







# Estado nutricional y desempeño reproductivo del ganado en silvopastoreo en la región Andina de Ecuador

## Nutritional status and reproductive performance of silvopastoral livestock in the Andean region of Ecuador

Hernán Rigoberto Benavidez-Rosales<sup>1</sup> , Luis Rodrigo Balarezo-Urresta<sup>1</sup> , Edison Marcelo Ibarra-Rosero<sup>1</sup> ,  
Rolando Martín Campos-Vallejo<sup>1</sup> , Guillermo Alexander Jácome-Sarchi<sup>2</sup> , Juan Ramón García-Díaz<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Politécnica del Carchi, Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Tulcán, Carchi, Ecuador.

<sup>2</sup>Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia – Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP). Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

\*Autor para correspondencia: [juanramon@uclv.edu.cu](mailto:juanramon@uclv.edu.cu)

### RESUMEN

Para evaluar los efectos de los sistemas silvopastoriles con la inclusión de *Alnus acuminata* H.B.K (Aliso) y *Acacia melanoxylon* R.Br. (Acacia), en asociación con el estrato herbáceo, en el estado nutricional y el desempeño reproductivo del ganado bovino en silvopastoreo en la región andina de Ecuador se realizó esta investigación. Los agroecosistemas 1 y 2 incluyeron Aliso y Acacia, respectivamente, y el agroecosistema 3, solo incluyó pastos. Mediante un análisis de varianza multifactorial con interacción se determinó el efecto del agroecosistema y el año en la condición corporal al parto y en los indicadores reproductivos. Existió déficit energético en el segundo año en los agroecosistemas 1 y 3, y en los tres años en el agroecosistema 2. Hubo exceso de proteína cruda en los tres agroecosistemas en los tres años. El intervalo parto primera inseminación fue inferior ( $P<0,05$ ) en las vacas del agroecosistema 1 y en los años 2 y 3. La condición corporal al parto y los servicios por gestación fueron mayores ( $P<0,05$ ) en el agroecosistema 1 y el primer año, respectivamente. Los intervalos parto-concepción y parto-parto fueron inferiores en el agroecosistema 1 y en los años dos y tres. Se concluye que en los agroecosistemas 1 y 2, el Aliso y la Acacia favorecieron el balance de nutrientes. En el agroecosistema 1 fue mayor la condición corporal al parto y se redujo el intervalo parto primera inseminación; la interacción entre el agroecosistema y año benefició el intervalo parto-concepción y el intervalos parto-parto, los que fueron mejores en el agroecosistema 1, en el tercer año.

**Palabras clave:** Sistemas silvopastoriles; agroecosistemas; condición corporal; indicadores reproductivos; natalidad

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effects of silvopastoral systems with the inclusion of *Alnus acuminata* H.B.K (Aliso) and *Acacia melanoxylon* R.Br. (Acacia), in association with the herbaceous stratum, on the nutritional status and reproductive performance of cattle in silvopastoral systems in the Andean region of Ecuador. Agroecosystems 1 and 2 included Aliso and Acacia, respectively, and the agroecosystem 3 included only grasses. Using a multifactorial analysis of variance with interaction, the effect of the agroecosystem and year on body condition at calving and reproductive indicators was determined. Energy deficits were present in the second year of the agroecosystem 1 and 3, and in all three years of the agroecosystem 2. Crude protein levels were excessive in all three agroecosystems in all three years. The calving–first insemination interval was lower ( $P<0.05$ ) in cows from the agroecosystem 1 and years 2 and 3. The body condition at calving and services per pregnancy were higher ( $P<0.05$ ) in the agroecosystem 1 and the first year, respectively. The calving–to–conception intervals and calving–to–parturition were shorter in the agroecosystem 1 and in years 2 and 3. It is concluded that in the agroecosystem 1 and 2, alder and acacia favored nutrient balance. In the agroecosystem 1, body condition at calving was higher and the calving–first insemination interval was lower; the interaction between the agroecosystem and year benefited the calving–to–conception intervals and the calving–to–parturition, which were better in the agroecosystem 1, in the third year.

**Key words:** Silvopastoral systems; agroecosystems; body condition; reproductive indicators; natality

## INTRODUCCIÓN

La alimentación de los rebaños bovinos especializados en la provincia Carchi, Ecuador se basa en el pastoreo extensivo, donde las gramíneas tropicales constituyen la mayoría del estrato herbáceo y la presencia de árboles es escasa o nula [1]. En esas condiciones se degradan los suelos, disminuyen la sobra, la biomasa comestible, en cantidad y calidad, y el comportamiento bioeconómico de los animales [2, 3].

Las vacas lecheras en los agroecosistemas (AES) en la provincia Carchi no cubren sus requerimientos de energía, proteína y minerales y, consecuentemente, presentan elevadas concentraciones de nitrógeno ureico en sangre (BUN) y beta hidroxibutirato. Por el contrario, disminuyen las de fósforo (P), Cobre (Cu) y Zinc (Zn); estos desórdenes metabólicos se asociaron a pobre desempeño reproductivo de las hembras bovinas [4, 5].

Los Sistemas Silvopastoriles (SSP), atenúan o solucionan los problemas ecológicos que provocan la producción ganadera extensiva [6] y benefician la salud y el desempeño bioeconómico de los animales [7, 8]. Además, estos AES generan impactos económicos positivos por otros productos comercializables y la diversificación de ingresos, reducen la erosión y benefician el ambiente [6].

Los SSP generan interacciones positivas entre sus componentes, con mejor desempeño reproductivo de los animales y menor impacto ambiental negativo [6, 9]. Además, reducen el uso de insumos externos en los AES agropecuarios [10].

La inclusión del componente arbóreo en el conjunto suelo-planta-animal, aumenta la calidad nutritiva de la fitomasa comestible y la disponibilidad de materia seca y nutrientes por animal por día, reducen el déficit nutricional y, consecuentemente, mejoran la condición corporal al parto (CCP) y durante la lactancia, y el comportamiento reproductivo de los rebaños [1, 11].

Además, los SSP contribuyen con el confort animal al reducir el estrés calórico, como resultado de esto se mejoran los ciclos productivos y la calidad de la dieta [12]. El ganado ubicado bajo sombra se siente más confortable y tiene menos estrés calórico, por lo tanto; consumirá alimento por más tiempo, lo que aumenta su productividad y mejora los parámetros reproductivos [7, 13, 14].

No obstante, sus bondades, el silvopastoreo no se acepta por la mayoría de los productores propietarios del ganado bovino, debido a la limitada información, el déficit de recursos para establecer los SSP, a la variabilidad de la respuesta de los animales, causada por las diferencias en las especies arbóreas, los pastos y las condiciones edafoclimáticas de una región a otra. Además, los beneficios de los SSP no son a corto plazo, sino que se obtienen después de algunos años del establecimiento de los AES [14]. Se desconoce el efecto de la introducción de SSP en el balance de nutrientes y el comportamiento reproductivo de los rebaños lecheros con el uso de bajos insumos externos, en la región andina de Ecuador.

El objetivo de esta investigación fue evaluar los efectos de SSP que incluyeron *Alnus acuminata* H.B.K (Aliso) y *Acacia melanoxylon* R.Br. (Acacia), en asociación con el estrato herbáceo, en el estado nutricional y el desempeño reproductivo del ganado bovino en silvopastoreo en la región andina de Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Contexto de la investigación y sus condiciones edafoclimáticas

La investigación se realizó durante los años 2020, 2021 y 2022; en rebaños lecheros de la finca San Vicente, de la provincia Carchi, Ecuador. La misma se sitúa entre 0°39'33"N y 77°36'20"W hasta 0°38'55"N y 77°36'25"W, entre 2916 a 3006 m.s.n.m. [15].

La finca tiene 54,4 ha, suelo Andisol, cuya materia orgánica, pH, retención de agua y profundidad efectiva fluctúan entre 10 y 2 %; 5.5 y 6.5; 20 y 10 %; y 20 y 70 cm, respectivamente. Sus valores del N<sub>2</sub> fluctúan de medios a elevados, que lo clasifican como ácido, lo que constituye su principal limitante. Además, posee un relieve ondulado con porcentaje de pendiente que fluctúa entre 10 y 4 % [9].

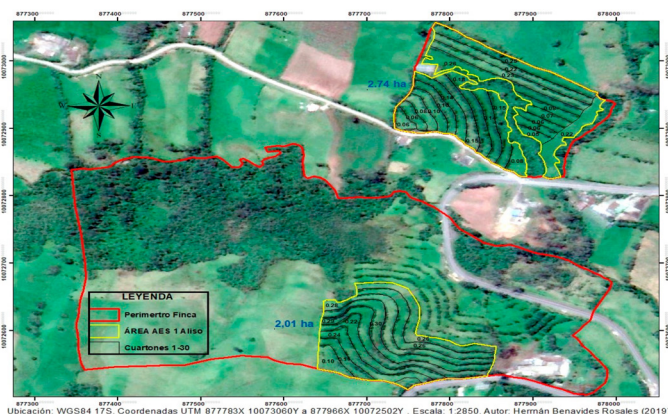
Las precipitaciones durante los años del estudio fluctuaron entre 892,50 a 1317,50 mm. Los promedios de las temperaturas media; máxima y mínima en el periodo de estudio fueron 12,12; 16,49 y 8,06°C, respectivamente [15].

### Características de los agroecosistemas

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres AES, en los cuales predominaron los pastos Ray grass (*Lolium perenne* L.), Kikuyo (*Pennisetum clandestinum* L.), Holco (*Holcus lanatus* L.) y Trébol blanco (*Trifolium repens* L.).

Además de los pastos, los AES 1 (FIG. 1) y AES 2 (FIG. 2), contuvieron *A. acuminata* y *A. melanoxylon*, respectivamente. El AES 3 solo contó con pastos y el mismo se consideró como testigo (FIG. 3).

Los árboles se establecieron en diciembre de 2019, en los AES 1 y AES 2. Los mismos se plantaron con una densidad de siembra de 1000 árboles ha<sup>-1</sup>, en filas dobles, que se pararon dos metros una de otra, siguiendo las curvas de nivel (FIG. 1 y FIG. 2). Se establecieron cercas eléctricas dobles para proteger los árboles jóvenes de los daños causados por las vacas y para dividir los cuarterones. Las prácticas que se emplearon para diseñar y establecer los AES concuerdan con las que se ejecutan en otros países [14].



**FIGURA 1.** Ubicación establecimiento y características del AES 1, con árboles de Aliso, que se sembraron siguiendo las curvas de nivel y protegidos con cercas eléctricas dobles. Imagen capturada desde Google (Google Earth), Julio 2019

## Metodologías de trabajo

### Estado de salud

Al inicio y durante todo el experimento se evaluó el estado general de salud mediante el método clínico, según los procedimientos descritos por Cuesta *et al.* [16]. Los animales se desparasitaron y vacunaron según cronograma del área.

### Balance nutricional

El balance nutricional se calculó según los alimentos ofertados (mezcla de los pastos, sal mineral y el follaje de las arbóreas en el tercer año), los requerimientos de las vacas y el aporte de cada año. Además, se consideró el promedio anual del peso vivo, aumento de peso vivo, leche potencial y real, porcentaje de grasa, gasto por locomoción, alimento consumido y número de lactancia. Para este cálculo utilizó el software desarrollado por Roche *et al.* [17].

### Indicadores del desempeño reproductivo y condición corporal

Con la información de los registros de cada vaca y mediante los procedimientos descritos por Brito *et al.* [18]; se calcularon los indicadores Intervalos parto–primer servicio (IPPS), parto–concepción (IPC) y parto–parto (IPP); los servicios por gestación (S/G) y el porcentaje de gestaciones al primer servicio. Un hombre capacitado realizó la detección de las hembras en celo, de 5:00 a 9:00 am. y de 3:00 a 7:00 pm.; para lo cual se auxilió de pintura en la base de la cola de las vacas.

La inseminación artificial la realizó un inseminador cuya eficiencia técnica en el último cuatrienio, previo a esta investigación, fluctuó entre 60 y 65 %. Utilizó semen de toros Holstein de fertilidad probada, contenido en pajuelas de 0,25 mL, en concentraciones de 32 millones por dosis y lo depositó en el cuerpo del útero.

Se evaluó la CCP y se clasificó entre 1 y 5 puntos y divisiones de 0,25 entre ellos. Para ello se utilizó la inspección y la palpación, según los procedimientos descritos por French *et al.* [19].

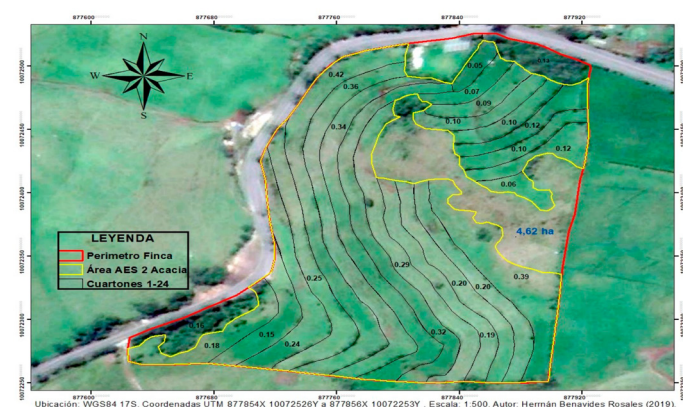
### Procesamiento estadístico

Mediante un análisis de varianza multifactorial (ANOVA multifactorial) con interacción se evaluó el efecto del AES y año en los indicadores reproductivos (IPPS, IPC, IPP y los S/G) y la CCP; cuando este fue significativo las medias se compararon con la prueba de Bonferroni [20]. La natalidad se comparó entre AES dentro de cada año y entre años dentro del AES mediante una comparación múltiple de proporciones. Estos procesamientos se realizaron con el paquete estadístico Statgraphics Centurion versión XV. II [21].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la TABLA I se puede apreciar que en este AES los aportes requerimientos energéticos de las vacas se cubrieron al 107,37 y 103,3 % en el primero y tercer año, respectivamente, con un exceso de 8,78 y 4,28 megaJoules (Mj), mientras que, en el segundo año se cumplió con el 97,7 % de los mismos y existió un déficit de 2,93 Mj.

En el AES 1, en el tercer año, se cubrieron los requerimientos nutricionales de las vacas lecheras, lo que pudo estar motivado



**FIGURA 2.** Ubicación, establecimiento y características del AES 2, con árboles de Acacia, que se sembraron siguiendo las curvas de nivel y protegidos con cercas eléctricas dobles. Imagen desde Google (Google Earth), Julio 2019



**FIGURA 3.** Ubicación y características del AES 3 (Testigo o Control). Imagen capturada desde Google (Google Earth), Julio 2019

Se utilizó el pastoreo restringido en tiempo durante 18 horas (h) diarias, suplementación mineral *ad libitum* por vía oral, ordeño mecanizado de las vacas (*Bos taurus*), de 5:00 a 7:00 am. y de 3:00 a 5:00 pm, y la crianza artificial del ternero a partir del tercer día de nacido. No se suplementó concentrado proteico energético.

### Animales utilizados

El estudio involucró entre 29 y 34 vacas y por cada AES se asignaron aleatoriamente entre 9 y 12 de ellas. En los tres años ocurrieron 58 partos y se evaluaron igual cantidad de ciclos reproductivos; 21, 20 y 17 en los AES 1, 2 y 3, respectivamente., 17, 20 y 21 los años 1, 2 y 3, por igual orden.

Se seleccionaron vacas Holstein entre cinco y nueve años de edad, con CCP entre 3 y 4, en la escala de cinco puntos y en tercera y cuarta lactancia. Tenían una producción láctea de  $10 \pm 2$  L vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; clínicamente sanas y no recibían tratamiento médico. No se incluyeron animales que no cumplieron con esos criterios de inclusión y se establecieron como criterios de salida, la enfermedad, el sacrificio o la muerte del animal.

**TABLA I**  
Balance de alimentario para la producción de leche en los tres agroecosistemas y años de estudio

| AL           | AES 1 |        |       | AES 2 |        |       | AES 3 |        |       |
|--------------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
|              | MS    | EM     | PC    | MS    | EM     | PC    | MS    | EM     | PC    |
|              | kg    | Mj     | g     | kg    | Mj     | g     | kg    | Mj     | g     |
| <b>Año 1</b> |       |        |       |       |        |       |       |        |       |
| A            | 13,44 | 128,03 | 3290  | 12,23 | 111,71 | 2789  | 12,32 | 120,49 | 2724  |
| R            | -     | 119,24 | 1336  | -     | 121,33 | 1348  | -     | 110,87 | 1228  |
| D            | -     | +8,78  | +1954 | -     | -9,62  | +1441 | -     | +9,62  | +1495 |
| <b>Año 2</b> |       |        |       |       |        |       |       |        |       |
| A            | 13,57 | 125,93 | 3513  | 12,38 | 110,87 | 2177  | 12,10 | 111,29 | 3391  |
| R            | -     | 128,86 | 1465  | -     | 126,35 | 1398  | -     | 115,06 | 1241  |
| D            | -     | -2,93  | +2047 | -     | -15,48 | +780  | -     | -3,77  | +2150 |
| <b>Año 3</b> |       |        |       |       |        |       |       |        |       |
| A            | 14,17 | 132,31 | 3534  | 13,44 | 121,84 | 2849  | 14,24 | 132,21 | 3382  |
| R            | -     | 128,03 | 1451  | -     | 123,09 | 1358  | -     | 110,03 | 1195  |
| D            | -     | +4,28  | +2083 | -     | -1,25  | +1491 | -     | +22,18 | +2186 |

AL: Alimentos, AES: Agroecosistemas, MS: Materia Seca, EM: Energía metabolizable, PC: Proteína Cruda, A: Aportes, R: Requerimientos, D: Diferencia, Mj: megajoules

porque se incluyó el follaje de las arbóreas. Esto no se logró en el AES 2, donde se constató déficit energético de 9,62; 15,48 y 1,25 Mj, en los años 1, 2 y 3, por ese orden, por lo que se cubrieron el 92,07; 87,74 y 98,9 % de los requerimientos de este principio inmediato. En el AES 3 se cubrieron las demandas de energía, excepto en el segundo año, donde sólo se cubrió el 96,7 % de las mismas, y los animales tuvieron un déficit de 3,77 Mj (TABLA I).

En los tres AES se excedieron los requerimientos de proteína cruda (PC) en los tres años de estudio, entre un 106,8 % y 183,0 % de sus demandas (TABLA I). Además, los balances de nutrientes reflejaron que los requerimientos de calcio (Ca) y P se cubrieron los tres AES y años entre 100 y 152,3 %.

Las deficiencias de energía de las vacas en el segundo año del AES 1 y en los tres años en el AES 2 (TABLA I) indican que, aún cuando las mismas en esos escenarios puedan producir 10,6 y 11,7 L vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, respectivamente, tendrían que buscar otras vías metabólicas para cubrir el déficit energético [4, 22].

El incremento del contenido de PC de la dieta que se ofrece a los animales se debe a que los SSP incrementan la oferta de forraje al ganado y las leguminosas arbóreas de estos AES aportan más proteína que las gramíneas [23]. Además, en las vacas en los SSP hacen un mayor consumo de materia seca porque pastan durante todo el día, tienen menos estrés calórico, muestran menos competencia y están mejor distribuidas, y pasan mucho menos tiempo cerca del bebedero. Consecuentemente, los rebaños bovinos en silvopastoreo tienen mayor productividad [7, 14].

Cuando existe exceso de PC y deficiencia de energía; para contrarrestar este déficit el organismo utiliza las proteínas, por lo que se incrementa el metabolismo del N<sub>2</sub> en el hígado. Este órgano se satura y la urea y NH<sub>3</sub>, se incrementan en el suero sanguíneo,

lo cual aumenta el BUN y genera un gasto energético extra y un balance energético aún más negativo [24].

El incremento del BUN tiene efectos negativos en el comportamiento reproductivo. Ambos son más marcados en las vacas lecheras en balance energético negativo, debido a que éstas para compensarlo movilizan y utilizan las reservas corporales y utilizan la proteína. En esta situación se saturan los microorganismos del rumen para utilizar el NH<sub>3</sub>, que llega al hígado por vía sanguínea y este órgano lo convierte en urea, por lo que los excesos de NH<sub>3</sub> conducen a elevaciones del BUN [22, 24].

Para el IPPS hay diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los AES, siendo menor en el AES 1 (TABLA II). El IPPS no debe ser superior a 63 días (d) [18], por lo que el período de anestro posparto (APP) fue de 64, 34; 87,09 y 134,77 d en los AES 1, AES 2 y AES 3, respectivamente.

**TABLA II**  
Comparación de medias de los indicadores reproductivos servicios por gestación e intervalo parto-primer servicio y la condición corporal al parto

| Fuente         | S/G                          | IPPS (días)                    | CCP                          |
|----------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                | $\bar{x} \pm EE$             | $\bar{x} \pm EE$               | $\bar{x} \pm EE$             |
| <b>AES</b>     |                              |                                |                              |
| AES 1 (n = 21) | 2,31 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup> | 127,34 $\pm$ 5,86 <sup>c</sup> | 3,45 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup> |
| AES 2 (n = 20) | 2,48 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup> | 150,09 $\pm$ 5,98 <sup>b</sup> | 3,05 $\pm$ 0,07 <sup>b</sup> |
| AES 3 (n = 17) | 2,35 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup> | 197,77 $\pm$ 6,50 <sup>a</sup> | 2,85 $\pm$ 0,08 <sup>b</sup> |
| <b>Año</b>     |                              |                                |                              |
| 1 (n = 17)     | 2,91 $\pm$ 0,19 <sup>a</sup> | 174,94 $\pm$ 6,50 <sup>a</sup> | 3,07 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup> |
| 2 (n = 20)     | 2,21 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup> | 147,99 $\pm$ 5,98 <sup>b</sup> | 3,08 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup> |
| 3 (n = 21)     | 2,00 $\pm$ 0,17 <sup>b</sup> | 152,28 $\pm$ 5,86 <sup>b</sup> | 3,20 $\pm$ 0,07 <sup>a</sup> |

abc: Letras diferentes en los superíndices dentro de la misma columna y factor; difieren para  $P < 0,05$ . S/G: Servicios por gestación, IPPS: intervalo parto-primer servicio (IPPS), CCP: Condición corporal al parto, AES: Agroecosistema

Los menores IPPS en el AES 1 están motivados porque en éste, la CCP fue superior ( $P < 0,05$ ) que en los AES 2 y AES 3 (TABLA II), especialmente en el AES 3 donde las vacas están en balance energético negativo (BEN) porque la CCP es menor a 3,0, lo que afecta negativamente la fertilidad, porque disminuyen la leptina e insulina y consecuentemente, la función ovárica o hipotalámica que disminuyen la síntesis de hormonas gonadotrópicas, con baja fertilidad y retardo en la reactivación ovárica posparto de las vacas lecheras [5, 22].

Está demostrada que la disminución de la CCP afecta la fertilidad y que las vacas que paren con CCP inferior a tres, tienen un anestro posparto e IPPS más elevado [25]. Resultados similares para estos indicadores fueron publicados por Balarezo-Urresta *et al.* [5] y López [26] en AES donde se diagnosticó baja condición corporal (CC) asociada al incremento del IPPS. La baja CCP conlleva a una pérdida superior de CC al inicio de la lactancia. Esto está entre los principales factores que se asocian con aumento de los S/G en vacas lecheras, debido a la reducción de la tasa de gestación en la primera inseminación artificial (IA) [27].

En la TABLA II se puede observar que la CCP no difirió entre los años de estudio y que los S/G no difirieron entre los AES, pero fueron mayores en el primer año ( $P<0,05$ ), en el que este indicador se clasifica como malo ya que tiene un 34,3 % de gestaciones al primer servicio de IA. El valor adecuado de los S/G debe ser  $\leq$  de 1,70 para que exista un adecuado nivel de fertilidad, donde más del 6 % de las vacas se gestan con una inseminación [18].

Según los S/G de los años dos y tres (TABLA II), los porcentajes de gestaciones al primer servicio fueron 45,24 y 5 %, respectivamente. Los peores S/G y por ciento de vacas que se gestan con una IA pueden deberse a que en los rebaños investigados los requerimientos de PC se exceden y existen deficiencias de energía en algunos casos.

Los excesos de PC y deficiencia de energía, conducen al aumento del BUN y éste al aumento de la acidez del útero, lo que afecta la vida del semen y el embrión. Consecuentemente, disminuye la gestación tras la IA o la monta, aumenta repetición del servicio y deteriora los indicadores reproductivos. Estos efectos son más manifiestos en vacas lecheras en BEN, las que disminuyen su fertilidad y se deteriora la eficiencia reproductiva del rebaño [24].

El IPPS fue menor en los años dos y tres (TABLA II), motivado porque en estos años los AES 1 y AES 2 estaban más establecidos y por tanto los animales aprovechaban con mayor eficiencia sus beneficios.

El IPC y el IPP difieren ( $P<0,05$ ) entre los AES y años, siendo menores en el AES 1 y los años dos y tres (TABLA III). Como se puede apreciar el AES interactuando con el año influyó sobre el IPC e IPP. El AES 1 tiene los mejores resultados en el año tres, el AES 2 en los años dos y tres sin diferencias entre ellos y en el AES 3 el año no tuvo influencia. Esto se presenta debido a que se puso de manifiesto la influencia del año en el establecimiento de los AES.

La pérdida excesiva de CC entre el parto y la primera inseminación posterior al mismo, influye significativamente en la prolongación del IPG [28] y la disminución de la tasa de gestación [22]. Las vacas con baja CC tienen menos fertilidad porque cuando están en BEN se liberan ondas atípicas de la Hormona Luteinizante (LH) [29]. Consecuentemente, tienen menor tasa de ovulación posparto, se afecta la formación y desarrollo el cuerpo lúteo y disminuye la secreción de progesterona [30].

Durante el BEN crece menos el folículo dominante y hay menor producción de estradiol, debido a la disminución de la insulina y el IGF-1 en la circulación sanguínea, y a la reducción en la frecuencia de pulsos de LH [31]. Por ello, la retroalimentación negativa, mediada por el estradiol, se relaciona directamente con el BEN, y este escenario fisiológico retrasa la primera ovulación en las vacas con mayor pérdida de CC y/o menor condición corporal [25].

El déficit energético en la dieta es la principal limitante de los SSP [4]. Estos autores, demostraron que el incremento del BUN se asoció con los S/G, IPC, IPP y reinicio de la actividad ovárica en vacas en los SSP.

Sin embargo, el aumento del contenido de PC en la dieta o su degradabilidad ruminal, sobre todo durante el déficit energético, trae consigo la disminución de la fertilidad en las vacas lecheras y, por tanto, el detrimento en la eficiencia reproductiva del rebaño [24].

**TABLA III**  
Comparación de medias del intervalo parto-concepción e intervalo parto-parto en los tres agroecosistemas y años de estudio

| Fuente | N   | IPC (días)                     | IPP (días)                      |                                |
|--------|-----|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
|        |     | $\bar{x} \pm EE$               | $\bar{x} \pm EE$                |                                |
| AES    |     |                                |                                 |                                |
| AES 1  | 21  | 172,69 $\pm$ 8,89 <sup>c</sup> | 469,54 $\pm$ 4,69 <sup>c</sup>  |                                |
| AES 2  | 20  | 204,20 $\pm$ 9,07 <sup>b</sup> | 484,01 $\pm$ 4,79 <sup>b</sup>  |                                |
| AES 3  | 17  | 256,82 $\pm$ 9,85 <sup>a</sup> | 536,98 $\pm$ 5,20 <sup>a</sup>  |                                |
| Año    |     |                                |                                 |                                |
| 1      | 17  | 247,10 $\pm$ 9,85 <sup>a</sup> | 538,32 $\pm$ 5,20 <sup>a</sup>  |                                |
| 2      | 20  | 199,46 $\pm$ 9,07 <sup>b</sup> | 480,16 $\pm$ 4,79 <sup>b</sup>  |                                |
| 3      | 21  | 187,16 $\pm$ 8,89 <sup>b</sup> | 472,05 $\pm$ 4,69 <sup>b</sup>  |                                |
| AES    | Año | N                              | $\bar{x} \pm EE$                | $\bar{x} \pm EE$               |
| AES 1  | 1   | 6                              | 228,16 $\pm$ 16,52 <sup>a</sup> | 545,83 $\pm$ 8,72 <sup>a</sup> |
|        | 2   | 7                              | 163,28 $\pm$ 15,29 <sup>b</sup> | 445,28 $\pm$ 8,08 <sup>b</sup> |
|        | 3   | 8                              | 126,62 $\pm$ 14,31 <sup>c</sup> | 417,50 $\pm$ 7,55 <sup>c</sup> |
| AES 2  | 1   | 6                              | 266,33 $\pm$ 16,52 <sup>a</sup> | 541,33 $\pm$ 8,72 <sup>a</sup> |
|        | 2   | 7                              | 176,42 $\pm$ 15,29 <sup>b</sup> | 458,71 $\pm$ 8,08 <sup>b</sup> |
|        | 3   | 7                              | 169,85 $\pm$ 15,29 <sup>b</sup> | 452,02 $\pm$ 8,08 <sup>b</sup> |
| AES 3  | 1   | 5                              | 246,80 $\pm$ 18,10 <sup>a</sup> | 527,80 $\pm$ 9,56 <sup>a</sup> |
|        | 2   | 6                              | 258,66 $\pm$ 16,52 <sup>a</sup> | 536,53 $\pm$ 8,72 <sup>a</sup> |
|        | 3   | 6                              | 265,02 $\pm$ 16,52 <sup>a</sup> | 546,66 $\pm$ 8,72 <sup>a</sup> |

abc: Letras diferentes en los superíndices dentro de la misma columna y factor, difieren para  $P<0,05$ . IPC: Intervalo parto-concepción, IPP: Intervalo parto-parto, AES: Agroecosistema

Aunque el IPP difirió ( $P<0,05$ ) entre los AES y años (TABLA III); en el índice de natalidad no hubo diferencias significativas ( $P>0,05$ ) entre AES en cada año ni entre estos dentro de un mismo AES, lo que puede atribuirse al pequeño tamaño de la muestra, solo nueve animales por grupo. Sin embargo, en el AES 1 en el año tres el porcentaje de natalidad está muy cerca del establecido como meta para un potencial de fertilidad óptimo que es de 9 % [18].

Los animales de AES 3 presentaron menor CCP, que el en AES 2 (TABLA II) y tuvieron mayor IPC con respecto al AES 2 (TABLA III), aun cuando en este último los aportes energéticos y proteicos fueron similares y ningún año pudo cubrir el requerimiento energético, lo que puede estar motivado porque el componente arbóreo protege de la radiación solar, reduce el estrés calórico y favorece el bienestar de los animales, debido a que necesitan menos esfuerzo para mantener su homeostasis [32]. Estos resultados corroboran el efecto beneficioso de los SSP en la CC de las vacas, las que tuvieron mejor comportamiento reproductivo [11].

Está documentado que bajo la sombra de los árboles se logra reducir la temperatura ambiente entre 2 y 9°C en las horas más calurosas del día [11]. El bienestar animal es el factor más importante en la eficiencia técnica y bioeconómica de los sistemas de producción de leche [7, 13, 14].

## CONCLUSIÓN

Existió déficit energético en las vacas en los AES 1 y 3 en el segundo año y en el AES 2 en los años 1, 2 y 3, y excesos de PC en los tres AES durante los tres años. En el AES 1 fue mayor la CCP y se redujo el IPPS y la interacción de los AES con el año de estudio benefició el IPC y el IPP, los que fueron mejores en el AES 1 (Aliso), en el tercer año.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la administración de la Finca San Vicente, escenario de la presente investigación y a las autoridades, docentes y estudiantes de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC), por su contribución desinteresada para su realización.

## Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Benavides-Rosales HR, Mina-Ortega JI, Chamorro-Hernández ML, Coronel-Montesdeoca TN, Ortiz-Tirado SP, García-Díaz JR. Productividad de biomasa comestible y producción láctea en sistemas silvopastoriles de la región andina de Ecuador. *Rev. Cientif. FCV-LUZ* [Internet]. 2025; 35(2):e35618. doi: <https://doi.org/qkjb>
- [2] Jayasinghe P, Ramilan, Thiagarajah, Donaghy DJ, Pembleton KG, Barber DG. Comparison of nutritive values of tropical pasture species grown in different environments, and implications for livestock methane production: A meta-analysis. *Animals* [Internet]. 2022; 12(14):1806. doi: <https://doi.org/pjtt>
- [3] Benavides-Rosales HR, Noval-Artiles E, García-Díaz JR. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la corrección del síndrome de la leche anormal en Ecuador. *Rev. Prod. Anim.* [Internet]. 2024 [accedido 23 Jul. 2025]; 36(3):e159. Disponible en: <https://goo.su/sfjSI>
- [4] Balarezo LR, García-Díaz JR, Hernández-Barreto M, Vargas-Hernández S. Uterine involution in Holstein cows in the province of Carchi, Ecuador. *Rev. MVZ Córdoba* [Internet]. 2018; 23(2):6649–6659. doi: <https://doi.org/g8m3jb>
- [5] Balarezo-Urresta LR, García-Díaz JR, Noval-Artiles E. Corporal condition and restart of the ovarian postpartum on Holstein cows in Ecuador. *Rev. MVZ Córdoba* [Internet]. 2020; 25(3):e1859. doi: <https://doi.org/g8342w>
- [6] Amorim HCS, Ashworth AJ, O'Brien PL, Thomas AL, Runkle BRK, Philipp D. Temperate silvopastures provide greater ecosystem services than conventional pasture systems. *Sci. Rep.* [Internet]. 2023; 13(1):18658. doi: <https://doi.org/qkjc>
- [7] Thomsen SJ, Poudel S, Fike JH, Pent GJ. Heifer performance and body temperatures in an open pasture versus silvopasture in the mid-Atlantic USA. *Agrofor. Syst.* [Internet]. 2023; 98:47–59. doi: <https://doi.org/qkjd>
- [8] Poudel S, Pent G, Fike J. Silvopastures: benefits, past efforts, challenges, and future prospects in the United States. *Agronomy* [Internet]. 2024; 14(7):1369. doi: <https://doi.org/qkjf>
- [9] Benavides HR, Vargas S, Caicedo D, Carvajal L, Gutiérrez DI, Mina J. Effect of agro-ecosystem and periods of the year upon earthworm population density on silvopastoral systems. *Cuban J. Agricul.Sci.* [Internet]. 2019 [consultado 12 Dic. 2024]; 53(1):197–206. Disponible en: <https://goo.su/S9WviH>
- [10] Tzec-Gamboa MC, Álvarez-Rivera OO, Ramírez-Avilés L, Solorio-Sánchez FJ. Decomposition and nitrogen release rates of foliar litter from single and mixed agroforestry species under field conditions. *Agriculture* [Internet]. 2023; 13(1): 222–238. doi: <https://doi.org/pjtv>
- [11] Vargas-Hernández S. Producción de leche bovina tropical sostenible. Diseño, manejo y evaluación de agroecosistemas. Un enfoque integrado. Madrid (España): Editorial académica española; 2013.
- [12] Vinales C, Kássio-Fedrigio J, Benítez-Gonzalez V, García L, Báez F. Advances in knowledge about silvopastoral systems in Uruguay. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* [Internet]. 2022; 30(Supl. 1):43–53. doi: <https://doi.org/g7zbjd>
- [13] Arciniegas-Torres SP, Flórez-Delgado DF. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Cien. Agri.* [Internet]. 2018; 15(2):107–116. doi: <https://doi.org/qkjj>
- [14] Poudel S, Ely K, Fike J. The potential of silvopasture in the mid-atlantic USA: insights from land managers on motivations, challenges, and production features. *Agrofor. Syst.* [Internet]. 2025; 99(3):52. doi: <https://doi.org/qkjh>
- [15] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI). Datos meteorológicos de la estación meteorológica de Chalpatán, Carchi, Ecuador. Internet [consultado 19 Mar. 2023]. Disponible en: <https://goo.su/QUMVxA>
- [16] Cuesta M, Montejo E, Duvergel J. Medicina Interna Veterinaria. La Habana (Cuba): Editorial Félix Varela; 2007.
- [17] Roche A, Larduet R, Torres V, Ajete A. CALRAC: A microcomputer programme for the estimation of ruminant rations. *Cuban J. Agric. Sci.* [Internet]. 1999 [consultado 22 Dic. 2024]; 33(1):13–19. Disponible en: <https://goo.su/io2n>
- [18] Brito R, Blanco S, Calderón R, Preval B, Campo E. Patología de la reproducción animal. 2da ed. La Habana (Cuba): Editorial Félix Varela; 2010.
- [19] French, J, Wright, T, Mongeon, M. Body condition scoring of dairy cattle. [Internet]. 2020 [consultado 20 Ene. 2020]. Disponible en: <https://goo.su/9HzfBF>
- [20] Bonferroni CE. Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilita. Pubblicazioni del R. Istituto superiore di scienze economiche e commerciali di Firenze. Florencia (Italia): Seeber; 1936.
- [21] StatPoint Technologies. 2010. Statgraphics Centurion. (ser. Centurion), version 16.1 (XV), [Windows]. [consultado 15 Abr. 2012]. Disponible en: <https://goo.su/UptWz>

- [22] Butler RW. Nutrition and reproduction in transition cows. In: PRO-DAIRY Herd Health and Nutrition Conference; 2019 Abr 4. New York (EUA): Cornell University Library; 2019 [consultado 17 Ago. 2025]. p. 1–10. Disponible en: <https://goo.su/dYBoUn>
- [23] Carvalho WF, Oliveira ME, Alves AA, Moura RL, da Silva-Moura RMA. Energy supplementation in goats under a silvopastoral system of tropical grasses and leucaena. *Rev. Ciênc. Agron.* [Internet]. 2017; 48(1):199–207. doi:<https://doi.org/kp4b>
- [24] Kananub S, Pechkerd P, VanLeeuwen J, Stryhn H, Arunvipas P. Evaluation of influence of milk urea nitrogen on reproductive performance in smallholder dairy farms. *Aust. Vet. J.* [Internet]. 2020; 98(8):375–379. doi:<https://doi.org/pjt3>
- [25] Barletta RV, Maturana-Filho M, Carvalho PD, Del Valle TA, Netto AS, Rennó FP, Mingoti RD, Gandra JR, Mourão GB, Fricke PM, Sartori R, Madureira EH, Wiltbank MC. Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. *Theriogenology* [Internet]. 2017; 104:30–36. doi: <https://doi.org/qgfb>
- [26] López O. Influencia del balance de energía en el desempeño productivo y reproductivo de vacas Mambí de Cuba en un sistema silvopastoril [Tesis doctoral]. Mayabeque (Cuba): Universidad Agraria de la Habana; 2023. 53 p.
- [27] Gobikrushanth M, Macmillan K, Behrouzi A, Hoff B, Colazo MG. The factors associated with postpartum body condition score change and its relationship with serum analytes, milk production and reproductive performance in dairy cows. *Livest. Sci.* [Internet]. 2019; 228:151–160. doi: <https://doi.org/qkji>
- [28] Carvalho PD, Souza AH, Amundson MC, Hackbart KS, Fuenzalida M.J, Herlihy MM, Ayres H, Dresch AR, Vieira LM, Guenther JN, Grummer RR, Fricke PM, Shaver RD, Wiltbank MC. Relationships between fertility and postpartum changes in body condition and body weight in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* [Internet]. 2014; 97(6): 3666–3683. doi: <https://doi.org/f54px8>
- [29] Robson C, Aller JF, Callejas S, Alberio RH. Dinámica folicular y comportamiento del amamantamiento en razas Angus y criolla Argentina. *Arch. Zootec.* [Internet]. 2008 [consultado 28 Jul. 2025]; 57(220):477–488. Disponible en: <https://goo.su/tGmng>
- [30] Robson C, Aller JE, Callejas S, Cabodevila J, Alberio RH. Factores que afectan el anestro posparto en bovinos. *Sit. Argent. Prod. Anim.* [Internet]. 2007 [consultado 25 Jun. 2025]; 9(33):8–25. Disponible en: <https://goo.su/yrpFNii>
- [31] Souissi W, Bouraoui R. Relationship between body condition score, milk yield, reproduction, and biochemical parameters in dairy cows. In: M'Hamdi N, editor. *Lactation in farm animals – biology, physiological basis, nutritional requirements, and modelization*. National Agronomic Institute. IntechOpen [Internet]. 2020. p. 1–13. doi: <https://doi.org/qkjk>
- [32] Castaño FA, Rugeles CC, Betancur CA, Ramírez-López CJ. Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Rev. Biosalud* [Internet]. 2014 [consultado 20 Jul. 2025]; 13(2):84–94. Disponible en: <https://goo.su/CJUIN6>