389   | -                      |
| <b>Promedio</b> | 339853.55 | 101.09                 |

Al analizar las importaciones de pajuelas por país se encontró que entre Estados Unidos (43.72%), Brasil (12.40%), Canadá (12.26%) y Nueva Zelanda (11.39%) tienen el 79.78% del total de importaciones entre 2013-2023, esto se puede observar de mejor manera en la figura 2.

Figura 2. Número de pajuelas importadas por país entre 2013-2023



En total a 2024 se encuentran autorizados 141 centros de inseminación internacionales por AGROCALIDAD de los cuales el 31.21% son de Estados Unidos, 23.40% de Francia, 17.02% de Alemania, 5.67% de otros países.

### 3.2 Resultados país de origen de material genético

En la tabla 6 se muestra la evolución importaciones por país entre 2013-2023, se observó que Estados Unidos, Canadá, Nueva Zelanda y Argentina mantuvieron constantes las importaciones; por otro lado, Brasil, Francia, Países Bajos, Suiza, España e Italia mostraron un incremento considerable. En el caso de Dinamarca y Alemania mostraron un ligero decremento; mientras que el resto de países se observó que las importaciones fueron solo en un determinado año.

Tabla 6. Crecimiento/decrecimiento de importaciones por país

| País* | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | Mediana |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| US    | 1.00 | 0.95 | 0.66 | 1.08 | 1.01 | 1.08 | 0.99 | 0.95 | 0.99 | 1.09 | 0.87 | 0.87 | 0.96    |
| BR    | 1.00 | 0.38 | 3.11 | 1.06 | 1.80 | 1.73 | 0.72 | 1.74 | 1.12 | 1.01 | 1.10 | 0.57 | 1.28    |
| CA    | 1.00 | 0.89 | 1.07 | 1.22 | 1.13 | 0.70 | 1.37 | 0.85 | 1.02 | 0.95 | 0.89 | 1.07 | 1.01    |
| FR    | 1.00 | 1.70 | 0.70 | 2.14 | 0.51 | 1.77 | 1.33 | 0.60 | 0.69 | 2.12 | 0.68 | 1.62 | 1.24    |
| NZ    | 1.00 | 0.92 | 1.79 | 0.52 | 1.94 | 1.40 | 0.88 | 0.75 | 0.38 | 1.74 | 0.84 | 0.70 | 1.07    |
| NL    | -    | -    | 1.00 | -    | -    | 1.00 | 2.19 | 1.13 | 1.08 | 1.03 | 0.92 | 0.76 | 1.14    |
| CH    | 1.00 | 1.07 | 0.91 | 0.57 | 2.07 | 0.92 | 1.19 | 2.34 | 0.83 | 1.27 | 0.78 | 0.63 | 1.13    |
| IT    | 1.00 | 1.50 | 0.85 | 2.13 | 0.33 | 1.08 | 1.09 | -    | 1.00 | 0.92 | 0.70 | 2.65 | 1.21    |
| ES    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1.00 | 2.00 | 0.50 | 3.30 | 1.70    |
| DK    | 1.00 | -    | -    | 1.00 | 1.72 | -    | -    | 1.00 | 0.83 | 0.75 | 0.87 | 0.60 | 0.97    |
| DE    | 1.00 | 0.25 | -    | -    | 1.00 | -    | -    | 1.00 | -    | 1.00 | 1.50 | 0.79 | 0.93    |
| IE    | █    | █    | █    | █    |      | █    | █    | 1.00 | █    | █    | █    | █    | 1.00    |
| CL    | █    | █    | █    | █    | 1.00 | █    | █    | █    | █    | █    | █    | █    | 1.00    |
| SE    | 1.00 | 0.55 | █    | █    | █    | 1.00 | 1.37 | █    | █    | █    | █    | █    | 0.98    |
| AU    | 1.00 | 4.74 | 1.50 | 0.67 | 0.83 | 1.31 | 0.57 | █    | █    | █    | █    | █    | 1.52    |
| UY    | █    | █    | █    | █    | █    | █    | █    | █    | 1.00 | █    | █    | █    | 1.00    |

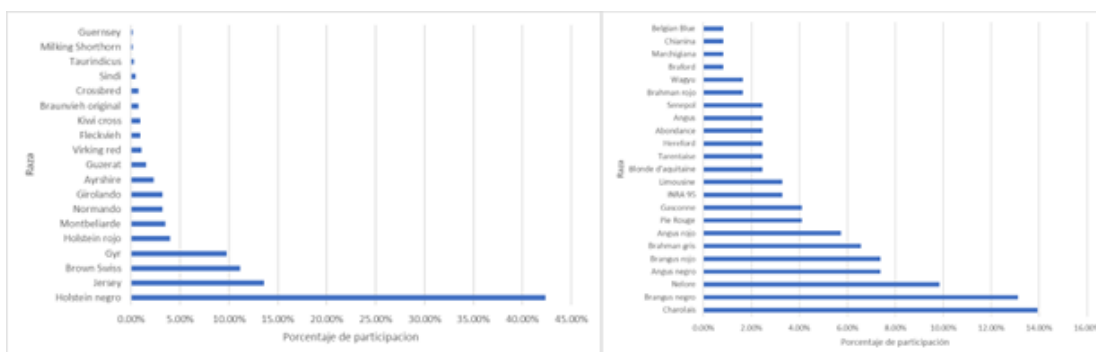
|    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AR | 1.00 | 1.00 | 1.37 | 2.02 | 1.14 | 0.48 | 0.62 | 0.76 | 1.05 |
| PY | 1.00 |      |      |      |      |      |      |      | 1.00 |

\*US: Estados Unidos; BR: Brasil; CA: Canada; FR: Francia; NZ: Nueva Zelanda; NL: Países Bajos; CH: Suiza; IT: Italia; ES: España; DK: Dinamarca; DE: Alemania; IE: Irlanda; CH: Chile; SE: Suecia; AU: Australia; UY: Uruguay; AR: Argentina; PY: Paraguay.

### 3. Resultados Razas bovinas importadas

En total se importan al Ecuador un total de 47 razas bovinas, de las cuales en el 50.00% tienen fin cárnico, 41.30% fin lechero y 8.70% doble propósito. En la figura 3 se muestra la distribución del número de toros disponibles en 2024 por cada raza. Se observa que en las razas lecheras Holstein Friesian, Jersey, Brown Swiss y Gyr se encuentra el 76.83% de toros importados; mientras que en las razas cárnicas Charolais, Brangus negro-rojo, Nelore, Angus negro-rojo y Brahman gris-rojo se encuentran el 65.57% de toros disponibles.

Figura 3. Proporción de toros disponibles por raza en el año 2024 por la finalidad de leche (izquierda) y carne (derecha).



### 3.3 Discusión

#### Población e inseminación artificial en hembras mayores a 2 años de edad

En Ecuador el decrecimiento de la población bovina ha sido una constante desde mediados de la década del 2000 (56,57), aunque en menor grado en los últimos años. Dentro de las causas del decrecimiento están: bajos precios de carne en pie y la leche, aumento del abigeato, informalidad del sector, efectos del clima que ha causado pérdidas de pastos, incrementando los costos de producción. El efecto de las políticas pecuarias, a través de los proyectos del MAG en la mejora genética, uso de

biotecnologías de la reproducción, pago por calidad de leche, comercialización de cortes que he mejorado la percepción del sector, generando una leve recuperación de la población.

Además, AGROCALIDAD con el objetivo de incentivar el crecimiento del sector ha emitido reglamentos para mejorar el pago de leche por calidad (grasa, proteína, células somáticas y CBT's) que han mejorado los precios de leche del productor a la industria. También, se han abierto mercados para la exportación de carne como Egipto; y animales vivos a medio oriente.(58,59) .

### **Importaciones y producción nacional**

Por ejemplo, en Perú entre 2003 y 2014 se importaron 3 621 369 pajuelas con un promedio de 301.780,75 pajuelas por año a comparación de Ecuador que mostro un promedio de 339.853,55 entre 2013-2023 considerando que la población bovina demandante de animales fértiles para el año 2012 para Perú fue 2.911.480 animales y en Ecuador para el año 2013 fue de 1.889.236 animales mayores a 2 años de edad; esto indica que en Ecuador se importan más pajuelas por animal fértil, es decir en Perú se importa diez pajuelas por cada 100 animales y en Ecuador 18 pajuelas por cada 100 animales.

*Tabla 7. Producción de material genético nacional de algunos países.*

| <b>Año</b> | <b>País</b> | <b>Cantidad total</b> | <b>Promedio año</b>            | <b>Fin</b>      | <b>Producción nacional</b> | <b>Valoración genética local</b> | <b>Fuente</b>                     |
|------------|-------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 2022       | Argentina   |                       | 3.614.340<br>(85-90% de leche) | Carne           | 3.990.539                  | Si                               | (Etcheverry, 2023) (60)           |
| 2022       | Argentina   |                       |                                | Leche           | 3.643.392                  | Si                               |                                   |
| 2015-2018  | Chile       | 2.424.514             | 606.128,5                      | Carne-<br>Leche |                            | No                               | (Piñeira Vargas et al., 2020)(61) |
| 2003-2014  | Perú        | 2.510.079             | 283.400.32                     | Carne-<br>leche | 923212.68                  | No                               | (Salinas et al., 2018) (62)       |

### **Razas por país y finalidad**

El comercio internacional está dominado por países del hemisferio norte, teniendo en el 2022, EE.UU. y Canadá el 67% y la Unión Europea (UE) el 29% del total (ver FAO).

En Ecuador las importaciones se centraron mayoritariamente

En Argentina tiene una participación importante, especialmente en importaciones de semen de razas lecheras, por ejemplo, de EEUU se importa el 62%, seguido de Canadá con un 23%, Nueva Zelanda un 8% y el restante 7% distribuido entre países como Reino Unido, Francia, Dinamarca, Brasil, etc. (60)

Si se observa en detalle quiénes fueron los países exportadores de semen bovino en 2022 (Figura 3), claramente está liderado por EE.UU. (50,4%), Canadá (16,4%), luego países europeos (Países Bajos, Alemania, Reino Unido, Francia, Dinamarca, Bélgica, Italia, entre otros), Nueva Zelanda, Australia, Argentina y Brasil. Aproximadamente el 85% del comercio mundial corresponde a semen del biotipo lechero.

En cuanto a razas tropicales de leche, Brasil es el principal proveedor de Ecuador, llegando a un 75.90% de Gyr y 24.10% de Girolando (63) y en los últimos años se ha incrementado la raza Guzerat. Este efecto es similar para países como Colombia, Panamá y Canadá (63)

### **Evolución**

El crecimiento de las importaciones de semen bovino en Ecuador se determinó en un promedio de 1.09% anual, en comparación a países como Argentina crecieron entre 2021/2022 en un 11% siendo entre el 85-90% semen importado de biotipo lechero.

### **Uso de inseminación artificial**

En Ecuador la inseminación artificial se estimó en un rango de 10.34-16.11% y en Perú el uso de inseminación artificial se encuentra en el 5.1% (62) mientras que en Argentina se encuentra en 34.1 para vaquillonas y 65.9% en vacas con cría (60); en el caso de Argentina se dio un incremento de semen significado en los últimos 20 años debido al uso masivo de programas de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF)

acompañado de una mayor participación de vacas y beneficios del uso de genética superior con información objetiva; considerando que la mayor población en inseminación es la de fin cárnico en la que se usa IATF de forma convencional.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- Se concluye que en Ecuador se usa de un 10.34-16.11% de inseminación artificial de acuerdo con los datos del ESPAC, AGROCALIDAD y de importaciones de la SENA. E.
- Dentro de las razas que más se importan están Holstein, Jersey y Brown Swiss en las lecheras taurinas y Gy y Girolando en las razas indicas. Por otro lado, en las razas cárnicas están Charolais, Brangus negro-rojo, Nelore, Angus negro-rojo y Brahman gris-rojo.
- Por país de origen Estados Unidos y Canadá son los que dominan en las razas lecheras taurinas y Brasil en las indicas. Mientras que en carne los países de origen son variados entre Estados Unidos, Argentina, Francia, Alemania, entre otros.
- No existen datos de la producción de material genético en el Ecuador. Aunque la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, mantiene un registro de los centros de material reproductivo y expende Certificados zoosanitarios de producción y movilidad para funcionamiento de centros de material reproductivo, no se registra los volúmenes de material originado.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda realizar un análisis permanente del consumo, producción nacional e importaciones de material genético especialmente de semen ya que este es un indicador del uso del uso de animales mejorados.
2. Se recomienda de igual manera analizar la información las importaciones de semen bovino por raza y por finalidad ya que esto permitirá analizar estrategias de uso de las biotecnologías por zonas y por razas a utilizarse.
3. Se recomienda que AGROCALIDAD inicie un proceso de registro de la producción de material genético: semen y embriones nacionales ya que esto permite tener cuanto se está producción a nivel de país y en que zonas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Van Eenennaam AL. The Current and Future Uses of Biotechnology in Animal Agriculture. *Ceiba*. 2016 Aug 3;54(1):72–81.
2. Andrade G, Andrade M, Suárez-Usbek A, Bautista-Espinoza H, Haro-Haro A. Impacto socioeconómico de la ganadería lechera en comunidades indígenas del Ecuador. *EASI: Ingeniería y Ciencias Aplicadas en la Industria*. 2023 Jul 29;2(1):34–43.
3. INEC-ESPAAC. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [Internet]. 2023 [cited 2025 Jan 26]. Available from: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
4. Corporación Financiera Nacional. Ficha-Sectorial-Ganadería [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 20]. Available from: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2024/07/Ficha-Sectorial-Ganader%C2%A1a.pdf>
5. Aguirre Riofrío EL, Lozano Lozano RF, Uchuari Pauta M de L. El manejo “al sogueo” en bovinos, un sistema que va desapareciendo en la Amazonia Sur del Ecuador. *Revista del Colegio de Médicos Veterinarios del Estado Lara*, ISSN-e 2244-7733, Año 10, Vol 19, 2020 [Internet]. 2020 [cited 2025 Mar 26];10(19):1. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8118331&info=resumen&idioma=ENG>
6. Avilés-Vélez DE, Avilés-Vélez DE, Cuétara-Sánchez LM, Suarez-Ponce DB. La actividad ganadera como elemento de bienestar en las comunidades rurales del cantón Chone. *Polo del Conocimiento* [Internet]. 2020 Aug 15 [cited 2025 Mar 26];5(8):1170–83. Available from: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1649>
7. Oloo RD, Ekine-Dzivenu CC, Mrode R, Bennewitz J, Ojango JMK, Kipkosgei G, et al. Genetic analysis of phenotypic indicators for heat tolerance in crossbred dairy cattle. *animal*. 2024 May 1;18(5):101139.
8. Delgado Bermejo JV, Barba Capote CJ, Aguirre Riofrío EL, Cabezas Congo R, Cevallos Falquez OF, Rizzo Zamora LG, et al. Molecular inference in the colonization of cattle in Ecuador. *Res Vet Sci*. 2020 Oct 1;132:357–68.
9. Kuhnert P, Loosli N, Brodard I, Lindtke D, Jores J. Resistance of zebu cattle (*Bos indicus*) to colonization by major ruminant hoof pathogens. *Vet Microbiol*. 2024 Sep 1;296:110184.
10. McClearn B, Delaby L, Gilliland TJ, Galvin N, Guy C, Dineen M, et al. The effect of Holstein-Friesian, Jersey × Holstein-Friesian, and Norwegian Red × (Jersey × Holstein-

- Friesian) cows on dry matter intake and production efficiencies in pasture-based systems. *J Dairy Sci.* 2022 Jan 1;105(1):242–54.
11. Cuellar CJ, Saleem M, Jensen LM, Hansen PJ. Differences in body temperature regulation during heat stress and seasonal depression in milk yield between Holstein, Brown Swiss, and crossbred cows. *J Dairy Sci.* 2023 May 1;106(5):3625–32.
  12. Sanjayaranj I, Lopez-Villalobos N, Blair HT, Janssen PWM, Holroyd SE, MacGibbon AKH. A Study of Milk Composition and Coagulation Properties of Holstein-Friesian, Jersey, and Their Cross Milked Once or Twice a Day. *Dairy 2023, Vol 4, Pages 167-179* [Internet]. 2023 Feb 9 [cited 2025 Mar 26];4(1):167–79. Available from: <https://www.mdpi.com/2624-862X/4/1/12/htm>
  13. Rosete Fernández JV, Álvarez Gallardo H, Urbán Duarte D, Fragoso Islas A, Asprón Pelayo MA, Ríos Utrera Á, et al. Biotecnologías reproductivas en el ganado bovino: cinco décadas de investigación en México. *Rev Mex Cienc Pecu* [Internet]. 2021 Nov 1 [cited 2025 Mar 26];12:39–78. Available from: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242021000500004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242021000500004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
  14. Díaz N. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS “BIOTECNOLOGÍA APLICADA EN EL CONTROL Y MANIPULACIÓN DEL CICLO ESTRAL DE BOVINOS” [Internet]. Escuela Superior politécnica del Chimborazo; 2021 [cited 2025 Apr 11]. Available from: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/16265/1/17T01680.pdf>
  15. Moore SG, Hasler JF. A 100-Year Review: Reproductive technologies in dairy science. *J Dairy Sci.* 2017 Dec 1;100(12):10314–31.
  16. Food and Agriculture Organization (FAO). FAO International Technical Conference Agricultural biotechnologies in developing countries: Options and opportunities in crops, forestry, livestock, fisheries and agro-industry to face the challenges of food insecurity and climate change (ABDC-10) Current Status and Options for Livestock Biotechnologies in Developing Countries. 2010.
  17. Crowe AD, Lonergan P, Butler ST. Invited review: Use of assisted reproduction techniques to accelerate genetic gain and increase value of beef production in dairy herds. *J Dairy Sci.* 2021 Dec 1;104(12):12189–206.
  18. Zuidema D, Kerns K, Sutovsky P. An Exploration of Current and Perspective Semen Analysis and Sperm Selection for Livestock Artificial Insemination. *Animals 2021, Vol 11, Page 3563* [Internet]. 2021 Dec 15 [cited 2025 Mar 31];11(12):3563. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/12/3563/htm>
  19. Hansen PJ. Review: Some challenges and unrealized opportunities toward widespread use of the in vitro-produced embryo in cattle production. *animal.* 2023 May 1;17:100745.

20. Cabrera P, Fernandez A. Conservación de embriones: Una Herramienta básica en la Reproducción Asistida. *Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias* [Internet]. 2006 [cited 2025 Apr 11];47(2):59–70. Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-65762006000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-65762006000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
21. Mckimmie C, Forutan M, Tajet HM, Ehsani A, Hickford J, Amirpour H. Impact of Implementing Female Genomic Selection and the Use of Sex-Selected Semen Technology on Genetic Gain in a Dairy Herd in New Zealand. *International Journal of Molecular Sciences* 2025, Vol 26, Page 990 [Internet]. 2025 Jan 24 [cited 2025 Mar 31];26(3):990. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/3/990/htm>
22. Ferré LB, Kjelland ME, Strøbech LB, Hyttel P, Mermillod P, Ross PJ. Review: Recent advances in bovine in vitro embryo production: reproductive biotechnology history and methods. Vol. 14, *Animal*. Elsevier B.V.; 2020. p. 991–1004.
23. Koca D, Aktar A, Turgut AO, Sağırkaya H, Alçay S. The Effect of Conventional Semen, Sexed-Semen, and Embryo Transfer on Pregnancy Rate in Holstein Dairy Cows. *Journal of Research in Veterinary Medicine* [Internet]. 2023 Dec 31 [cited 2025 Apr 9];42(2):99–103. Available from: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jrvm/issue/82347/1361215>
24. Wiebke M, Pieper L, Gürler H, Janowitz U, Jung M, Schulze M. Effect of using liquid semen on fertility in German Holstein Friesian dairy cattle: A randomized controlled clinical trial. *Theriogenology*. 2023 Mar 15;199:50–6.
25. Oikawa K, Yamazaki T, Yamaguchi S, Abe H, Bai H, Takahashi M, et al. Effects of use of conventional and sexed semen on the conception rate in heifers: A comparison study. *Theriogenology*. 2019 Sep 1;135:33–7.
26. McMurray J, DeCarlo AN, Long N, Pratt S. 128 Pregnancy and calving rates of beef cows comparing the sex-selected semen to conventional semen using timed artificial insemination. *J Anim Sci* [Internet]. 2020 Nov 28 [cited 2025 Apr 9];98(Supplement\_2):1–1. Available from: <https://dx.doi.org/10.1093/jas/skz397.002>
27. Pereira MHC, Cappelozza BI, Kloster AKM, Mamedes M, Vasconcelos JLM. Evaluation of pregnancy per artificial insemination of dairy animals detected in estrus during the synchronization protocol and assigned to conventional or sexed semen. *Anim Reprod Sci*. 2023 Oct 1;257:107324.
28. Silveira EC, Bortolotti LA, Morotti F, Silva-Santos KC, Santos GMG, Andrade ER, et al. Insemination of four cows per dose of frozen semen with a fixed-time artificial insemination protocol. *Animal Reproduction (AR)* [Internet]. 2018 Jul 26 [cited 2025 Apr 9];10(2):124–6. Available from: <http://www.animal-reproduction.org/article/5b5a604ff7783717068b46b4>

29. Dalton JC, Ahmadzadeh A, Shafii B, Price WJ, DeJarnette JM. Effect of Simultaneous Thawing of Multiple 0.5-mL Straws of Semen and Sequence of Insemination on Conception Rate in Dairy Cattle. *J Dairy Sci.* 2004 Apr 1;87(4):972–5.
30. Thomas JM, Locke JWC, Vishwanath R, Hall JB, Eilersieck MR, Smith MF, et al. Effective use of SexedULTRA™ sex-sorted semen for timed artificial insemination of beef heifers. *Theriogenology.* 2017 Aug 1;98:88–93.
31. Sartori R, Consentini CEC, Alves RLOR, Silva LO, Wiltbank MC. Review: Manipulation of follicle development to improve fertility of cattle in timed-artificial insemination programs. *animal.* 2023 May 1;17:100769.
32. Moore LG. HYPOXIA AND REPRODUCTIVE HEALTH: Reproductive challenges at high altitude: fertility, pregnancy and neonatal well-being. *Reproduction [Internet].* 2021 Jan 1 [cited 2025 Apr 9];161(1):F81–90. Available from: <https://rep.bioscientifica.com/view/journals/rep/161/1/REP-20-0349.xml>
33. Alvarez RH, Bayeux BM, Joaquim DA, Watanabe YF, Humblot P. Antral follicle count, oocyte production and embryonic developmental competence of senescent Nellore (*Bos indicus*) cows. *Theriogenology.* 2021 Oct 15;174:27–35.
34. Gutiérrez-Reinoso MA, Arreseigor CJ, Driedger B, Cabezas I, Hugues F, Parra NC, et al. Effects of recombinant FSH (bscrFSH) and pituitary FSH (FSH-p) on embryo production in superovulated dairy heifers inseminated with unsorted and sex-sorted semen. *Anim Reprod Sci.* 2023 May 1;252:107226.
35. Menchaca A. Assisted Reproductive Technologies (ART) and genome editing to support a sustainable livestock. *Anim Reprod [Internet].* 2023 Sep 8 [cited 2025 Mar 31];20(2):e20230074. Available from: <https://www.scielo.br/j/ar/a/gdXwy8DQfqqcpqmJPkmrTsz/?lang=en>
36. Iannone A, Carfi A, Mastrogiovanni F, Zaccaria R, Manna C. On the role of artificial intelligence in analysing oocytes during in vitro fertilisation procedures. *Artif Intell Med.* 2024 Nov 1;157:102997.
37. Stronen A V., Pertoldi C, Iacolina L, Kadarmideen HN, Kristensen TN. Genomic analyses suggest adaptive differentiation of northern European native cattle breeds. *Evol Appl [Internet].* 2019 Jul 1 [cited 2025 Mar 31];12(6):1096–113. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/eva.12783>
38. Wang H, Yang H, Li T, Chen Y, Chen J, Zhang X, et al. Optimization of CRISPR/Cas9 Gene Editing System in Sheep (*Ovis aries*) Oocytes via Microinjection. *Int J Mol Sci [Internet].* 2025 Feb 1 [cited 2025 Mar 31];26(3):1065. Available from: <https://www.mdpi.com/1422-0067/26/3/1065/htm>
39. Basak G, Kaur S, Sharma A, Kumar A. Animal Welfare: Reflections and Ethical Implications of Animal Biotechnology. *J Adv Biol Biotechnol [Internet].* 2024 May 28

[cited 2025 Mar 31];27(6):754–60. Available from:  
<https://journaljabb.com/index.php/JABB/article/view/936>

40. Hao P, Wu X, Liu Z, Tian L, Zhang X, Wang X, et al. Integrating traditional and biotechnological innovations for mitigating greenhouse gas emissions in dairy farming in China. *J Clean Prod.* 2025 Jan 1;486:144457.
41. Ojo AO, Mulim HA, Campos GS, Junqueira VS, Lemenager RP, Schoonmaker JP, et al. Exploring Feed Efficiency in Beef Cattle: From Data Collection to Genetic and Nutritional Modeling. *Animals* 2024, Vol 14, Page 3633 [Internet]. 2024 Dec 17 [cited 2025 Mar 31];14(24):3633. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/24/3633/htm>
42. Cartuche-Macas LF, Gutierrez-Reinoso MA, Chacón E, Larrea-Izurietta CO, García-Flores JM, Garcia-Herreros M. Ecuadorian Holstein-Friesian cattle paternal lineages: Demographic structure, inbreeding evolution, and genetic diversity. *PLoS One.* 2025 Feb 1;20(2 February).
43. Ríos-Utrera Á, Zárate-Martínez JP, Vega-Murillo VE, Enríquez-Quiroz JF, Montero-Lagunes M, Barradas-Piña FT, et al. Effect of the percentage of *Bos taurus* inheritance on the fertility of Holstein×Zebu and Brown Swiss×Zebu crossbred cows in the Mexican tropics. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* [Internet]. 2022 Apr 5 [cited 2025 Mar 31];35(2):68–81. Available from: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/347633>
44. Cartuche-Macas LF, Lozada EF, Gutiérrez-Reinoso MA, Chacón E, Navas FJ, García-Herreros M. Evolution of Population Structure, Reproductive Performance, Inbreeding, and Genetic Diversity in Ecuadorian Charolais Cattle. *Veterinary Sciences* 2024, Vol 11, Page 566 [Internet]. 2024 Nov 14 [cited 2025 Apr 9];11(11):566. Available from: <https://www.mdpi.com/2306-7381/11/11/566/htm>
45. Sánchez VH, Zambrano Mendoza JL, Sánchez VH, Zambrano Mendoza JL. Adopción e impacto de las tecnologías agropecuarias generadas en el Ecuador. *LA GRANJA Revista de Ciencias de la Vida* [Internet]. 2019 [cited 2025 Mar 31];30(2):28–39. Available from: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-85962019000200028&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962019000200028&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
46. Mestanza-Ramón C, Henkanaththegedara SM, Duchicela PV, Tierras YV, Capa MS, Mejía DC, et al. In-Situ and Ex-Situ Biodiversity Conservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Diversity* 2020, Vol 12, Page 315 [Internet]. 2020 Aug 17 [cited 2025 Mar 31];12(8):315. Available from: <https://www.mdpi.com/1424-2818/12/8/315/htm>
47. Moore SG, Hasler JF. A 100-Year Review: Reproductive technologies in dairy science. *J Dairy Sci.* 2017 Dec 1;100(12):10314–31.

48. Lozano-Domínguez RR, Aréchiga-Flores CF, López-Carlos MA, Cortés-Vidauri Z, Rincón-Delgado M, Carrera-Chávez JM, et al. Efecto del reemplazo folicular (GnRH) y de somatotropina bovina (bST) sobre la fertilidad de vacas lecheras expuestas a estrés calórico. *Rev Mex Cienc Pecu* [Internet]. 2020 Sep 21 [cited 2025 Mar 31];11(3):738–56. Available from: <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4828>
49. Gonzáles-Figueroa H, Molfino HMG. Biotecnología reproductiva. *BIOTEMPO* [Internet]. 2005 Sep 7 [cited 2025 Mar 31];5:5–11. Available from: <https://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/886/8520>
50. Cartuche-Macas LF, Gutierrez-Reinoso MA, Chacón E, Larrea-Izurietta CO, García-Flores JM, Garcia-Herreros M. Ecuadorian Holstein-Friesian cattle paternal lineages: Demographic structure, inbreeding evolution, and genetic diversity. *PLoS One* [Internet]. 2025 Feb 1 [cited 2025 Apr 9];20(2):e0318730. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0318730>
51. Cartuche Macas LF, Camacho Vallejo ME, González Ariza A, León Jurado JM, Delgado Bermejo JV, Marín Navas C, et al. Analysis of Endangered Andalusian Black Cattle (Negra Andaluza) Reveals Genetic Reservoir for Bovine Black Trunk. *Animals* [Internet]. 2024 Apr 1 [cited 2025 Apr 9];14(7):1131. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-2615/14/7/1131/htm>
52. Diskin MG. Review: Semen handling, time of insemination and insemination technique in cattle. *Animal*. 2018 Jan 1;12(s1):s75–84.
53. Parkinson TJ, Morrell JM. Artificial Insemination. *Veterinary Reproduction & Obstetrics*. 2019 Jan 1;746–77.
54. Silva MAM, Silva MAM, Pimentel LA. Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* [Internet]. 2017 Jun 5 [cited 2025 Mar 31];8(2):247–59. Available from: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2050>
55. Carrillo Álvarez I, Cartuche Macas L, Chacón Marcheco E, Ortuño Barba C, Guevara Viera G. Edad al primer parto de la raza Holstein Friesian en el Ecuador. *Universidad & ciencia* [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 23];13. Available from: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13376222>
56. Castillo Vélez MJ. Análisis de la Productividad y Competitividad de la Ganadería de Carne en el Litoral Ecuatoriano [Internet]. 2015. Available from: [www.rimisp.org](http://www.rimisp.org)
57. INEC-ESPAC. Encuesta de Superficie y producción Agropecuaria Continua (ESPAC). 2022.

58. Agrocalidad. Agrocalidad cierra el 2024 con la apertura del mercado egipcio para carne bovina congelada [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 23]. Available from: <https://www.agrocalidad.gob.ec/agrocalidad-cierra-el-2024-con-la-apertura-del-mercado-egipcio-para-carne-bovina-congelada/#>
59. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/el-sector-ganadero-se-fortalece-y-conquista-el-medio-oriente-con-la-exportacion-de-bovinos/#>. 2024 [cited 2025 Apr 23]. El sector gadero se fortalece y conquista el Medio Oriente con la exportación de bovinos. Available from: <https://www.agricultura.gob.ec/el-sector-ganadero-se-fortalece-y-conquista-el-medio-oriente-con-la-exportacion-de-bovinos/#>
60. Etcheverry M. Mercados de la genética bovina en Argentina y el mundo. Taurus [Internet]. 2023 [cited 2025 Apr 23];25. Available from: <https://www.revistataurus.com.ar/sistema/uploads/1129/entradas/09-cabia.pdf>
61. Piñeira Vargas JE, Díaz Ortega MA, Cancino Lopez OC. Relación genética entre toros de inseminación comercializados en Chile por distintas empresas proveedoras de semen: Un estudio de caso. CES Medicina Veterinaria y Zootecnia. 2020 Aug 31;15(2):38–48.
62. Salinas Rivera JL, García Salas MEC, Cárdenas Medina MG, Cabrera Villanueva PC, Pallette Pallette AE, Rodríguez Franco GJ, et al. Oferta de semen bovino lechero importado y nacional en el Perú del 2003 al 2014. Anales Científicos [Internet]. 2018 Jun 22 [cited 2025 Apr 23];79(1):137. Available from: [https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1150/pdf\\_81](https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1150/pdf_81)
63. FAO. The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture [Internet]. 2015 [cited 2025 Apr 23]. Available from: <https://www.fao.org/4/i4787e/i4787e00.pdf>