

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**“DETERMINACIÓN DE LA JERARQUÍA ANIMAL EN PROCESOS
DE PRODUCCIÓN: CASO SALA DE ORDEÑO
DEL ESTABLO LA MOLINA”**

Presentada por:

RENZO ISAAC MORALES VILLANUEVA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Lima – Perú

2023

La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)

Document Information

Analyzed document	RENZO ISAAC MORALES VILLANUEVA__FINAL____.docx (D151322992)
Submitted	11/29/2022 2:45:00 AM
Submitted by	EricksonRF
Submitter email	ericksonruizf@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	ericksonruizf.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

"DETERMINACIÓN DE LA JERARQUÍA ANIMAL EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN: CASO SALA DE ORDEÑO DEL ESTABLO LA MOLINA"

Presentada por:

RENZO ISAAC MORALES VILLANUEVA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Lima -

Perú

2022

La UNALM es la titular

de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24, Reglamento de Propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

"DETERMINACIÓN DE LA JERARQUÍA ANIMAL EN PROCESOS DE PRODUCCIÓN -CASO SALA DE ORDEÑO DEL ESTABLO LA MOLINA"

Presentada por: RENZO ISAAC MORALES VILLANUEVA

Tesis para Optar el

Título Profesional de:

BIÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg.Sc. Diana Zulema Quinteros Carlos

Dr. Edgar Hugo Sánchez Infantas PRESIDENTE MIEMBRO

Ph.D. Jorge Pedro Calderón Velásquez

Mg. Sc. Erickson

Ruiz Figueroa MIEMBRO ASESOR

Dra. Marta Williams León de Castro Co Asesora

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS

**“DETERMINACIÓN DE LA JERARQUÍA ANIMAL EN PROCESOS
DE PRODUCCIÓN –CASO SALA DE ORDEÑO
DEL ESTABLO LA MOLINA”**

Presentada por:

RENZO ISAAC MORALES VILLANUEVA

Tesis para Optar el Título Profesional de:

BIÓLOGO

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg.Sc. Diana Zulema Quinteros Carlos
PRESIDENTE

Dr. Edgar Hugo Sánchez Infantas
MIEMBRO

Ph.D. Jorge Pedro Calderón Velásquez
MIEMBRO

Mg. Sc. Erickson Ruiz Figueroa
ASESOR

Dra. Marta Williams León de Castro
Co Asesora

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada a mis padres, que son los cimientos de todo lo que soy ahora; a mi madre María Eugenia Villanueva Alfaro, quien siempre me ha apoyado con mano firme para no doblegarme ante las adversidades que te deparan la vida, a entender que todo se puede conseguir, con tantos refranes que aplico y siempre aplicare en cada momento de mi vida siendo un recordatorio de ella y sus enseñanzas en todo momento de mi vida y a mi fallecido padre Trinidad Morales Núñez, quien siempre me guio hasta su último momento a seguir el camino correcto en la vida, sin deber nada a nadie, evitando meterme en problemas y siempre apoyando a mi familia y ahora que no pudo verme titularme pero si graduarme, emprenderé en cada momento de mi vida siguiendo su ejemplo como hombre y padre de familia a futuro respetando la promesa que le hice de siempre velar por mi madre y mi hermanita Fátima Nicolle.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y maestros, quienes son los formadores de vida y quienes me han guiado para ser un profesional de calidad para nuestro país.

A mi madre por siempre apoyarme en todo momento y a mi padre que nos cuida desde el cielo, y que este logro va para honrarlos a ambos, ya que ellos formaron los cimientos de lo que soy.

A mi asesor por su paciencia y orientación en la elaboración de esta tesis que se fue amoldando desde antes de egresar y pudo ser culminada luego de muchos obstáculos.

A la sala de ordeño del establo La Molina por facilitarme la data de las vacas para la elaboración de mi tesis permitiendo profundizar los estudios.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Etología.....	3
2.1.1. Generalidades	3
2.1.2. Etología en los bovinos	3
2.2. Bienestar animal.....	4
2.2.1. Factores que afectan el nivel de bienestar	5
2.3. Jerarquía en vacas	8
2.4. Ordeño de las vacas	9
2.4.1. Tipos de ordeño	10
2.5. Unidad Experimental de Zootecnia “Renato Zeppilli Ferrazza”	10
2.5.1. Manejo del establo La Molina	10
2.5.2. Ordeño en el establo La Molina	11
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Área de estudio.....	13
3.2 Materiales	13
3.3 Parámetros a evaluar.....	13
3.4 Métodos estadísticos.....	13
3.5 Metodología.....	14
3.5.1 Análisis de Histograma Circular	14
3.5.2 Formación de Clústeres	14
3.5.3 Interpretación de las gráficas	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	18
4.1. Primer grupo de ordeño.....	18
4.2. Segundo grupo de ordeño	19

4.3. Tercer grupo de ordeño	20
4.4. Cuarto grupo de ordeño.....	21
4.5. Quinto grupo de ordeño	22
4.6. Sexto grupo de ordeño.....	23
4.7. Séptimo grupo de ordeño	24
4.8. Octavo grupo de ordeño	25
4.9. Noveno grupo de ordeño.....	26
4.10. Décimo grupo de ordeño.....	27
4.11. Décimo primer grupo de ordeño	28
4.12. Décimo segundo grupo de ordeño	29
4.13. Décimo tercer grupo de ordeño	30
4.14. Décimo cuarto grupo de ordeño.....	31
4.15. Décimo quinto grupo de ordeño.....	32
4.16. Décimo sexto grupo de ordeño.....	33
4.17. Décimo séptimo grupo de ordeño	34
4.18. Décimo octavo grupo de ordeño	35
4.19. Décimo noveno grupo de ordeño	36
4.20. Vigésimo grupo de ordeño.....	37
4.21. Vigésimo primer grupo de ordeño	38
4.22. Vigésimo segundo grupo de ordeño	39
4.23. Vigésimo tercer grupo de ordeño.....	40
4.24. Vigésimo cuarto grupo de ordeño.....	41
4.25. Vigésimo quinto grupo de ordeño.....	42
4.26. Vigésimo sexto grupo de ordeño	43
V. CONCLUSIONES	45
VI. RECOMENDACIONES	46
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	47
VIII. ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clústeres formados del primer grupo	18
Tabla 2: Clústeres formados del segundo grupo	19
Tabla 3: Clústeres formados del tercer grupo.....	20
Tabla 4: Clústeres formados del cuarto grupo.....	21
Tabla 5: Clústeres formados del quinto grupo.....	22
Tabla 6: Clústeres formados del sexto grupo	23
Tabla 7: Clústeres formados del séptimo grupo	24
Tabla 8: Clústeres formados del octavo grupo	25
Tabla 9: Clústeres formados del noveno grupo	26
Tabla 10: Clústeres formados del décimo grupo	27
Tabla 11: Clústeres formados del décimo primer grupo	28
Tabla 12: Clústeres formados del décimo segundo grupo.....	29
Tabla 13: Clústeres formados del décimo tercer grupo.....	30
Tabla 14: Clústeres formados del décimo cuarto grupo	31
Tabla 15: Clústeres formados del décimo quinto grupo.....	32
Tabla 16: Clústeres formados del décimo sexto grupo.....	33
Tabla 17: Clústeres formados del décimo séptimo grupo	34
Tabla 18: Clústeres formados del décimo octavo grupo	35
Tabla 19: Clústeres formados del décimo noveno grupo	36
Tabla 20: Clústeres formados del vigésimo grupo	37
Tabla 21: Clústeres formados del vigésimo primer grupo	38
Tabla 22: Clústeres formados del vigésimo segundo grupo.....	39
Tabla 23: Clústeres formados del vigésimo tercer grupo.....	40
Tabla 24: Clústeres formados del vigésimo cuarto grupo	41
Tabla 25: Clústeres formados del vigésimo quinto grupo	42
Tabla 26: Clústeres formados del vigésimo sexto grupo.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Grado de miedo o toleración al contacto humano.....	6
Figura 2: Acción de la Oxitocina.....	6
Figura 3: Situación de estrés.....	6
Figura 4: Interpretación del histograma circular	15
Figura 5: Representación gráfica del número óptimo de clústeres del Anexo 6	16
Figura 6: Interpretación del grafico de coeficiente de silueta del Anexo 7	16
Figura 7: Orden de ingreso del primer grupo	18
Figura 8: Orden de ingreso del segundo grupo.....	19
Figura 9: Orden de ingreso del tercer grupo.....	20
Figura 10: Orden de ingreso del cuarto grupo	21
Figura 11: Orden de ingreso del quinto grupo.....	22
Figura 12: Orden de ingreso del sexto grupo	23
Figura 13: Orden de ingreso del séptimo grupo	24
Figura 14: Orden de ingreso del octavo grupo	25
Figura 15: Orden de ingreso del noveno grupo	26
Figura 16: Orden de ingreso del décimo grupo	27
Figura 17: Orden de ingreso del décimo primer grupo	28
Figura 18: Orden de ingreso del décimo segundo grupo.....	29
Figura 19: Orden de ingreso del décimo tercer grupo	30
Figura 20: Orden de ingreso del décimo cuarto grupo	31
Figura 21: Orden de ingreso del décimo quinto grupo	32
Figura 22: Orden de ingreso del décimo sexto grupo.....	33
Figura 23: Orden de ingreso del décimo séptimo grupo	34
Figura 24: Orden de ingreso del décimo octavo grupo	35
Figura 25: Orden de ingreso del décimo noveno grupo	36
Figura 26: Orden de ingreso del vigésimo grupo	37
Figura 27: Orden de ingreso del vigésimo primer grupo.....	38

Figura 28: Orden de ingreso del vigésimo segundo grupo	39
Figura 29: Orden de ingreso del vigésimo tercer grupo	40
Figura 30: Orden de ingreso del vigésimo cuarto grupo	41
Figura 31: Orden de ingreso del vigésimo quinto grupo	42
Figura 32: Orden de ingreso del vigésimo sexto grupo	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fotos tomadas en la sala de ordeño	51
Anexo 2: Códigos de las vacas en estudio.....	55
Anexo 3: Ejemplo de datos transformados en orden nominal del ordeño durante el año 2016.....	56
Anexo 4: Métodos estadísticos empleados	57
Anexo 5: Dendrogramas de las vacas en el ordeño	66
Anexo 6: Número óptimo de clústeres	71
Anexo 7: Análisis de siluetas.....	76
Anexo 8: Comandos de r utilizados.....	81
Anexo 9: Secuencia de códigos utilizadas para el análisis estadístico	83

RESUMEN

El bovino es una de las principales fuentes de alimento para el hombre, tanto por la producción de leche y sus derivados como el queso, yogurt, entre otros y por ello, radica la importancia de estudios de mejora en la producción lechera, no solo en lo que concierne a sus aspectos fisiológicos sino también al estudio de su comportamiento, a pesar de no contar con la importancia respectiva, es uno de los factores claves para obtener una buena rentabilidad en todo sistema de producción animal; el conocimiento del comportamiento de los animales, para que el hombre pueda obtener beneficios a partir de ellos, data desde muchos siglos atrás y aunque a lo largo de la historia no se le ha dado mayor relevancia, es recién desde hace aproximadamente 40 años que su importancia se ha valorado para todos los sistemas de producción animal; en el presente trabajo, se analizan aspectos del comportamiento social de las vacas con el análisis de los datos del orden de ingreso al ordeño de las vacas en alta producción, obtenido del programa “Dairy Plan” con el cual se administra esa parte del sistema de producción lechera de la Unidad Experimental de Zootecnia a través de la estadística no paramétrica por medio de diferentes herramientas (Histogramas circulares de coordenadas polares, análisis clúster jerárquico, análisis de siluetas y número óptimo de clústeres) con el uso del programa R, demostrando la existencia de una jerarquía social en las vacas de alta producción y la existencia de una afinidad al respetar un orden jerárquico para su ordeño de manera significativa.

Palabras clave: Orden ordeño, vacas lecheras, Jerarquía animal, sala de ordeño.

ABSTRACT

The bovine is one of the main food sources for humans, as many milk production as its milk by-products like cheese or yogurt, and for this reason it's important to look into the improve in the milk's performance, not just focus in physiological aspects but also in behavior although this last aspect is important to obtain a good profitability from animal production doesn't receive a real importance; the knowledge of animal behavior to has benefits for humans has a lot of year, this aspect doesn't receive a significant relevance, but until 40 years ago that it's importance has been valued in all animal production systems; in the present work, behavior aspects are analyzed with data analysis from milking order of dairy cattle in high production, obtained from the program named "Dairy Plan" that is used to manage the milking parlor of the "Unidad Experimental de Zootecnia" with nonparametric statistics through different tools (Circular histograms with polar coordinates, hierarchical cluster analysis, silhouette analysis and optimal number of clusters) using R program, proving the existence of a social hierarchy in high production cows and an affinity to respect a hierarchical order for their milking in a meaningful way.

Keywords: Milking order, dairy cattle, animal hierarchy, milking parlor.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es de interés para la humanidad la búsqueda de nuevos métodos de manejo para maximizar la productividad en los diferentes sectores alimentarios, entre los cuales se encuentra el sector pecuario que es una de las principales fuentes de ingresos económicos del país, resaltando en este la crianza de los bovinos por su uso tanto de los productos primarios que aportan (carne, leche, piel) como de sus derivados (yogurt, queso, mantequilla, cuero, entre otros) para el mercado nacional, radicando en ello la importancia de la investigación científica para mejorar su rentabilidad, existiendo múltiples aspectos para optimizarlo; entre estos se encuentra la búsqueda del mejoramiento animal a través de la selección de material genético de sementales o la formulación de alimentos que mejoren su rendimiento, siendo estos aspectos focalizados en la rentabilidad económica del animal a pesar de existir otros elementos que pueden influenciar, directa o indirectamente, en el beneficio que pueden brindar.

En el ámbito científico, existen un número reducido de investigaciones donde entra a tallar aspectos de los bovinos que no estén enfocados en su productividad como su etología y bienestar, a pesar que estas ciencias se orientan en una de las cinco libertades animales (libres de manifestar su comportamiento natural), dejando de lado el concepto actual donde las vacas son vistas como simples biomáquinas y tomando en cuenta como se ven afectadas por el estrés, lo cual altera su productividad, predisposición a enfermedades y otros aspectos que impactan en la economía alimentaria. Por ejemplo, cuando las vacas son arreadas sin respetar su constitución social o cuando se cambia el número de individuos de su manada puede generarse cuadros de estrés y ansiedad en estos bovinos que a corto plazo manifiestan niveles bajos de oxitocina que se traduce en una pobre o nula bajada de leche en el ordeño que conlleva a elevar los costos de productividad; en cambio, cuando estos animales son mantenidos y manejados en condiciones donde se toma en cuenta su comportamiento y confort, estas pueden expresar mejor sus características genética favoreciendo su rendimiento productivo, demostrando que los estudios en etología contribuyen al mejor entendimiento, y como mencionan Arave & Albright (1997), ayuda a crear un mejor balance entre el bienestar animal y la productividad de los bovinos. Uno de los aspectos vistos en

La etología es el estudio del comportamiento social, siendo de interés explorarlo en las vacas en producción lechera, entrando a tallar la investigación de la existencia de algún orden social establecido que aún permanece en estos animales desde su etapa salvaje previa a la domesticación, donde un líder o un animal con mayor jerarquía guiaba al resto del grupo hacia un nuevo lugar para la búsqueda de alimento o protección ante los depredadores; Dickson *et al.* (1967), plantean que existe al menos tres estructuras sociales en una manada de bovinos en producción lechera en las que se encuentran la jerarquía en el orden de ordeño, la dominancia y los patrones de líder-seguidores, también mencionan que un líder es aquel animal que, de manera general, encabeza al grupo siendo el que incentiva una nueva actividad y en ello radica la importancia del estudio de los comportamientos sociales en estos animales en cuestión.

La presente investigación pretende evaluar a las vacas en etapa de alta producción siendo el objetivo el determinar la existencia de alguna jerarquía, su tipo y sistema de agrupamiento animal, en un proceso del sistema de producción lechera, caso del orden de ingreso a la sala de ordeño del Establo La Molina de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Etología

2.1.1. Generalidades

La palabra etología proviene del griego *ethos* (costumbre) y de *logos* (ciencia), siendo considerada una subdisciplina de la psicobiología que trata el análisis del comportamiento natural de los animales en su ambiente considerando al conjunto de las características fenotípicas influenciadas por factores genéticos que son el resultado de la selección natural (Petryna & Bavera, 2002); según De Elia (2002), es la ciencia que se encarga de estudiar y analizar la conducta y hábitos naturales de los animales en su ambiente o en cautiverio y al conocerlos, se pueden implementar mejores planes de manejo, de alimentación y/o de sanidad.

Giménez et al. (2009), exponen que el estudio del comportamiento de las especies domésticas es un medio para mantener su salud física y mental, además de su rendimiento productivo, al ser una ciencia enfocada en el bienestar animal, así como optimizar su utilidad; también menciona que es de importancia que en Latinoamérica genera mayor conocimiento en esta ciencia, al encontrarse el trato animal cercano a los límites de la crueldad; en lo que concierne al manejo zootécnico de la especie en estudio, la etología facilita información para su administración y como medio para tener un panorama completo del bienestar, ayudando a tomar mejores decisiones maximizando la rentabilidad aplicando rutinas que lo favorecen.

2.1.2. Etología en los bovinos

Esta ciencia en los bovinos es de interés científico, ya que estos animales aparentemente recuerdan experiencia y situaciones de estrés y tienen la capacidad de aprender, lo cual la pueden asociar a un lugar haciendo que estos animales no retornen voluntariamente a ese sitio; además, presentan una constitución social definido existiendo factores de dominancia y jerarquía; Low (1853), hace las primeras menciones del estudio de la dominancia social en las vacas lecheras; por su parte Woodbury (1941), describe un orden social de dominancia que llamó orden de enganche o embestida y el inicio de los estudios científicos referidos a

sus relaciones de dominancia social empezaron con Schein & Fohrman (1955), quienes detallan los comportamientos agresivos de los animales en el ordeño, un sistema para determinar la estructura social en una manada y el efecto de su organización en la conducta de los individuos, siendo definida como la relación en la que un animal a través de intimidaciones, fuerza o mero placer provoca un comportamiento de sumisión cediendo un espacio determinado entre sus compañeros, siendo esto expresado como conductas sociales “gregarias”. Por su parte Callejo (2009), plantea que al formarse grupos con gran tamaño se pueden generar conflictos internos entre los animales, y, por el contrario, su cría en aislamiento provocaría otros problemas corroborando la relevancia del contacto social entre ellos.

Enfocados en la conducta de los bovinos, Syme & Syme (1979), plantean que el impulso de fuga es una de las conductas más relevantes para fines de manejo de vacas, las cuales son consideradas “animales de fuga” que tienden instintivamente a alejarse de las especies predatoras, como los perros, o dominantes, como los humanos y congéneres de mayor jerarquía en el grupo; estas conductas se divide en dos categorías: a) Actos agonistas, que pueden ser actos de agresión u ofensivas o de respuesta a la agresión (sumisión, retroceso, huida) y; b) Actos no agonistas, formando parte del comportamiento sexual o las manifestaciones de afinidad, como olfateo, lamido, razonamiento, apoyo de la cabeza contra otro animal, entre otros; en el primer caso, este comportamiento ha sido estudiado más a profundidad en animales domésticos considerándose como claros indicadores sociales; en el segundo, con la excepción de conductas de liderazgo y seguimiento, donde hay menos estudios, al tener funciones no tan claras en la constitución social.

2.2. Bienestar animal

Existe varios conceptos para definir el bienestar, entre los cuales está el expuesto por las normas internacionales de la Organización Mundial de la sanidad Animal (OIE), donde se hace referencia al bienestar como la salud física y mental de un animal que puede ser influenciado fenotípicamente por su ambiente, y se incluyen las “cinco libertades” planteadas en 1965 que describen los derechos de los animales que están bajo el cuidado del hombre las cuales son: libre de hambre, de sed y desnutrición; libre de temor y de angustia; libre de molestia física y térmica; libre de dolor, de lesión y de enfermedad y libre de manifestar un comportamiento natural (Bacelar, 2021). Para lograr que los animales de

granja logren alcanzar todas las “libertades” mencionadas, es necesario conocer los factores que influyen en el bienestar.

2.2.1. Factores que afectan el nivel de bienestar

Autores como Fox (1983), describen que las vacas lecheras y otros animales de granja independientemente de su comportamiento son animales, en cierto grado, que perciben su entorno y presentan necesidades físicas y mentales y no deberían de considerarse como biomáquinas, lo cual puede interpretarse filosóficamente que tienen derechos, conllevando una carga moral hacia los humanos como sus administradores, para asegurarles condiciones de vida óptimas para un adecuado bienestar. Por su parte Gary (1987), menciona que el bienestar del ganado bovino se ve afectado por factores como la temperatura y humedad relativa, las instalaciones, el manejo zootécnico, la nutrición y la medicina preventiva, los cuales son un indicativo de la relación de éstos con el sistema de producción en el cual viven; por ello, Duncan (1990), describe que el reconocer estos factores puede considerarse un punto de inicio para desarrollar investigaciones para evaluar el bienestar y hablando de forma extendida, Bach *et al.* (2006), mencionan que el nivel de bienestar pueden ser conocido al definir los factores de manejo y factores sociales.

a. Factores de Manejo (interacción vaca-hombre)

Un buen manejo y trato de los animales tiene como resultado a un animal más amigable y tranquilo; por ello, un ganado que sea correctamente administrado es uno que permite a un desconocido aproximarse a menos de 75 cm (Figura 1) lo cual ocurre durante el ordeño, siendo una de las mayores interacciones la de vaca-hombre; durante el ordeño, la secreción y acción de la hormona oxitocina es vital para producir adecuadamente el reflejo de la eyección de la leche (Figura 2) que puede modificarse en situaciones de estrés (Figura 3), siendo esto último consecuencia de una interacción agresiva por el ordeñador, reflejado en un animal difícil de manejar y que reacciona bruscamente desencadenando una reacción de estrés; adicional a ello, Munksgaard *et al.* (1997), demostraron que las vacas son capaces de identificar la presencia de alguna persona que reconozca como “nociva” para ellas, traduciéndose en una reacción de estrés que reduce la producción de lechera y aumenta la leche residual (leche que queda en la ubre) una vez finalizado el ordeño.

Grant & Albright (2000), plantean que otro punto a considerar es, una buena agrupación de los grupos de ordeño, ya que, si es inapropiada para las vacas, puede perturbar su rutina y

comportamiento normal sin olvidar que las decisiones para su manejo en el establo no deben interferir en la habilidad de las vacas para realizar sus actividades.

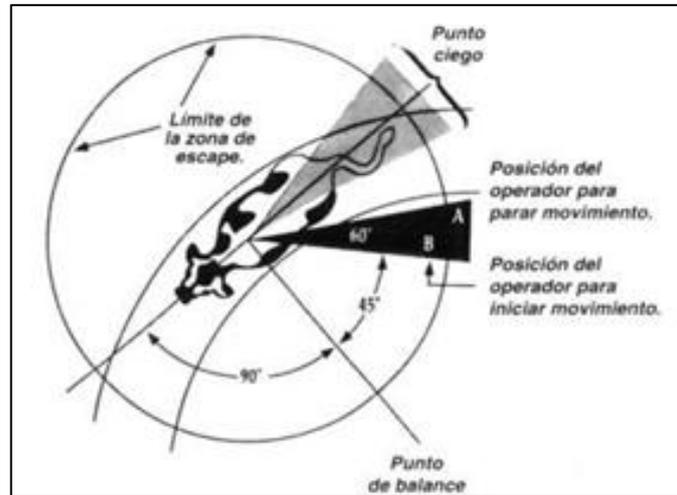


Figura 1: Grado de miedo o toleración al contacto humano
FUENTE: Bach (2006).

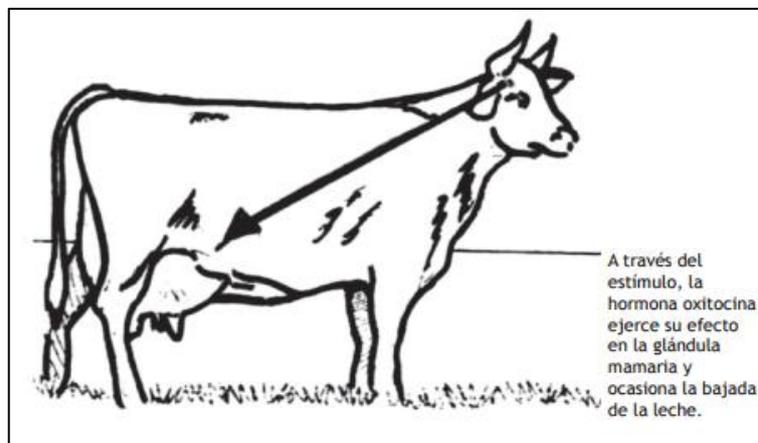


Figura 2: Acción de la Oxitocina
FUENTE: Gonzales (2015).

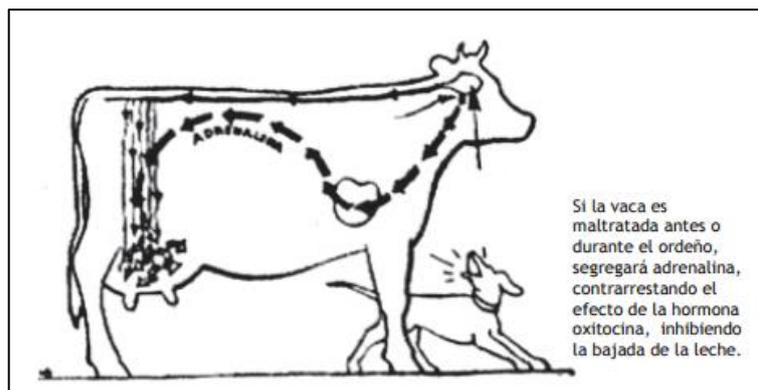


Figura 3: Situación de estrés
FUENTE: Gonzales (2015).

b. Factores Sociales

La vaca es un animal gregario en donde su comportamiento puede ser replicado por sus congéneres (facilitación social) como la acción de ir a la zona de alimentación, recostarse, beber e incluso ir a ordeñarse en grupos; dentro de cada grupo de vacas se cree que existe un orden jerárquico que se establece rápidamente y una vez establecido se mantiene y cuando se generan alteraciones en su constitución, este orden debe ser restablecido (Albright, 1978). Por su parte, Albright & Arave (1997), mencionan que en 20 grupos de cuatro vacas desconocidas, el 65% de sus interacciones sociales fueron determinadas sin necesidad de un enfrentamiento ni contacto físico entre los animales y a pesar de la rapidez en el establecimiento de la jerarquía de dominancia, fueron muy estables y solo el 4% de estas fueron revertidas y en el caso de grupos de más de 100 vacas, la habilidad de reconocer a sus compañeras puede disminuir; cuando se decide mover vacas desde un grupo a otro, es necesario considerar el trabajo, la nutrición y las implicaciones sociales de moverlas en contraste a la mayor eficiencia nutricional de grupos con requerimientos de manejo y alimentación similares.

Schein & Fohrman (1955), plantean que cuando un nuevo animal es agregado, la vaca líder generalmente se acercará al nuevo animal con la cabeza baja, amenazándola a golpes y si el nuevo integrante acepta el reto, generalmente se inicia una lucha física que la realizan cabeza contra cabeza en una batalla de fuerza una vez que uno de ellos gana intentando dominarlo completamente; en algunas ocasiones puede ser una victoria en un solo encuentro y otras se realizan una serie de encuentros durante varios días y en caso de que una vaca se retira por una amenaza o después de un conflicto físico, se vuelve sumisa a la otra vaca y se ubica debajo de la escala social y una vez establecidas, las relaciones jerárquicas son bastante constantes; otro autor afirman que se requiere de alrededor de una semana para reestablecer y estabilizar la jerarquía de dominancia luego de la introducción de un nuevo individuo al grupo; Lamb (1976), menciona que la acción de agregar nuevos miembros a un grupo social estable, puede ser afectado por las nuevas interacciones que se generan hasta que el nuevo individuo introducido encuentre su lugar, existiendo estudios que han sugerido que el mover vacas entre grupos perturba la estructura social estable de la manada, lo cual provoca un aumento de comportamientos agresivos y de estrés social.

Una de las preocupaciones que tienen los productores lecheros es como prevenir la reducción en la producción lechera cuando se cambian a las vacas de grupo, ya que las vacas al sufrir

estos cambios padecen de un estrés tanto social como nutricional; Albright (1978), expone que existe una disminución del 2.5 al 5 % en la producción lechera por los cambios sociales que pueden sufrir los grupos de ordeño en comparación de los animales que no fueron reagrupados; asimismo, Konggaard & Krohn (1978), realizaron una serie de pruebas en animales donde se les cambiaba de grupo, encontrando que consumían menor cantidad de alimento y producían menor cantidad de leche.

2.3. Jerarquía en vacas

Las vacas establecen interacciones de dominancia-subordinación entre sí dando como resultado lo que se conoce como jerarquía, esto se establece a través de contactos agresivos basados en conflictos físicos o en conductas mucho más sutiles, tales como el desplazamiento de un animal por otro (Phillips & Rind, 2001); esta dominancia se observa cuando ciertos individuos inician y ganan encuentros con otras vacas del grupo tal y como expone Albright (1978), donde estos son el “cabeza con cabeza” (60%), seguido por los ataques a la región del cuello (~10%), siendo menos frecuente en las regiones laterales del cuerpo.

Autores como Giménez (1999), exponen que los bovinos pueden definir su ubicación sin llegar a una confrontación estableciendo un orden por señales corporales, estableciendo niveles de dominancia; este mismo autor afirma que en el ordeño, el comportamiento es por lo general tranquilo y ordenado mientras no se presente un estímulo negativo (trato del ordeñador, experiencias pasadas, influencia genética e interacciones ambientales) que pueda generarles miedo o resistencia a ingresar al área de ordeño y como resultado de ello, se forma una tendencia al liderazgo de algunas vacas que presentan la mayor jerarquía social en la manada. Según De Elia *et al.* (2002), se pueden establecer 3 tipos de jerarquía:

- Jerarquía Lineal: El individuo A domina al B, y este domina a todos menos al A, el Z no ejerce dominancia.
- Jerarquía bidireccional: siendo la más común, con una o más interacciones triangulares; en este caso en animal A es desplazado por otros dos, en el cual el A domina al B que domina al C y este a su vez domina al A. Los tres dominan al resto del grupo.
- Jerarquía Compleja: Aquí se presentan múltiples jerarquías bidireccionales sin ningún orden preestablecido.

En los primeros estudios de Schein & Fohrman (1955), proponen que el orden social jerárquico de las vacas es lineal; por su parte, Beilharz & Mylrea (1963), han desafiado este concepto y han sugerido un orden bidireccional o de relaciones de más alto orden; aparentemente, mientras más grande sea el grupo mayor será la desviación del orden en línea recta; en el caso de grandes grupos, parece existir una relación definida entre cada par de animales con uno dominante o superior, pero no claramente definido incluyendo a quien lidera la manada; este liderazgo se refiere de manera general a la habilidad de un individuo para influenciar los patrones de movimiento de un grupo para cambiar de posición donde Syme *et al.* (1975), categorizaron el liderazgo como social o espacial; en el primer caso hace referencia a los aspectos de bienestar, mientras que el otro describe el movimiento o proximidad grupal entre individuos en un área en específico; en lo que respecta a los movimientos que se prestan para la evaluación del liderazgo incluyen el pastoreo, el ida y vuelta al ordeño, entrada a la sala de ordeño y el manejo de actividades como el pesaje; y en lo que concierne al orden de ingreso al ordeño donde Albright (1978), plantea que las vacas de alta producción presentan un orden más consistente.

En un grupo con un tamaño donde se permite la oportunidad adecuada para las interacciones sociales, la jerarquía es más probable que sea estable y se genere en un solo día de observaciones, siendo necesario mantener los grupos con las menores modificaciones en su constitución evitando los cambios; investigadores franceses como Bouissou (1970), encontraron que el establecimiento de estas relaciones son extremadamente rápida donde alrededor de la mitad de las relaciones fueron determinadas durante la primera hora y posteriormente las vacas establecieron su jerarquía en los establos de alimentación donde pasan la mayor parte del tiempo y luego de ser llevados a la zona de espera previa al ordeño puedan reflejar este orden social preestablecido ingresando a la sala de ordeño; por ello, el sistema de registro con el que cuenta el establo La Molina es un buen indicador para medir la estabilidad del orden de ingreso.

2.4. Ordeño de las vacas

Según Gonzales (2015), al ordeño se le considera la acción de obtener leche de la ubre de la vaca posterior a su estimulación y en su ejecución reside en el éxito productivo; diferentes factores como el método de ordeñar, su frecuencia, el intervalo entre ordeños y el trato a los animales influyen en las características de la leche; la cantidad de leche se ve afectada por la frecuencia de ordeño y por ello es recomendable realizarlo dos veces al día,

preferiblemente en el mismo horario, pudiendo también ser factible realizar tres ordeños, dependiendo del estado de las vacas. En el caso de mezclar vacas adultas y primíparas se puede generar cuadros de estrés pronunciados para estas últimas con posibles repercusiones negativas sobre su alimentación y su productividad debido a que la edad es uno de los factores que puede determinar del rango jerárquico.

2.4.1. Tipos de ordeño

Según el mismo autor mencionado anteriormente, se pueden diferenciar dos tipos de ordeño:

- **Ordeño manual:** a través del uso de las manos para obtener la leche de la vaca, existiendo diferentes formas de ordeñarlas, existiendo dos formas de realizar este tipo de ordeño: ordeño a mano llena que mediante el cual se utilizan los cinco dedos de la mano para extraer la leche; ordeño tipo pellizco mediante el cual se utilizan dos o tres dedos de la mano, especialmente cuando los pezones son pequeños.
- **Ordeño mecánico:** Para este tipo se requiere menos cantidad de personal, ahorrando tiempo y horas hombre por parte de los ordeñadores simplificando esta tarea, permitiendo extraer la leche en mejores condiciones de limpieza y facilita aumentar el número de ordeños diarios, facilitando la uniformidad y aumenta su eficiencia; este tipo de ordeño consta de pezoneras, mangueras y tuberías de conexión, tanque de recolección y sistema de control de vacío y presión.

2.5. Unidad Experimental de Zootecnia “Renato Zeppilli Ferrazza”

Mediante la resolución N° FZ-032 en enero de 1961 se organizaron en la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) diferentes departamentos de estudio como es el Programa de Investigación y Proyección Social en Leche (PIPS en Leche), donde se encuentra la Unidad Experimental de Zootecnia (UEZ) a la cual pertenece el establo La Molina que posee una sala de ordeño automatizada.

2.5.1. Manejo del establo La Molina

El establo está bajo la gestión de la UEZ para brindar las herramientas necesarias para el desarrollo profesional de los estudiantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en donde se cuenta con cursos de Inseminación Artificial, Reproducción Animal, Introducción a la Ciencia Animal, Zootecnia General, Gestión de la Producción de Vacunos de Leche, entre otros, que favorecen la competitividad profesional de sus estudiantes; y en lo que respecta al manejo de las vacas en producción lechera, éstas, reciben en seis partes su ración

diaria de alimentos (dos de forraje y cuatro de concentrado) variando la cantidad según el lote.

2.5.2. Ordeño en el establo La Molina

Este aspecto del establo es desarrollado a través del PIPS en Leche que pone a disposición a los docentes y estudiantes de la Facultad de Zootecnia y de otras Facultades su infraestructura, animales, entre otros recursos con criterios de eficiencia para la generación de recursos propios a la UNALM, dar soporte a los ganaderos y productores lecheros y brindar apoyo a las diferentes labores académicas que lo requieran promoviendo la investigación científica y tecnológica para su difusión masiva.

Entre los programas de investigación se encuentra el manejo de la sala de ordeño La Molina, donde se extrae la leche de las vacas en etapa de producción láctea por dos turnos (4:00 am y 4:00 pm) pudiendo variar un mínimo el horario de la tarde por fines académicos; estos bovinos desde los 2 años de edad aproximadamente entran en etapa de producción, concluyéndola alrededor de los 8 años; las vacas y vaquillonas luego de parir, pasan 3 a 4 días en un área en su etapa de producción de calostro para posteriormente ingresar en etapa de alta producción lechera; estos animales están distribuidos de seis lotes para su extracción lechera acorde a su nivel de productividad:

- Alta producción primerizas (del inicio hasta el día 90 de lactación).
- Alta producción adultas de más de dos partos (del inicio hasta el día 90 de lactación).
- Dos lotes en media producción (del día 90 al 150 de lactación).
- Baja producción primerizas y adultas (del día 150 hasta gestación intermedia).
- Baja producción primerizas y adultas (con gestación intermedia y avanzada).

Los ordeñadores son personas conocidas por las vacas, y cada lote de ordeño es arreado en su turno por uno de ellos a través de sonidos conocidos para que se muevan y a veces requiriendo que sean arriadas, pero evitando ser tocadas; son trasladadas desde su corral atravesando un pasadizo (que une los corrales) hasta llegar al corral embudo, el cual por su parte más estrecha se conecta con la entrada de la sala de ordeño. Es en esta entrada donde las vacas al caminar, establecen su orden de ingreso a la sala de ordeño, la cual tiene una distribución tipo tándem (entrada lateral) constituida de seis unidades extractoras de leche y un diseño que permite la visualización del ordeño con fines académicos, y terminado su ordeño, por un camino específico, retornan por una manga en paralelo al de ingreso:

En lo que respecta a las interacciones físicas que presentan las vacas en el establo, existen tres clases de contactos que se visualizan en la sala de espera previa a la sala de ordeño y en el pasadizo previo a los módulos de extracción lechera, las cuales son de cabeza con cabeza, ataques al cuello y al abdomen (Anexo 1).

Las vacas de los diferentes lotes pueden ser retiradas por breve tiempo o permanentemente por diversos motivos, entre los cuales se encuentra la salud de estos animales cuando requieren antibióticos que pueden alterar la calidad de la leche y por ello se las reubica en un espacio para su tratamiento; entre las afecciones que sufren los bovinos de producción lechera se encuentra la mastitis (enfermedad más común) que afecta la glándula mamaria, en la cual la inflamación se produce como respuesta a la invasión, a través del canal del pezón, de diferentes tipos de bacterias, micoplasmas, hongos, levaduras y hasta algunos virus, recibiendo tratamiento por un periodo de 5 a 15 días; asimismo, son retiradas a otro corral permanentemente, cuando terminan su respectiva etapa de producción láctea.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La investigación se realizó en la sala de ordeño del Establo La Molina perteneciente a la UEZ de la Universidad Nacional Agraria La Molina en el distrito de La Molina - Lima, coordenadas 12°04'55"S 76°56'53"O.

3.2 Materiales

Se empleó los registros individuales de las vacas en etapa de alta producción durante el año 2016 obtenidos del programa “*Dairy Plan*” usado para la administración técnica del ordeño del establo en estudio.

Los individuos fueron registrados por códigos numéricos donde los 2 primeros dígitos (primer dígito en el 2009) son el año de nacimiento y los otros 2 a 3 son el orden de nacimiento, siendo los números impares correspondientes a las hembras del establo (Anexo 2).

3.3 Parámetros a evaluar

Se analizó el orden de ingreso registrado hacia alguna de las unidades de la sala de ordeño por la única entrada que se apertura cuando existe un lugar vacío, abriéndose la puerta automáticamente para el ingreso de una vaca, donde se estableció entre ellas el orden respectivo en horas de su entrada al ordeño; previamente se transformaron las horas de ingreso en números consecutivos con respecto a la posición en la que ingresaron en cada turno de ordeño (Anexo 3).

3.4 Métodos estadísticos

Se utilizó estadística no paramétrica para el análisis de los datos de ingreso de las vacas al ordeño donde se definieron el uso de coordenadas polares en histogramas circulares, análisis clúster jerárquico y de siluetas y la determinación del número óptimo de clústeres (Anexo 4).

En la investigación se realizaron dos análisis que se complementan entre sí:

- Se determinó la jerarquía en el orden de ingreso de las vacas a través de un *histograma circular*; previamente para este análisis, se convirtieron los datos en coordenadas polares donde se interpretó su orientación hacia una posición en el ordeño (primera, segunda, tercera, entre otras posiciones).
- Se determinó la agrupación de las vacas afines por un análisis clúster jerárquico usando *dendrogramas* (Anexo 5) donde fueron necesarios dos estudios, los cuales fueron la determinación del *número óptimo de clústeres* (Anexo 6) que validó la cantidad de agrupaciones y el *análisis de siluetas* (Anexo 7) que definió la calidad de la formación de los clústeres.

3.5 Metodología

3.5.1 Análisis de Histograma Circular

En este punto se realizó un estudio de la orientación de las vacas hacia una posición por el orden de ingreso que presentaron en el ordeño determinando que las vacas que tuvieron mayor jerarquía permanecieron en las primeras posiciones con respecto a los demás individuos del grupo.

3.5.2 Formación de Clústeres

a) Definición de clúster

Se le consideró clúster a la división en subgrupos dentro de un grupo según su afinidad, que en este caso se basó en su orientación hacia una posición al ingreso de la sala de ordeño.

b) Criterio de formación de grupos

- Los grupos se formaron por las vacas que fueron al ordeño en su etapa de alta producción durante el año 2016.
- Si una vaca nueva se incorporó o dejó el lote, entonces se formó un nuevo grupo; en caso que la vaca haya presentado menos de 15 repeticiones (se permitió un máximo de dos faltas estimadas con la mediana) fue removida del grupo.

c) Elección de clústeres

- Si los gráficos indicaron que dos a más clúster son los ideales, se dio preferencia al menor número de clústeres.

- Se buscó que los clústeres contaran con un coeficiente de silueta positivo para todas las observaciones y a su vez el coeficiente de silueta promedio más alto, pero hubo casos puntuales donde se tuvo una ligera orientación hacia un valor negativo.

Todos estos análisis se hicieron a través del programa R que permitió procesar gran cantidad de datos y sus respectivas representaciones graficas según fue requerido en cada caso de análisis a través de múltiples comandos (Anexo 8), siguiendo una secuencia específica obteniendo los análisis deseados (Anexo 9), donde se requirió el uso de los siguientes paquetes: Markdown, Readxl, Cluster, Factoextra, Circular, CircStats, Directional y Ggplot2.

3.5.3 Interpretación de las gráficas

a) Histograma circular

Este histograma consistió en un círculo donde se representó de manera gráfica a las vacas identificadas con un color y mostrando la orientación que cada una tuvieron en el ingreso al ordeño por sectores circulares desde la primera, en sentido horario, hasta la última posición; para poder interpretar las gráficas que se elaboraron para los análisis estadísticos se muestra el siguiente ejemplo:

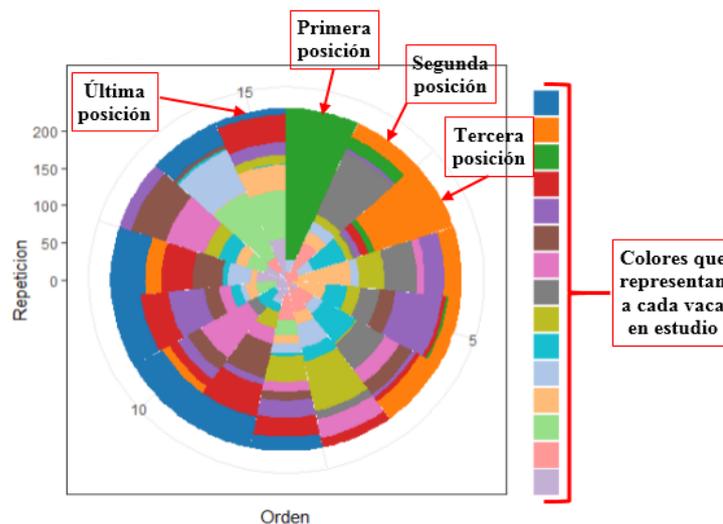


Figura 4: Interpretación del histograma circular

b) Optimal number of clusters

Herramienta estadística que se usó para determinar el número óptimo de clústeres en el análisis de siluetas.

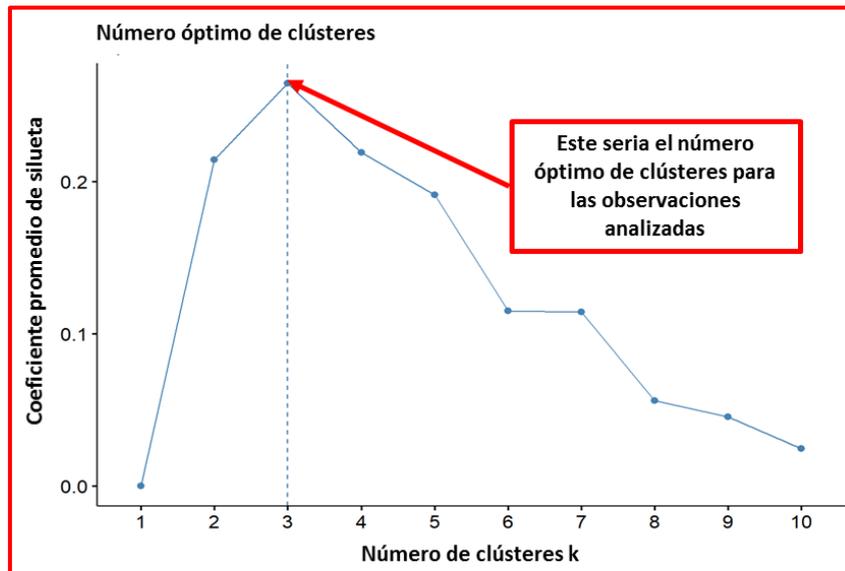


Figura 5: Representación gráfica del número óptimo de clústeres del Anexo 6

c) Análisis de siluetas

Herramienta estadística que se empleó para determinar la calidad de los clústeres que se formaron en un grupo de datos a través de coeficientes de silueta.

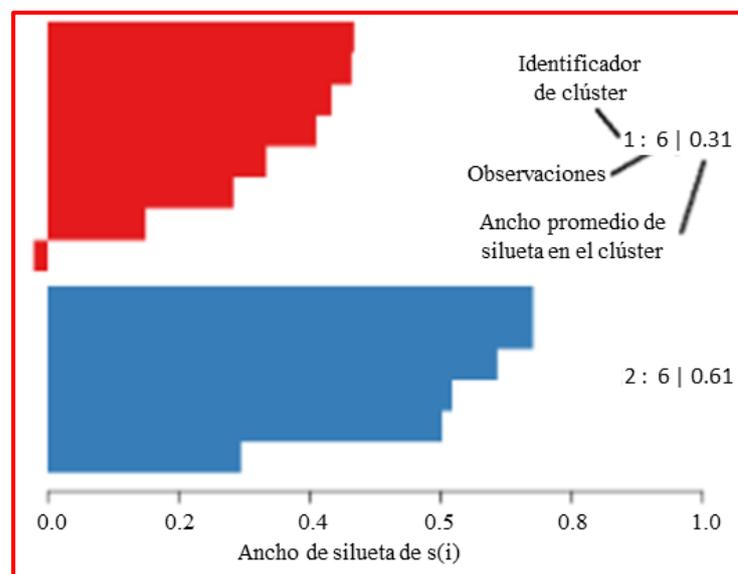


Figura 6: Interpretación del gráfico de coeficiente de silueta del Anexo 7
FUENTE: Banchemo (2015).

Para este estudio, se establecieron 4 rangos definidos para interpretar el resultado de los coeficientes promedios del análisis de siluetas.

- $0 \leq x < 0.10$ = Relación muy baja en el clúster entre los individuos en el clúster
- $0.10 \leq x < 0.20$ = Relación baja entre los individuos en el clúster

- $0.20 \leq x < 0.25$ = Relación media entre los individuos en el clúster
- $0.25 \leq x$ = Relación alta entre los individuos en el clúster

Estos rangos fueron propuestos por la heterogeneidad a lo largo del tiempo por la acción de retirar o incluir nuevos individuos en las vacas en estudio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se analizó la orientación de las vacas en etapa de alta producción hacia una posición específica con el análisis gráfico de histograma circular y el número de agrupamientos dentro de cada grupo con los coeficientes de silueta (S_i) de cada clúster formado y su promedio de ancho de silueta o Average Silhouette Width (ASW) (Anexo 7), que definieron el número de clústeres óptimos para cada caso luego de probarlo en el programa R, del cual se obtuvo una tabla con los códigos numéricos de las vacas y su respectivo número de clúster al que pertenecen.

4.1. Primer grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1049, 1093, 1163, 1249, 1315, 1319, 1331, 1335, 1343, 1357, 1381, 1415 y 10103.

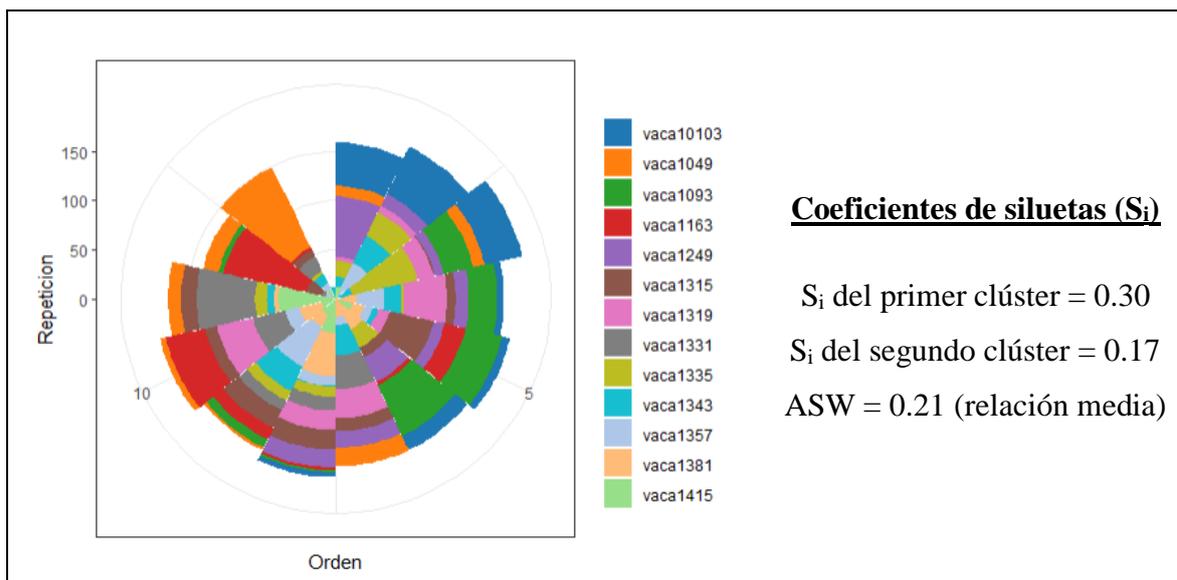


Figura 7: Orden de ingreso del primer grupo

Tabla 1: Clústeres formados del primer grupo

Vaca	1049	1093	1163	1249	1315	1319	1331	1335	1343	1357	1381	1415	10103
Clúster Formado	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2

Se tuvieron dos vacas (1357 y 1381) cercanas a la zona de indecisión, en el caso de la vaca 1315 que se encontraba en zona de indecisión entre los dos clústeres asignados; la vaca 1249 y 10103 fueron las que más compitieron por la mayor jerarquía en el grupo para el ingreso a la sala de ordeño, siendo la 1249 la que se impuso en la mayoría de los casos.

4.2. Segundo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1049, 1093, 1249, 1315, 1317, 1319, 1331, 1335, 1343, 1357, 1381 y 1415.

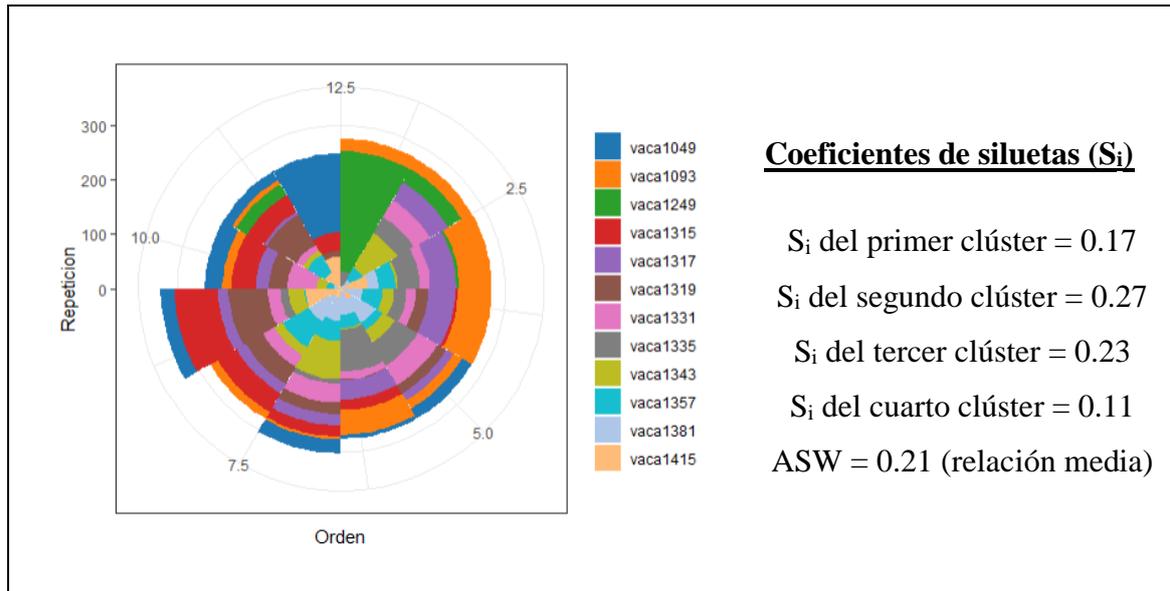


Figura 8: Orden de ingreso del segundo grupo

Tabla 2: Clústeres formados del segundo grupo

Vaca	1049	1093	1249	1315	1317	1319	1331	1335	1343	1357	1381	1415
Clúster Formado	1	2	2	1	3	1	3	2	4	4	2	1

En este caso, se tuvo la salida de dos vacas (1163 y 10103) de diferentes clústeres y la entrada de una vaca (1317), lo que generó un desorden en cuanto al orden en que ingresan y provocó la creación de dos nuevos clústeres (cuatro clústeres en total), teniendo a la vaca 1319 del primer clúster con un coeficiente bajo y evidenciando un orden disperso entre las primeras y últimas posiciones; en lo que respecta a la 1335 y 1343 que formaron el cuarto clúster compitiendo con la vaca 1331 que ocupó las primeras posiciones y la 1415 en las posiciones medias en algunas repeticiones, siendo ambas del tercer clúster y estos últimos clústeres tuvieron un coeficiente medio según lo asignado al haber una competencia marcada entre

vacas de edades cercanas por el liderazgo; por su parte, la vaca 1249 y 1093 compitieron para el primer lugar (ambas del mismo clúster) imponiéndose la vaca 1249 en la mayoría de los casos.

4.3. Tercer grupo de ordeño

Conformado por las vacas 1049, 1093, 1249, 1315, 1317, 1319, 1331, 1335, 1343, 1357, 1371, 1381 y 1415.

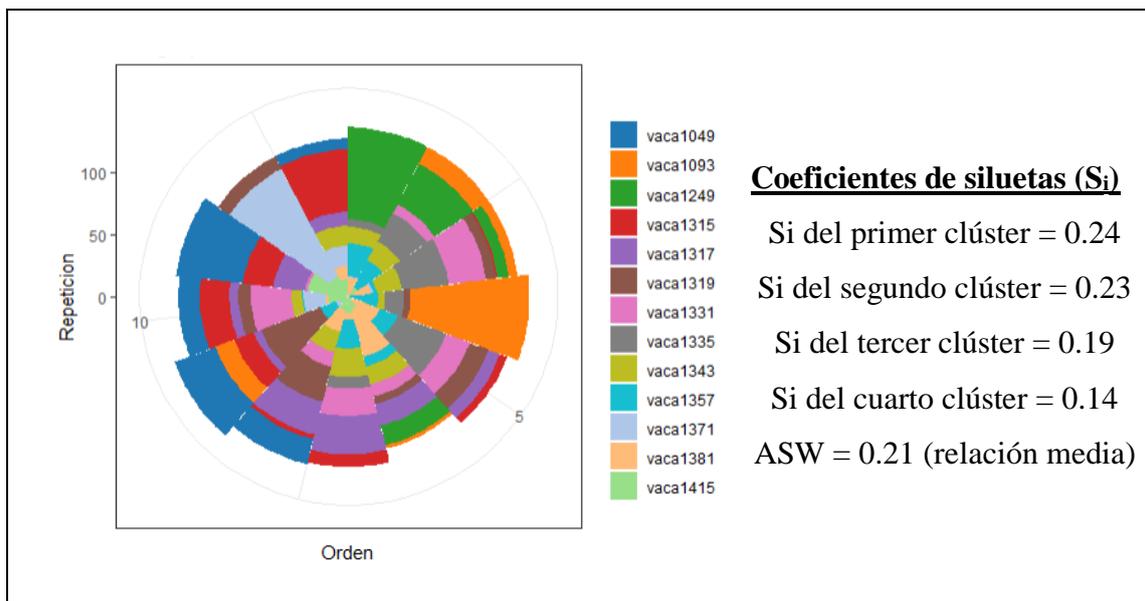


Figura 9: Orden de ingreso del tercer grupo

Tabla 3: Clústeres formados del tercer grupo

Vaca	1049	1093	1249	1315	1317	1319	1331	1335	1343	1357	1371	1381	1415
Clúster Formado	1	2	2	1	3	4	4	2	2	2	1	4	3

El segundo clúster fue formado por las vacas que compitieron por las primeras posiciones para el ingreso al ordeño donde la vaca 1371 entró a la primera posición apenas se le incluyó en el grupo, más luego fue desplazada a las últimas posiciones junto con la vaca 1415 en el tercer clúster y con el cuarto clúster las vacas 1319, 1331 y 1381; en el caso de la vaca 1249, continuó imponiéndose en la primera posición siendo la de mayor jerarquía en la mayoría de los casos.

4.4. Cuarto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1093, 1141, 1251, 1317, 1319, 1329, 1335, 1341, 1345, 1357, 1359, 1369, 1377, 1401 y 1423.

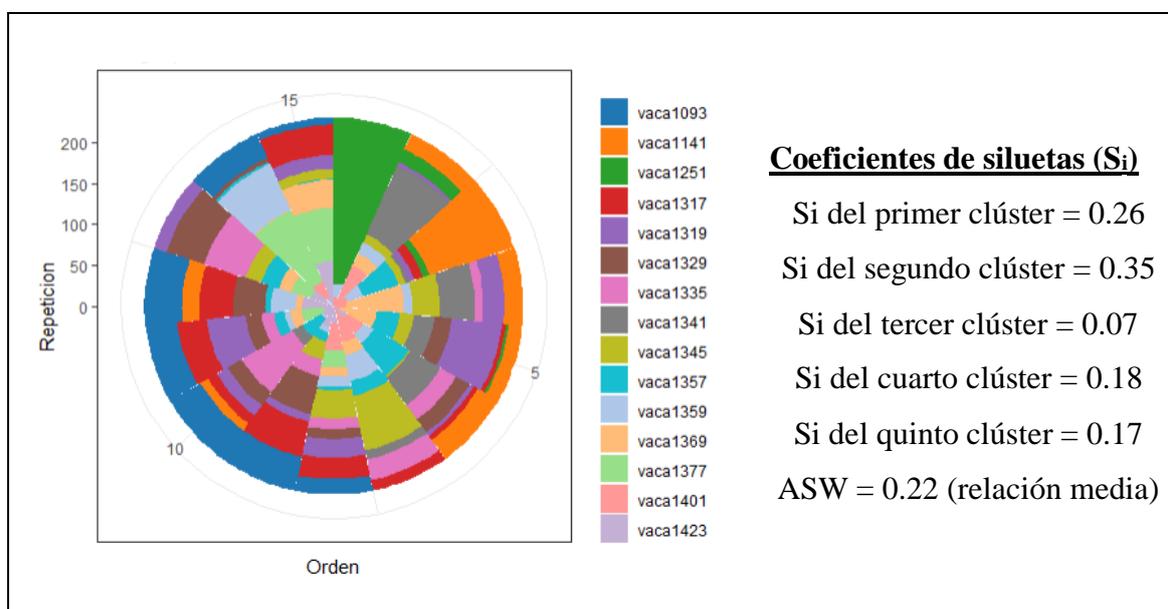


Figura 10: Orden de ingreso del cuarto grupo

Tabla 4: Clústeres formados del cuarto grupo

Vaca	1093	1141	1251	1317	1319	1329	1335	1341	1345	1357	1359	1369	1377	1401	1423
Clúster Formado	1	2	2	3	3	1	3	2	4	5	4	5	1	2	1

En los cinco clústeres asignados, el tercero constituido por las vacas 1317, 1319 y 1335 presentó un bajo coeficiente de silueta tendiendo a la indecisión al haber estado en otro clúster con otras vacas; la vaca líder 1249 fue retirada del grupo, lo cual generó una nueva organización social entre las vacas del grupo y la vaca 1335 que competía con esta fue desplazada por las nuevas vacas que ingresaron, reflejando indecisión en el clúster que presentaron las vacas restantes por la alteración del orden establecido; en el caso de la vaca 1319 intentaba ocupar los primeros lugares de ingreso, pero pasando el tiempo en el grupo ocupó los últimos lugares por la dominancia por parte de las vacas que ingresaron; algo que resaltar es que a mayoría de las vacas fueron del mismo año de nacimiento, lo cual hizo que impongan su dominancia ante las demás; sin embargo, al ingresar y salir un gran número de vacas alteraron el orden que ya estaban estableciendo en el grupo anterior como fue el caso de las vacas mencionadas anteriormente e inclusive generándose un nuevo clúster; por

último, la vaca 1251 se encontró en la cima de la jerarquía en conflicto con la 1401. 1341 y 1141 en los primeros lugares estando estas vacas en el segundo clúster, las cuales fueron incluidas en el clúster imponiéndose ante las vacas que ya se encontraban agrupadas creando un desplazamiento de dominancia entre ellas.

4.5. Quinto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1249, 1317, 1331, 1335, 1343, 1355, 1357, 1363, 1371, 1381 y 1415.

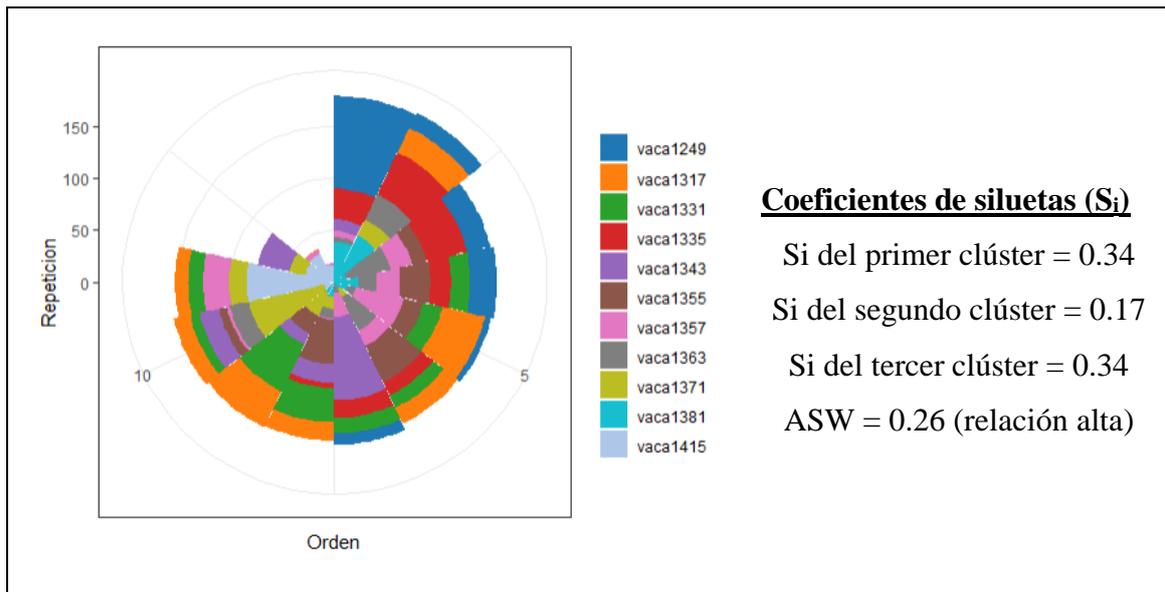


Figura 11: Orden de ingreso del quinto grupo

Tabla 5: Clústeres formados del quinto grupo

Vaca	1249	1317	1331	1335	1343	1355	1357	1363	1371	1381	1415
Clúster Formado	1	2	2	1	2	2	2	1	3	1	3

Sólo se adicionaron dos vacas nuevas y el resto de vacas retornando al grupo, retirándose prácticamente todas las vacas que habían ingresado anteriormente, haciendo que el grupo retornara casi a su estado original teniendo en el primer clúster las vacas dominantes 1249, 1381, 1363 y 1335, siendo esta ultima la que competía con la líder, pero fue desplazada por la 1381, además del hecho que el orden social que tenía fue alterado por los ingresos de individuos en el grupo anterior, teniendo el tercer clúster con las vacas sumisas (1415 y

1371); en este caso, la vaca 1249 que mantuvo el liderazgo en los anteriores grupos formados, retornó y se impuso ante las demás vacas.

4.6. Sexto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1317, 1329, 1331, 1345, 1355, 1361, 1363, 1381 y 1407.

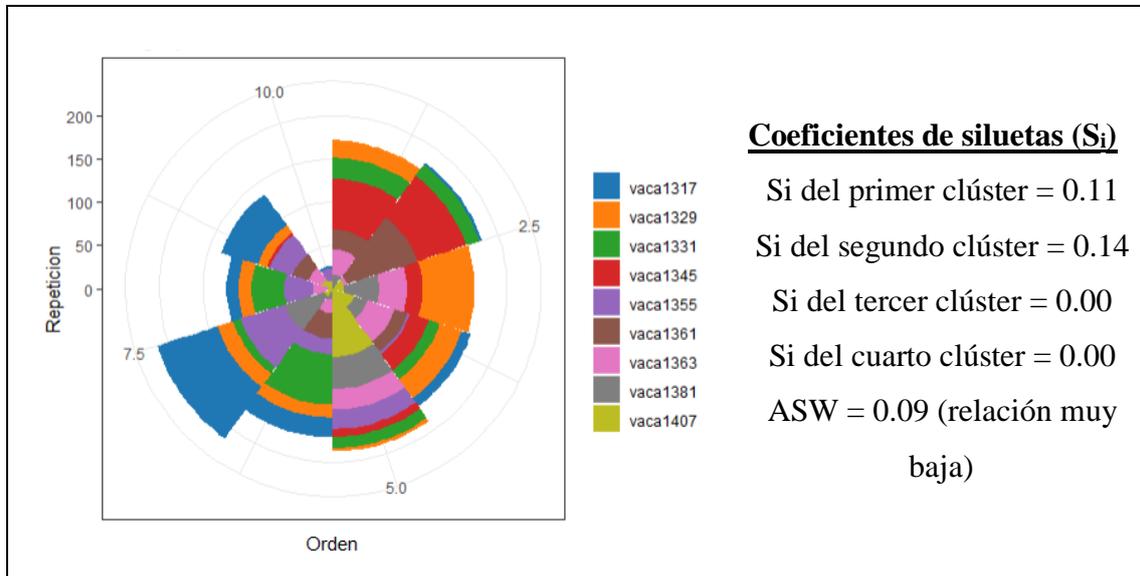


Figura 12: Orden de ingreso del sexto grupo

Tabla 6: Clústeres formados del sexto grupo

Vaca	1317	1329	1331	1345	1355	1361	1363	1381	1407
Clúster Formado	1	1	1	2	1	3	2	2	4

En este caso, las dos nuevas vacas que ingresaron al ordeño formaron sus propios clústeres (1361 y 1407); las otras dos vacas que retornaron (1345 y 1381), compitieron por el liderazgo estando ambas en el segundo clúster formado, seguidas por la 1363 que tiene su propio clúster; por otro lado, la vaca 1345 presenta un cierto grado de liderazgo compitiendo con las otras de su clúster; de manera general los individuos que presentaron un bajo nivel de coeficiente de silueta en sus clústeres por el cambio en su estructura social donde se retiró a la vaca líder 1249 y la 1335 que competía con esta, quedando las vacas del segundo clúster compitiendo por el liderazgo del grupo.

4.7. Séptimo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1141, 1239, 1317, 1329, 1331, 1345, 1355, 1361, 1363, 1371, 1407 y 1415.

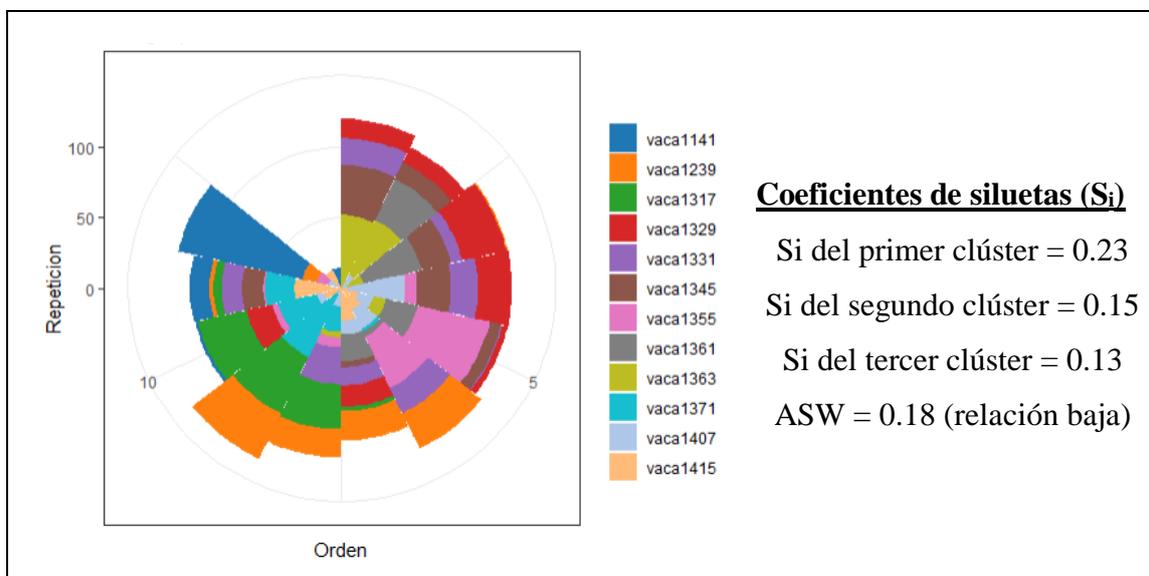


Figura 13: Orden de ingreso del séptimo grupo

Tabla 7: Clústeres formados del séptimo grupo

Vaca	1141	1239	1317	1329	1331	1345	1355	1361	1363	1371	1407	1415
Clúster Formado	1	1	1	2	3	2	3	2	2	1	2	1

La vaca 1381 que fue una de las que lideraba en el grupo anterior, fue retirada del grupo quedando la 1345 y 1363 ocupando los primeros lugares junto con una nueva vaca 1331 orientándose en algunos casos al liderazgo y luego fue desplazada a posiciones posteriores estando en el tercer clúster junto con la 1355; en el caso de las vacas líderes, permanecieron en el segundo clúster junto con tres vacas (1329, 1361 y 1407) que generó indecisión a la hora de escoger una posición en el ordeño; las vacas del primer clúster ocuparon las últimas posiciones; cabe señalar que las designaciones de los clústeres fueron de un coeficiente bajo al haber un desorden por la inclusión de nuevas vacas y la salida de la vaca 1345 que presentaba mayor liderazgo en el grupo anterior.

4.8. Octavo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1239, 1317, 1329, 1331, 1345, 1355, 1361, 1363, 1371, 1377, 1407, 1415 y 929.

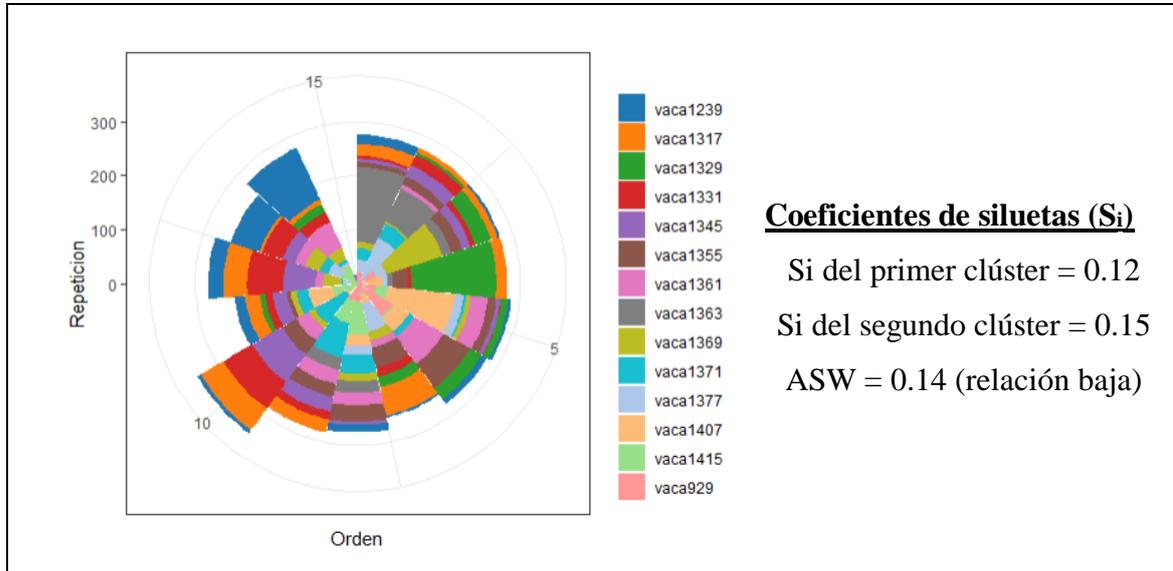


Figura 14: Orden de ingreso del octavo grupo

Tabla 8: Clústeres formados del octavo grupo

Vaca	929	1239	1317	1329	1331	1345	1355	1361	1363	1369	1371	1377	1407	1415
Clúster Formado	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2

En este caso, una vaca (1141) que ocupaba los últimos lugares de ingreso fue retirada y se adicionaron tres vacas (929, 1369 y 1377) estando en una zona de indecisión, especialmente la 929 que fue la primera vez que entró al grupo de ordeño a comparación de las otras dos, por lo que su coeficiente de silueta fue bajo; la vaca 1363 desplazó a la 1369 que empezó con el liderazgo en el ordeño, estando ambas dentro del primer clúster junto con otras vacas que intentaron ocupar los primeros lugares, siendo esta primera la que presentaba una jerarquía marcada en el orden de ingreso; la vaca 1355 tuvo un bajo coeficiente de silueta, por lo que fue mal asignada viendo que intenta ocupar también los primeros lugares, pero fluctuando también entre las últimas posiciones y la vaca 1407 se encontró en indecisión con valores atípicos siendo una de las vacas más jóvenes del grupo.

4.9. Noveno grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1239, 1317, 1329, 1331, 1345, 1355, 1361, 1363, 1369, 1371, 1377, 1407, 1415 y 929.

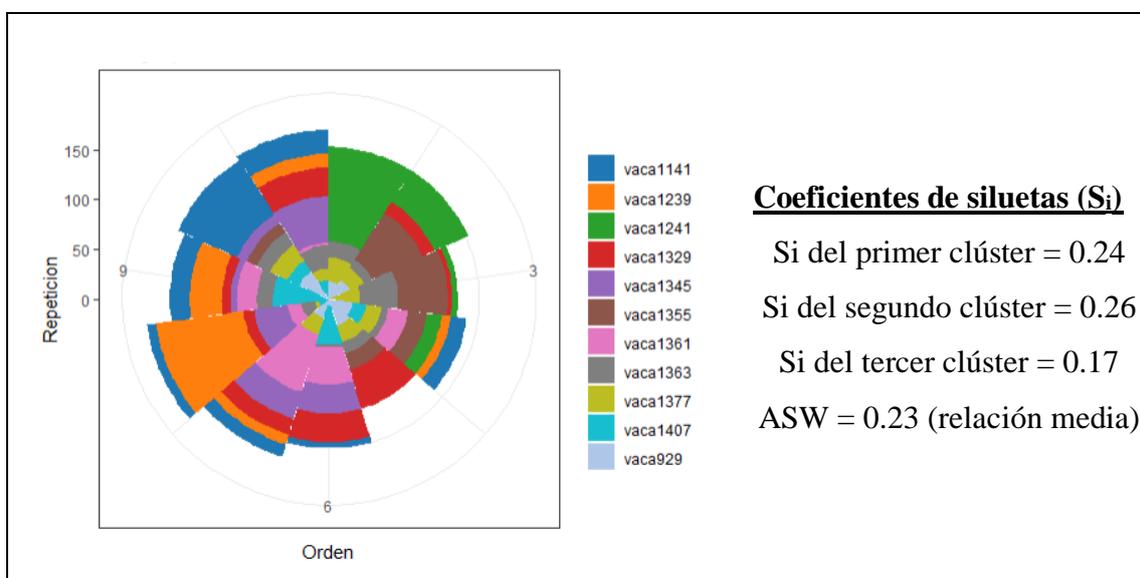


Figura 15: Orden de ingreso del noveno grupo

Tabla 9: Clústeres formados del noveno grupo

Vaca	929	1141	1239	1241	1329	1345	1355	1361	1363	1377	1407
Clúster Formado	1	2	2	3	2	2	3	2	1	3	2

En este caso se retiró una de las vacas que lideraba el ordeño al inicio del anterior grupo (1369) y cuatro más del segundo clúster donde la 1317, 1331 y 1371 lideraron el grupo en una ocasión; la vaca 1377 que ocupaba los primeros lugares los últimos días antes de la introducción y salida de vacas fue desplazada por la 1241 que impuso una mayor jerarquía con respecto a las otras y la 1355 que estuvo compitiendo como lo hacía en el ordeño anterior (en el tercer clúster); la vaca 929 ocupó dos veces el primer lugar, siendo una vaca de mayor edad que intentaba imponerse ante las otras del grupo junto con la 1363 (ambas del primer clúster) denotando que al extraer una vaca líder varió la constitución de la manada dejando la vacante de líder a otras vacas como las mencionadas, imponiéndose la vaca 1241; en el segundo clúster se encontraban vacas “más sumisas” teniendo las vacas de menor coeficiente de silueta (1329 y 1361) fluctuando entre las primeras y últimas posiciones.

4.10. Décimo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1239, 1317, 1329, 1331, 1345, 1355, 1361, 1363, 1369, 1371, 1377, 1407, 1415 y 929.

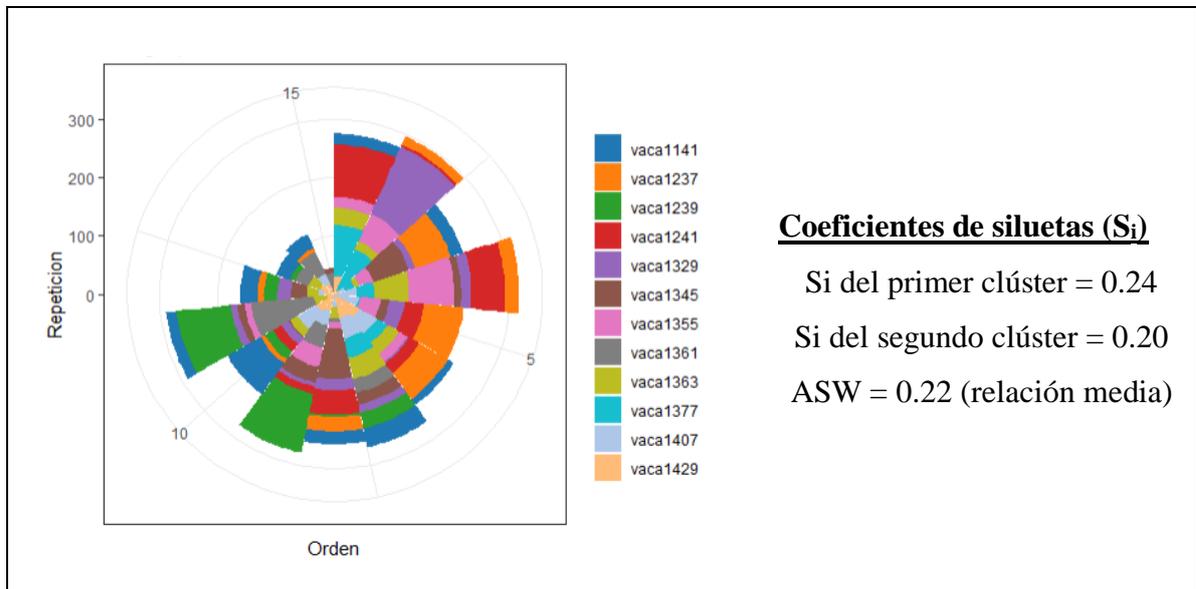


Figura 16: Orden de ingreso del décimo grupo

Tabla 10: Clústeres formados del décimo grupo

Vaca	1141	1237	1239	1241	1329	1345	1355	1361	1363	1377	1407	1429
Clúster Formado	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1

La vaca 929 fue retirada del ordeño, la cual intentaba mantenerse en los primeros lugares e introduciendo dos nuevas vacas (1237 y 1429), las cuales fluctuaron entre las primeras y últimas posiciones, por lo que tuvieron los coeficientes de silueta más bajos en sus respectivos grupos; la vaca 1241 intentaba mantener su liderazgo, pero fue desplazada en varias ocasiones por la 1377, 1355 y 1363 y al igual que en el grupo anterior fluctuaron en algunas ocasiones en el liderazgo; en este grupo formado, la vaca 1377 mantuvo una jerarquía con respecto a las otras 2 mencionadas anteriormente, estando todas en el segundo clúster.

4.11. Décimo primer grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1141, 1237, 1239, 1241, 1329, 1353, 1359, 1361, 1369, 1377, 1401, 1407, 1429 y 929.

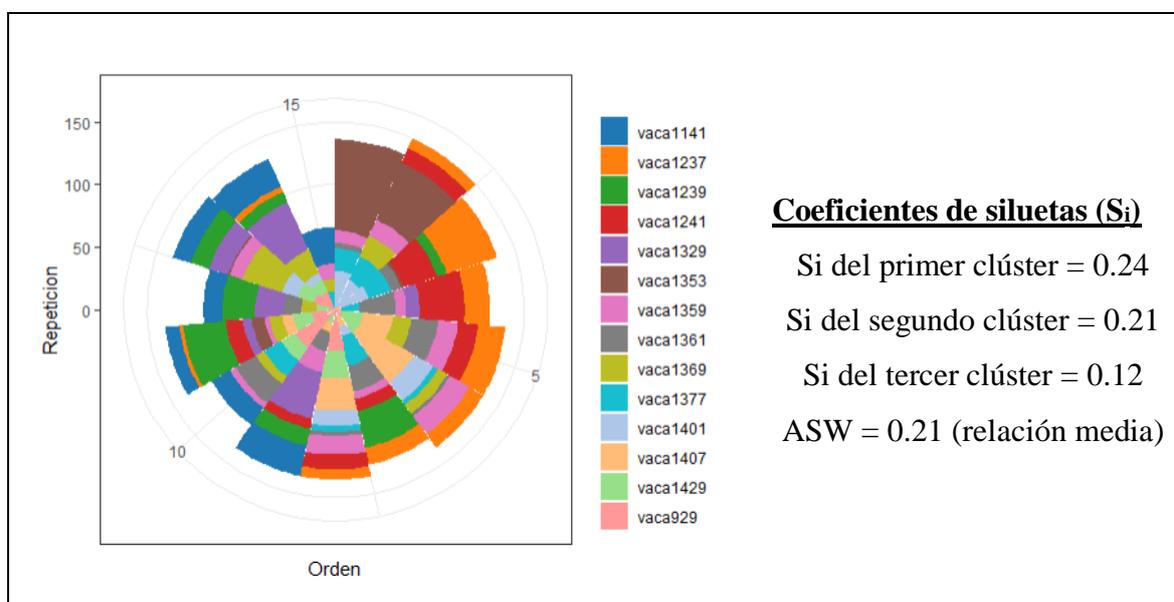


Figura 17: Orden de ingreso del décimo primer grupo

Tabla 11: Clústeres formados del décimo primer grupo

Vaca	929	1141	1237	1239	1241	1329	1353	1359	1361	1369	1377	1401	1407	1429
Clúster Formado	1	1	2	1	2	1	2	3	2	1	2	3	2	1

En este grupo salieron tres vacas, de las cuales la 1355 y 1363 competían por los primeros lugares y además fueron introducidas cinco vacas, de las cuales solo una (la 1353) fue nueva en el grupo y las otras retornaron; las vacas 1359 y 1401 que formaron el tercer clúster ocuparon una o dos veces el liderazgo y luego fueron desplazadas entre las primeras y últimas posiciones; en el caso de las vacas 1241, 1353 y 1377 compitieron por el liderazgo, siendo la 1353 la que lideró luego del primer ordeño, imponiéndose ante las vacas que competían anteriormente en este grupo formando el segundo clúster junto con otras vacas que intentaron imponerse como líderes.

4.12. Décimo segundo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1237, 1241, 1247, 1353, 1359, 1377, 1401, 1413, 1429 y 1431.

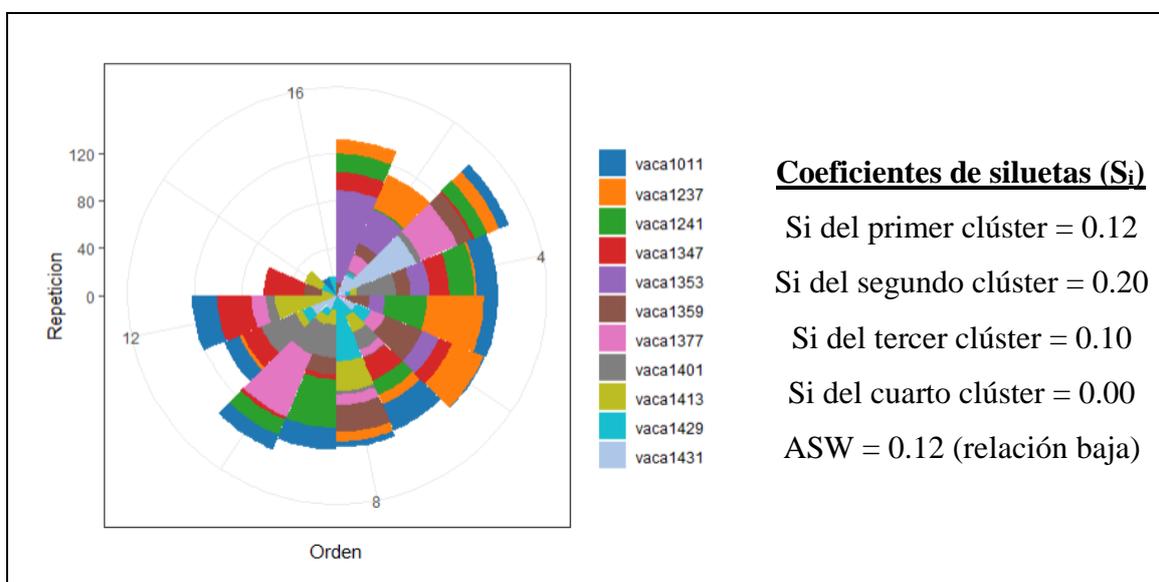


Figura 18: Orden de ingreso del décimo segundo grupo

Tabla 12: Clústeres formados del décimo segundo grupo

Vaca	1011	1237	1241	1347	1353	1359	1377	1401	1413	1429	1431
Clúster Formado	1	2	1	3	2	2	3	3	1	1	4

En este grupo salieron siete vacas (929, 1141, 1239, 1329, 1369, 1361 y 1407), de las cuales las dos últimas se encontraban entre las que tenían tendencia a los primeros lugares, además ingresaron cuatro vacas nuevas (1011, 1347, 1413 y 1431); la vaca 1353 se impuso como líder al igual que en el anterior grupo, con las vacas 1237 y 1359 que intentaban ocupar los primeros lugares en el segundo clúster; la vaca 1241 se encontraba en una zona de indecisión marcada al igual que la vaca 1431 que forma su propio clúster; en este grupo hubo un cambio marcado reflejado en el desorden que tuvieron, teniendo coeficientes de silueta bajos y sólo el segundo clúster con las líderes manteniendo un nivel de relación significativo.

4.13. Décimo tercer grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1227, 1265, 1309, 1347, 1353, 1359, 1401, 1413, 1423 y 1431.

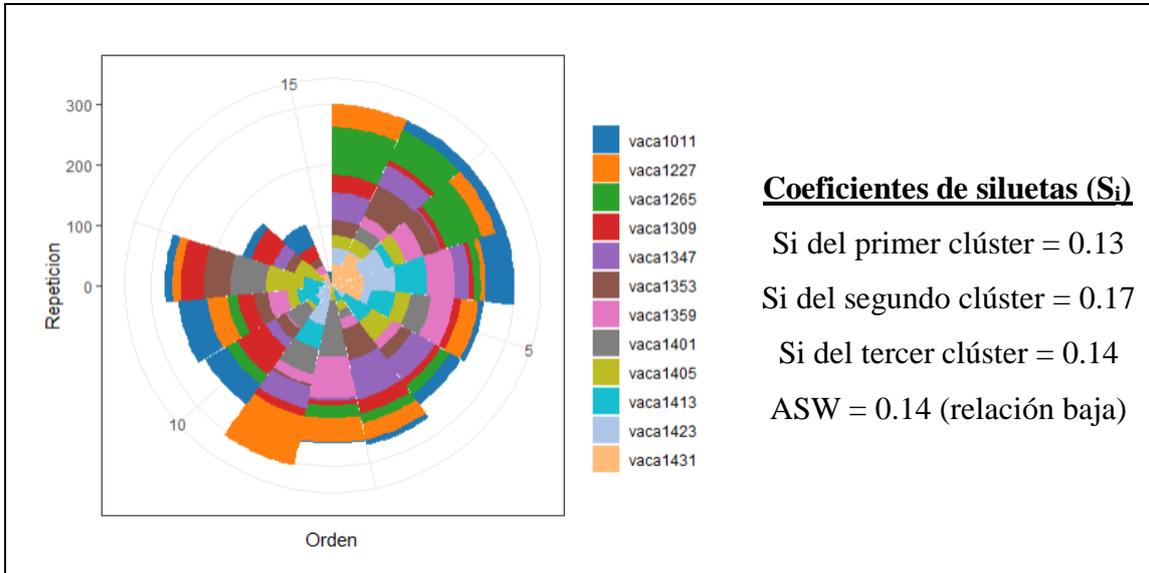


Figura 19: Orden de ingreso del décimo tercer grupo

Tabla 13: Clústeres formados del décimo tercer grupo

Vaca	1011	1227	1265	1309	1347	1353	1359	1401	1405	1413	1423	1431
Clúster Formado	1	1	2	1	2	3	1	1	1	3	3	2

De las vacas retiradas 1237, 1241, 1377 y 1429, a excepción de la última mencionada, fueron vacas que competían por el liderazgo, con las vacas 1265, 1347 y 1431 que compitieron por el primer lugar, estando estas vacas en el tercer clúster, siendo la 1265 nueva en el grupo y manteniendo una jerarquía en varias de las visitas a la sala de ordeño; en total ingresaron cinco vacas al ordeño con una reingresante (vaca 1423) que se posicionó entre las primeras y últimas posiciones a lo largo del tiempo; las otras vacas se encontraron muy fluctuantes intentando establecer un orden luego de que se alteró el grupo, con las vacas 1309 y 1359 en indecisión en su clúster.

4.14. Décimo cuarto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1215, 1265, 1269, 1309, 1341, 1347, 1405, 1409, 1413, 1423 y 1431.

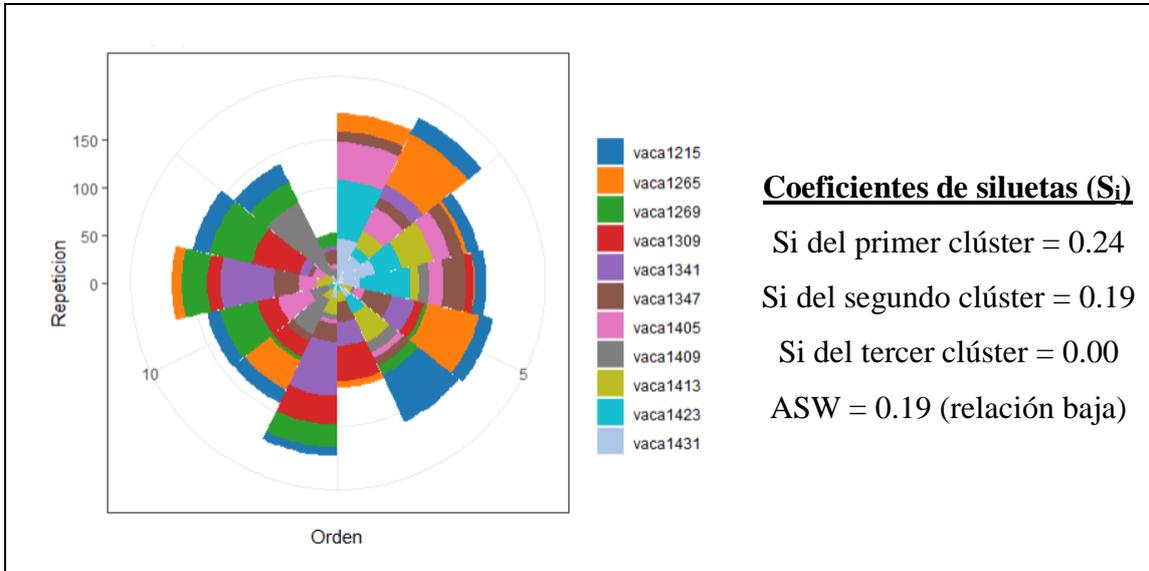


Figura 20: Orden de ingreso del décimo cuarto grupo

Tabla 14: Clústeres formados del décimo cuarto grupo

Vaca	1265	1309	1341	1347	1405	1413	1423	1431	1215	1269	1409
Clúster Formado	1	2	2	1	3	2	1	1	2	2	2

Las vacas 1011, 1227, 1353, 1359, 1401 fueron retiradas del ordeño ingresando cuatro vacas que se agruparon en un mismo clúster en los últimos lugares; en este caso, la vaca 1423 predominó sobre las otras con las demás vacas de su clúster que intentaron ocupar las primeras posiciones, teniendo a las vacas 1265 y 1405 que se acercaron a las primeras posiciones y a su vez esta última ocupaba los últimos lugares por lo que se encontraba en indecisión formando su propio clúster; la vaca 1405 tenía su propio clúster fluctuando en varias posiciones, pero más en los primeros lugares y la vaca 1347 cambió de clúster, pero con un nivel bajo de asignación por la alteración social del grupo de ordeño.

4.15. Décimo quinto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1215, 1265, 1269, 1309, 1341, 1347, 1405, 1409, 1413, 1423 y 1431.

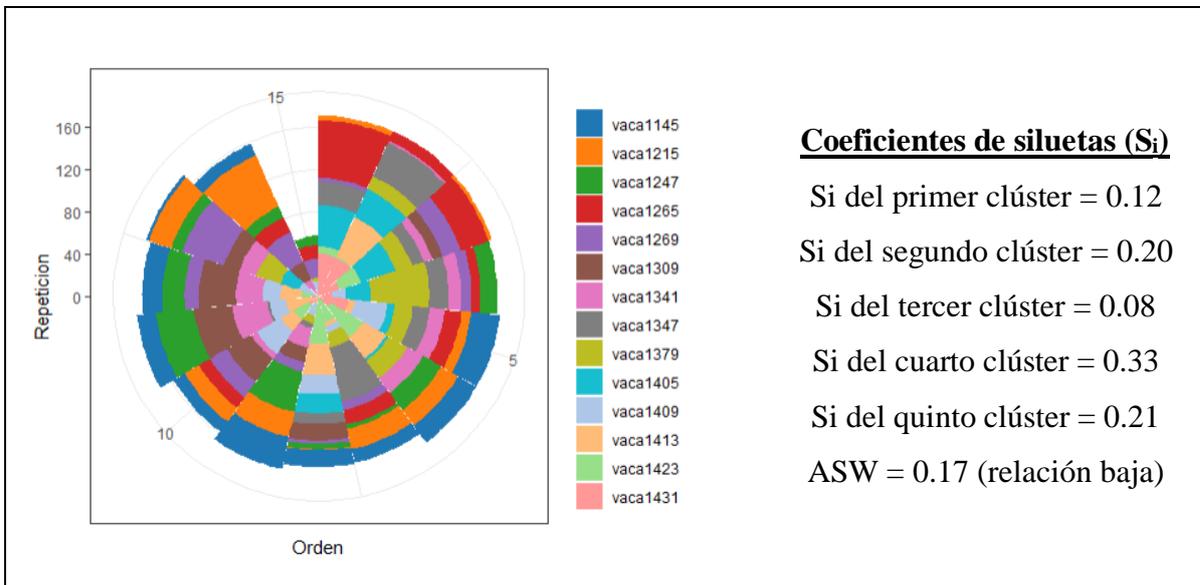


Figura 21: Orden de ingreso del décimo quinto grupo

Tabla 15: Clústeres formados del décimo quinto grupo

Vaca	1265	1309	1341	1347	1405	1413	1423	1431	1215	1269	1409	1379	1145	1247
Clúster Formado	1	2	3	1	1	3	4	1	3	5	5	4	2	2

En este grupo hubo el ingreso de tres vacas (1379, 1145 y 1247), de las cuales la primera ocupó en algunas ocasiones los primeros lugares junto con la 1423 formando un clúster de alta similitud, donde se tuvo a la vaca 1265 como la más jerárquica, junto con las 1431, 1347 y 1405 que formaron un mismo clúster y las demás vacas fluctuaron mucho entre los primeros lugares, por lo que su nivel de similitud fue más bajo.

4.16. Décimo sexto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1145, 1177, 1181, 1215, 1227, 1245, 1247, 1269, 1309, 1341, 1379, 1405, 1409, 1413, 1423.

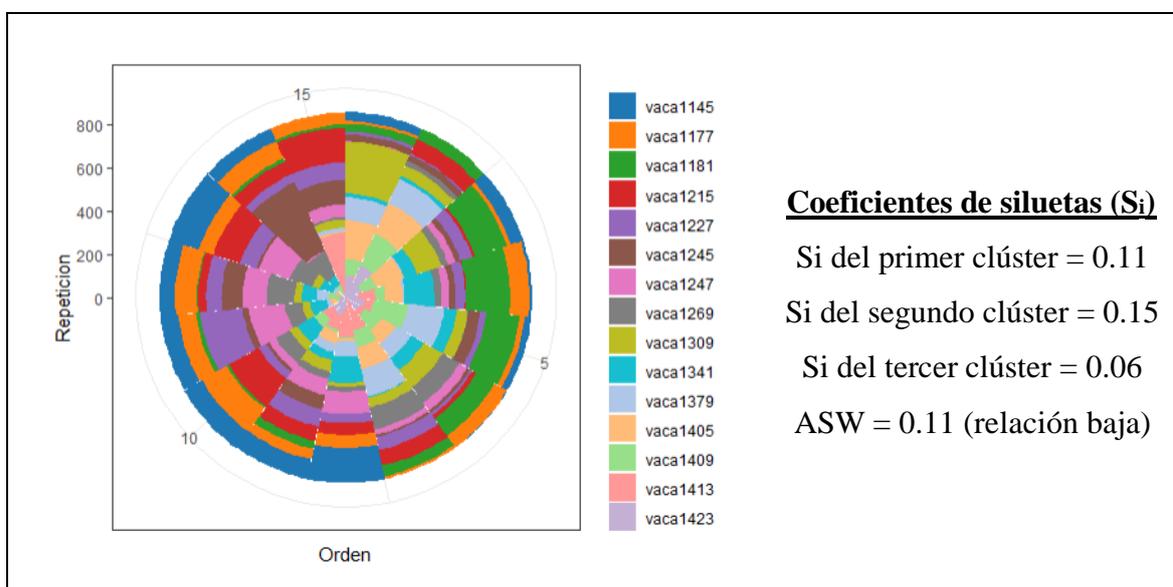


Figura 22: Orden de ingreso del décimo sexto grupo

Tabla 16: Clústeres formados del décimo sexto grupo

Vaca	1265	1309	1341	1347	1405	1413	1423	1431	1215	1269	1409	1379	1145	1247	1181
Clúster Formado	1	2	3	2	1	2	1	1	2	3	3	1	1	1	3

En este caso, se tuvo el ingreso de la vaca 1181 sin salida de vacas, con la vaca 1309 que presentó mayor jerarquía, seguida por la 1405 en el liderazgo con otras dos vacas (1423 y 1409) que en ciertas ocasiones entraron en la primera posición seguidas por las demás vacas que tuvieron uno o dos ingresos en el primer lugar y la vaca 1409 se encontraba en indecisión en el tercer clúster con la vaca que ingresó al ordeño; este grupo fue el que tuvo más repeticiones a lo largo del tiempo, reflejando mayor desorden por los múltiples factores externos que influyeron en su comportamiento.

4.17. Décimo séptimo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 10101, 1025, 1117, 1125, 1169, 1177, 1209, 1231, 1233, 1267, 1301, 1303, 1305, 815.

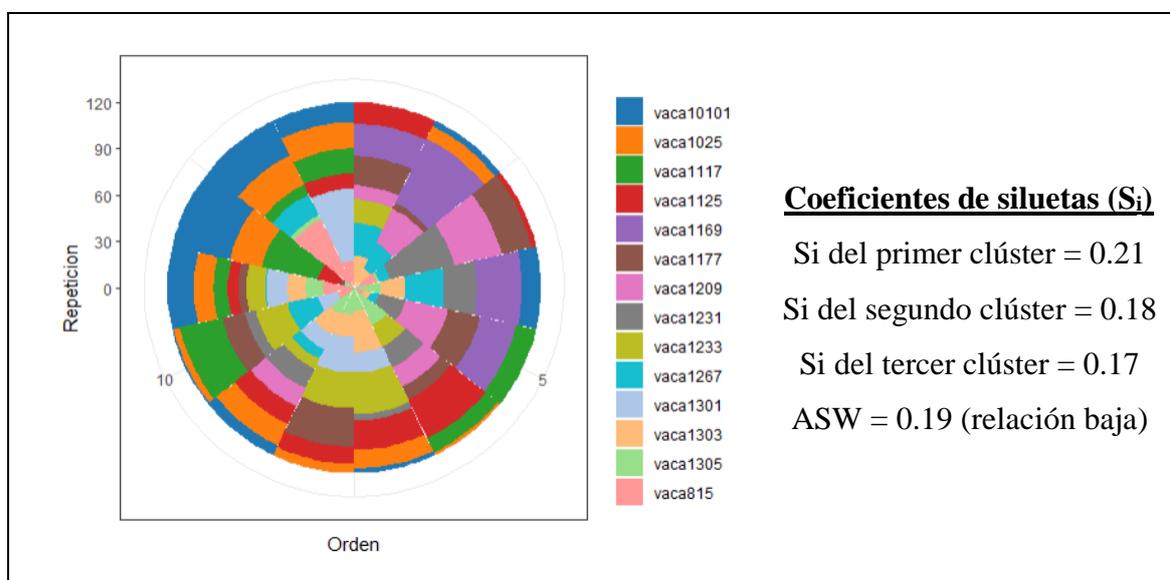


Figura 23: Orden de ingreso del décimo séptimo grupo

Tabla 17: Clústeres formados del décimo séptimo grupo

Vaca	1209	1231	1169	1267	1177	1305	1125	1233	1303	10101	1301	1025	815	1117
Clúster Formado	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3

Hubo una reestructuración del grupo, permaneciendo la vaca 1177; en el primer clúster se encontraban vacas que ocupan los primeros lugares en el ordeño, teniendo a la 1177, 1209 y 1169 compitiendo en los primeros lugares, siendo esta última la que se mantuvo más tiempo en la primera posición; en este caso la vaca 1303 también compitió por estar en el primer lugar, pero en ocasiones puntuales junto con otras vacas del segundo clúster; no se tuvo un líder claro por una variación marcada entre el orden en que ingresaban las vacas teniendo una similitud baja que se reflejó en los coeficientes de silueta del segundo y tercer clúster con vacas con la tendencia a ocupar los primeros lugares, pero a su vez han sufrido mayor estrés a lo largo de su vida en su asignación social por los factores externos con los que ha vivido, habiendo una vaca mayor que ocupa los últimos lugares, que puede haber sido sumisa en el pasado y acostumbrada a seguir a un líder.

4.18. Décimo octavo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 10101, 1025, 1117, 1125, 1169, 1209, 1231, 1233, 1267, 1301, 1303, 1305, 815.

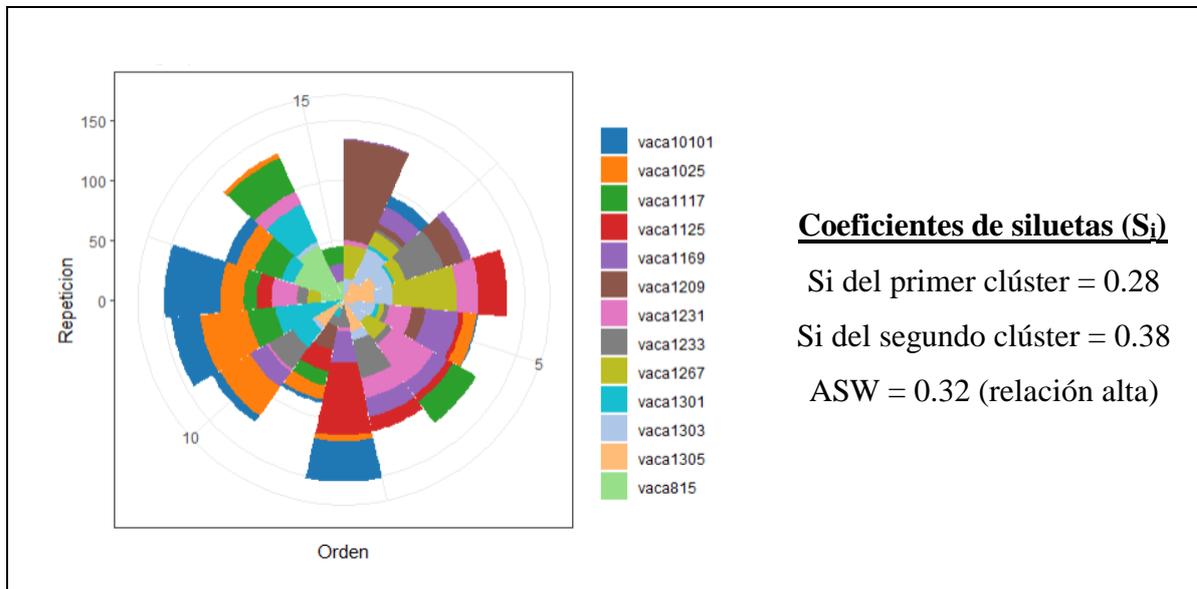


Figura 24: Orden de ingreso del décimo octavo grupo

Tabla 18: Clústeres formados del décimo octavo grupo

Vaca	1209	1231	1169	1267	1305	1125	1233	1303	10101	1301	1025	815	1117
Clúster Formado	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

Se retiró la vaca 1177 del grupo, la cual era una de las líderes, teniendo nuevos clústeres con una mayor homogeneidad a comparación del grupo anterior con la vaca 1209 como la más jerárquica entre las demás y la vaca 1267 que intentaba competir en los primeros lugares junto con las vacas del primer clúster donde pertenecen; las vacas del segundo clúster ocuparon las últimas posiciones de manera constante, por lo que mantuvieron una homogeneidad considerable.

4.19. Décimo noveno grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 10101, 1025, 1117, 1169, 1177, 1209, 1231, 1233, 1267, 1279, 1301, 1303, 1305, 815.

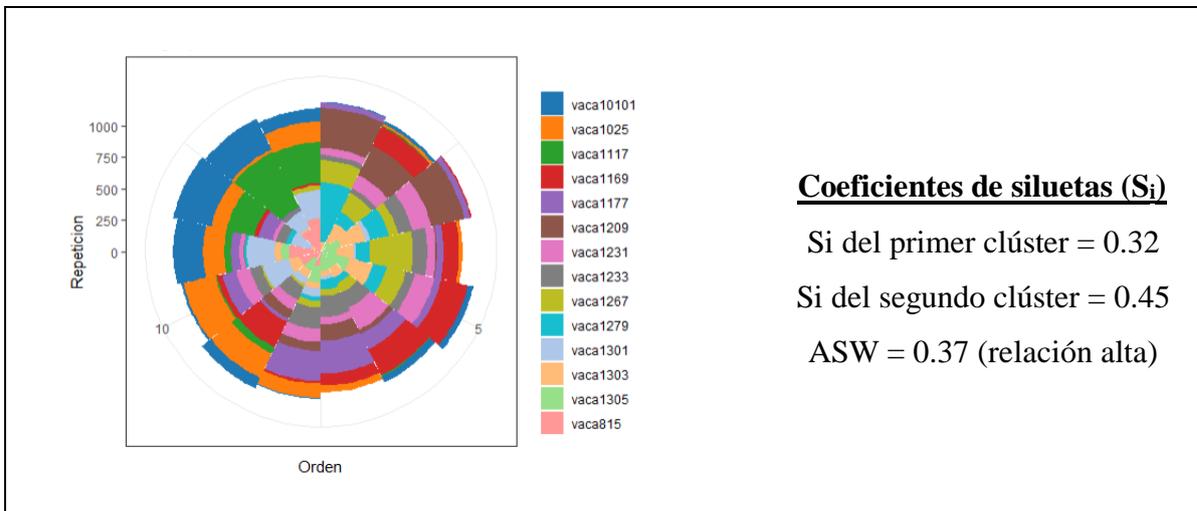


Figura 25: Orden de ingreso del décimo noveno grupo

Tabla 19: Clústeres formados del décimo noveno grupo

Vaca	1209	1231	1169	1267	1177	1305	1233	1303	10101	1279	1301	1025	815	1117
Clúster Formado	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2

En este caso, el grupo permaneció un tiempo prolongado a comparación de los demás formados anteriormente; en cuanto a su constitución, se retiró la vaca 1125 que ocupaba posiciones intermedias, sin afectar el liderazgo de las demás vacas del ordeño, teniendo a la vaca 1177 que reingresó, presentando cierto nivel de indecisión entre ambos clústeres constituidos y el ingreso de la vaca 1279, siendo esta última la que dominó en el ingreso frente a las otras, seguida por la 1209 que tenía el liderazgo junto con la 1267 y las otras vacas del mismo clúster ocupan algunas de las primeras posiciones; se puede apreciar una alta similitud en las vacas del segundo clúster que ocupan los últimos lugares.

4.20. Vigésimo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1025, 1117, 1177, 1231, 1267, 1279, 1301, 1303, 1305, 1315, 1319, 1335, 1343 y 1357.

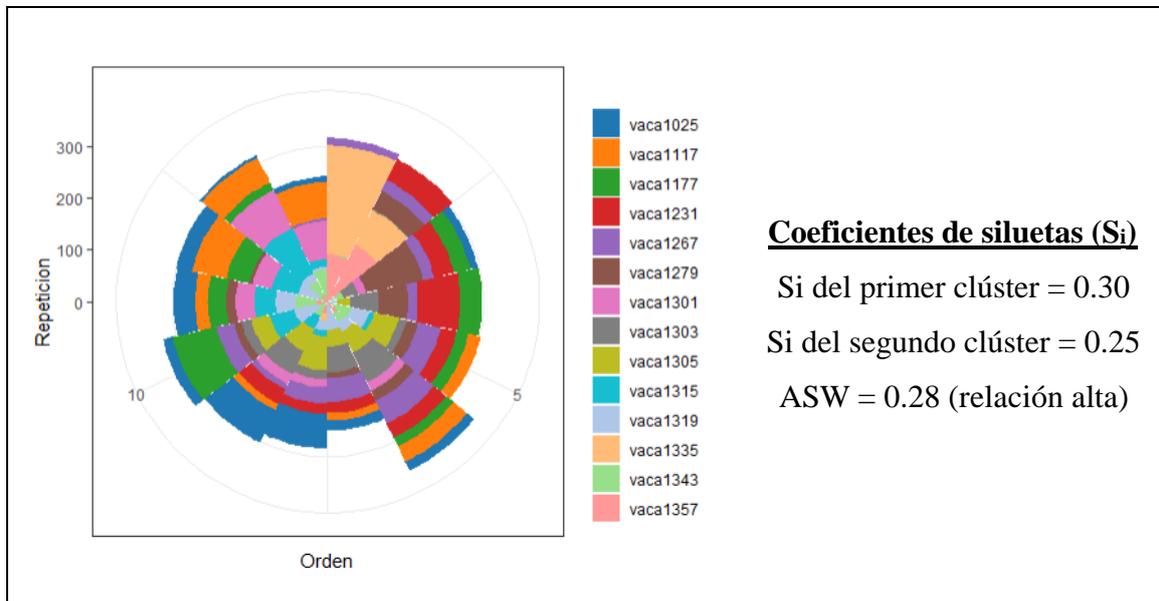


Figura 26: Orden de ingreso del vigésimo grupo

Tabla 20: Clústeres formados del vigésimo grupo

Vaca	1231	1267	1177	1305	1303	1279	1301	1025	1117	1315	1319	1335	1343	1357
Clúster Formado	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1

Se retiraron cinco vacas, entre las cuales se encontraban la 1209 que competía con la 1279 por el liderazgo y las vacas 1269 y 1233 se encontraban entre las primeras posiciones, teniendo el ingreso de otras cinco vacas (1315, 1319, 1335, 1343 y 1357); las vacas 1177, 1267 y 1305 presentan cierto nivel de indecisión en sus respectivos clústeres; la vaca 1335 presentó un claro liderazgo al ocupar las primeras posiciones junto con la 1357 y del resto en el primer clúster.

4.21. Vigésimo primer grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1025, 1117, 1177, 1231, 1267, 1279, 1301, 1315, 1319, 1335, 1343, 1357 y 1381.

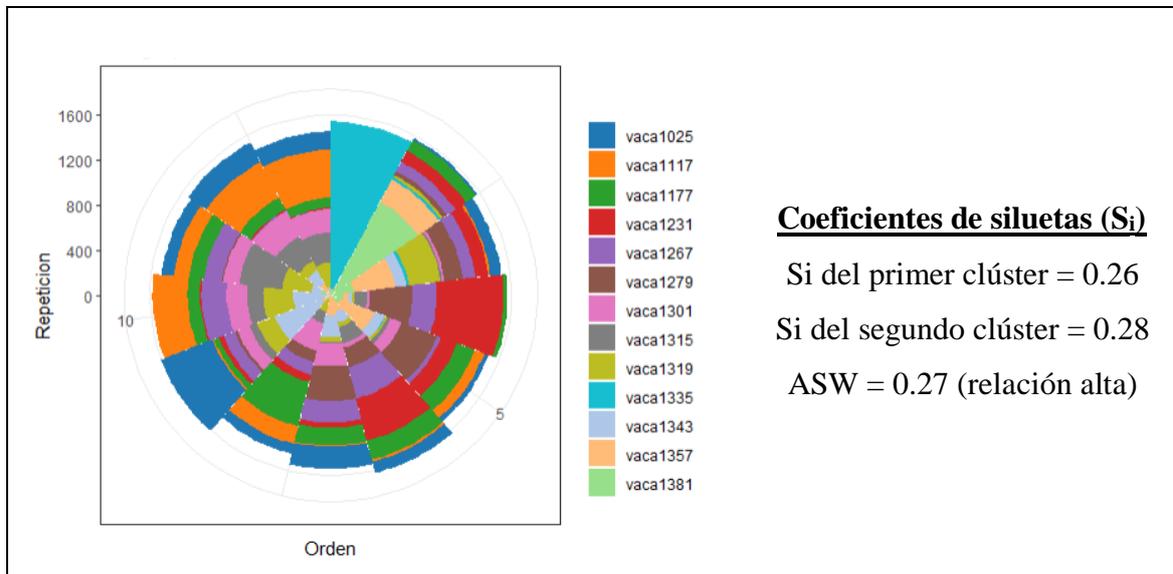


Figura 27: Orden de ingreso del vigésimo primer grupo

Tabla 21: Clústeres formados del vigésimo primer grupo

Vaca	1231	1267	1177	1279	1301	1025	1117	1315	1319	1335	1343	1357	1381
Clúster Formado	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1

Fueron retiradas dos vacas (1305 y 1303) y adicionada la 1381 con la vaca 1335 como la más jerárquica, seguida por la 1381 que ingresó al ordeño; se puede notar que las vacas líderes mantienen un coeficiente de silueta alto con respecto a los otros en su grupo formado.

4.22. Vigésimo segundo grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1315, 1317, 1319, 1331, 1335, 1343, 1345, 1355, 1357, 1361, 1363, 1369, 1381 y 1407.

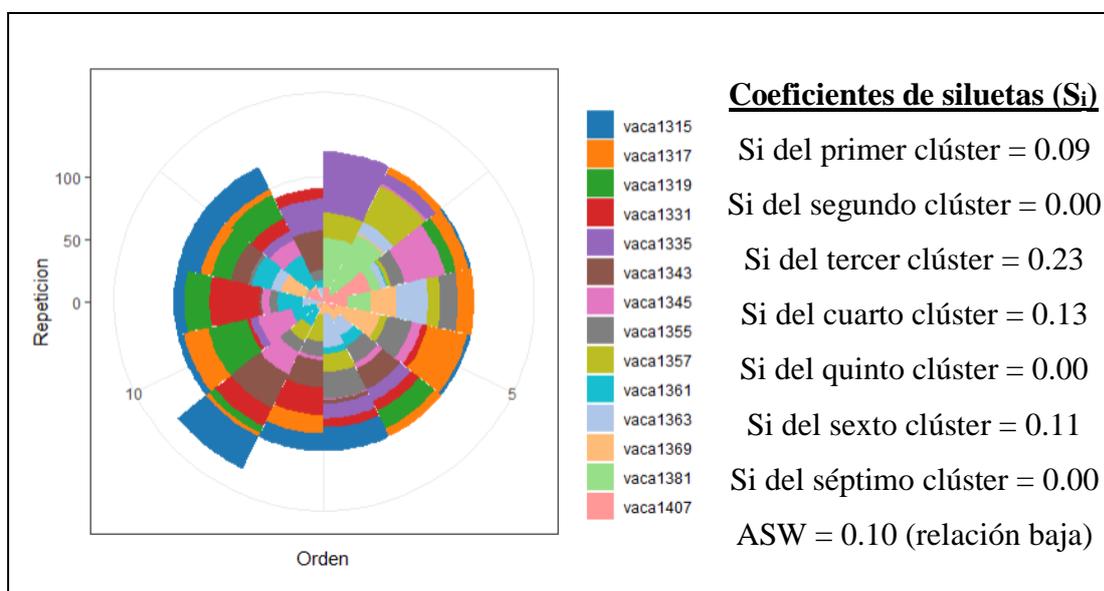


Figura 28: Orden de ingreso del vigésimo segundo grupo

Tabla 22: Clústeres formados del vigésimo segundo grupo

Vaca	1315	1319	1335	1343	1357	1317	1331	1345	1355	1363	1381	1361	1369	1407
Clúster Formado	1	1	2	1	3	4	1	5	4	6	3	1	6	7

Las vacas 1231, 1268, 1177, 1279, 1301, 1025 y 1117 fueron retiradas, donde se tuvo a la vaca 1381 impuso jerarquía en el grupo, seguida por la vaca 1357 formando un mismo clúster con una similitud media; la vaca 1335 presentó su propio clúster al tener posiciones tanto en los primeros como en los últimos lugares, estando en una zona de indecisión, al igual que la vaca 1407 y 1345 que también formaron su propio clúster y por ello el grupo tuvo un cambio significativo en su constitución.

4.23. Vigésimo tercer grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1317, 1341, 1347, 1355, 1361, 1363, 1377, 1401, 1407, 1413, 1429, 1431 y 929.

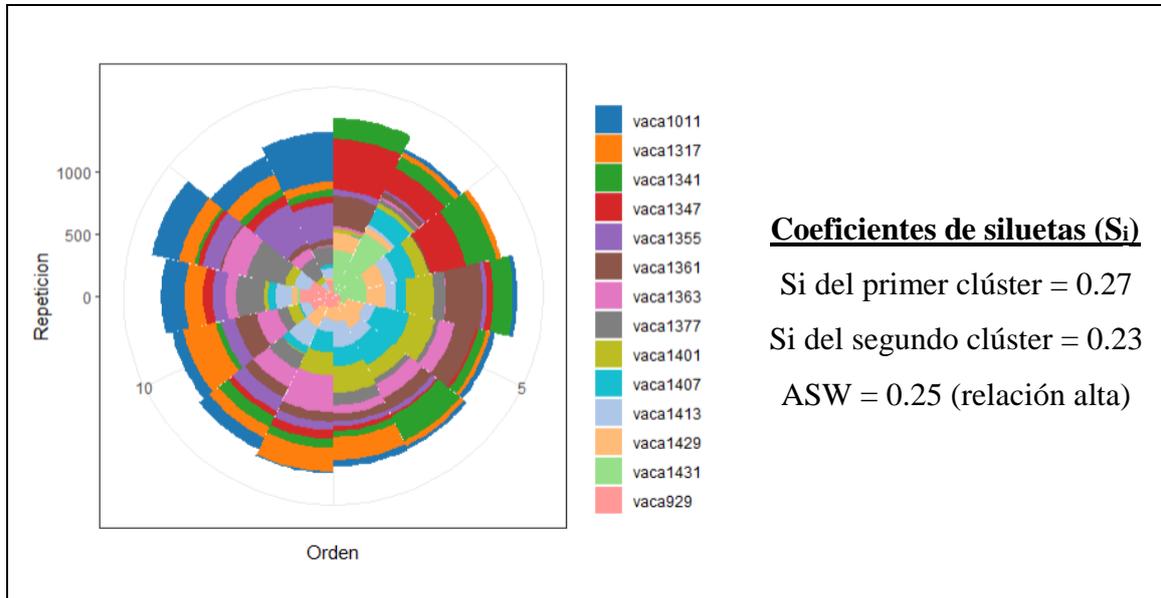


Figura 29: Orden de ingreso del vigésimo tercer grupo

Tabla 23: Clústeres formados del vigésimo tercer grupo

Vaca	1317	1355	1363	1361	1407	929	1377	1429	1011	1401	1341	1347	1413	1431
Clúster Formado	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2

En este caso fueron retiradas una gran cantidad de vacas e ingresaron la misma cantidad (nueve individuos) donde se encontraban las vacas líderes, reemplazadas por la 1347, seguida por la 1431 en las primeras posiciones, teniendo un coeficiente de silueta alto que reflejan las que se mantienen como líderes en el ordeño con mayor estabilidad; las otras vacas de su clúster también ocuparon las primeras posiciones en su mayoría y el resto de vacas presentaron una fluctuación relativamente uniforme.

4.24. Vigésimo cuarto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1317, 1341, 1347, 1355, 1361, 1363, 1377, 1401, 1413, 1423, 1429, 1431 y 929.

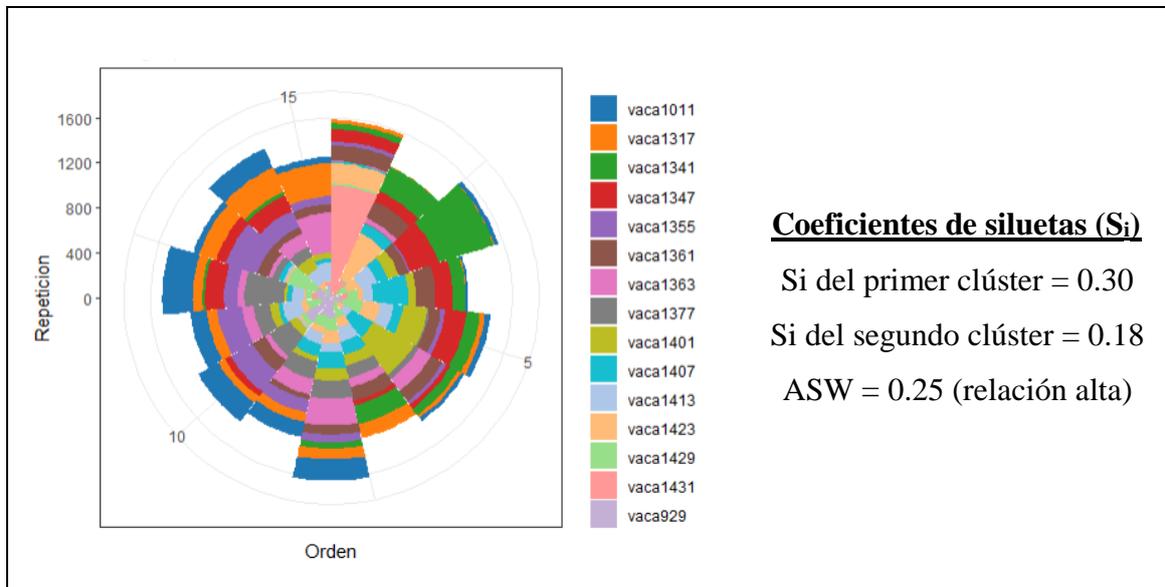


Figura 30: Orden de ingreso del vigésimo cuarto grupo

Tabla 24: Clústeres formados del vigésimo cuarto grupo

Vaca	1317	1355	1363	1361	1407	929	1377	1429	1011	1341	1347	1413	1423	1431
Clúster Formado	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2

En este caso, ingresó la vaca 1423 la cual intentaba colocarse en las primeras posiciones, pero fue desplazada por las vacas 1431 que tenía el liderazgo anteriormente, ya que el grupo de ordeño formado se mantuvo estable en su constitución social con ciertos periodos donde otras vacas del segundo Clúster ocuparon la primera posición; algo que se puede apreciar es que las vacas que ocupan las últimas posiciones también mantienen un cierto nivel de estabilidad en cuanto a sus posiciones en el ingreso al ordeño.

4.25. Vigésimo quinto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1317, 1341, 1347, 1355, 1361, 1363, 1377, 1401, 1407, 1413, 1429, 1431 y 929.

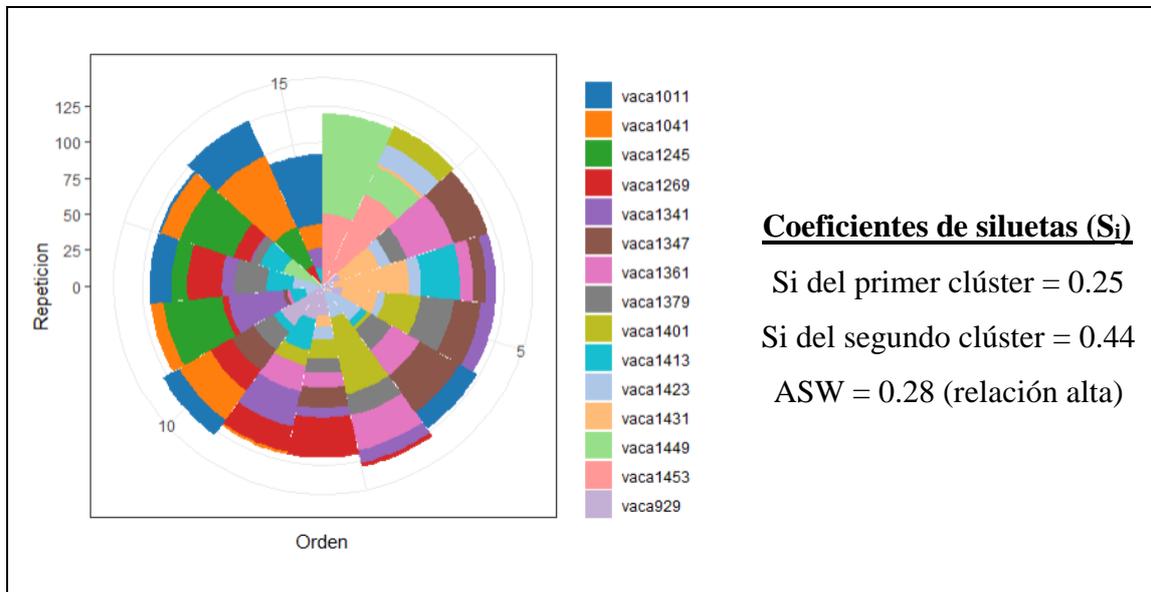


Figura 31: Orden de ingreso del vigésimo quinto grupo

Tabla 25: Clústeres formados del vigésimo quinto grupo

Vaca	1361	929	1011	1401	1341	1347*	1413	1423	1431	1041	1245	1269	1379	1449	1453
Clúster Formado	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2

En este caso fueron retiradas seis vacas, entre las cuales estaba la vaca 1407 que se encontraba tras las líderes y fueron introducidas siete nuevas vacas al ordeño, entre las cuales está la 1401 que fue reintroducida; aquí se pudo ver que la vaca 1449 se encontraba liderando seguida por la 1453, ambas en el segundo clúster con la vaca 1431 en las primeras posiciones, pero sin liderar a pesar de haber sido la líder; las vacas 1347, 1423 y 1379 se encontraban en una zona de indecisión, debido al cambio repentino entre la líder con la que tenían afinidad, siendo estas las más perjudicadas en cuanto a su orden de ingreso.

4.26. Vigésimo sexto grupo de ordeño

Fue conformado por las vacas 1011, 1317, 1341, 1347, 1355, 1361, 1363, 1377, 1401, 1407, 1413, 1429, 1431 y 929.

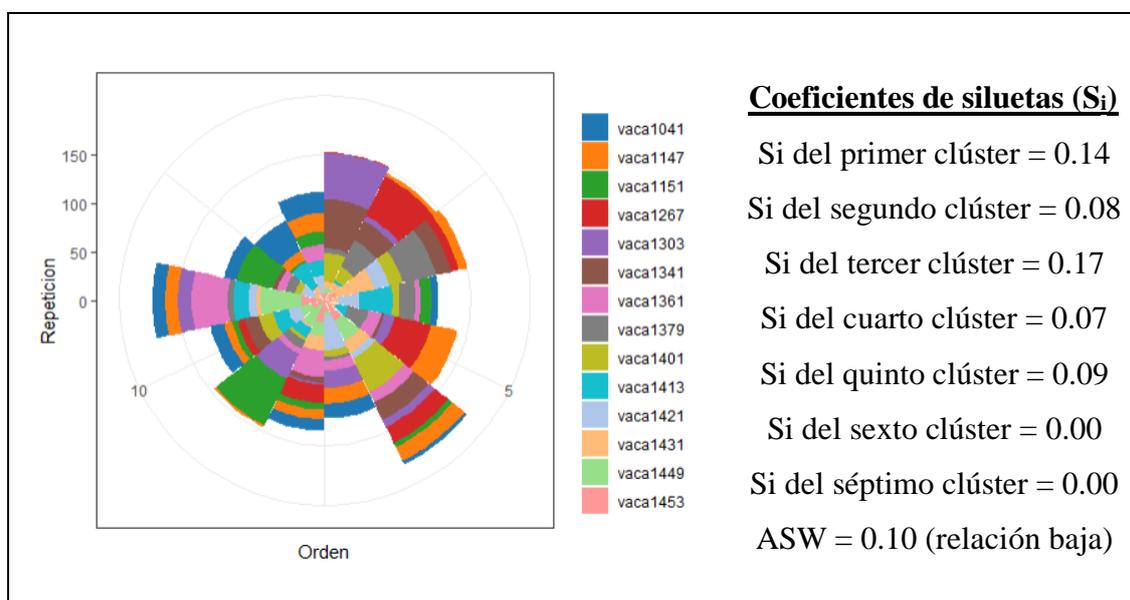


Figura 32: Orden de ingreso del vigésimo sexto grupo

Tabla 26: Clústeres formados del vigésimo sexto grupo

Vaca	1267	1303	1361	1401	1341	1413	1431	1041	1379	1449	1453	1147	1151	1421
Clúster Formado	1	2	3	1	4	5	2	3	4	5	6	3	3	7

Fueron retiradas seis vacas que se encontraban entre las últimas posiciones e ingresaron cinco vacas, entre las cuales la 1267 y 1303 fueron reintroducidas; la vaca 1341 y 1303 compitieron estrechamente por el liderazgo, siendo esta última la que tenía mayor jerarquía; en este grupo formado ha sufrido cambios que han afectado la constitución, sin tener grupo definidos entre las vacas ingresadas al ordeño por lo que tuvieron un orden disperso a excepción de las jerárquicas.

De manera general, las vacas que se retiraron del lote de alta producción fue por mastitis, por cambio en su etapa de producción y hubo ingreso de vacas en esa etapa de producción; por ello, el indicador estadístico del Número Óptimo de Clústeres en algunas ocasiones no acierta en el verdadero número al visualizar bajos coeficientes en el análisis de siluetas; sin embargo, las vacas líderes mantuvieron una orientación constante con un coeficiente de silueta significativo (medio a alto) en sus respectivos clústeres que formaron; los clústeres

se alinearon entre las vacas de rangos de edades similares con un coeficiente de silueta medio por las constantes alteraciones que sufren los grupos de ordeño, viendo que en el caso del análisis hecho en el grupo formado mantiene una mayor estabilidad.

Existieron situaciones donde las vacas retiradas retorna a su grupo tienden a volver a juntarse con las vacas con las que formaban un grupo definido, cuando ocupaban las primeras posiciones en el ordeño; en los casos que se presentaban clústeres con un coeficiente bajo, se puede explicar por un cierto grado de desorden social provocado por la inclusión de nuevas vacas y la salida de vacas con mayor jerarquía y, en menor medida, cuando se retiran vacas que no tenían un nivel jerárquico significativo.

Con los resultados obtenidos se puede comprobar que el análisis clúster es una buena herramienta para el análisis de datos de vacas en lo que respecta a su orden de ingreso, agrupando a las vacas con tendencias al “liderazgo” o a la “sumisión” en un mismo clúster; en la mayoría de los grupos existe la formación de 2 a 3 clústeres y en algunos casos se observan más agrupaciones internas de una o más vacas que se encuentran en zona de indecisión donde su orden de ingreso es más aleatorio con respecto al resto; cabe señalar que existen autores como Guhl & Atkeson's (1959) y Hafez & Bouissou (1975) que declaran que el ingreso a la sala de ordeño es un movimiento voluntario diferente al movimiento libre que se puede observar en las pasturas y movimientos forzados como el pesaje y otras manipulaciones y no sigue un orden, pero como se ha demostrado si siguen un patrón definido expresado en una jerarquía en el ingreso en los primeros puestos (vacas con mayor jerarquía en el ordeño).

V. CONCLUSIONES

Según las condiciones imperantes en la presente investigación puede concluirse lo siguiente:

- Se determinó que existe una jerarquía expresada en el orden de ingreso al establo La Molina por la consistencia de algunas vacas que mantienen las primeras posiciones.
- Se determinó la existencia de una jerarquía bidireccional constituida por 1 a 3 vacas compitiendo por el liderazgo de manera significativa, basado en un 34.6%, 19.2% y 46.2% de los casos con 1 vaca, 2 vacas y 3 vacas liderando, respectivamente.
- Se determinó que las vacas líderes se agrupan en un clúster con un coeficiente de silueta medio a alto y el resto de individuos en otros clústeres, donde el 43.75% fueron vacas mayores y el resto entre las vacas más jóvenes que ocuparon los primeros lugares cuando fueron mayoría.

VI. RECOMENDACIONES

- En este estudio se pudo determinar la existencia de una jerarquía bidireccional en el ingreso a la sala de ordeño, quedando camino a un estudio complementario usando el test de competencia en la alimentación que propuso Bouissou & Signoret (1970), colocando un solo recipiente de comida donde podía alimentarse una vaca a la vez y realizar un estudio de correlaciones en el establo y en el ordeño.
- Para estudios similares, se puede considerar el uso del método k-medoids cuando se sospecha la presencia de outliers como sugiere Amat (2017), para este tipo de análisis para poder tener un resultado más consistente que refleje la realidad de lote que se desee estudiar, lo cual no fue necesario usar en la presente investigación porque los datos siguieron una secuencia fija.
- No se realizó una comparación con lotes en etapa de media o baja producción, por lo que se podría usar la metodología empleada en el presente estudio para ver si se mantiene la jerarquía en las vacas al pasar a estas etapas de productividad lechera.
- Se puede considerar realizar análisis de similitud dentro de los clústeres formados en el estudio para poder conocer el nivel de afinidad interna.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Albright, J. (1978). Social considerations in grouping cows. University Press of Florida, Gainesville. 757-779.
- Albright, J. & Arave, C. (1997). The Behaviour of cattle. University Press, Cambridge. UK (1): 106.
- Amat, J. (2017). Clustering y heatmaps: aprendizaje no supervisado. Recuperado de https://rpubs.com/Joaquin_AR/310338
- Bacelar, J. (2021). Código sanitario para los animales terrestres. Organización mundial de sanidad animal. Recuperado de <https://www.oie.int/es/que-hacemos/sanidad-y-bienestar-animal/bienestar-animal/>
- Bach, A., Juaristi, J. & Ahedo, J. (2006). Growth effects of regrouping dairy replacement heifers on performance. The Professional Anim. Scientist (22): 358-361.
- Beilharz, R.G. & Mylrea, P.J. (1963). Social position and behavior of dairy heifers in yards. Animal Behaviour (11): 522.
- Bouissou, M.F. (1970). Role du contact physique dans la manifestation des relations hierarchiques chez les bovins. Consequences pratiques. Ann. Zootech. (19): 279-285.
- Bouissou, M.F. & Signoret, J.P., (1970). La hiéarchie sociale chez les Mammifères. Rev. Comp. Anim. (4): 43-61.
- Callejo, A. (2009). El Bienestar de la Vaca Lechera. España. Editorial Servet (1).
- De Elia, M. (2002). Etología y Comportamiento del Bovino. Sitio Argentino de la Producción. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/etologia_bovinos/45-etologia_y_comportamiento.pdf.
- Dickson, D.P.; Barr, G.R.; & Wieckert, D.A. (1967). Social relationship of dairy cows in a feed lot. Behaviour (29): 195-203.

- Duncan, I. (1990). Behavioral assessment of welfare. En: Mench, J.A.; Mayer, S.J. & Krulisch, L. (eds). *The Well-Being of Agricultural Animals in Biomedical and Agricultural Research*. Scientists Center for Animal Welfare. Bethesda, Maryland. USA.
- Fox, M. (1983). *Animal Welfare and the Dairy Industry*. Recuperado de <http://agris.fao.org/>.
- Gary, P.M. (1987). A model for assessing the impact of behavioral stress on domestic animals. *J Anim Sci* (65): 1228-1235.
- Giménez, M. (1999). La Etología Aplicada a la Ganadería. *Márgenes Agropecuarios, Argentina* 14(163):30-31. Recuperado de http://www.produccion-animal.com.ar/etologia_y_bienestar/etologia_bovinos/08-etologia_aplicada_a_la_ganaderia.pdf.
- Giménez, M. & Calderón, N. (2009). Etología Bovina. Recuperado de <http://jairoserrano.com/2009/10/etologia-bovina/>
- Gonzales, P. (2015). *Buenas prácticas de ordeño. Diseño e Impresión: JPG Corporación S.A.C. Arequipa, Perú*. Recuperado de <http://www.caritas.org.pe/documentos/Manual%20Leche%20Final.pdf>.
- Grant, R. J. & Albright, J.L. (2000). *Feeding behaviour in Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK. 365-382.
- Guhl, A.M. & Atkeson, F.W. (1959). Social organization in a herd of dairy cows. *Trans. Kans. Acad. Sci.* (62): 80-87.
- Hafez, E.S.E. & Bouissou, M.F. (1975). The behaviour of cattle. En: HAFEZ, E.S.E. (Editor), *The Behaviour of Domestic Animals*. Bailliere Tindall, London (3): 203-237.
- Konggaard, S.P. & Krohn, C.C. (1978). Performance of first-calf heifers in two different grouping systems. Copenhagen, Denmark. *Rep. Nat. Inst. Anim. Sci.*
- Lamb, R. C. (1976). Relationship between cow behaviour patterns and management systems to reduce stress. *J. Dairy Sci.* (59): 1630-1636.
- Low, D. (1853). *On the domesticated animals of the British Islands*. Little-Brown, Boston.
- Macqueen, J. (1967) Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.* (5): 281. Recuperado de https://www.unioviado.es/compnum/laboratorios_py/kmeans/kmeans.html

- Mendoza, I.; Condit, R.S.; Wright, S.J.; Caubère, A.; Châtelet, P.; Hardy, I. & Forget, P.M. (2018). Inter-annual variability of fruit timing and quantity at Nouragues (French Guiana): insights from hierarchical Bayesian analyses. *Biotropica* (50): 431-441.
- Munksgaard, L.; De Passillé, A.; Rushen, J.; Thodberg, K. & Jensen, M.B. (1997). Discrimination of people by dairy cows based on handling. *J. Dairy Sci.* (80):1106-1112.
- Pérez, J.L. (2020). Introducción a la estadística circular. Universidad de Extremadura, España. Recuperado de <https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/10303/1/978-84-09-15443-2.pdf>
- Petryna, A.; Bavera, G.A. (2002). Etología: Cursos de Producción Bovina de Carne. FAV UNRC. 1-2. Recuperado de http://www.produccionbovina.com/etologia_y_bienestar/etologia_en_general/07-etologia.pdf
- Phillips, C. & Rind, M. (2001). The effects on production and behavior of mixing uniparous and multiparous cows. *Dairy Sci* (84): 2424-2429.
- Schein, M.W. & Fohrman, M.H. (1955). Social dominance relationships in a herd of dairy cattle. *British J. Animal Behavior.* (3):45-55.
- Syme, L.A.; Syme, G.J.; Pearson, A.J. & Waite, T. (1975). Spatial distribution and social status in a small herd of dairy cows. *Anita. Behav.* (23): 609.
- Syme, G.J. & Syme, L.A. (1979). *Social Structure in Farm Animals*. Elsevier, Amsterdam. 200.
- Woodbury, A.M. (1941). Changing the "hook-order" in cows. *Ecology* (22): 410.
- Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. 4.^a ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Fotos tomadas en la sala de ordeño



Figura 33: Vacas en la sala de ordeño



Figura 34: Postura de sumisión



Figura 35: Golpes con la cabeza



Figura 36: Enfrentamiento cabeza con cabeza



Figura 37: Competencia en el ingreso al módulo de ordeño



Figura 38: Ataque a la región del cuello



Figura 39: Ataque a la región del abdomen

Anexo 2: Códigos de las vacas en estudio

-1049	-1093	-1141	-1145	-1163	-1181	-1215	-1227	-1237	-1239
-1241	-1247	-1249	-1251	-1265	-1309	-1329	-1353	-1359	-1371
-1405	-1409	-815	-1025	-1041	-1117	-1125	-1147	-1151	-1169
-1209	-1229	-1231	-1233	-1237	-1267	-1279	-1301	-1303	-1305
-1421	-1449	-1453	-929	-1011	-1177	-1245	-1269	-1315	-1317
-1319	-1331	-1335	-1341	-1343	-1345	-1347	-1355	-1357	-1361
-1363	-1369	-1377	-1379	-1381	-1401	-1407	-1413	-1415	-1423
			-10103	-1429	-1431	-10101			

Anexo 3: Ejemplo de datos transformados en orden nominal del ordeño durante el año 2016

Tabla 27: Orden de ingreso al ordeño del primer grupo formado en horas

ID	Orden de ingreso																	
1049	03:54	15:07	04:23	14:05	04:42	13:44	04:10	13:42	04:38		04:02	13:23	04:43	15:44	04:41	14:34	04:12	13:51
1093	03:38	15:02	04:13	13:58	04:39	13:37	04:05	13:38	04:23		04:04	13:24	04:33	15:16	04:20	14:14	03:56	13:37
1163	03:52	15:11	04:22	14:01	04:34	13:36	04:17	13:47	04:34	13:42			04:39	15:39	04:37	14:17	04:09	13:50
1249	03:34	14:54	04:09	13:56	04:21	13:31	04:01	13:33	04:10	13:24	04:07	13:27	04:29	15:13	04:14	14:18	03:58	13:43
1315	03:35	15:03	04:28	13:59	04:24	13:48	04:20	14:00	04:19	13:29	04:17	13:39	04:37	15:17	04:18	14:33	03:54	13:44
1319	03:32	14:55	04:08	14:10	04:22	13:40	04:12	13:36	04:11	13:32	04:05	13:25	04:28	15:23	04:17	14:27	03:52	13:46
1331	03:46	15:00	04:25	14:14	04:35	13:46	04:18	13:49	04:15	13:36	04:11	13:30	04:46	15:27	04:33	14:36	04:05	13:48
1335	03:36	14:57	04:30	13:57	04:23	13:32	04:03	13:35	04:14	13:34	04:20	13:42	04:35	15:15	04:16	14:10	03:51	13:33
1343	03:45	14:56	04:11	14:08	04:25	13:42	04:02	13:52	04:09	13:23	04:31	13:51	04:28	15:14	04:23	14:20	04:02	13:35
1357	03:55	15:05	04:20	14:07	04:30	13:41	04:26	13:56	04:12	13:26	04:03	13:22	04:44	15:29	04:27	14:23	03:53	13:32
1381	03:43	14:58	04:17	14:11	04:27	13:35	04:07	13:39	04:27	13:27	04:08	13:32	04:39	15:34	04:25	14:16	04:00	13:40
1415	03:56	15:08	04:25	14:16	04:36	13:52	04:15	13:44	04:30		04:14	13:35	04:26	15:37	04:31	14:21	04:07	13:36
10103	03:37	14:59	04:14	14:00	04:32	13:33	04:04	13:34	04:08	13:25			04:27	15:19	04:15	14:13	03:50	13:31

Tabla 28: Orden de ingreso al ordeño del primer grupo formado en números enteros

ID	Orden de ingreso																	
1049	11	11	9	7	13	10	7	7	13		1	3	13	13	13	12	13	13
1093	6	8	4	3	12	6	5	5	9		3	4	5	4	6	3	6	6
1163	10	13	8	6	9	5	10	9	12	10			12	12	12	5	12	12
1249	2	1	2	1	1	1	1	1	3	2	5	6	4	1	1	6	7	8
1315	3	9	12	4	4	12	12	13	8	6	9	10	7	5	5	11	5	9
1319	1	2	1	10	2	7	8	4	4	7	4	5	8	7	4	10	3	10
1331	9	7	10	12	10	11	11	10	7	9	7	7	11	8	11	13	10	11
1335	4	4	13	2	3	2	3	3	6	8	10	11	6	3	3	1	2	3
1343	8	3	3	9	5	9	2	11	2	1	13	14	3	2	7	7	9	4
1357	12	10	7	8	7	8	13	12	5	4	2	2	10	9	9	9	4	2
1381	7	5	6	11	6	4	6	6	10	5	6	8	9	10	8	4	8	7
1415	13	12	11	13	11	13	9	8	11		8	9	1	11	10	8	11	5
10103	5	6	5	5	8	3	4	2	1	3			2	6	2	2	1	1

Anexo 4: Métodos estadísticos empleados

Siegel *et al.* (1956), menciona que anteriormente, los procesos de matemática orientados a la estadística trabajaban con el supuesto de que las distribuciones se asemejaban a una forma matemática conocida, lo cual conllevaba a intentar estimar o probar hipótesis orientadas a ciertas constantes desconocidas (parámetros) de estas distribuciones; sin embargo, llegó a ser claro que había ciertos problemas que requerían soluciones fuera de los conocimientos estándares que no estuvieran orientados por los valores paramétricos, llamándolos “métodos no paramétricos”; los investigadores se han enfocado en ver la eficiencia de estos métodos a comparación de los métodos estadísticos clásicos, siendo su aplicación y eficiencia a menudo sorprendentemente alta.

1. Estadística circular

Como menciona Mendoza *et al.* (2018), la estadística circular es una herramienta estadística vigorosa que facilita el análisis de variables de naturaleza cíclica donde las técnicas estadísticas convencionales no son útiles para su análisis, usado en estudios en el ámbito de la Ecología y Etología donde se estudian patrones de la actividad diaria de cualquier animal a través del tiempo y para realizarlo es necesario transformar los datos que son de naturaleza circular en ángulos mediante una ecuación sencilla (Zar 1999):

$$a = \frac{(360^\circ)(x)}{k}$$

Donde:

- x : es representada por una variable temporal que se desea transformar en su valor angular (en $^\circ$).
- k : es la cantidad total de unidades de tiempo de la variable en estudio de nuestra circunferencia (por ejemplo: $k = 365$ para días del año o $k = 24$ para las horas del día).

Como ejemplo se puede plantear el orden de ingreso de la vaca 1011, el cual fue el 1 $^\circ$ lugar en su primer día en el ordeño de 15 posiciones, teniéndose lo siguiente:

$$a = \frac{(360^\circ)(1)}{15}$$

Obteniendo que 24° es el valor angular de la fecha seleccionada como ejemplo; otra forma de presentar los datos es a través de radianes, en un rango de entre 0 y 2π radianes donde podemos convertirlos multiplicando por $\pi/180^\circ$ como por ejemplo 24° equivaldrían a $24 \cdot \pi/180 = 0,4189$ radianes.

Coordenadas Polares

Como menciona Pérez (2020), para definir la posición de un punto cualquiera como k es necesario conocer 2 coordenadas: x e y , esto usado en el sistema clásico de coordenadas cartesianas con centro O y 2 ejes perpendiculares X e Y que pasan por este centro teniendo la ubicación de dicho punto; otra forma de localizar el punto P es a través de un ángulo ϕ . Ahora, se introduce una línea λ con el supuesto de que parte del eje X en su sector positivo marcando la “dirección cero” denominándolo “eje polar”; posteriormente, se rota λ en sentido antihorario hasta P llamando a esta magnitud de rotación “ángulo polar” de $P(\phi)$ y para determinar su posición en un sentido polar se combina el ángulo ϕ con la distancia r_p desde su origen hasta la posición de P ; las coordenadas polares son representadas con las siguientes fórmulas:

$$x = r \cos \phi ; \quad y = r \operatorname{sen} \phi ; \quad x^2 + y^2 = r^2 ;$$

$$r = \pm \sqrt{x^2 + y^2}$$

2. Métodos jerárquicos de análisis Clúster Aglomerativos.

A continuación, vamos a presentar algunas de las estrategias que pueden ser empleadas a la hora de unir los clústeres en las diversas etapas o niveles de un procedimiento jerárquico donde ninguno de estos procedimientos proporciona una solución óptima para todos los problemas que se pueden plantear, ya que es posible llegar a distintos resultados según el método elegido donde entra a tallar el buen criterio del investigador, el conocimiento del problema planteado y la experiencia, sugerirán el método más adecuado, pero de igual manera es conveniente usar varios procedimientos con la idea de contrastar los resultados obtenidos y sacar conclusiones, tanto como si hubiera coincidencias en los resultados obtenidos con métodos distintos como si no las hubiera; entre los métodos conocidos se tienen los siguientes:

- Estrategia de la distancia mínima o similitud máxima.
- Estrategia de la distancia máxima o similitud mínima.

- Estrategia de la distancia, o similitud, promedio no ponderada (Weighted arithmetic average).
- Estrategia de la distancia, o similitud, promedio ponderada (unweighted arithmetic average).
- **Métodos basados en el centroide (que será usado en el presente estudio).**
- Método de Ward.

Métodos basados en el centroide

En este método se centra la semejanza dada entre 2 clústeres en base a sus centroides (los vectores de medias de las variables medidas sobre los individuos dentro del clúster), existiendo 2 métodos:

a.- Método del centroide ponderado, en el que los tamaños de los clústeres son considerados a la hora de efectuar los cálculos.

b.- Método del centroide no ponderado, o método de la mediana, en el cual los tamaños de los clústeres no son considerados.

En el primero de los métodos centrándonos en la distancia euclídea al cuadrado, se plantea el supuesto de medir la distancia entre los clústeres C_j (compuesto por n_j elementos) y C_i (formado a su vez por dos clústeres, C_{i_1} y C_{i_2} , con n_{i_1} y n_{i_2} elementos, respectivamente); sean m^j , m^{i_1} y m^{i_2} los centroides de los clústeres anteriormente citados (considerando estos centroides como vectores n dimensionales).

Así, el centroide del clúster C_i vendrá dado en notación vectorial por:

$$m^i = \frac{n_{i_1} m^{i_1} + n_{i_2} m^{i_2}}{n_{i_1} + n_{i_2}}$$

cuyas componentes serán:

$$m_l^i = \frac{n_{i_1} m_l^{i_1} + n_{i_2} m_l^{i_2}}{n_{i_1} + n_{i_2}}$$

Donde $l = 1, \dots, n$

Con ello, la distancia euclídea al cuadrado entre los clústeres C_i y C_j vendrá dada por:

$$\begin{aligned}
d_2^2(C_j, C_i) &= \sum_{l=1}^n (m_l^j - m_l^i)^2 = \sum_{l=1}^n \left[m_l^j - \frac{n_{i_1} m_l^{i_1} + n_{i_2} m_l^{i_2}}{n_{i_1} + n_{i_2}} \right]^2 \\
&= \sum_{l=1}^n \left[\frac{n_{i_1}}{n_{i_1} + n_{i_2}} [m_l^j - m_l^{i_1}]^2 + \frac{n_{i_2}}{n_{i_1} + n_{i_2}} [m_l^j - m_l^{i_2}]^2 \right. \\
&\quad \left. - \frac{n_{i_1} n_{i_2}}{(n_{i_1} + n_{i_2})^2} [m_l^{i_1} - m_l^{i_2}]^2 \right] \\
&= \frac{n_{i_1}}{n_{i_1} + n_{i_2}} d_2^2(C_{i_1}, C_j) + \frac{n_{i_2}}{n_{i_1} + n_{i_2}} d_2^2(C_{i_2}, C_j) - \frac{n_{i_1} n_{i_2}}{(n_{i_1} + n_{i_2})^2} d_2^2(C_{i_1}, C_{i_2})
\end{aligned}$$

La relación anteriormente mostrada es establecida para la distancia euclídea y dado un producto escalar en un espacio vectorial, se puede definir la norma de dicho vector como la raíz cuadrada positiva del producto escalar del vector por sí mismo; así la estrategia de la distancia mediana, al considerar de forma arbitraria que $n_{i_1} = n_{i_2}$, provoca que el centroide del clúster C_i esté situado entre los clústeres C_{i_1} y C_{i_2} y con ello el centroide del clúster (C_i, C_j) esté localizado en el punto central o mediana del triángulo formado por los clústeres C_{i_1} , C_{i_2} y C_j ; salvo esta diferencia, la estrategia de la distancia mediana es análoga a la anterior y, por lo tanto, goza de sus mismas características y si estamos hablando de distancias, la distancia entre el clúster C_i y el C_j viene dada por:

$$d(C_i, C_j) = \frac{1}{2} [d(C_{i_1}, C_j) + d(C_{i_2}, C_j)] - \frac{1}{4} d(C_{i_1}, C_{i_2})$$

Y en cuanto a similitudes:

$$s(C_i, C_j) = \frac{1}{2} [s(C_{i_1}, C_j) + s(C_{i_2}, C_j)] + \frac{1}{4} [1 - s(C_{i_1}, C_{i_2})]$$

Notemos que una característica de los métodos basados en el centroide y sus variantes es que el valor de similitud o la distancia asociada con los clústeres enlazados puede aumentar o disminuir de una etapa a otra; por ejemplo, cuando la medida es una distancia, esta con respecto a los centroides puede ser menor que la de otro par de centroides unidos en una etapa anterior, pudiendo ocurrir ya que los centroides, en cada etapa, pueden

cambiar de lugar; este problema puede llevar a que el dendrograma resultante sea complicado de interpretar.

3. K-means

K-means (MacQueen, 1967) es un algoritmo de clasificación no supervisada (Clustering) que facilita la agrupación de objetos en k grupos basándose en sus características a través de la minimización de la suma de distancias entre cada objeto y su centroide usando por lo general las distancias al cuadrado que consta de tres pasos:

- a. **Inicialización:** Luego de escoger el número de grupos k , se establecen k centroides en el espacio de los datos en estudio con una selección aleatoria.
- b. **Asignación de objetos a los centroides:** a cada dato en estudio es asignado a su centroide más próximo.
- c. **Revisión del centroide:** Se revisa la ubicación del centroide en cada grupo de datos tomando como nuevo centroide la ubicación del promedio de los objetos pertenecientes al grupo en cuestión.

El segundo y tercer paso se repiten hasta obtener que el centroide no cambie de posición o se reubique por debajo de una distancia umbral en cada punto; este algoritmo es una herramienta útil para resolver el problema de la optimización, siendo la función a minimizar la suma de las distancias cuadráticas de cada objeto al centroide de su respectivo clúster.

Los objetos son representados con vectores reales de d dimensiones (x_1, x_2, \dots, x_n) y el algoritmo en cuestión diseña k grupos donde se optimiza la suma de las distancias en los objetos dentro de cada grupo $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$, a su centroide. Este problema se formula con la siguiente fórmula:

$$\min_S E(\mu_i) = \min_S \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (a)$$

Donde S es el grupo de datos compuestos por objetos x_j representados por vectores, donde cada elemento es una observación en estudio, teniéndose k clústeres con sus respectivos centroides μ_i .

En cada repetición del **punto 3**, desde una perspectiva matemática, se asigna la condición necesaria de extremo a la función $E(\mu_i)$ que, para la función cuadrática (a) es:

$$\frac{\partial E}{\partial \mu_i} = \mathbf{0} \Rightarrow \mu_i^{(t+1)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j$$

y se toma el promedio de los elementos en cada grupo como nuevo centroide.

Las principales utilidades del presente método (k-means) es que es un método estadístico simple y rápida; sin embargo, es necesario decidir el valor de k y el resultado que se obtendrá depende de la iniciación de los centroides donde no converge con el mínimo global, más bien con el mínimo local y también se puede ver afectado por los outliers y por ello, es recomendable complementar este análisis con el hierarchical Clustering (Clúster jerárquico).

Según los estudios de Amat (2017), una forma simple de estimar el número k óptimo de clústeres cuando no hay información adicional es aplicar el algoritmo de manera exploratorio para un rango de valores de k e identificar el mejor valor donde la reducción de la suma total de varianza intra-cluster deja de ser sustancial, lo cual es conocido como método de codos o elbow method.

Validación del Clustering

Según Amat (2017), los métodos de Clustering de facilitar la agrupación de los datos exista o no exista realmente, teniendo que cada método de Clustering tienen diferentes resultados; por ello, contar con una herramienta de validación es una forma útil de comprobar que tan robusta es la agrupación hallada con el método escogido para el análisis de datos en estudio y usualmente se realizan una validación en tres partes:

- a. **Estudio de la tendencia de Clustering:** esto suele realizarse antes de aplicar un método de Clustering para comprobar si realmente existe algún tipo de agrupación en los datos de estudio. A esto se le conoce como cluster tendency y puede ejecutarse a través de:
 - Test estadísticos (Hopkins statistic) y
 - Forma visual (Visual Assessment of cluster Tendency) a través de la comparación de los datos con un grupo simulado.

- b. **Elección del número óptimo de clústeres:** para esto no existe una forma única de averiguarlo, siendo un proceso básicamente subjetivo que depende del tipo de Clustering elegido para el estudio. Para ello se puede usar:
- Elbow method calculando la varianza total intra-cluster;
 - Average silhouette method que maximiza la media de los coeficientes de silueta (S_i) y
 - Estadístico gap (Gap statistic method) que compara la varianza total intra-cluster hallada en contraste con el valor esperado acorde a una distribución uniforme referencial encontrando el valor que se aleje de una distribución uniforme aleatoria.
- c. **Estudio de la calidad/significancia de los clústeres generados:** Luego de determinar el número adecuado de clústeres y Clustering aplicado, puede estudiarse su calidad a través de tres estadísticos empleados con este fin:
- Validación interna de clústeres que emplea la información interna del proceso de Clustering analizando la bondad de las agrupaciones generadas.
 - Validación externa de los clústeres combinando resultados del Clustering con información externa como un set de validación cuando se conoce los grupos reales de cada observación en estudio.
 - Significancia de los clústeres calculando la probabilidad de que los clústeres que se formaron fueron al azar.

Método de silueta promedio (Average silhouette method)

Este método es muy similar al Elbow, con la diferencia que se maximiza la media de los coeficientes de silueta (S_i) cuantificando la buena asignación que se ha hecho en una observación comparando su similitud con el resto de su clúster frente a la de los otros clústeres donde su valor está en el rango de $[-1$ y $1]$, siendo los más altos valores que indican una asignación correcta a un clúster donde para cada observación i , el S_i se obtiene de la siguiente manera:

- Calcular el promedio de las distancias a_i entre la observación i y el resto de observaciones del mismo clúster. Mientras más pequeña sea la distancia, mejor asignado estará.
- Calcular la distancia promedio entre i y el resto de clústeres, siendo esta distancia la media de las distancias entre i y las observaciones del clúster C .

- Reconocer a b_i como la menor distancia ponderada entre i y el resto de los clústeres (distancia al clúster más cercano).
- Calcular el valor de S_i como:

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(a_i, b_i)}$$

Este método toma en consideración que el número óptimo de clústeres es aquel que maximiza la media del coeficiente de silueta en todos los datos de estudio.

3.5.1 Análisis de siluetas

El análisis de la silueta es un valor que mide la calidad del agrupamiento o Clustering. Mide la distancia de separación entre los clústeres que nos indica como de cerca está cada punto de un clúster a puntos de los clústeres vecinos donde la distancia se encuentra en el rango $[-1, 1]$ obteniendo un coeficiente de silueta, el cual es una medida para evaluar la calidad del agrupamiento obtenido de un Clustering; el coeficiente de silueta para una observación i se denota como S_i y se define como:

$$s_i = \frac{b - a}{\max(a, b)}$$

Donde:

- a es el promedio de las disimilitudes (o distancias) de la observación i con las demás observaciones del clúster al que pertenece i .
- b es la distancia mínima a otro clúster que no es el mismo en el que está la observación i . Ese clúster es la segunda mejor opción para i y se lo denomina vecindad de i .

El valor de S_i puede ser obtenido combinando los valores de a y b de la siguiente manera:

$$s_i = \begin{cases} 1 - \frac{a}{b}, & \text{si } a < b \\ 0, & \text{si } a = b \\ \frac{b}{a} - 1, & \text{si } a > b \end{cases}$$

El coeficiente de silueta se encuentra comprendido entre $-1 \leq s_i \leq 1$ teniendo lo siguiente

- $s_i \approx 1$, la observación i está bien asignada a su clúster
- $s_i \approx 0$, la observación está entre 2 clúster
- $s_i \approx -1$, la observación está mal asignada a su clúster

Anexo 5: Dendrogramas de las vacas en el ordeño

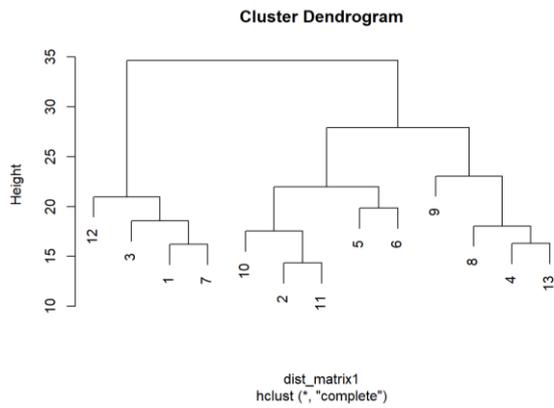


Figura 40: Clúster formado del primer grupo

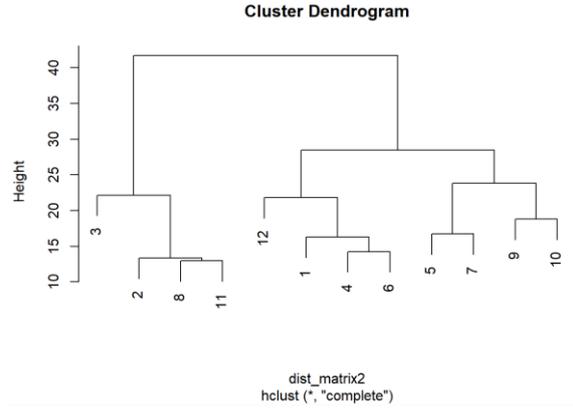


Figura 41: Clúster formado del segundo grupo

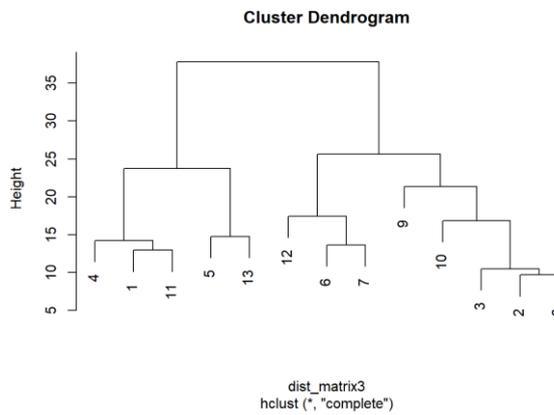


Figura 42: Clúster formado del tercer grupo

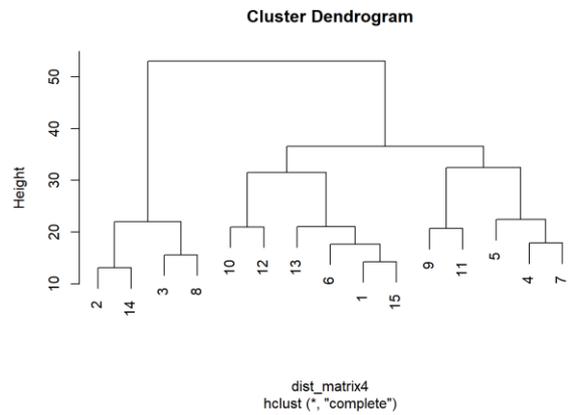


Figura 43: Clúster formado del cuarto grupo

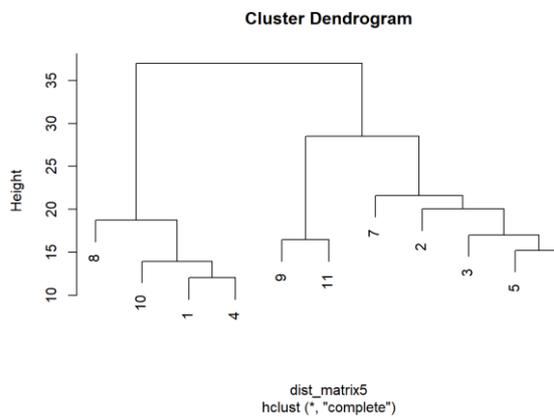


Figura 44: Clúster formado del quinto grupo

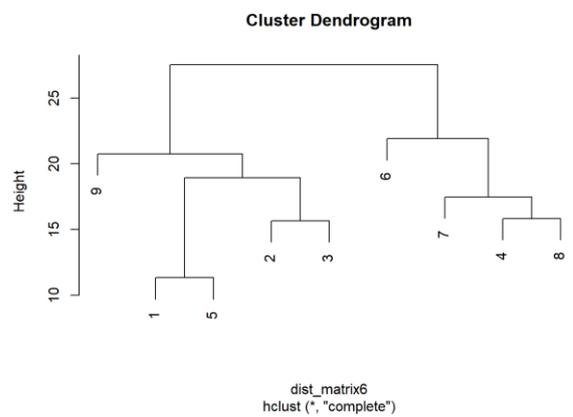


Figura 45: Clúster formado del sexto grupo

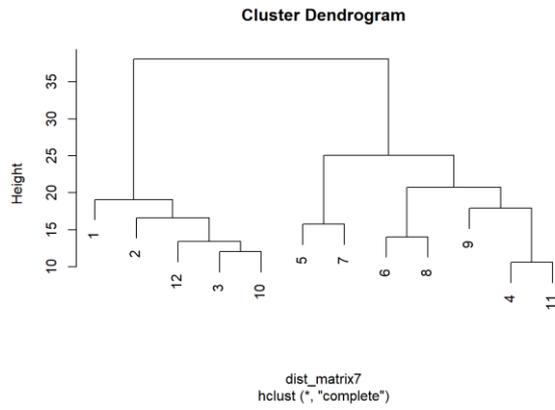


Figura 46: Clúster formado del séptimo grupo

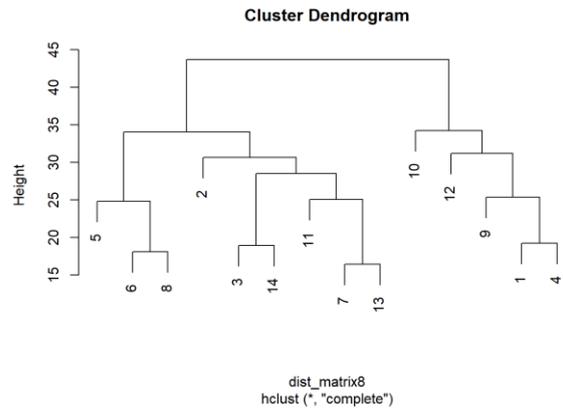


Figura 47: Clúster formado del octavo grupo

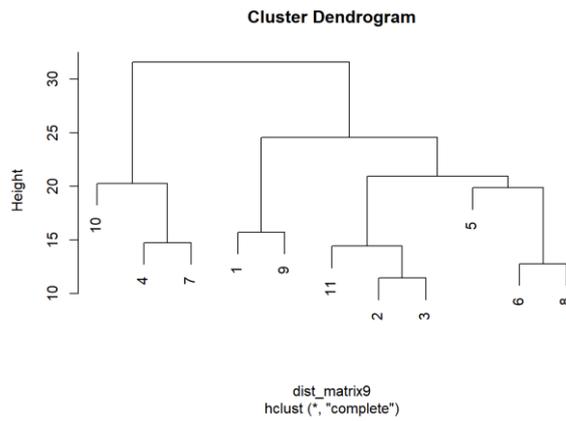


Figura 48: Clúster formado del noveno grupo

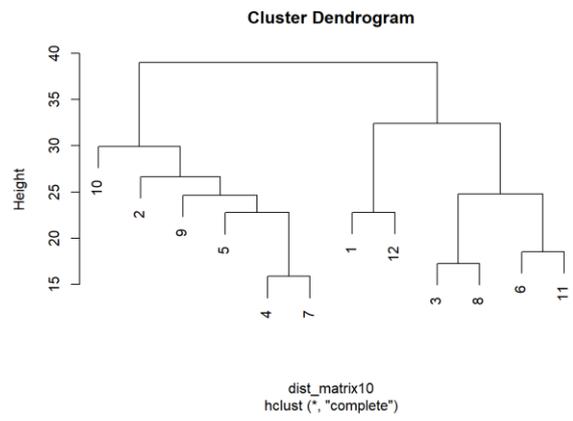


Figura 49: Clúster formado del décimo grupo

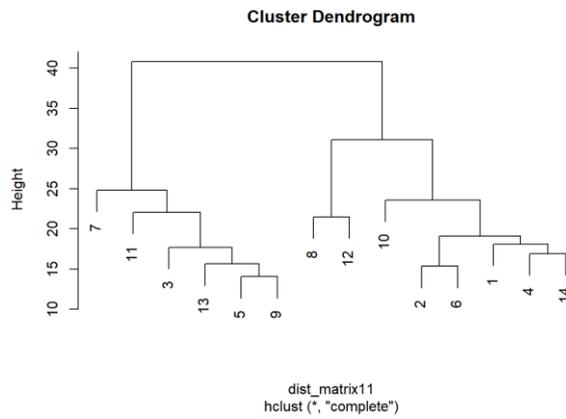


Figura 50: Clúster formado del décimo primer grupo

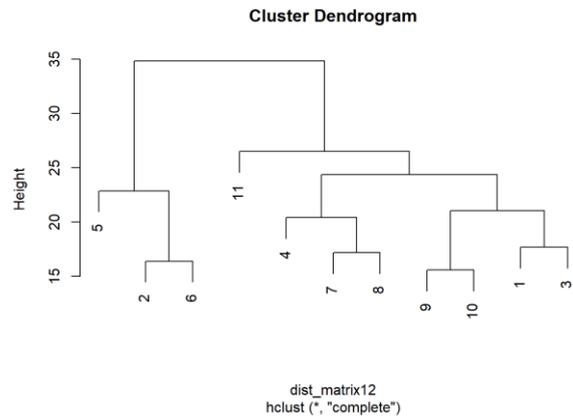


Figura 51: Clúster formado del décimo segundo grupo

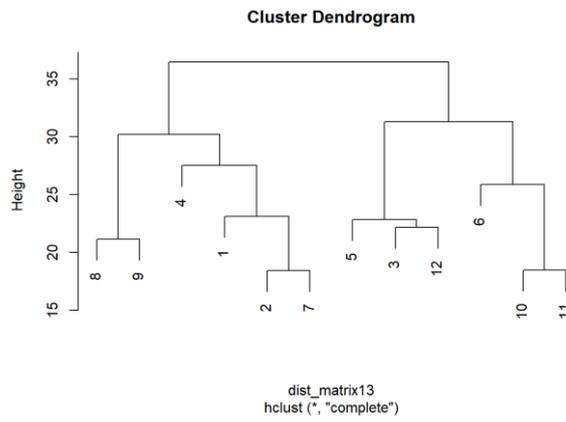


Figura 52: Clúster formado del décimo tercer grupo

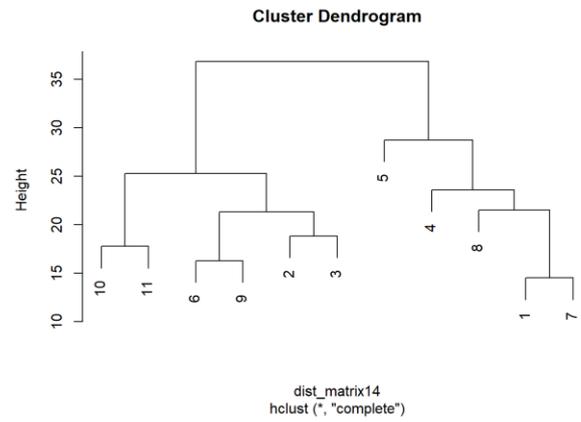


Figura 53: Clúster formado del décimo cuarto grupo

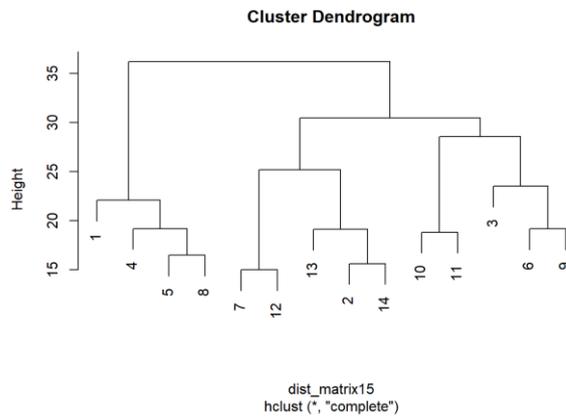


Figura 54: Clúster formado del décimo quinto grupo

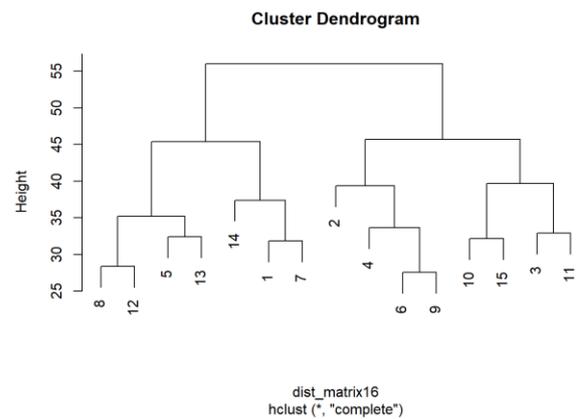


Figura 55: Clúster formado del décimo sexto grupo

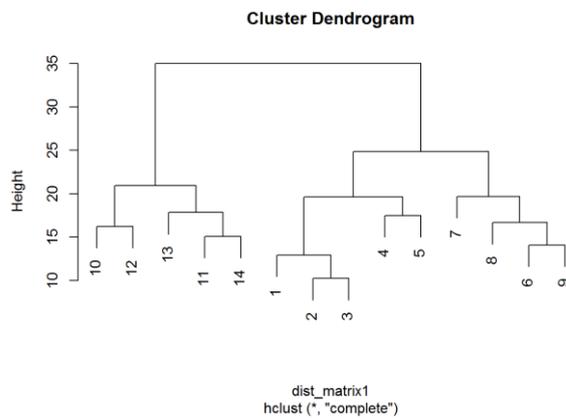


Figura 56: Clúster formado del décimo séptimo grupo

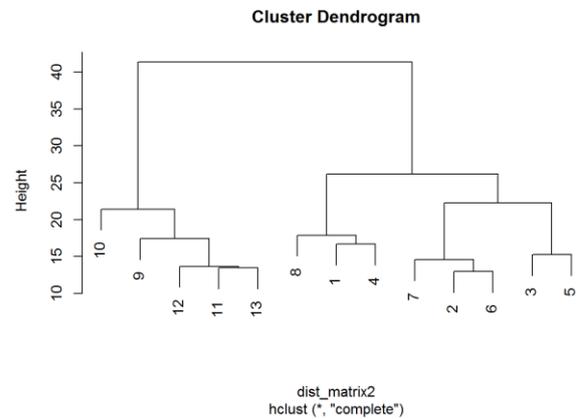


Figura 57: Clúster formado del décimo octavo grupo

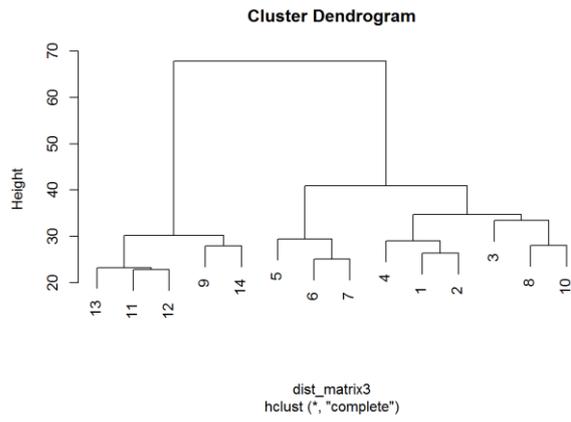


Figura 58: Clúster formado del décimo noveno grupo

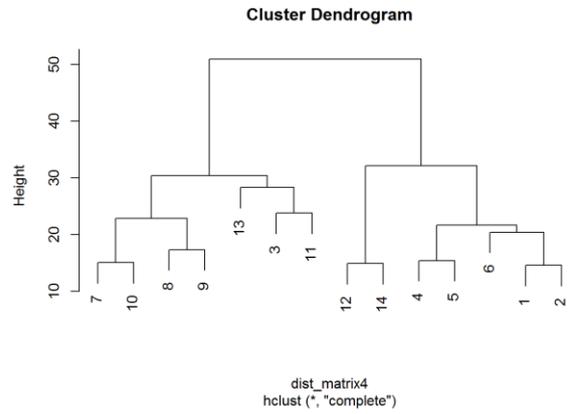


Figura 59: Clúster formado del vigésimo grupo

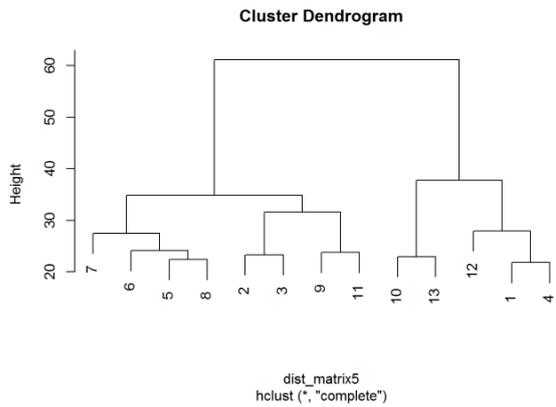


Figura 60: Clúster formado del vigésimo primer grupo

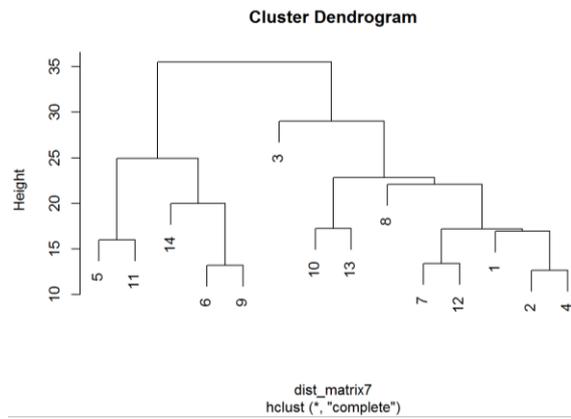


Figura 61: Clúster formado del vigésimo segundo grupo

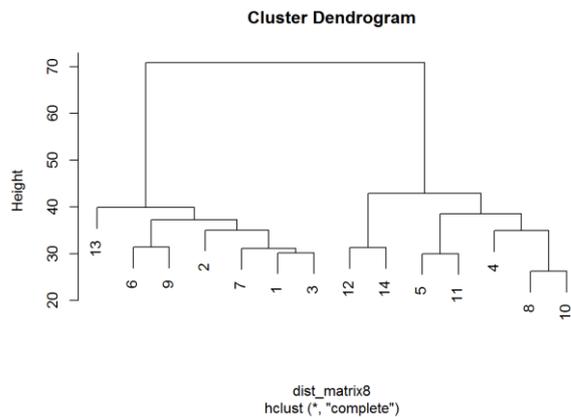


Figura 62: Clúster formado del vigésimo tercer grupo

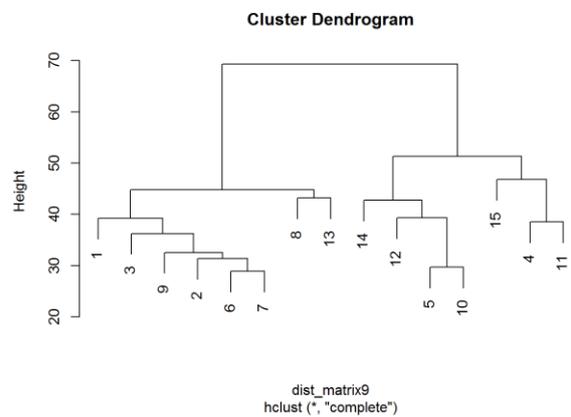


Figura 63: Clúster formado del vigésimo cuarto grupo

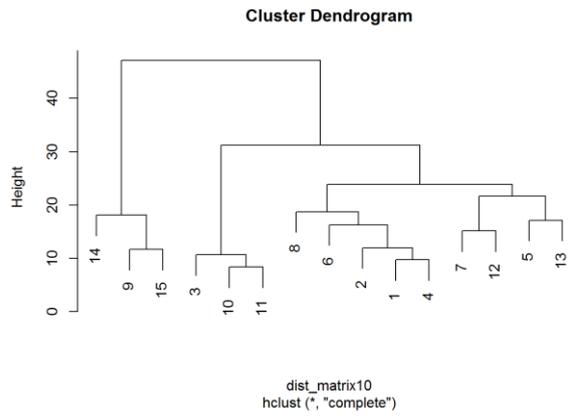


Figura 64: Clúster formado del vigésimo quinto grupo

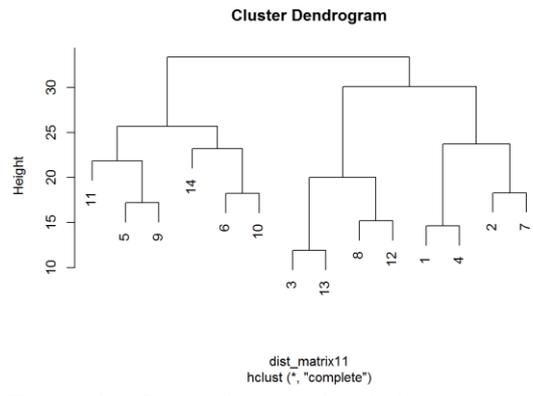


Figura 65: Clúster formado del vigésimo sexto grupo

Anexo 6: Número óptimo de clústeres

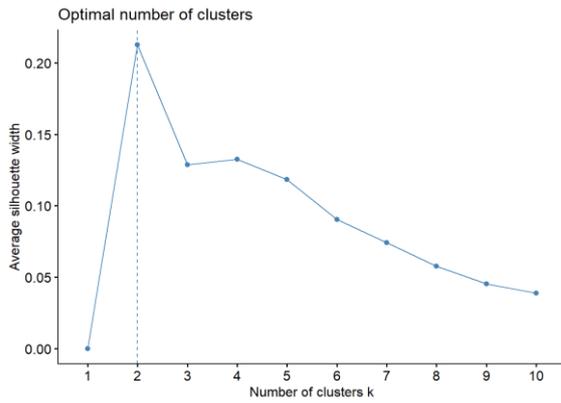


Figura 66: Número óptimo de clústeres del primer grupo

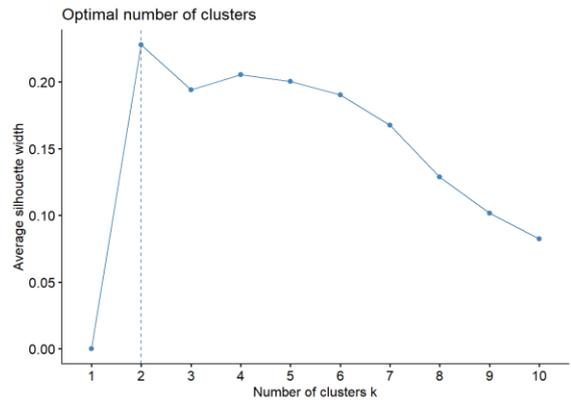


Figura 67: Número óptimo de clústeres del segundo grupo

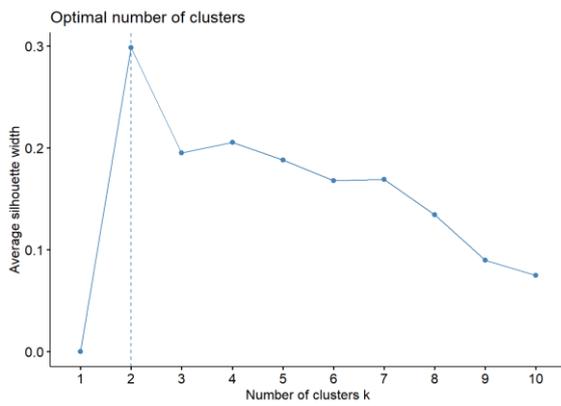


Figura 68: Número óptimo de clústeres del tercer grupo

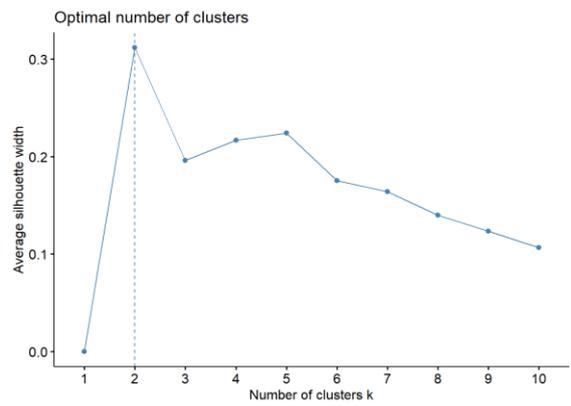


Figura 69: Número óptimo de clústeres del cuarto grupo

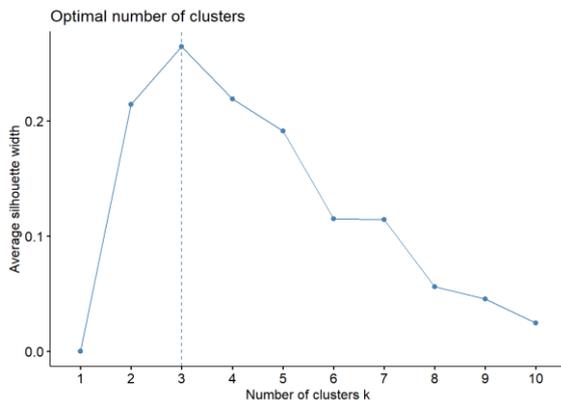


Figura 70: Número óptimo de clústeres del quinto grupo

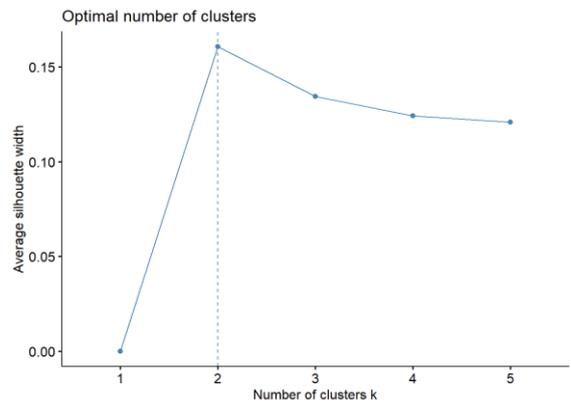


Figura 71: Número óptimo de clústeres del sexto grupo

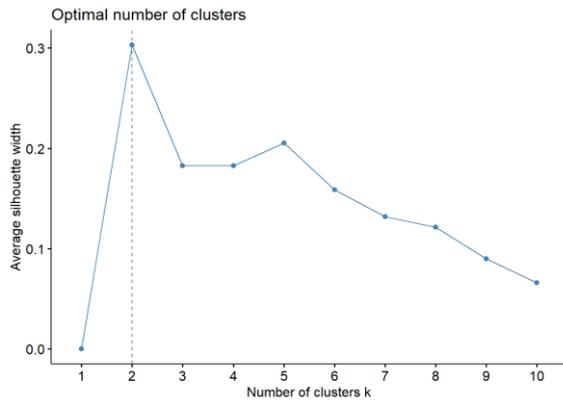


Figura 72: Número óptimo de clústeres del séptimo grupo

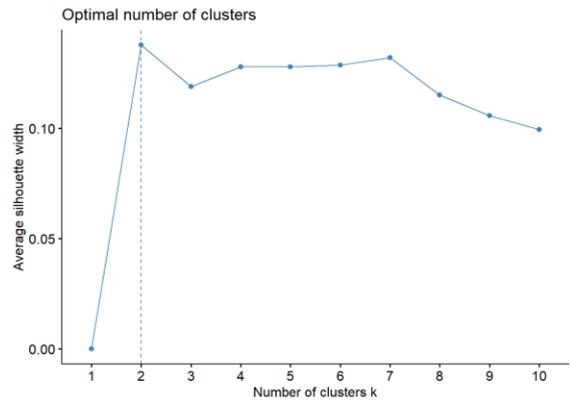


Figura 73: Número óptimo de clústeres del octavo grupo

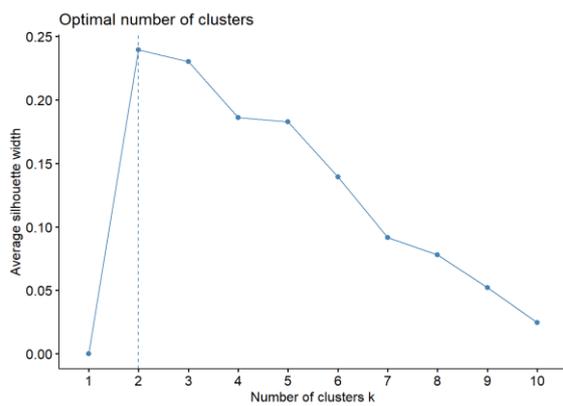


Figura 74: Número óptimo de clústeres del noveno grupo

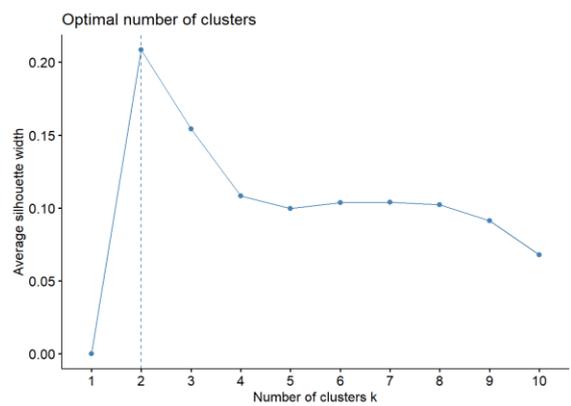


Figura 75: Número óptimo de clústeres del décimo grupo

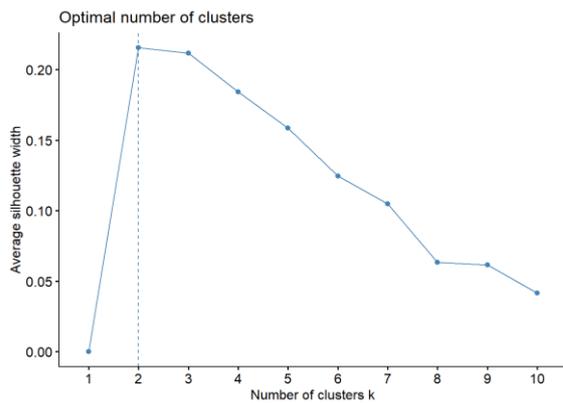


Figura 76: Número óptimo de clústeres del décimo primer grupo

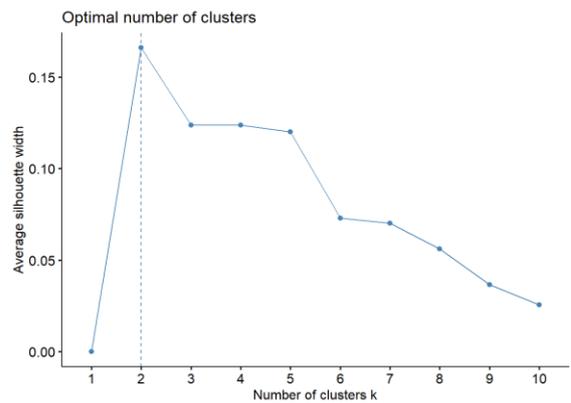


Figura 77: Número óptimo de clústeres del décimo segundo grupo

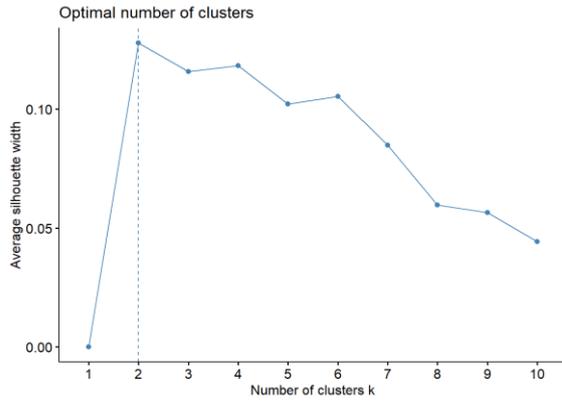


Figura 78: Número óptimo de clústeres del décimo tercer grupo

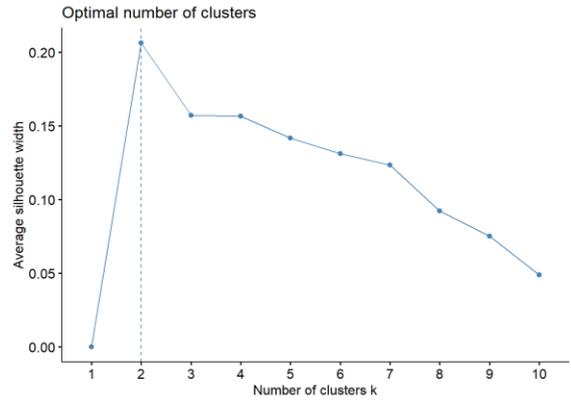


Figura 79: Número óptimo de clústeres del décimo cuarto grupo

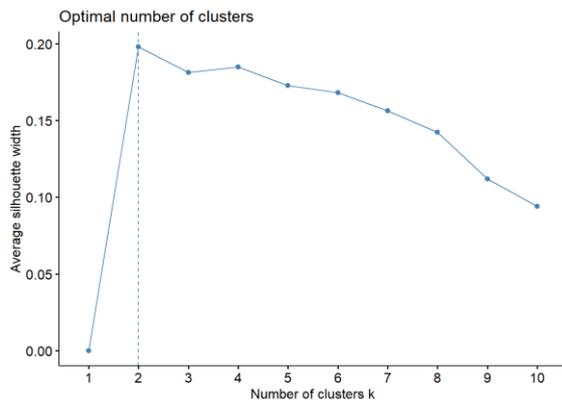


Figura 80: Número óptimo de clústeres del décimo quinto grupo

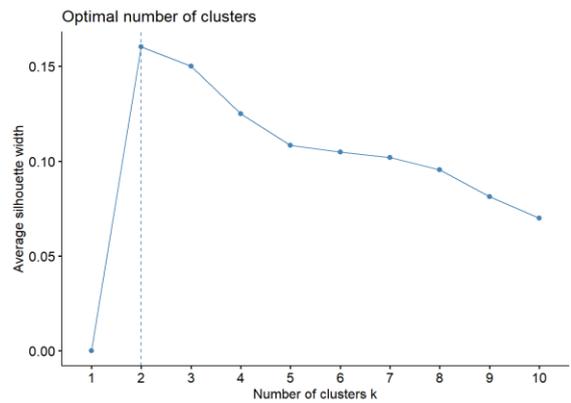


Figura 81: Número óptimo de clústeres del décimo sexto grupo

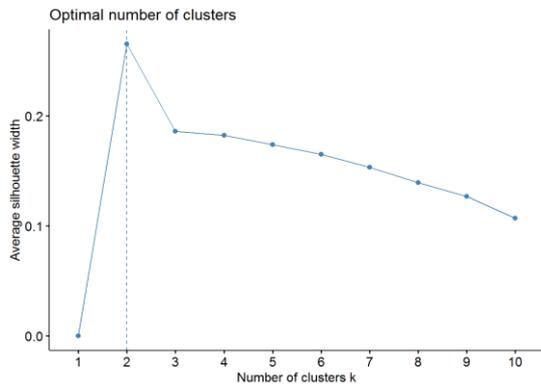


Figura 82: Número óptimo de clústeres del décimo séptimo grupo

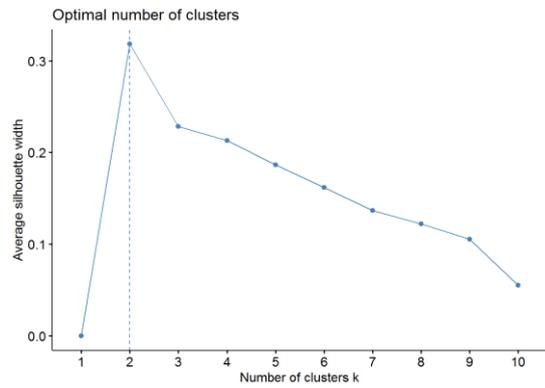


Figura 83: Número óptimo de clústeres del décimo octavo grupo

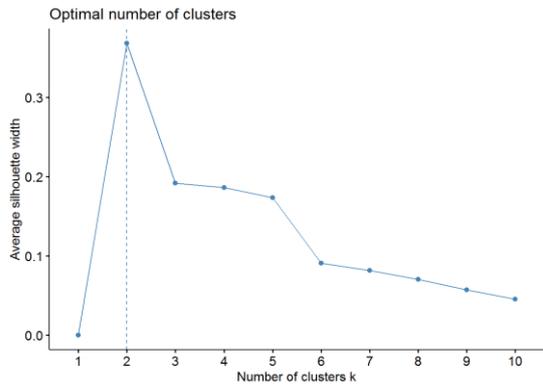


Figura 84: Número óptimo de clústeres del décimo noveno grupo

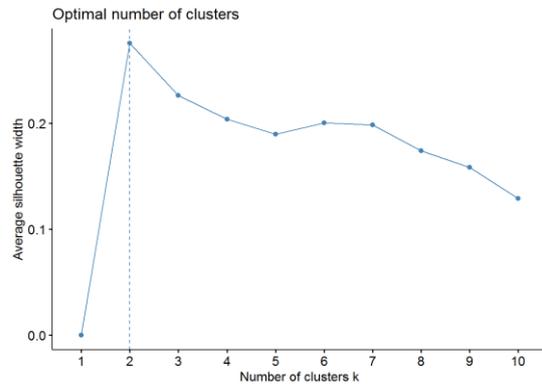


Figura 85: Número óptimo de clústeres del vigésimo grupo

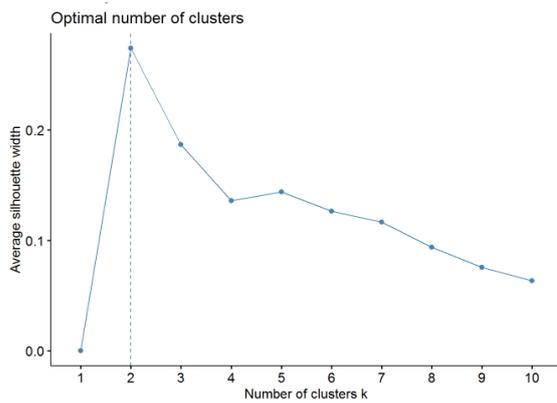


Figura 86: Número óptimo de clústeres del vigésimo primer grupo

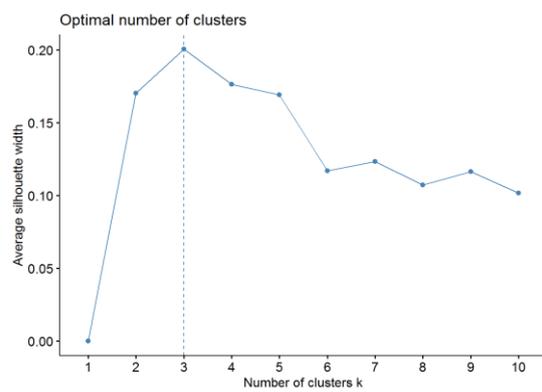


Figura 87: Número óptimo de clústeres del vigésimo segundo grupo

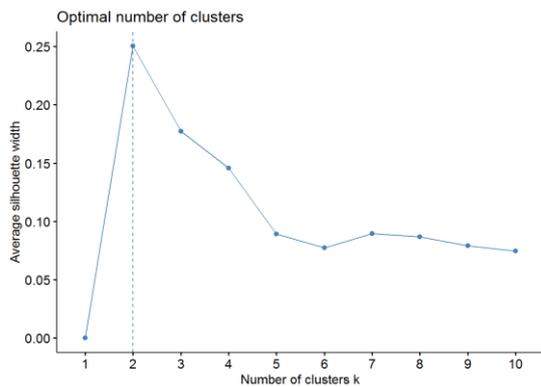


Figura 88: Número óptimo de clústeres del vigésimo tercer grupo

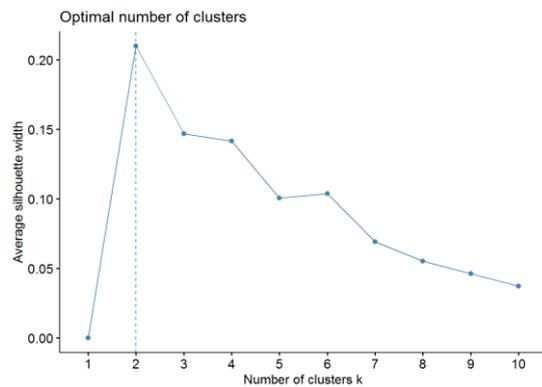


Figura 89: Número óptimo de clústeres del vigésimo cuarto grupo

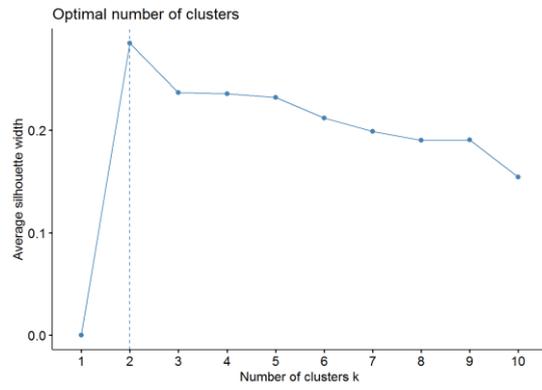


Figura 90: Número óptimo de clústeres del vigésimo quinto grupo

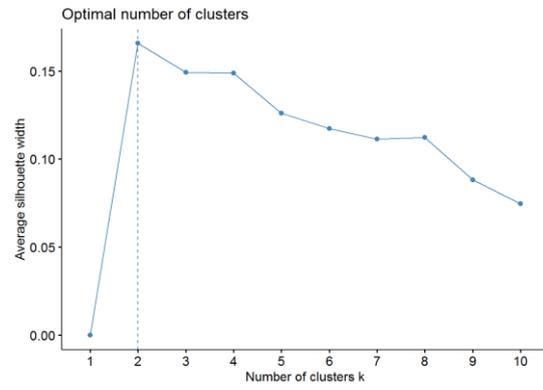


Figura 91: Número óptimo de clústeres del vigésimo sexto grupo

Anexo 7: Análisis de siluetas

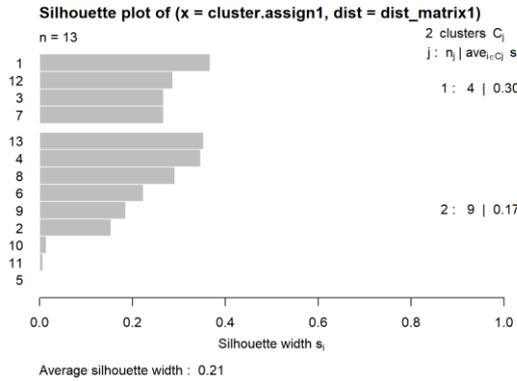


Figura 92: Análisis de siluetas formado del primer grupo

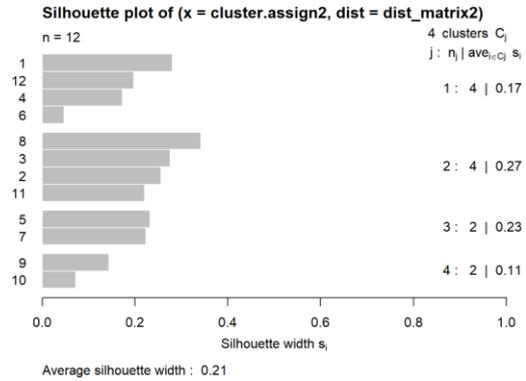


Figura 93: Análisis de siluetas formado del segundo grupo

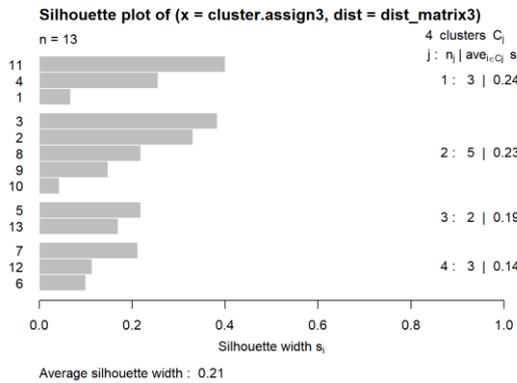


Figura 94: Análisis de siluetas formado del tercer grupo

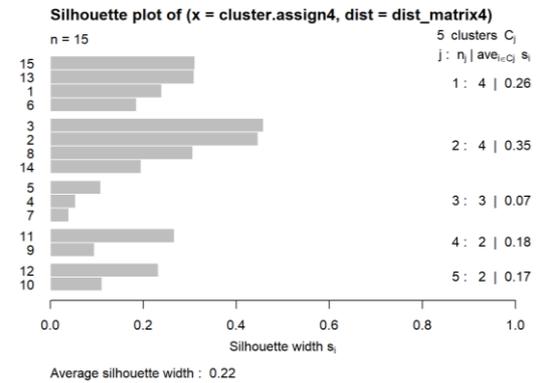


Figura 95: Análisis de siluetas formado del cuarto grupo

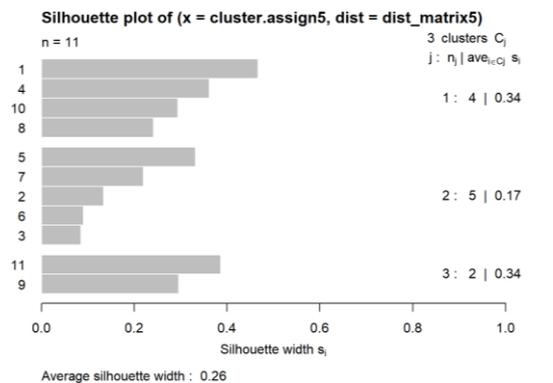


Figura 96: Análisis de siluetas formado del quinto grupo

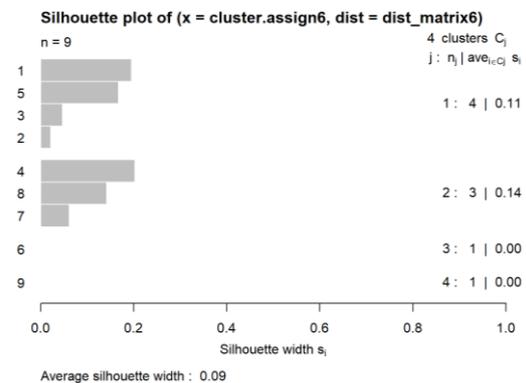


Figura 97: Análisis de siluetas formado del sexto grupo

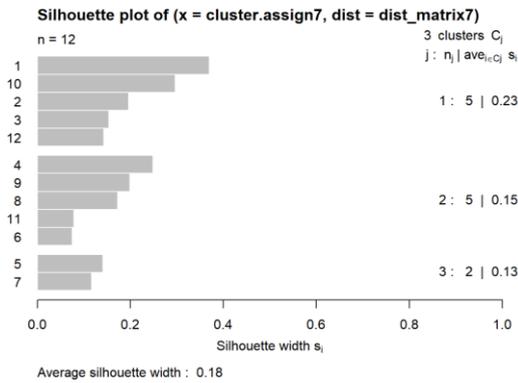


Figura 98: Análisis de siluetas formado del séptimo grupo

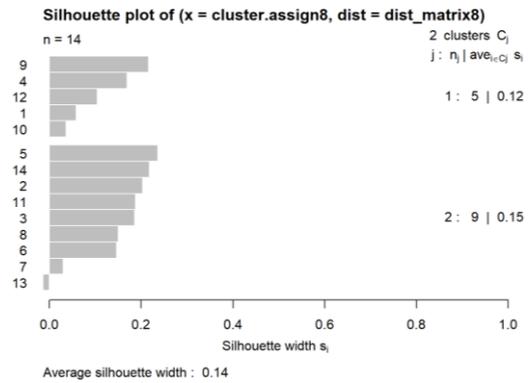


Figura 99: Análisis de siluetas formado del octavo grupo

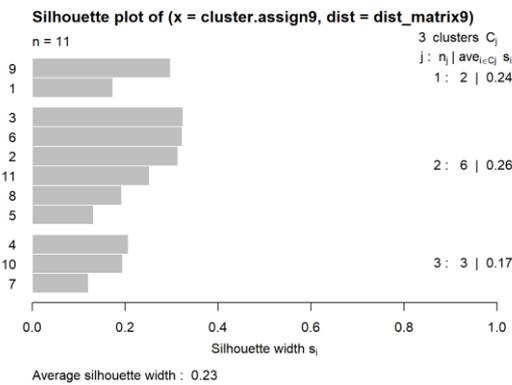


Figura 100: Análisis de siluetas formado del noveno grupo

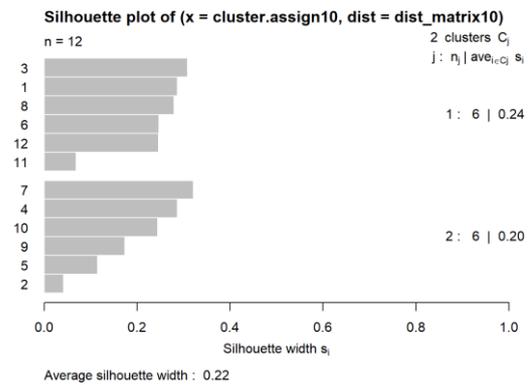


Figura 101: Análisis de siluetas formado del décimo grupo

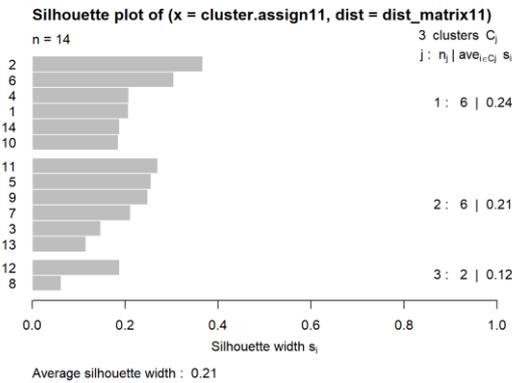


Figura 102: Análisis de siluetas formado del décimo primer grupo

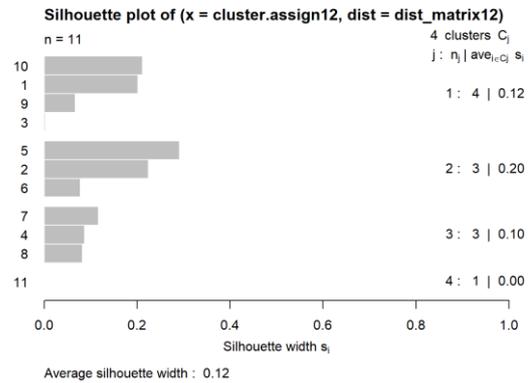


Figura 103: Análisis de siluetas formado del décimo segundo grupo

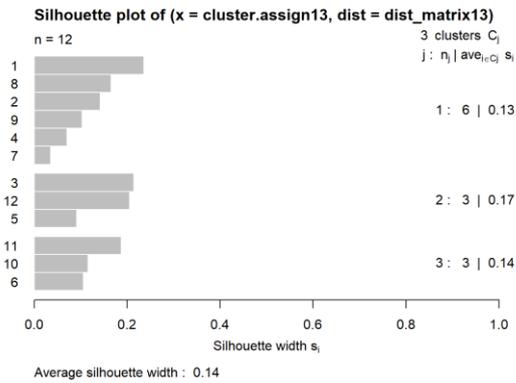


Figura 104: Análisis de siluetas formado del décimo tercer grupo

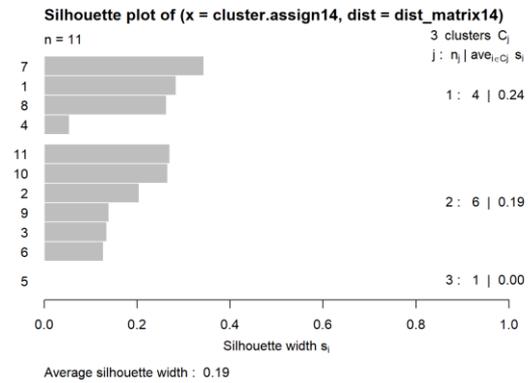


Figura 105: Análisis de siluetas formado del décimo cuarto grupo

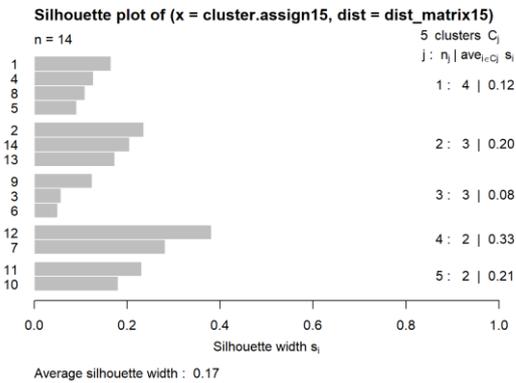


Figura 106: Análisis de siluetas formado del décimo quinto grupo

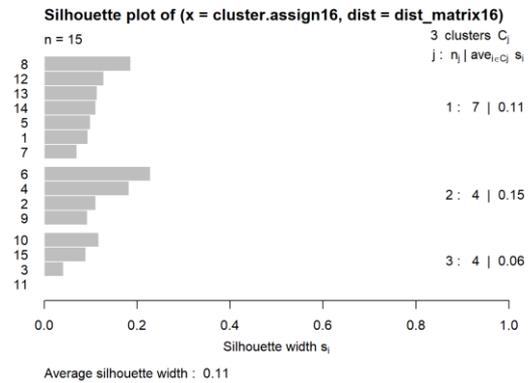


Figura 107: Análisis de siluetas formado del décimo sexto grupo

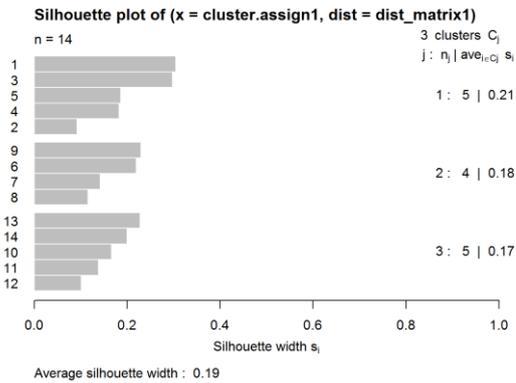


Figura 108: Análisis de siluetas formado del décimo séptimo grupo

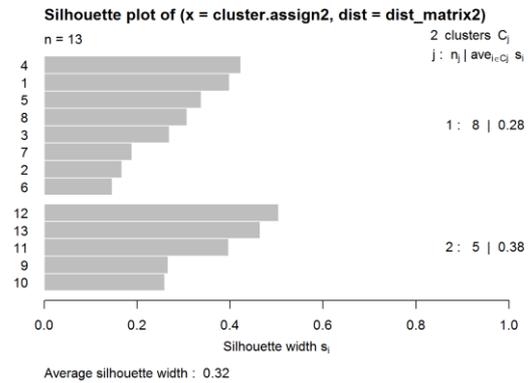


Figura 109: Análisis de siluetas formado del décimo octavo grupo

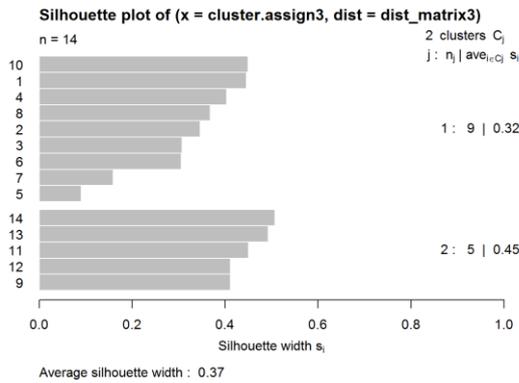


Figura 110: Análisis de siluetas formado del décimo noveno grupo

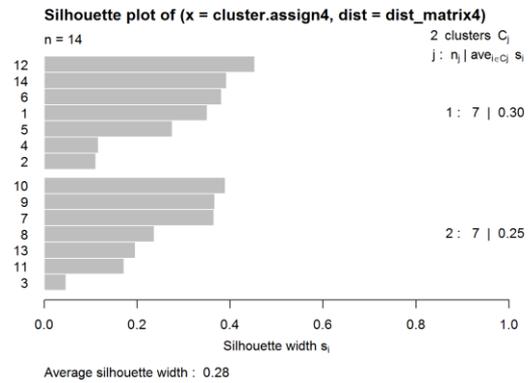


Figura 111: Análisis de siluetas formado del vigésimo grupo

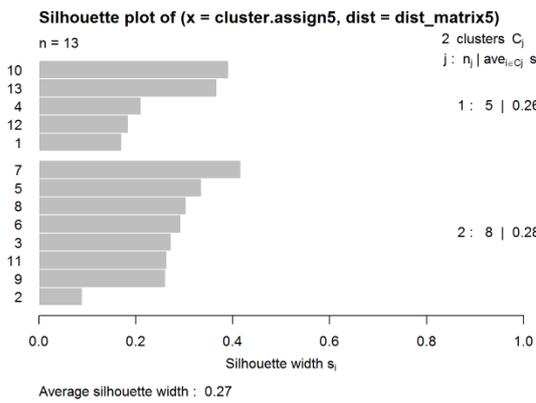


Figura 112: Análisis de siluetas formado del vigésimo primer grupo

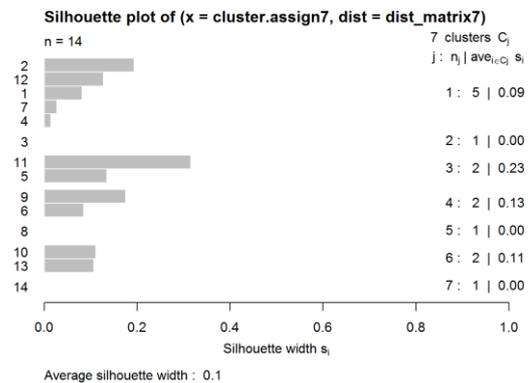


Figura 113: Análisis de siluetas formado del vigésimo segundo grupo

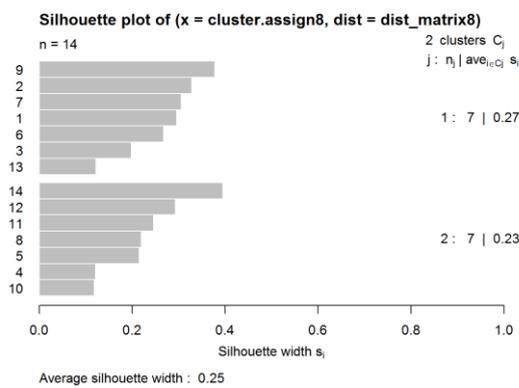


Figura 114: Análisis de siluetas formado del vigésimo tercer grupo

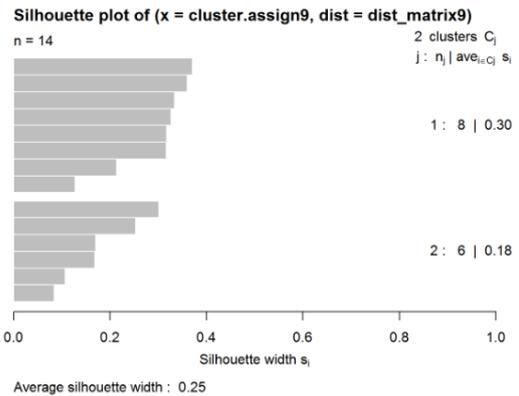


Figura 115: Análisis de siluetas formado del vigésimo cuarto grupo

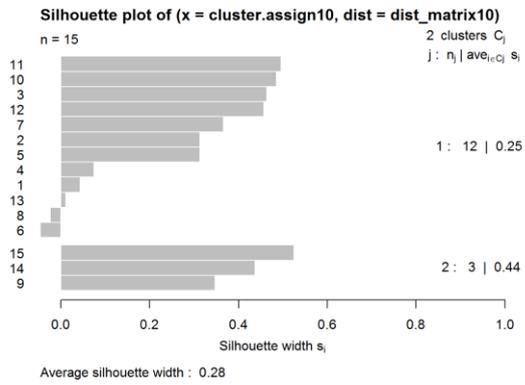


Figura 116: Análisis de siluetas formado del vigésimo quinto grupo

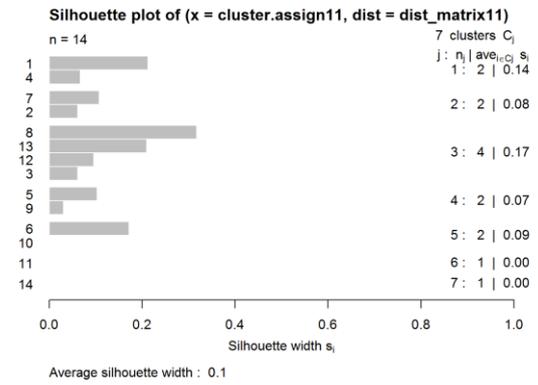


Figura 117: Análisis de siluetas formado del vigésimo sexto grupo

Anexo 8: Comandos de r utilizados

- `aes(...)`: la función le dará indicios a `ggplot` y `ggplot2` sobre cómo dibujar los distintos trazos, formas, colores y tamaños.
- `as.factor(...)`: especifica un tipo de columna para que sea factor (también llamado categórico o enumerativo), en lugar de numérico.
- `as.numeric(...)`: crea o coacciona objetos de tipo "numérico".
- `as.vector(x,...)`: convierte una matriz distribuida en un vector no distribuido.
- `colnames(...)`: se usa para cambiar el nombre y reemplazar los nombres de columna del marco de datos en R.
- `coord_polar (...)`: contrae el histograma en un gráfico circular transformando los datos en coordenadas polares.
- `cutree(...)`: corta un dendrograma en varios grupos especificando el número deseado de grupos $k(s)$, o altura(s) de corte.
- `data.frame(...)`: crea marcos de datos, colecciones de variables estrechamente acopladas que comparten muchas de las propiedades de las matrices y de las listas, utilizadas como estructura de datos fundamental por la mayoría del software de modelado de R.
- `dist(...)`: esta función calcula y devuelve la matriz de distancia calculada utilizando la medida de distancia especificada para calcular las distancias entre las filas de una matriz de datos.
- `fviz_nbclust(...)`: determina y visualiza el número óptimo de conglomerados usando diferentes métodos: dentro de los conglomerados, sumas de cuadrados, silueta promedio y estadísticas de brechas.
- `geom_bar(...)`: permite la elaboración de graficas en barras basándose en el número de coincidencias para un grupo de datos.
- `ggplot(...)`: permita la elaboración de graficas complementado con otras funciones donde se define su geometría y variables a usar.
- `ggtitle (...)`: Designa el nombre de la gráfica.
- `hclust(...)`: Análisis jerárquico de conglomerados sobre un conjunto de disimilitudes y métodos para analizarlo.
- `matrix(...)`: es una estructura de datos bidimensional en la programación R, siendo similar al vector, pero además contiene el atributo de dimensión. La dimensión de la matriz se puede definir pasando el valor apropiado para los argumentos `nrow` y `ncol`.

- `median(...)`: determina la media de un grupo de datos seleccionados.
- `names(...)`: función para obtener o establecer los nombres de un objeto.
- `nrow(...)`: muestra el número de filas / columnas de una matriz.
- `plot(...)`: función genérica para el trazado de graficas en R.
- `read_excel(...)`: lee archivos con extensión “xls” y “xlsx”.
- `t(...)`: dada una matriz o `data.frame` `x`, `t` devuelve la transposición de `x`.
- `which(...)`: permite encontrar índices (entiéndase números de orden) que cumplen cierta característica que se desea.
- `while(...)`: es una función diseñada para ejecutar algún código hasta que se cumpla una condición. Mientras la condición lógica sea `TRUE`, el código no dejará de ejecutarse.

Anexo 9: Secuencia de códigos utilizadas para el análisis estadístico

Formación de Histogramas circulares para cada grupo de ordeño

- `grupo_x <- read_excel ("orden_ingreso.xlsx", sheet = "Hojax")`
- `grupox <- ggplot (data = grupo_x, aes (x = Orden, y = Repeticion, fill = Vaca)) + geom_bar (width = 1, stat = "identity") + ggtitle ("Subgrupo 1 de P1") + coord_polar () + labs (fill = "") + ggsci::scale_fill_d3(palette = "category20") + theme_bw ()`
- `grupox`

Donde “grupo_x” es el nombre asignado a la tabla, “orden_ingreso.xlsx” es el archivo donde se encuentra toda la data en diferentes hojas de un libro de Excel, “Hojax” es el nombre de la pestaña específica a analizarse y “grupox” es la designación para mostrar las gráficas elaboradas a partir de la información copilada.

Formación de los clústeres en cada grupo de ordeño

- **Extracción de tabla de Excel en formato .xlsx**
 - `grupo_x <- read_excel ("ordeno.xlsx", sheet = "Hojax")`
 - `grupo_x$ID <- as.factor (grupo_1$ID)`
 - `grupo_x`

Donde “grupo_x” es el nombre asignado a la tabla, “ordeno.xlsx” es el archivo donde se encuentra toda la data en diferentes hojas de un libro de Excel, “Hojax” es el nombre de la pestaña específica a analizarse y “grupo_x\$ID” es la designación para especificar la columna como un factor.

- **Determinar la mediana para datos incompletos**
 - `for(i in 1:nrow(grupo_x){grupo_x[i,][which(is.na(grupo_x[i,]))] <- median(as.vector(as.vector(t(grupo_x[i,2:ncol(grupo_x)]))),na.rm=TRUE) %/% 1 }`
 - `grupox <- grupo_x [, -1]`
 - `grupox`

Los comandos señalados anteriormente corresponden a las fórmulas ejecutadas en el programa “R” para completar las celdas que por fallas en el registro de la data en el programa “Dairy Plan”. Posterior a ello y para el análisis estadístico requiere que se suprima la

columna donde se encuentra el código de cada individuo de estudio ejecutando el comando “[, -1]”.

- **Determination de Clúster Jerárquico**
 - `dist_matrix1 <- dist(grupo1)`
 - `hclust.out1 <- hclust (d = dist_matrix1)`
 - `plot(hclust.out1)`
 - `cluster.assign1 <- cutree (hclust.out1, k=3)`
 - `names(cluster.assign1) <- t(as.vector((grupo_1[,1])))`
- **Análisis de Siluetas y número óptimo de clústeres**
 - `plot (silhouette (cluster.assign1, dist_matrix1))`
 - `fviz_nbclust (grupox, FUN = hcut, method = "silhouette")`

Esto se usó para determinar la cantidad optima de clústeres por cada grupo de individuos que se analizaron.