



Incidencia de la receptora bovina en los costos de un programa de transferencia de embriones en el triángulo del café en Colombia

Impact of bovine recipient on the costs of an embryo transfer program in the coffee triangle in Colombia

Daniel Beltrán¹, Germán Gómez², Carlos Marulanda³

¹Departamento de Producción agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Caldas-Colombia (correo-e: danielbeltran91@hotmail.com)

²Departamento de Producción agropecuaria, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Caldas-Colombia (correo-e: germgolo@ucaldas.edu.co)

³Departamento de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas-Colombia (correo-e: carlosoe@ucaldas.edu.co)

Recibido: 22 febrero de 2023 / **Aprobado:** 9 mayo de 2023

Cómo citar: Beltrán, D., Gómez, G., Marulanda, C. Incidencia de la receptora bovina en los costos de un programa de transferencia de embriones en el triángulo del café en Colombia. *Ingeniería y Competitividad*. 2023; 25(2): e-21212819 doi: <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.12819>

Resumen

El objetivo del presente artículo es presentar el análisis de costos de producción de un embrión por la técnica de producción *in-vitro* de embriones (PIVE), y lo que esta conlleva hasta la transferencia del embrión, considerando la medición de tiempos de las actividades que comprenden los procesos del programa de transferencia de embriones, en la región del Eje Cafetero de Colombia. Partiendo de una investigación cualitativa, con un enfoque descriptivo exploratorio y correlacional; se aspiraron 16 donadoras de la raza Gyr, sin tratamiento hormonal, se transfirieron 47 receptoras y se midieron los tiempos empleados en las actividades del proceso de transferencia del embrión, además los costos de producción se calcularon con un promedio de 4,8 embriones transferibles por donadora y con 2 sesiones de aspiración folicular por mes. El costo de producción del embrión transferido y la confirmación de la preñez en la receptora se da a los 90 días de gestación; para el productor el mayor costo del programa es el mantenimiento de las receptoras hasta lograr su preñez; lo cual es el factor económico más importante, contrario a lo que sucede en los esquemas de superovulación, en los cuales el mayor costo lo representa la donadora.

Palabras clave: Biotecnología reproductiva, Transferencia de embriones, Costo de producción, Estudio del trabajo.



Abstract

The objective of this article is to present the cost analysis of the production of an embryo by follicular oocyte aspiration technique, in vitro fertilization and embryo transfer, considering the time measurement of the activities that comprise the processes of the embryo transfer program in the coffee triangle of Colombia. Based on qualitative research, with a descriptive, exploratory and correlational approach, 16 Gyr breed donors, without hormone treatment, were aspired, 47 bovine recipients were transferred, and the times used in the activities, the times of the embryo transfer process were measured, besides the production costs were calculated with an average of 4.8 transferable embryos per donor and with 2 ovum pick up sessions by month per donor. The production cost of the embryo transferred and confirmed is given at 90 days of pregnancy. For the producer, the major cost of the program is the maintenance of the recipients until pregnancy is achieved, which is the most important economic factor, contrary to what happens in superovulation schemes, in which the highest cost is represented by the donor.

Keywords: Reproductive biotechnology, Embryo transfer, Cost of production, Work study.

1. Introducción

La Transferencia de Embriones (T.E) es una biotecnología reproductiva que consiste en la obtención de embriones, los cuales por lo general provienen de una hembra donante de alto valor genético, estos embriones pueden ser producidos por la técnica de producción de embriones convencionales (*in-vivo*), donde gracias a tratamientos hormonales de superovulación (SOV) los embriones se producen dentro de la misma donante y posteriormente mediante lavado uterino se colectan los embriones 7 días después de realizar la inseminación artificial (I.A), o mediante la técnica de producción *in-vitro* de embriones (PIVE), en la cual se colectan los ovocitos de la hembra donante mediante la técnica de aspiración folicular (OPU), estos ovocitos son sometidos a un proceso de maduración *in-vitro* (MIV), posteriormente a fertilización *in-vitro* (FIV) y siguen a un cultivo *in-vitro* (CIV), para todos estos procesos *in-vitro* se requiere de medios específicos así como ambientes de humedad y temperatura controlados en incubación, hasta la obtención de un embrión apto para TE siete días después de realizada la FIV. Una vez

obtenidos los embriones estos se disponen para la T.E en hembras receptoras previamente sincronizadas con tratamientos hormonales, buscando una sincronía entre el medio ambiente uterino de la hembra donante y el estadio de desarrollo del embrión a transferir; el procedimiento de la T.E se realiza previo chequeo reproductivo de la receptora, confirmando la ovulación de esta y transfiriendo el embrión en el cuerno uterino ipsilateral al ovario que presente cuerpo lúteo signo de ovulación.

En Colombia, se ha incrementado considerablemente el uso de las biotecnologías reproductivas, en la explotación bovina, buscando ser más eficientes reproductivamente (Maldonado & Bolívar, 2008), utilizando animales genéticamente superiores, para optimizar el rendimiento productivo en los sistemas pecuarios (Palma, 2008). La T.E dentro del grupo de las biotecnologías reproductivas, es la segunda más empleada por los ganaderos del país, después de la inseminación artificial (I.A), con técnicas estandarizadas bien difundidas para

su adopción como son la OPU, la FIV y la transferencia de embrión a tiempo fijo (TETF) (Ariza et al., 2006).

Los costos de inversión para programas de TE son más altos al compararlos con los de I.A y esto explica, en parte, su uso menos frecuente (Hansen, 2006); la SOV y la T.E son biotecnologías que alcanzaron su máximo desarrollo a comienzos de 1980 (Rodríguez et al., 2011), logrando para el año 2004 una producción anual promedio de 500.000 embriones transferidos por la técnica de recolección *in vivo*, con una tasa de gestación promedio del 50%, a finales de la década del 2000 es cuando la PIVE toma fuerza a nivel mundial y empieza el uso masivo de la FIV y la T.E producidos de forma *in-vitro* (Thibier, 2005).

Del total de embriones producidos y transferidos a nivel mundial un 22.2% fueron producidos en Suramérica (especialmente Brasil), después de Norteamérica con el 34.7% de embriones transferidos (Palma, 2008).

Para el 2018, la producción anual promedio de embriones transferibles alcanzó la cifra de 469,967 embriones por la técnica de recolección *in vivo*, adicional a los 1,029,400 embriones por la técnica de producción *in vitro* (Viana, 2019). Sudamérica ocupa el primer puesto en producción *in vitro* y transferencia de embriones con el 52.54%, superando a Norteamérica que ocupa el segundo lugar con el 39.99 %, se resalta que Colombia para ese año no reportó cifras a la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (IETS, por sus siglas en inglés).

El trabajo de Bolivar & Maldonado (2008) fue el primer estudio de análisis de costos de la transferencia de embriones, mediante la comparación de tres esquemas de manejo

hormonal de donadoras tratadas por SOV y receptoras, en donde evaluaron los componentes que a criterio de los autores, representaban de la manera más objetiva el sistema de costos de los esquemas de manejo hormonal farmacológico para programas de TE en Colombia, “asumiendo que el ganadero no incurre en la compra de equipos de laboratorio pero si aporta todos los costos de insumos para el procedimiento, esto como una fuente de consulta para la toma de decisiones basada en los resultados del análisis de costos: beneficio del esquema seleccionado, y en el esquema del tratamiento farmacológico al cual son sometidas las donadoras y las receptoras”.

En el estudio no realizaron análisis de los costos de los procedimientos de la T.E a partir de embriones producidos *in vitro*, debido a que no fue considerado como objetivo del trabajo, dadas las diferencias en el procedimiento de obtención de los embriones (Bolívar & Maldonado, 2008); en la producción *in vitro* de embriones intervienen una serie de componentes que se diferencia de manera importante de la producción convencional de embriones, entre las que se cuentan los costos de los equipos para la aspiración de los folículos guiada por ultrasonido, la infraestructura para la fertilización y el desarrollo embrionario *in vitro*, y las tasas de éxito de los embriones *in-vitro* transferidos en fresco (Martínez et al., 2002).

El objetivo del presente estudio es determinar la incidencia de las receptoras bovinas sobre los costos de producción de un embrión por la técnica de producción *in vitro* de embriones (PIVE), y lo que esta conlleva hasta la transferencia del embrión, considerando la medición de tiempos de las actividades que comprenden los procesos del programa de transferencia de embriones, en la región del Eje Cafetero en Colombia.

Se presentan entonces los resultados sobre los costos que comprenden los programas de T.E con embriones producidos de forma *in vitro* en

Colombia, a través del estudio de tiempos de las actividades realizadas en campo de la OPU y la T.E.

2. Metodología

Desde un tipo de investigación cualitativa, con un enfoque descriptivo, exploratorio y correlacional, se realizó un estudio de tiempos de las actividades correspondientes al proceso de transferencia de embriones, en el que se desglosaron las actividades específicas para llevar a cabo el proceso en campo de aspiración folicular de oocitos OPU y transferencia de embriones TE. Se midieron los tiempos de cada actividad con la ayuda de un cronómetro y el formato de registro de tiempos, para establecer el ritmo de ejecución de las actividades, el “tiempo tipo”, el “tiempo estándar” y los “suplementos” propios de cada operación; estos se monetizaron relacionando los tiempos invertidos en cada actividad con el ingreso total de cada operario involucrado en el proceso y así mismo se obtuvieron los consumos de materiales e insumos para determinar costos de producción por embrión.

Los datos fueron recolectados los días correspondientes a la OPU y de TE, los cuales se programaron con la empresa In Vitro Colombia® empresa que prestó el servicio, en los departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca en marzo de 2019, donde se realizó la medición de tiempos en el proceso de OPU de 16 donadoras de la raza Gyr; igualmente se midieron los tiempos del proceso de TE en un grupo de 47 receptoras de la raza Gyrolando, sincronizadas para TETF. El flujograma (figura 1) comprende las actividades del programa de TE para la medición de tiempos, donde se estableció el orden de ejecución y se agruparon en las etapas del proceso a cuantificar en campo: OPU y TE (Kanawaty, 1996; Bravo et al., 2018).

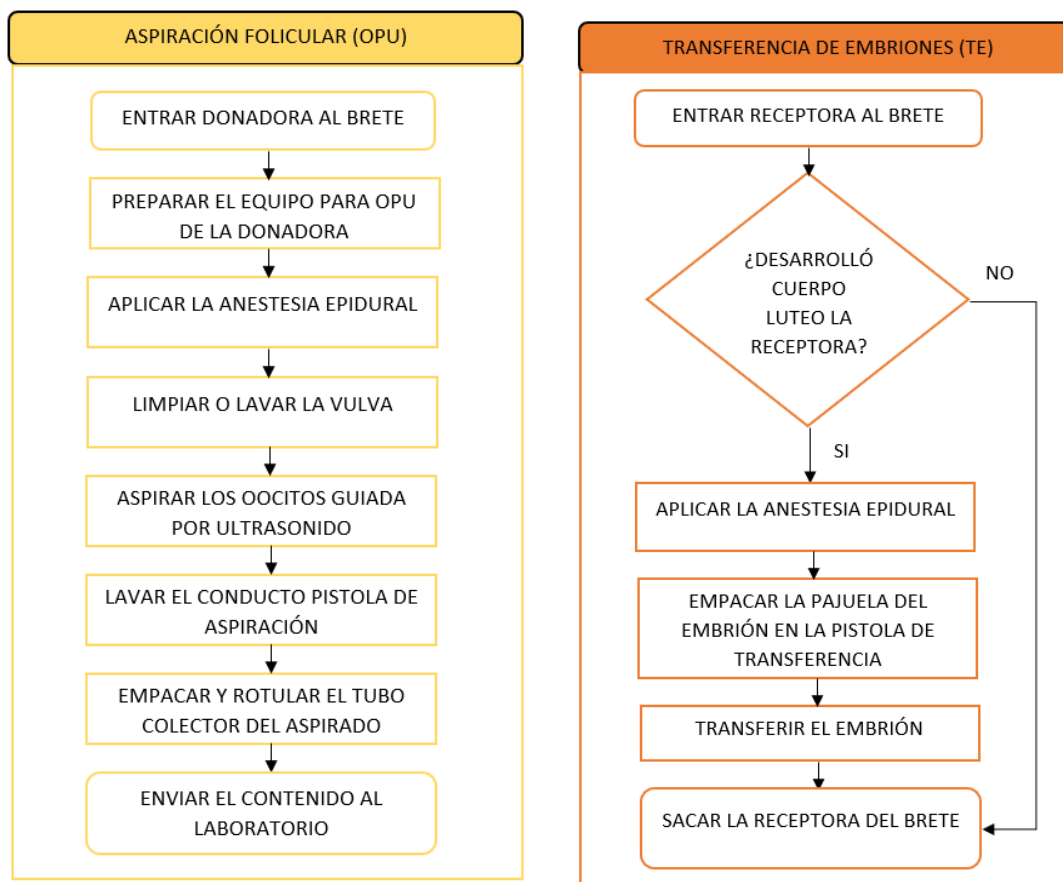


Figura 1. Flujograma de actividades del programa de T.E para determinación de tiempos.

Fuente: Elaboración propia.

Se explica el detalle de lo realizado, considerando los componentes desarrollados, tal como se explica a continuación:

Donadoras:

Las 16 donadoras fueron de la raza Gyr puras con registro activo ante Asocebu® (asociación colombiana de criadores de ganado cebu), todas eran vacas con mínimo un parto. Para considerarlas como donantes en el trabajo las vacas debieron cumplir con un adecuado estado sanitario, condición corporal promedio de 3 en la escala de 1 a 5 (Correa-Orozco & Fernando, 2010), vacías, o con máximo 120 días de gestación al momento de la OPU. Las hembras donantes en este estudio, se sometieron al proceso de aspiración sin tratamiento hormonal previo. Para la

producción de ovocitos, esta se aspiró 2 veces al mes. Se obtuvieron entre 20 a 30 ovocitos viables y de estos un promedio de 4.8 embriones transferibles por sesión de OPU. Se clasificó como hembra de primera calidad de alto valor genético y se calculó precio de una hembra donante de raza Gyr, pura y registrada alrededor de \$30,000,000 (\$9,593.8 dólares), y el valor de la amortización de esta es de \$48,828 (\$15.6 dólares).

Aspiración Folicular (OPU):

La aspiración folicular se llevó a cabo según la técnica descrita por Seneda et al. (2001) y

Pontes et al. (2011) por el profesional designado por la empresa In Vitro Colombia®. Se desglosó el proceso en las actividades para medir el tiempo que va desde el ingreso de la donadora al brete, hasta enviar el contenido del aspirado al técnico laboratorista encargado de rastrear y clasificar los ovocitos. El costo de la OPU, se calculó asumiendo que de la donadora se obtiene un promedio de 4.8 embriones transferibles por sesión de OPU y existe un 50% de eficiencia en el proceso de transferencia del embrión (Hasler, 2003; Duica et al, 2007), sobrecosto que se asume por pérdida de embriones transferidos en receptoras en las que no se establece la preñez.

Receptora:

La selección de la receptora para entrar al programa de T.E se hizo estableciendo su estado reproductivo y sanitario del tracto genital, realizando un diagnóstico por palpación transrectal con ayuda de un equipo de ultrasonido (SIUI CTS800 y transductor lineal de 7.5 MHz). Las receptoras seleccionadas se clasificaron como novillas o vacas y fueron sometidas a un protocolo hormonal, buscando sincronizar el celo (Nasser et al., 2011), usando un (1) dispositivo de progesterona intravaginal de liberación lenta de 0.6 gr (Dispoce Mono uso®, Calier-Syntex), 2 mg de Benzoato de Estradiol® de 1 mg/ml (Calier- Syntex), 1 mg de Cipionato de Estradiol® de 1mg/ml (Calier- Syntex), 0,5 mg de Cloprostenol Sódico de 0.25 mg/ml (Sincrocio®, Ourofino) y 400 UI de Gonadotropina Coriónica Equina de 200 UI/ml (Sincro eCG®, Ourofino). La cantidad de receptoras incluidas en el estudio fueron por disponibilidad del productor. El valor del protocolo hormonal para cada receptora que fue seleccionada en programa de T.E fue de \$36,921 (\$11.8 dólares). El valor aumenta por receptora transferida confirmada preñada, al calcular el porcentaje de repuesta y efectividad

del programa de T.E, obteniendo un valor el protocolo de sincronización de \$71,996 (\$23 dólares). Su función en el programa es servir como vientre sustituto y llevar a cabo la gestación del embrión transferido, aproximadamente un 70- 80% de las receptoras sincronizadas responden al tratamiento hormonal y resultan aptas para ser transferidas. Al lograr su preñez se utiliza una vez al año en el programa y se obtiene una tasa de preñez promedio de 50%. La receptora se clasificó como hembra comercial, con valor promedio de \$2,200,000 (\$703.5 dólares). El valor que le correspondió a un embrión transferido y confirmado es de \$536,250 (\$171.5 dólares) por receptora que queda preñada en el programa.

Embriones:

Los embriones se clasificaron de acuerdo con los criterios de la IETS (Bridges et al., 2000). El laboratorio envió los embriones de grado I o II para transferir (embriones de mórula y blastocistos de 6 y 7.5 días de desarrollo) (Munar et al., 2013); estos fueron enviados a la granja para su transferencia en fresco, transportados en el medio de cultivo conservados a una temperatura entre 35° y 37° C en una transportadora de embriones (Perez et al., 2016).

Transferencia de Embriones:

La transferencia de embriones se realizó a los 17 días de haber iniciado el protocolo de sincronización (Nasser et al., 2011); en este proceso se hizo la medición de tiempos para determinar costos, desde la entrada de la receptora al brete, se hizo detección y clasificación del cuerpo lúteo mediante ultrasonografía transrectal (SIUI CTS800 y transductor lineal de 7.5 MHz). Se midió el diámetro del cuerpo lúteo por ultrasonografía para clasificarlo en tres categorías (Spell et al.,

2001; Vasconcelos et al., 2005; Bó et al., 2012).

Para la transferencia, se le realizó anestesia epidural a la receptora con 4 ml promedio de lidocaína clorhidrato inyectable al 2% que obtuvo un costo de \$508 por receptora apta para ser transferida, se limpió la zona perivulvar con una servilleta, se armó la pistola de transferencia con el embrión correspondiente y se depositó en la curvatura mayor del cuerno uterino ipsilateral al cuerpo lúteo resultante del protocolo de sincronización, a las cuales se les transfirieron los embriones de mórula y blastocistos de 6 a 7.5 días posfecundación. El Costo de la TE, se calculó, a través de la medición de tiempos, asumiendo que el 30% de las receptoras no responden al protocolo de sincronización de la ovulación y de las transferidas se obtiene una tasa de gestación del 50% (Hasler, 2003; Duica et al., 2007; Munar et al., 2013).

Diagnóstico de gestación:

El diagnóstico de gestación se hizo a los 45 (Dx45) días de la transferencia de embriones y se reconfirmó a los 90 (Dx90) días, mediante ecografía sobre el útero de la receptora transferida. Se identificó la presencia de vesícula gestacional y se corroboró la fetocardia positiva (Quintela et al., 2006) utilizando un ultrasonido en modo B SIUI CTS800 con transductor lineal de 7.5 MHz.

Cotización de productos, insumos y materiales:

La cotización de productos hormonales usados en los protocolos de sincronización de receptoras, fueron solicitados a empresas distribuidoras de dichos productos en las ciudades de Pereira y Cartago de Colombia, con listas de precios al mes de marzo de 2019. La cantidad, las especificaciones comerciales, el costo unitario y el total se calcularon según

los requeridos en cada proceso como lo son OPU de donadoras, protocolos de sincronización y TE de receptoras.

Mano de obra:

Se determinó a través de la cantidad en el tiempo invertido por los trabajadores y técnicos implicados en las actividades de OPU y TE monetizándolos con el valor del salario correspondiente de cada puesto de trabajo.

Maquinaria y equipos:

Fueron incluidos todos aquellos utilizados en las actividades y con una vida útil mayor a un año, ya que generan costo por depreciación o amortización. En este ítem se encuentra incluido el brete, que fue el lugar de trabajo con las donadoras y receptoras, los equipos de aspiración, la bomba de vacío, los ecógrafos utilizados, la pistola de transferencia reutilizable, transportadora de embriones, plancha térmica, estereoscopio.

Depreciación de equipos:

Fue calculada por la línea recta según la vida útil, valor comercial y valor de salvamento.

Amortización de semovientes:

Se realizó para la donadora y la receptora según su función, rendimiento y utilidad dentro del programa de TE, considerando el uso por deterioro y acción de factores naturales.

Servicios públicos:

Se determinó el gasto de energía eléctrica por el uso de los equipos; calculado con el consumo kW/h por el tiempo que se usaron en el desarrollo de las actividades. El agua del predio es proveniente de nacimiento y no tiene costo por unidad de consumo.

Variables objetivo de estudio:

La determinación de los tiempos invertidos en cada actividad del proceso de TE, fue un insumo utilizado para el cálculo de los costos de producción de un embrión transferido y confirmado a los 90 días de preñez, al igual que cada una de las actividades desarrolladas con la donadora, las receptoras, los oocitos, la transferencia del embrión y la tasa de preñez final.

Se realizó un análisis de costos por costeo directo, para determinar el costo de producción por unidad en pesos colombianos (Rincón & Villarreal, 2016), para el caso del presente estudio la unidad es el embrión transferido confirmado hasta los 90 días de gestación.

3. Resultados y Discusión

En el estudio de tiempos del proceso de aspiración folicular de donadoras (OPU), medido en 16 ciclos, el tiempo promedio (ritmo) fue de 10.8 minutos (+/- 2.3 minutos), donde el menor tiempo registrado fue de 6.65 minutos y el mayor fue de 14.75 minutos ($p=0.05$). Se obtuvo que el 59.14% del tiempo empleado (6.39 minutos +/- 1.6 minutos) corresponde a la actividad principal de “Aspirar los oocitos, guiado por ultrasonido”, y el 40.86% restante en preparación de equipos y en tiempos de suplemento del proceso. Con la determinación de estos tiempos, se calculó el costo de la mano de obra, uso de equipos y el servicio de energía eléctrica por tiempo empleado en el proceso de OPU, el cual obtuvo un costo por Donadora aspirada de \$177,423 (\$56.7 dólares) y el costo de OPU por embrión transferido confirmado, teniendo cuenta la eficiencia del programa fue de \$63,798 pesos (\$20.4 dólares), este valor representa el 7.64% de los costos de producción.

El proceso de FIV fue realizado por el laboratorio de la empresa In Vitro Colombia® la cual estimó los costos para el mes de marzo del 2019 en \$65,000 (\$20.8 dólares) por embrión transferible, a los cuales la empresa adicionó los porcentajes de eficiencia del proceso de TE, obteniendo por tanto el costo

de FIV por embrión confirmado de \$97,500 (\$31.2 dólares). Adicionalmente es necesario involucrar, el costo de una pajilla de semen sexado para la fertilización de \$550,000 (\$175.9 dólares) aproximadamente, la cual debe ser asumida por el productor que solicita el servicio, con esta se puede trabajar el aspirado de 3 a 4 donadoras (Bonilla-León et al., 2018). Incluyendo el semen sexado para la FIV, el costo de este proceso obtuvo un valor de \$154,792 (\$49.5 dólares) por embrión transferido.

Para el proceso de TE, medido en 47 receptoras, el tiempo promedio fue de 2.9 minutos (+/- 1.09 minutos) por receptora, donde el menor tiempo registrado fue de 2.2 minutos y el mayor fue de 6.53 minutos para receptoras transferidas ($p=0.05$). Se obtuvo que las actividades de “Palpar para diagnóstico de cuerpo lúteo” y “Transferir el embrión a la receptora” duraron en promedio de 0.68 minutos (+/- 0.38 minutos) y 1.24 minutos (+/- 0.55 minutos) respectivamente, comprendiendo el 66.37 % del tiempo invertido en el proceso de TE, siendo las dos actividades principales del proceso; y para este caso, el 33.63 % restante comprendió actividades de preparación de materiales y suplementos del proceso. Con esta información se obtuvo el costo de la mano de

obra, uso de equipos y el servicio energía eléctrica por tiempo empleado en el proceso de TE, se determina que el costo de TE por embrión transferido, teniendo en cuenta la eficiencia del programa fue de \$616,244 (\$197.2 dólares), valor que corresponde al 73.82% de los costos de producción de un embrión.

Los resultados obtenidos para el costo total de producción de un embrión transferido y

confirmado a los 90 días de preñez, por la técnica de OPU, FIV y TE en fresco, es de \$834,834 colombianos (\$267.1 dólares); este valor es similar al costo promedio reportado por Bolívar & Maldonado (2008) de \$255.7 dólares, en el proceso de SOV de donadoras. Este costo de producción se distribuye en las tres etapas del proceso como lo muestra la tabla 1

Tabla 1. Costos de producción de un embrión por cada etapa del proceso del programa de T.E

Etapas del Proceso	Valor \$COP	Valor \$US	Porcentaje
Costo Proceso de OPU x Embrión	\$ 63.798	\$ 20,4	7,64%
Costo Proceso FIV x Embrión	\$ 154.792	\$ 49,5	18,54%
Costo Proceso T.E x Embrión	\$ 616.244	\$ 197,2	73,82%
Total Costo de Producción	\$ 834.834	\$ 267,1	100,00%

Fuente: Elaboración propia.

En esta metodología de costeo el proceso de TE por embrión es el más costoso de las tres etapas, ya que se incluyó dentro del cálculo de sus costos el tratamiento hormonal de la receptora, y su amortización por su función y rendimiento dentro del programa, adicional a las eficiencias que presentan las receptoras en el programa de TE, que corresponden a las reportadas por Munar et al. (2013), ver tabla 2.

Tabla 2. Distribución de los costos y porcentajes directos e indirectos para la producción de un embrión mediante la técnica de producción in vitro y T.E en fresco

Costo producción embrión	\$ 834.834	%
Costos Directos	\$ 743.176	89,02%
Mano de Obra Directa	\$ 2.539	0,30%
Depreciación de Equipos	\$ 767	0,09%
Amortización Donadora	\$ 48.828	5,85%
Amortización Receptora	\$ 536.250	64,23%
Producción In Vitro (FIV)	\$ 154.792	18,54%
Costos Indirectos	\$ 91.658	10,98%
Mano de Obra Indirecta	\$ 3.920	0,47%
Servicios Públicos	\$ 212	0,03%
Insumos y Materiales	\$ 87.526	10,48%

Fuente: Elaboración propia.

Al evaluar la distribución de los costos de producción por embrión de todo el programa de TE, se deduce lo siguiente:

El mayor rubro lo comprende la amortización de la receptora, abarcando el 64.23 % de los costos de producción, debido a que la receptora que queda preñada dentro del programa de embriones solo se puede utilizar una sola, asumiendo que tiene un intervalo entre partos ideal y continua en el predio para regresar a un nuevo programa de TE después del parto; además que se suman las eficiencias de la respuesta al protocolo hormonal de sincronización, y la eficiencia que tienen las receptoras en el porcentaje de preñez final; lo cual coincide con los resultados reportados por Munar et al (2013).

La Producción In Vitro (FIV) es el segundo rubro más importante después de la receptora, comprendiendo el 18.54 % de los costos de producción, principalmente por el uso de semen sexado, que se utiliza para lograr que, en la producción de embriones, el 85% sean hembras, como lo reportan Pontes et al. (2011) y Bonilla-León et al. (2018) en sus estudios.

Los insumos y materiales, donde se incluye el protocolo de sincronización de las receptoras comprenden el 10.48 % de los costos, esto debido a que existe un sobre costo en este protocolo hormonal. El valor de un solo protocolo es de \$36,921 pesos, pero al adicionarle la eficiencia de las receptoras que se sincronizaron y no respondieron al protocolo y la eficiencia en el porcentaje de preñez, como lo reportan Hasler (2003) y Duica et al. (2007), el protocolo por receptora preñada logra un valor de \$71,996 pesos, el resto del valor de los insumos y materiales corresponden a los productos no reutilizables que se usan por producción de un embrión. El

valor del uso de productos hormonales en comparación con el usado para SOV de donadoras y sincronización de receptoras reportados por Bolívar & Maldonado (2008), disminuyó para este caso en un 31.3% aproximadamente, ya que solo se trata farmacológicamente a la receptora y no se incurre en el sobre costo por baja respuesta de las donadoras como lo reporta De la Fuente (2005) en su estudio.

La TE combinada con la Aspiración Folicular de Oocitos (OPU) y aplicando la Fertilización In vitro (FIV) tiene un costo similar en la producción de embriones confirmados, a los reportados por Bolívar & Maldonado (2008), en los esquemas de SOV que evaluaron (\$US 267.1 vs. \$US 255.7), donde no se reporta aumento en los costos, a pesar de que se evita incurrir en gastos de protocolos hormonales para SOV de donadoras, de acuerdo a Aponte & Hernández (2008).

Según Palma (2008) y Oyuela & Jiménez (2010), la situación ideal es aquella donde las receptoras son del propio establecimiento dado que su historia reproductiva es conocida y al haber sido criadas en el lugar, el estrés sufrido será menor; utilizando estas receptoras, se suele obtener un 10% a un 15% más de preñez que con el empleo de animales recientemente incorporados al lote.

En el presente trabajo se evidencia que por la técnica de OPU, FIV y TE, para el productor el mayor costo del programa, es el mantenimiento de las receptoras hasta lograr su preñez; este es el factor económico más importante de todo el programa, dada la cantidad de receptoras que implican un capital, ocupan campo, se alimentan y reciben los cuidados sanitarios y de manejo normales, como lo reportan Oyuela & Jiménez (2010),

contrario a lo que sucede en los esquemas de SOV, que el mayor costo lo representa la donadora (Bolivar & Maldonado, 2008), esto debido a que en este proceso la donadora solo se superovula cuatro veces al año, pero para el caso de la OPU una donadora se puede aspirar cada 15 días, mejorando su rendimiento en producción de embriones transferibles por donadora al año (Galli et al., 2003; Pontes et al., 2011).

De acuerdo con el estudio de Bolivar & Maldonado (2008), el costo del proceso de TE aumenta como consecuencia de la eficiencia del protocolo hormonal, representada en los embriones transferidos que no logran una

gestación exitosa, por lo tanto, hay que considerar que los costos del programa pueden aumentar ya que todas las receptoras no son seleccionadas para recibir un embrión, porque son refractarias al tratamiento o los cuerpos lúteos no son del tamaño adecuado al momento de la transferencia.

En el presente estudio se calcularon los costos de producir un embrión hasta los 90 días de preñez, pero debido a la importancia de la receptora en el programa se propone para los siguientes estudios, estimar el costo de llevar un embrión al nacer y apreciar la función íntegra de la receptora en los programas de TE.

3. Conclusiones

Se determinó que el costo de producción de un embrión transferido y confirmado a los 90 días de preñez es de \$834,834 (\$267.1 dólares), obtenido por la técnica de T.E acompañada de la Aspiración Folicular de Oocitos (OPU) y aplicando la Fertilización In vitro (FIV). El mayor rubro lo comprende la amortización de la receptora, abarcando el 64.23 % de los costos de producción.

En los insumos y materiales donde se incluye el protocolo de sincronización de las receptoras, este comprende el 10.48 % de los costos, porque existe un sobre costo en este protocolo, debido a la eficiencia que presentan las receptoras que se sincronizan y no responden al mismo y a la eficiencia variable en el porcentaje de preñez al final del programa.

Se evidenció que, en la producción de embriones por esta técnica, el factor económico más importante y el que representa el mayor costo en el programa lo constituyen las receptoras, puesto que implican una

inversión en capital, reciben los cuidados sanitarios y el manejo hormonal para ser transferidas; además que su respuesta es variable, requieren del manejo y mantenimiento adecuado hasta lograr su preñez.

Se empleó el estudio de tiempos como análisis sistemático de las actividades implicadas en el proceso de T.E, y aplicada a la técnica de costeo directo se constituyó en una herramienta útil y práctica para el cálculo de los costos de producción por embrión, gracias a que se obtuvo de manera ágil el costo, separando las etapas del proceso (OPU y T.E), lo cual permitió establecer el impacto de cada ítem sobre los costos totales, debido a que se conoció la realidad en tiempo de cada proceso y se estableció como punto de partida las normas de rendimiento con respecto a las actividades del proceso, para que posteriores estudios en el área la contrasten, corrijan o incluyan nuevos elementos de interés al proceso de T.E en Colombia.

5. Referencias bibliográficas

1. Aponte, J. & Hernández, H. (2008). Historia y evolución de las biotecnologías aplicadas a la reproducción. En *Desarrollo sostenible de la ganadería doble propósito*, pp. 696–706.
2. Ariza, L. E., Camacho, W. & Serrano-Novoa, C. A. (2006). Evaluación retrospectiva de la tasa de preñez obtenida por transferencia de embriones en diferentes cruces bovinos en el municipio de Puerto Colombia. *Revista Electrónica de Veterinaria* 7, pp. 1–7.
3. Bó, G. A., Baruselli, P. S. & Mapletoft, R. J. (2012). Increasing pregnancies following synchronization of bovine recipients. *Animal Reproduction* 9 (3), pp. 312–317.
4. Bolivar, P. & Maldonado, J. (2008). Análisis de costos de esquemas de transferencia de embriones bovinos utilizados en Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21, pp. 351–364.
5. Bonilla-León, L., Mejía, A., Gómez, R., Torres, M. & Uribe, F. (2018). Viabilidad y tasa de preñez de embriones producidos in vitro a partir de semen sexado comparado con semen convencional en *Bos taurus* y *Bos indicus*. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 29 (4), pp. 1377–1385.
6. Bravo, K., Menéndez, J. & Peñaherrera, F. (2018). Importancia de los estudios de tiempos en el proceso de comercialización de las empresas. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*. <https://www.eumed.net/rev/oel/2018/05/comercializacion-empresas-ecuador.html>.
7. Bridges, P. J., Wright, D. J., Buford, W. I., Ahmad, N., Hernandez-Fonseca, H., McCormick, M. L., Schrick, F. N. & Dailey, R. A. (2000). Ability of induced corpora lutea to maintain pregnancy in beef cows. *Journal of Animal Science* 78 (11), pp. 2942–2949.
8. Correa-Orozco, A. & Fernando, L. (2010). La condición corporal como herramienta para pronosticar el potencial reproductivo en hembras bovinas de carne. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 63 (2), pp. 5607–5619.
9. Duica, A. (2010). *Efecto del diámetro del folículo ovulatorio, tamaño del cuerpo luteo y perfiles de progesterona sobre la tasa de preñez en la hembra receptora de embriones bovinos*. Tesis Maestría en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia.
10. Duica, A., Tovío, N. & Grajales, H. (2007). Factores que afectan la eficiencia reproductiva de la hembra receptora en un programa de transplante de embriones bovinos. *Revista de Medicina Veterinaria* 14, pp. 107–124.
11. Filipiak, Y. & Larocca, C. (2012). *Biotechnología en reproducción bovina*. Primera Ed. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
12. Galli, C., Duchi, R., Crotti, G., Turini, P., Ponderato, N., Colleoni, S.,

- Lagutina, I. & Lazzari, G. (2003). Bovine embryo technologies. *Theriogenology* 59, pp. 599–616.
13. Hansen, P. J. (2006). Realizing the promise of IVF in cattle - an overview. *Theriogenology* 65, pp. 119–125.
14. Hasler, J. F. (2003). The current status and future of commercial embryo transfer in cattle. *Animal Reproduction Science* 79 (3), pp. 245–264.
15. Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo*. Cuarta Ed. Ginebra, Suiza: Organización Internacional del Trabajo.
16. De la Fuente, J. (2005). Transferencia de embriones en ganado bovino. En *Reproducción Bovina*. Primera Ed. Mexico, (Capítulo 14) pp. 373–388.
17. Maldonado, J. G. & Bolívar, P. A. (2008). Racionalidad de los esquemas de superovulación y sincronización en la transferencia de embriones en bovinos: ¿terapéutica basada en la evidencia o ausencia de ética?. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 21, pp. 436–450.
18. Martínez, A. G., Brogliatti, G. M., Valcarcel, A. & De las Heras, M. A. (2002). Pregnancy rates after transfer of frozen bovine embryos: a field trial. *Theriogenology* 58, pp. 963–972.
19. Munar, C. J., Mujica, I., Martín, E., Irouleguy, J., Huter, S., Alonso, H., Arseno, M., Goitia, O., Farnetano, N. & Anchordoqui, J. P. (2013). Factores que afectan la eficiencia de las receptoras en ganado lechero y de carne. *Asociación Peruana de Reproducción Animal Spermova* 3 (1), pp. 15–22.
20. Nasser, L. F., Filho, M. F., Reis, E. L., Rezende, C. R., Mapletoft, R. J., Bó, G. A. & Baruselli, P. S. (2011). Exogenous progesterone enhances ova and embryo quality following superstimulation of the first follicular wave in Nelore (*Bos indicus*) donors. *Theriogenology* 76, pp. 320–327.
21. Oyuela, L. A. & Jiménez, C. (2010). Factores que afectan la tasa de preñez en programas de transferencia de embriones. *Revista Veterinaria y Zootecnia* 57, pp. 191–200.
22. Palma, G. A. (2008). *Biotecnología de la reproducción ciencia, tecnología y sociedad*. Segunda Ed. Argentina: Paraiso Machala.
23. Perez, B. C., Peixoto, M. G., Bruneli, F. T., Ramos, P. V. & Balieiro, J. C. (2016). Genetic analysis of oocyte and embryo production traits in Guzará breed donors and their associations with age at first calving. *Genetics and Molecular Research* 15 (2), pp. 1–9.
24. Pontes, J. H., Melo Sterza, F. A., Basso, A. C., Ferreira, C. R., Sanches, B. V., Rubin, K. C. & Seneda, M. M. (2011). Ovum pick up, in vitro embryo production, and pregnancy rates from a large-scale commercial program using Nelore cattle (*Bos indicus*) donors. *Theriogenology* 75 (9), pp. 1640–1646.
25. Quintela, L. A., Díaz, P. C., García, P. J., Peña, A. I. & Becerra, J. J. (2006). *Ecografía y reproducción en la vaca*. Segunda Ed. Santiago de Compostela: Imprenta Universitaria Campos Universitario Sur.
26. Restrepo, G. (2008). *Biotecnologías reproductivas aplicables a la producción bovina en Colombia*. Primera Ed. Medellin, Colombia: Politecnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
27. Rincón, C. A. & Villarreal, F. (2016). Mano de obra: estudio de tiempos. En

- Contabilidad de costos I. Componentes del costo con aproximaciones a las NIC 02 y NIIF 08*. Segunda Ed. Bogotá D.C., pp. 202–244.
28. Rodríguez, M., Vallejo, A., Batista, P. & Espasandin, A. C. (2011). Biotecnologías reproductivas aplicadas a la mejora genética animal. *Cangüe* 31, pp. 44–50.
 29. Seneda, M. M., Esper, C. R., García, J. M. Oliveira, J. A. & Vntini, R. (2001). Relationship between follicle size and ultrasound-guided transvaginal oocyte recovery. *Animal Reproduction Science*, 67 (2), pp. 37–43.
 30. Spell, A. R., Beal, W. E., Corah, L. R. & Lamb, G. C. (2001). Evaluating recipient and embryo factors that affect pregnancy rates of embryo transfer in beef cattle. *Theriogenology* 56 (2), pp. 287–297.
 31. Thibier, M. (2005). The zootechnical application of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives. *Reproduction, nutrition, development* 45, pp. 235–242.
 32. Vasconcelos, J. L., Sartori, R., Oliveira, H. N., Guenther, J. G. & Wiltbank, M. C. (2005). Reduction in size of the ovulatory follicle reduces subsequent luteal size and pregnancy rate. *Theriogenology* 56 (1), pp. 296–299.
 33. Viana, J. H. (2019). 2018 Statistics of embryo production and transfer in domestic farm animals. *Embryo Technology Newsletter* 36 (4), pp. 14–26.