



# Determinación del número mínimo de animales al comparar las medias de tratamiento mediante análisis de potencia

Ozgur Koskan<sup>1\*</sup> ; Hayati Koknaroglu<sup>1</sup> ; Yasin Altay<sup>2</sup> .

<sup>1</sup>Universidad de Ciencias Aplicadas de Isparta, Facultad de Agricultura, Departamento de Ciencia Animal, Isparta, Turquía

<sup>2</sup>Universidad de Eskisehir Osmangazi, Facultad de Agricultura, Departamento de Ciencia Animal, Eskisehir, Turquía

\*Correspondencia: [ozgurkoskan@isparta.edu.tr](mailto:ozgurkoskan@isparta.edu.tr)

Recibido: Noviembre 2021; Aceptado: Febrero 2022; Publicado: Mayo 2022.

## RESUMEN

**Objetivo.** El propósito de este estudio fue determinar el número mínimo de animales (tamaño mínimo de la muestra) en comparaciones de tratamientos con diferentes tamaños de efecto (0.25-2.0), el número de tratamientos (2-7) y la potencia de la prueba (80- 95%). Además, se desarrollaron ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica que estiman el tamaño mínimo de muestra que debe usarse en las comparaciones de tratamientos. **Materiales y métodos.** Dentro del alcance de esta investigación, se utilizó la ganancia media diaria (GMD) de los experimentos con ganado de engorde a corral realizados en la Universidad Estatal de Iowa con un total de 1283 novillos. La potencia de la prueba se calculó después de que se tomaron muestras aleatorias de los datos de GMD y se establecieron las diferencias entre los tratamientos en términos de desviación estándar. Este proceso se repitió 1000 veces mediante una macro escrita en el programa del paquete de Minitab en la cantidad de tratamientos y niveles de potencia a comparar. **Resultados.** Se encontró que las ecuaciones de regresión cúbica dieron resultados más fiables que las demás. Como resultado, después de determinar el número de tratamientos, la potencia de la prueba y el tamaño del efecto, se puede determinar fácilmente un número suficiente de unidades experimentales utilizando las ecuaciones de estimación creadas sin análisis de potencia. **Conclusiones.** De esta manera, se pueden prevenir los gastos excesivos de dinero y las pérdidas financieras en estudios científicos y se puede brindar la oportunidad de encontrar financiamiento más fácilmente.

**Palabras clave:** Tamaño del efecto; número mínimo de animales; tamaño de la muestra; análisis de potencia; simulación (*Fuente: CAB*).

## ABSTRACT

**Objective.** The purpose of this study was to determine the minimum number of animals (minimum sample size) in treatment comparisons with different effect sizes (0.25-2.0), the number of treatments (2-7), and the power of the test (80-95%). In addition, linear, quadratic, and cubic regressions equations that estimate the minimum sample size that should be used in treatment comparisons were developed. **Materials and methods.** Within the scope of this research, average daily gain

### Como citar (Vancouver).

Koskan O, Koknaroglu H, Altay Y. Determinación del número mínimo de animales al comparar las medias de tratamiento mediante análisis de potencia. Rev MVZ Córdoba. 2022; 27(2):e2572. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2572>



©El (los) autor (es) 2022. Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite a otros distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de modo no comercial, siempre y cuando den crédito y licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

(GDP) of feedlot cattle experiments conducted at Iowa State University totaling 1283 steers were used. The power of the test was calculated after random samples were taken from the GDP data and the differences between the treatments in terms of standard deviation were established. This process was iterated 1000 times via a macro written in the Minitab package program in the number of treatments and power levels to be compared. **Results.** It was found that the cubic regression equations gave more reliable results than others. As a result, after determining the number of treatments, the power of the test, and the effect size, a sufficient number of experimental units can be easily determined by using the estimation equations created without power analysis. **Conclusions.** In this way, excess money expenditure and financial loss in scientific studies can be prevented and the opportunity to find financing more easily can be provided.

**Keywords:** Effect size; minimum number of animals; sample size; power analysis; simulation (*Source; CAB*).

## INTRODUCCIÓN

El poder, en estadística, es la razón para rechazar la hipótesis  $H_0$  cuando  $H_1$  es correcta y la probabilidad de encontrar una diferencia cuando existe una diferencia real en la población. El error de tipo II es la probabilidad de no encontrar una diferencia aunque haya una diferencia. Por tanto, la potencia se define como error de tipo II (1). Cuando existen diferencias significativas entre tratamientos, la potencia es la probabilidad de que esta diferencia sea real (2). El poder de un estudio está determinado por tres factores: el tamaño de la muestra, el nivel alfa y el tamaño del efecto (3).

El análisis de potencia es la determinación del tamaño de la muestra en función de parámetros estadísticos en un estudio planificado. El tamaño de la muestra aumenta cuando el tamaño del efecto y el nivel de error de tipo I se mantienen bajos y la potencia de la prueba es alta (4). Para un tamaño de muestra adecuado, un tamaño de efecto más bajo aumenta la precisión de la estimación del parámetro. El tamaño del efecto pequeño para un tamaño de muestra adecuado aumenta la precisión de la estimación del parámetro (5). El éxito de la investigación aumentará si el tamaño de la muestra es suficiente, es decir, el número adecuado. El propósito de la investigación, los patrones de distribución estadística, los métodos de medición utilizados en la investigación, el modelo de investigación y los métodos de análisis estadístico son muy importantes para determinar el tamaño de la muestra. Para determinar el tamaño de la muestra, se deben conocer los parámetros de la población y se deben determinar las probabilidades de error de tipo I y de error de tipo II del tamaño del efecto. Cuando todos los demás factores se mantienen constantes, la potencia de la prueba disminuye a medida que disminuye la probabilidad de error de tipo I ( $\alpha$ )

determinada al principio (6). El análisis de poder experimental es la determinación del poder de las decisiones obtenidas en la dirección de una investigación concluida. En los controles de hipótesis, cuando la hipótesis nula se contrasta con la hipótesis alternativa y se toma la decisión, existen dos tipos de errores. Durante los controles, cuando se rechaza la hipótesis nula correcta ( $H_0$ ), se trata de un error de tipo I (7) y la probabilidad de cometer un error de tipo I se denota mediante  $\alpha$ . El error tipo II es el error que se comete al aceptar la hipótesis de control cuando la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) es correcta (8) y la probabilidad de cometer un error de tipo II se indica mediante  $\beta$ . La precisión de las decisiones tomadas en los controles de hipótesis depende de las probabilidades  $\alpha$  y  $\beta$ . En el control de hipótesis, la potencia de la prueba teóricamente varía entre 0 y 1. En general, se desea tener la potencia de la prueba del 80% y más, sin embargo si está por debajo del 50%, no permite comentar de forma fiable los resultados del estudio (8,9,10). Si se desea maximizar la probabilidad de alcanzar el resultado correcto en un control de hipótesis, la probabilidad de error tipo I debe preservar lo acordado originalmente y la probabilidad de la potencia de la prueba debe ser alta (11). Una probabilidad  $\beta$  más pequeña aumenta el poder del control de hipótesis. Esto depende de la distancia desde el valor de la muestra a la que se controlará la hipótesis para un  $\alpha$  y un tamaño de muestra dados.

Es necesario determinar qué tan efectivos son los niveles del factor examinado para explicar la variable considerada. Determinar el poder de la prueba o el número de individuos en la muestra para alcanzar un cierto poder es estimar el tamaño del efecto sobre la variable. Comenzar el análisis de potencia con la determinación del tamaño del efecto elimina la mayoría de los obstáculos que pueden surgir. Las pruebas de hipótesis normales en

un estudio pueden detectar diferencias entre dos tratamientos, sin embargo, los resultados no brindan al investigador información clara sobre esta diferencia. Dado que el tamaño del efecto también es una medida de la diferencia estandarizada, puede proporcionar esta información. El tamaño del efecto es importante para comparar los resultados de dos estudios cualesquiera realizados sobre las características consideradas.

En los últimos años, el análisis de potencia se ha utilizado ampliamente en protocolos de prueba de hipótesis, especialmente en estudios que involucran material biológico (12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24). En muchas áreas, el análisis de poder se considera un paso universal que debe realizarse antes de que se lleven a cabo los ensayos. Además, la potencia de la prueba se puede calcular fácilmente con la ayuda del tamaño de la muestra, el tamaño del efecto y la varianza (desviación estándar) (25). Antes de iniciar la investigación, determinar el tamaño de la muestra con la ayuda del análisis de poder es el método más efectivo para determinar la dinámica del estudio como el presupuesto, la mano de obra, el tiempo, etc. De esta manera, al determinar el tamaño de la muestra de la investigación, será más fácil encontrar financiación y no se desperdiciará tiempo ni dinero. Sin embargo, utilizar un tamaño de muestra superior al óptimo no será financieramente correcto, en términos de tiempo y mano de obra. Por estas razones, se ha vuelto esencial determinar el tamaño de la muestra en estudios científicos que utilizan material animal. Por estas razones, se ha vuelto fundamental determinar el tamaño de la muestra en estudios científicos que utilizan material animal.

Dado que el precio de compra y la alimentación de los animales son altos en los experimentos de ciencia animal, es importante determinar el tamaño mínimo de muestra utilizado en los experimentos. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue determinar el tamaño mínimo de la muestra en las comparaciones de tratamientos con desviaciones estándar de diferentes diferencias de medias con el análisis de poder.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la ganancia media diaria (GMD) de los experimentos con ganado de engorde a corral realizados en la Universidad Estatal de Iowa, con un total de 1283 novillos, para determinar la diferencia de medias en términos de desviación estándar. En el estudio, el tamaño mínimo de la muestra se determinó mediante la realización de análisis de potencia. Para ello se utilizaron combinaciones de dos tasas de potencias (95 y 80%), número de tratamientos (2,3,4,5,6,7), diferencia de medias en términos de desviación estándar (0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0).

La ganancia media diaria (GMD) de los novillos en el estudio fue de  $1.328 \pm 0.00549$  kg, y el porcentaje de la desviación estándar a la media (Coeficiente de Variación) fue de 14.83%. El control de cumplimiento de la distribución normal se realizó con la prueba de Anderson Darling, y se encontró que la GMD se distribuyó normalmente ( $p > 0.05$ ). Los valores de asimetría y curtosis en los estadísticos descriptivos en la Tabla 1 apoyan el resultado de la prueba de Anderson Darling de la GMD.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas de la ganancia media diaria (GMD).

Variable	N	Media	Media de error estándar	Desviación Estándar	Coeficiente de varianza	mínimo	Mediana	máximo	Oblicuidad	Curtosis
GDP	1283	1.328	0.005	0.197	14.830	0.545	1.335	2.102	-0.040	0.170

El tamaño del efecto, en otras palabras, la diferencia entre las medias en términos de desviación estándar se obtiene utilizando la Ecuación 1.

$$\Delta = \frac{(\mu_A - \mu_B)}{S_p} [1]$$

Cálculo de la prueba de potencia para comparar dos tratamientos (prueba t);

Cuando la probabilidad de error tipo I se denota como  $\alpha$  en el control de hipótesis, la hipótesis se acepta o rechaza como resultado de la comparación del valor de la tabla de la distribución t de grados de libertad  $(n_A - 1) + (n_B - 1)$  con el valor del estadístico de prueba. Si la hipótesis  $H_0$  es rechazada (inválida), el parámetro no central de la distribución relevante se calcula mediante la Ecuación 2.

$$\delta = \frac{|\mu_A - \mu_B|}{S_p} \sqrt{\frac{n}{2}} [2]$$

La potencia de la prueba se calcula con las ecuaciones 3, 4 y 5 utilizando la distribución  $t$  de  $(nA-1) + (nB-1)$  grados de libertad calculada con la ayuda de la ecuación 2 (26).

Poder de la prueba para la hipótesis bilateral =  $(1-\beta) = P(t < -t_{\alpha/2}) + P(t > t_{\alpha/2})$  [3]

Poder de la prueba para la hipótesis unilateral (derecha) =  $(1-\beta) = P(t > t_{\alpha})$  [4]

Poder de la prueba para la hipótesis unilateral (izquierda) =  $(1-\beta) = P(t < -t_{\alpha})$  [5]

Cálculo de la potencia de la prueba en 3 o más comparaciones de tratamientos (prueba F);

Cuando la probabilidad de error tipo I se denota como  $\alpha$  en el control de hipótesis, la hipótesis se acepta o rechaza como resultado de la comparación del valor de la tabla de la distribución F de grados de libertad (GASD -1) y (HSD-1) con el valor del estadístico de prueba. Si la hipótesis  $H_0$  es rechazada (inválida), el parámetro no central de la distribución correspondiente se calcula mediante la Ecuación 6.

$$\phi = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^k (\mu_i - \bar{\mu})}{k\sigma^2}} \quad [6]$$

Después de determinar  $\phi$  calculado con la ayuda de la Ecuación 6, la potencia de la prueba se calcula observando Hartley o las tablas de potencias (dfb -1) y los grados de libertad (dfw -1) se calculan observando Hartley o las tablas de potencias. Después de determinar el  $\phi$  calculado con la ayuda de la Ecuación 6, (dfb -1) y (dfw -1) grados de libertad conectados Hartley o tablas de potencias, se calcula la potencia de la prueba (27,28).

En el estudio, la GMD de 1283 novillos se consideró como población. Las muestras fueron creadas por muestreo aleatorio con un método de reemplazo teniendo en cuenta los parámetros de la población.

El enfoque experimental de la potencia de la prueba en el estudio de simulación es que dos poblaciones que tienen una media de  $\mu_x$  y varianzas  $\mu_y$  de  $y$  con distribución normal y se asume que son  $\mu_x = \mu_y + 1\Delta$ . En la siguiente etapa, se tomó la cantidad deseada de tamaño de muestra de las poblaciones y se verificó la significancia estadística de la diferencia entre los dos promedios de la muestra. Cuando este proceso se repite para el número de intentos (por ejemplo, 10000), la potencia de la prueba se calcula en términos de la probabilidad de rechazo proporcional (empírica) de la hipótesis  $H_0$ .

El tamaño mínimo de la muestra se estimó mediante la creación de ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica entre el número real de tratamientos con diferentes tamaños de potencia y efecto y el número estimado de tratamientos calculado por el método de remuestreo aleatorio de la población. Para este propósito, este proceso se repitió 1000 veces con la ayuda de una macro escrita en el programa del paquete de Minitab. Además, se crearon ecuaciones lineales, cuadráticas y cúbicas con potencia entre 80% y 95% por separado en términos de cada desviación estándar entre los promedios. Los modelos de regresión lineal, cuadrática y cúbica se dan en la Ecuación 7, la Ecuación 8 y la Ecuación 9, respectivamente.

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon_i \quad [7]$$

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 - \beta_2 X_1^2 + \varepsilon_i \quad [8]$$

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 - \beta_2 X_1^2 + \beta_3 X_1^3 + \varepsilon_i \quad [9]$$

Estas ecuaciones representan  $\hat{Y}_i$ : observación  $i$  de la variable dependiente y (número mínimo de animales),  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_3$ : parámetros de regresión,  $X_1$ : observación  $i$  de la variable independiente (número de tratamientos a comparar) y  $\varepsilon_i$ : error aleatorio.

## RESULTADOS

Las ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica creadas para determinar el tamaño mínimo de la muestra se diseñan en función de diferentes tamaños y potencias del efecto. Las ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica y las ecuaciones con diferente tamaño de efecto y potencia se dan en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, respectivamente. Además, se crearon ecuaciones lineales, cuadráticas y cúbicas con diferentes tamaños de efecto (0.25-2.00) y potencias entre 80% y 95%. Cuando se examinaron los coeficientes de determinación de las ecuaciones de regresión, se encontró que las ecuaciones de estimación más precisas eran las ecuaciones de estimación cúbica, cuadrática y lineal, respectivamente. En las ecuaciones de regresión lineal creadas para determinar el tamaño mínimo de la muestra, se observa que los coeficientes de determinación se acercan a 1 a medida que aumenta la potencia de la prueba y disminuye el tamaño del efecto (Tabla 2). El coeficiente de determinación de las ecuaciones con un tamaño de efecto de 1.50 y la potencia de la prueba es de 80 - 85%, lo que significa que existe una relación casi funcional entre ellas.

**Tabla 2.** Ecuación de regresión lineal y coeficientes de determinación de diferencias en términos de cada desviación estándar generada entre medias.

Potencia (1- $\beta$ )	$\Delta$	Ecuación de regresión	CD (R <sup>2</sup> )
80%	0.25	195.60 + 35.97 Tratamiento	97.7
	0.50	50.26 + 8.94 Tratamiento	97.1
	0.75	22.74 + 4.06 Tratamiento	97.3
	1.00	13.38 + 2.29 Tratamiento	98.0
	1.25	9.53 + 1.40 Tratamiento	98.5
	1.50	7.00 + 1.00 Tratamiento	100
	2.00	4.94 + 0.46 Tratamiento	91.4
85%	0.25	226.30 + 39.26 Tratamiento	97.7
	0.50	57.73 + 9.80 Tratamiento	97.2
	0.75	25.69 + 4.51 Tratamiento	98.0
	1.00	15.02 + 2.51 Tratamiento	97.6
	1.25	10.72 + 1.54 Tratamiento	96.1
	1.50	8.00 + 1.00 Tratamiento	100
	2.00	5.13 + 0.60 Tratamiento	92.2
90%	0.25	269.20 + 43.14 Tratamiento	97.70
	0.50	68.95 + 10.71 Tratamiento	97.67
	0.75	31.88 + 4.66 Tratamiento	97.11
	1.00	19.02 + 2.51 Tratamiento	97.61
	1.25	12.32 + 1.74 Tratamiento	96.94
	1.50	9.19 + 1.14 Tratamiento	97.96
	2.00	6.13 + 0.60 Tratamiento	92.20
95%	0.25	339.50 + 49.11 Tratamiento	97.54
	0.50	85.75 + 12.31 Tratamiento	97.32
	0.75	38.98 + 5.49 Tratamiento	98.01
	1.00	22.19 + 3.14 Tratamiento	96.39
	1.25	14.67 + 2.00 Tratamiento	98.13
	1.50	10.83 + 1.37 Tratamiento	96.81
	2.00	6.70 + 0.77 Tratamiento	96.13

CD: Coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>)

Los coeficientes de determinación de las ecuaciones de estimación lineal con un tamaño de efecto de 2.00 y una potencia de 80%, 85% y 90% tuvieron los valores más bajos y fueron 91.40, 92.20 y 92.20%, respectivamente. En las ecuaciones de estimación cuadrática, los coeficientes de determinación de todas las ecuaciones excepto la ecuación de estimación (91.40%), que tenía una potencia del 80% y un tamaño del efecto de 2.00, tenían valores de 99.20% y superiores (Tabla 3). Al igual que en las ecuaciones de estimación lineal simple, el tamaño del efecto es 1.50 y la potencia de la prueba es 80-85%, el coeficiente de expresión es aproximadamente 1 y existe una similitud en las ecuaciones de estimación cuadrática.

Se encontró que el uso de ecuaciones de estimación cúbicas, así como ecuaciones de estimación lineales y cuadráticas simples, sería más efectivo (Tabla 4). Los coeficientes de determinación de las ecuaciones de estimación cúbica con diferentes tamaños de efecto y potencia de la prueba generalmente fueron

aproximadamente 1. Al utilizar los números de tratamiento, las ecuaciones de estimación con un tamaño de efecto de 2.00 y la potencia de la prueba 80%, explicaron el 93.70% de la estimación del tamaño mínimo de la muestra. Esta ecuación de estimación cúbica tuvo el coeficiente de determinación más bajo. En otras ecuaciones de estimación, el uso del número de tratamientos para determinar el tamaño mínimo de la muestra en términos de GMD conducirá a resultados más precisos.

Las ecuaciones de estimación lineal, cuadrática y cúbica para el tamaño mínimo de muestra que se calcula considerando el número de tratamientos, diferente potencia y tamaño del efecto se dan en la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7. Se encontró que la cantidad de tratamientos determinado por las ecuaciones de estimación lineal disminuyó a medida que aumentaron los tamaños del efecto, y el número de animales aumentó a medida que aumentó la potencia de la prueba. En la comparación de dos tratamientos, los números de animales requeridos fueron 18, 20, 25 y 29 cuando la potencia de la prueba estuvo entre 80% y 95% y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) fue 1 (Tabla 5). En la comparación de tres tratamientos, el número mínimo de animales requerido fue 7, 7, 8 y 10 cuando la potencia de la prueba estuvo entre 80% - 95% y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) fue 2. En la comparación de siete tratamientos, el número mínimo de animales requerido era 448, 502, 572 y 684 cuando la potencia de la prueba estaba entre 80% y 95%, y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) era 0.25.

Si bien el número de tratamientos fue 2 en las ecuaciones de estimación cuadrática, se produjeron menos estimaciones en comparación con el tamaño de muestra mínimo encontrado al usar ecuaciones de estimación lineal con las mismas condiciones que el tamaño de muestra mínimo que se debe encontrar con diferente potencia y tamaño del efecto (Tabla 6). No existe una relación similar entre las ecuaciones de estimación cúbica y el número mínimo de animales encontrado usando las ecuaciones de estimación cuadrática. En la comparación de dos tratamientos, el número mínimo de animales requerido fue 68, 74, 87 y 106 cuando la potencia de la prueba estuvo entre 80% - 95% y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) fue 0.5. En la comparación de cinco tratamientos, el número mínimo de animales requerido fue 12, 13, 16 y 19 cuando la potencia de la prueba estuvo entre 80% y 95% y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) fue 1,5. En la comparación de siete tratamientos, el número mínimo de animales requerido fue 9, 9, 11 y 12 cuando la potencia de la prueba estuvo entre 80% - 95% y el tamaño del efecto ( $\Delta$ ) fue 2.

**Tabla 3.** Ecuación de regresión cuadrática y coeficientes de determinación para diferencias en términos de cada desviación estándar generada entre medias.

Potencia (1-β)	Δ	Ecuaciones de regresión	Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )
80%	0.25	132.50 + 68.76 Tratamiento - 3.64 Tratamiento <sup>2</sup>	99.9
	0.50	32.61 + 18.10 Tratamiento - 1.02 Tratamiento <sup>2</sup>	99.8
	0.75	15.31 + 7.91 Tratamiento - 0.43 Tratamiento <sup>2</sup>	99.6
	1.00	10.29 + 3.89 Tratamiento - 0.18 Tratamiento <sup>2</sup>	99.2
	1.25	7.99 + 2.20 Tratamiento - 0.09 Tratamiento <sup>2</sup>	99.3
	1.50	7.00 + 1.00 Tratamiento - 0.00 Tratamiento <sup>2</sup>	100
	2.00	4.94 + 0.46 Tratamiento - 0.00- Tratamiento <sup>2</sup>	91.4
85%	0.25	157.60 + 74.94 Tratamiento - 3.96 Tratamiento <sup>2</sup>	99.8
	0.50	38.54 + 19.76 Tratamiento - 1.11 Tratamiento <sup>2</sup>	99.9
	0.75	18.26 + 8.37 Tratamiento - 0.43 Tratamiento <sup>2</sup>	99.9
	1.00	10.69 + 4.76 Tratamiento - 0.25 Tratamiento <sup>2</sup>	99.7
	1.25	7.63 + 3.15 Tratamiento - 0.18 Tratamiento <sup>2</sup>	98.9
	1.50	8.00 + 1.00 Tratamiento - 0.00 Tratamiento <sup>2</sup>	100
	2.00	3.57 + 1.40 Tratamiento - 0.09 Tratamiento <sup>2</sup>	96.6
90%	0.25	193.40 + 82.52 Tratamiento - 4.38 Tratamiento <sup>2</sup>	99.80
	0.50	50.07 + 20.52 Tratamiento - 1.09 Tratamiento <sup>2</sup>	99.80
	0.75	22.90 + 9.32 Tratamiento - 0.52 Tratamiento <sup>2</sup>	99.70
	1.00	14.69 + 4.76 Tratamiento - 0.25 Tratamiento <sup>2</sup>	99.70
	1.25	9.23 + 3.35 Tratamiento - 0.18 Tratamiento <sup>2</sup>	99.10
	1.50	7.64 + 1.95 Tratamiento - 0.09 Tratamiento <sup>2</sup>	99.20
	2.00	4.57 + 1.40 Tratamiento - 0.09 Tratamiento <sup>2</sup>	96.60
95%	0.25	250.30 + 95.40 Tratamiento - 5.14 Tratamiento <sup>2</sup>	99.80
	0.50	62.23 + 24.53 Tratamiento - 1.36 Tratamiento <sup>2</sup>	99.80
	0.75	30.31 + 9.99 Tratamiento - 0.50 Tratamiento <sup>2</sup>	99.70
	1.00	15.07 + 6.84 Tratamiento - 0.41 Tratamiento <sup>2</sup>	99.90
	1.25	11.57 + 3.61 Tratamiento - 0.18 Tratamiento <sup>2</sup>	99.80
	1.50	8.04 + 2.82 Tratamiento - 0.16 Tratamiento <sup>2</sup>	99.60
	2.00	5.46 + 1.41 Tratamiento - 0.07 Tratamiento <sup>2</sup>	97.90

**Tabla 4.** Ecuación de regresión cúbica y coeficientes de determinación para diferencias en términos de cada desviación estándar generada entre medias

Potencia (1-β)	Δ	Ecuaciones de regresión	Coefficiente de determinación (R <sup>2</sup> )
80%	0.25	85.62 + 106.90 Tratamiento - 12.89 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.69 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.50	18.05 + 29.97 Tratamiento - 3.893 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.21 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.75	7.71 + 14.10 Tratamiento - 1.93 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.11 Tratamiento <sup>3</sup>	99.9
	1.00	3.95 + 9.05 Tratamiento - 1.43 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.09259 Tratamiento <sup>3</sup>	99.8
	1.25	8.62 + 1.69 Tratamiento + 0.04 Tratamiento <sup>2</sup> - 0.01 Tratamiento <sup>3</sup>	99.3
	1.50	1.48 + 4.53 Tratamiento - 0.71 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.05 Tratamiento <sup>3</sup>	99.8
	2.00	7.48 - 1.61 Tratamiento + 0.50 Tratamiento <sup>2</sup> - 0.04 Tratamiento <sup>3</sup>	93.7
85%	0.25	104.40 + 118.30 Tratamiento - 14.46 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.78 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.50	27.14 + 29.05 Tratamiento - 3.36 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.17 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.75	13.19 + 12.50 Tratamiento - 1.43 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.07 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	1.00	5.62 + 8.89 Tratamiento - 1.25 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.07 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	1.25	5.10 + 5.21 Tratamiento - 0.68 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.04 Tratamiento <sup>3</sup>	99.1
	1.50	8.00 + 1.00 Tratamiento + 0.00 Tratamiento <sup>2</sup> - 0.00 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	2.00	2.95 + 1.92 Tratamiento - 0.21 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.01 Tratamiento <sup>3</sup>	96.6
90%	0.25	133.20 + 131.50 Tratamiento - 16.25 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.88 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.50	34.24 + 33.41 Tratamiento - 4.21 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.23 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.75	14.67 + 16.02 Tratamiento - 2.14 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.12 Tratamiento <sup>3</sup>	99.90
	1.00	9.62 + 8.89 Tratamiento - 1.25 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.07 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	1.25	5.43 + 6.44 Tratamiento - 0.93 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.06 Tratamiento <sup>3</sup>	99.50
	1.50	4.48 + 4.53 Tratamiento - 0.71 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.05 Tratamiento <sup>3</sup>	99.80
	2.00	3.95 + 1.92 Tratamiento - 0.21 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.01 Tratamiento <sup>3</sup>	96.60
95%	0.25	178.10 + 154.20 Tratamiento - 19.39 Tratamiento <sup>2</sup> + 1.06 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.50	45.76 + 37.94 Tratamiento - 4.611 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.24 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	0.75	22.71 + 16.17 Tratamiento - 2.00 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.11 Tratamiento <sup>3</sup>	99.90
	1.00	11.90 + 9.42 Tratamiento - 1.04 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.05 Tratamiento <sup>3</sup>	100
	1.25	11.57 + 3.61 Tratamiento - 0.18 Tratamiento <sup>2</sup> - 0.00 Tratamiento <sup>3</sup>	99.80
	1.50	6.14 + 4.37 Tratamiento - 0.54 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.03 Tratamiento <sup>3</sup>	99.80
	2.00	4.19 + 2.45 Tratamiento - 0.32 Tratamiento <sup>2</sup> + 0.02 Tratamiento <sup>3</sup>	98.10

**Tabla 5.** Número de animales por tratamiento determinado por regresión lineal con diferentes tamaños de efecto y potencia.

Pruebas Estadísticas	Numero de tratamientos	1- $\beta$	$\Delta=0.25$	$\Delta=0.5$	$\Delta=0.75$	$\Delta=1$	$\Delta=1.25$	$\Delta=1.5$	$\Delta=2$
t	2	0.80	268	69	31	18	13	9	6
		0.85	305	78	35	20	14	10	7
		0.90	356	91	42	25	16	12	8
		0.95	438	111	50	29	19	14	9
F	3	0.80	304	77	35	21	14	10	7
		0.85	344	88	40	23	16	11	7
		0.90	399	102	46	27	18	13	8
		0.95	487	123	56	32	21	15	10
F	4	0.80	340	86	39	23	16	11	7
		0.85	384	97	44	25	17	12	8
		0.90	442	112	51	30	20	14	9
		0.95	536	135	61	35	23	17	10
F	5	0.80	376	95	43	25	17	12	8
		0.85	423	107	49	28	19	13	9
		0.90	485	123	56	32	22	15	10
		0.95	586	148	67	38	25	18	11
F	6	0.80	412	104	47	27	18	13	8
		0.85	462	117	53	31	20	14	9
		0.90	529	134	60	35	23	17	10
		0.95	635	160	72	42	27	20	12
F	7	0.80	448	113	52	30	20	14	9
		0.85	502	127	58	33	22	15	10
		0.90	572	144	65	37	25	18	11
		0.95	684	172	78	45	29	21	13

**Tabla 6.** Número de animales por tratamiento determinado por regresión cuadrática con diferentes tamaños de efecto y potencia.

Pruebas Estadísticas	Numero de tratamientos	1- $\beta$	$\Delta=0.25$	$\Delta=0.5$	$\Delta=0.75$	$\Delta=1$	$\Delta=1.25$	$\Delta=1.5$	$\Delta=2$
t	2	0.80	256	68	30	18	12	9	6
		0.85	292	74	34	20	14	10	6
		0.90	341	87	40	24	16	12	8
		0.95	421	106	49	28	19	14	8
F	3	0.80	306	78	36	21	14	10	7
		0.85	347	88	40	23	16	11	7
		0.90	402	102	47	27	18	13	8
		0.95	491	124	56	32	21	16	10
F	4	0.80	350	89	41	23	16	11	7
		0.85	394	100	45	26	18	12	8
		0.90	454	115	52	30	20	14	9
		0.95	550	139	63	36	24	17	10
F	5	0.80	386	98	45	26	17	12	8
		0.85	434	110	50	29	19	13	9
		0.90	497	126	57	33	22	16	10
		0.95	599	151	68	39	26	19	11
F	6	0.80	414	105	48	28	18	13	8
		0.85	465	118	53	31	20	14	9
		0.90	532	134	61	35	23	17	10
		0.95	638	161	73	42	27	20	12
F	7	0.80	436	110	50	29	19	14	9
		0.85	488	123	56	32	21	15	9
		0.90	557	141	63	36	24	17	11
		0.95	667	168	76	43	29	20	12

Se encontró que cuando el número de tratamientos fue 2 (prueba t), el tamaño mínimo de muestra obtenido con ecuaciones de estimación cúbica fue menor que el determinado por ecuaciones de predicción lineal y cuadrática. Sin embargo, en la prueba F, los modelos cúbicos difieren de otros modelos. Cuando se realizó el análisis, se encontró que el tamaño mínimo de muestra en cada tratamiento fue 418 cuando la potencia fue del 95%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue 0.25 y el número del tratamiento fue 2. Cuando el análisis fue realizado, se encontró que el tamaño mínimo de muestra en cada tratamiento fue 13 cuando la potencia fue de 90%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue de 1.5 y el número de tratamiento fue de 3. Cuando se realizó el análisis se encontró que el tamaño mínimo de la muestra en cada tratamiento fue 10 cuando

la potencia fue del 95%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue 2 y el número del tratamiento fue 2. Cuando se realizó el análisis se encontró que el tamaño mínimo de la muestra en cada tratamiento fue de 560 cuando la potencia fue de 90%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue de 0.25 y el número del tratamiento fue de 7. Cuando se realizó el análisis se encontró que el tamaño mínimo de muestra en cada tratamiento fue de 30 cuando la potencia fue 90%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue 1.0 y el número del tratamiento fue 4. Cuando se realizó el análisis se encontró que el tamaño mínimo de muestra en cada tratamiento fue 8 cuando la potencia fue 80%, la diferencia de medias en términos de desviación estándar fue 2 y el número de tratamiento fue 7 (Tabla 7).

**Tabla 7.** Número de animales por tratamiento determinado por regresión cúbica con diferentes tamaños de efecto y potencia

Pruebas Estadísticas	Numero de tratamientos	1- $\beta$	$\Delta=0.25$	$\Delta=0.5$	$\Delta=0.75$	$\Delta=1$	$\Delta=1.25$	$\Delta=1.5$	$\Delta=2$
t	2	0.80	254	65	29	17	12	8	6
		0.85	290	74	33	19	14	10	6
		0.90	339	87	40	23	16	12	8
		0.95	418	106	48	27	19	13	8
F	3	0.80	309	79	36	21	14	10	7
		0.85	351	89	40	23	16	11	7
		0.90	406	103	47	28	18	13	9
		0.95	495	125	57	33	21	16	10
F	4	0.80	351	90	41	24	16	12	7
		0.85	396	101	45	26	18	12	8
		0.90	456	116	53	30	20	15	9
		0.95	553	140	63	36	24	17	11
F	5	0.80	384	98	44	25	17	12	8
		0.85	432	110	50	28	19	13	9
		0.90	495	125	57	33	22	16	10
		0.95	597	151	68	39	26	19	11
F	6	0.80	411	104	47	27	18	13	8
		0.85	462	117	53	30	20	14	9
		0.90	528	133	60	34	23	16	10
		0.95	634	160	72	42	27	20	12
F	7	0.80	438	111	50	29	19	14	8
		0.85	491	124	56	32	21	15	9
		0.90	560	142	64	37	25	18	11
		0.95	670	169	77	43	29	20	12

## DISCUSIÓN

En general, considerando todas las condiciones, en todas las ecuaciones de estimación, el tamaño de la muestra aumentó a medida que aumentó el número de tratamientos, el aumento en la potencia de la prueba aumentó el tamaño

de la muestra, mientras que el aumento en el tamaño del efecto provocó una disminución en el número de muestras. A medida que aumentó el tamaño del efecto, el tamaño de la muestra no se vio muy afectado, independientemente de la potencia de la prueba. Los resultados mostraron que el poder de la prueba depende del tamaño del efecto de la población y el tamaño



de la muestra tomada de estas poblaciones. Estos resultados son similares a los resultados reportados por otros investigadores (29,30).

Los resultados de nuestra potencia de la prueba no estuvo de acuerdo con los resultados de algunos investigadores cuando calcularon el poder de la prueba si la varianza de la población era homogénea para dos o más comparaciones de tratamientos con diferentes tamaños de efecto (30, 31, 32). Se cree que la razón de esta contradicción se debe al hecho de que en los estudios antes mencionados se utilizaron poblaciones con diferentes varianzas mientras se formaban los tratamientos, se utilizaron diferentes cantidades de métodos de simulación o muestreo.

Aumentar el tamaño del efecto dará lugar a la oportunidad de trabajar con un tamaño de muestra más pequeño debido al aumento de la diferencia entre las medias a comparar (33). Estudios previos apoyan nuestro estudio. En términos de tamaño del efecto, en general, si el valor  $d$  de Cohen es menor que 0,20, tiene un tamaño de efecto grande, si está entre 0,20 y 0,50, tiene un tamaño de efecto medio, y si  $d > 0,80$ , tiene un tamaño de efecto débil (27). Esto significa que a medida que aumenta el número de comparaciones con tamaños de efecto grandes y la potencia de la prueba, aumenta el tamaño de muestra óptimo. Cuando se evaluó este caso en términos de tamaño de efecto medio y bajo, se encontró que había resultados similares con un tamaño de efecto grande. En general, antes de realizar el análisis de potencia, los investigadores determinan que la potencia de la prueba es del 80% (34). En una prueba con 80% de potencia, se encontró que a medida que aumenta el número de tratamientos, el tamaño de la muestra aumenta y el tamaño de la muestra disminuye con el aumento del tamaño del efecto, y los resultados de nuestro estudio concuerdan con estudios previos.

Se cree que la forma de la distribución es eficaz para determinar el tamaño de la muestra. Cuando las distribuciones no eran simétricas, (34) planeó un experimento con el número de observaciones de 4, 6, 8 y 10, y simuló repitiendo 10000 veces cada vez. La potencia de la prueba se calculó para las diferencias entre los promedios del tratamiento cuando la desviación estándar osciló entre 0,0 y 2,5. En el marco de los resultados obtenidos, no hubo similitud entre los resultados, ya que el presente estudio no fue simulado a partir de una distribución normal.

Los resultados mostraron que cuando otras variables eran similares, el tamaño mínimo de la muestra aumentaba a medida que aumentaba el

número de tratamientos, el tamaño mínimo de la muestra disminuía a medida que aumentaba la diferencia de medias en términos de la desviación estándar y el tamaño mínimo de la muestra disminuía a medida que aumentaba la potencia de la prueba. Resultados similares a los de este estudio fueron encontrados por (8).

En conclusión, los investigadores pueden hacer una verificación de hipótesis determinando el número de unidades experimentales con potencia entre 80% y 95%, utilizando ecuaciones y tablas relevantes sin realizar análisis de potencia antes de iniciar un estudio. Así, los investigadores podrán revelar diferencias importantes como resultado del control de hipótesis. De esta manera, cuando se determina el tamaño de muestra óptimo para cualquier variable, el tiempo y el dinero se gastarán sabiamente.

En el presente estudio de simulación, aunque se determinó la potencia de la prueba, los errores de tipo I y tipo II y los tamaños de muestra, el hecho de que en estudios anteriores no se desarrolló una ecuación de predicción para determinar el tamaño de muestra mínimo con diferentes tamaños de efecto y potencia aumenta la originalidad de este estudio.

El estudio se puede aplicar no solo para determinar el tamaño mínimo de la muestra, sino también para las características derivadas de cualquier material considerado. Con el uso de las ecuaciones de regresión lineal, cuadrática y cúbica encontradas, los investigadores pueden determinar fácilmente los tamaños de las muestras. Por esta razón, este estudio brindará la oportunidad de determinar fácilmente los tamaños de muestra con la potencia deseada y el tamaño del efecto sin necesidad de ningún software. Los resultados mostraron que la diferencia entre los resultados del estudio actual y los resultados del programa o software estadístico utilizados por los investigadores para el tamaño de la muestra no fue mucha y esto demuestra la importancia y la fortaleza del estudio actual.

### **Conflicto de intereses**

Los autores no tienen conflicto de intereses

### **Agradecimientos**

Este artículo se presenta como un breve texto completo en el X Congreso Internacional de Ciencia Animal. El Dr. Yasin ALTAY fue incluido en el estudio debido a sus contribuciones en el proceso del artículo.

## REFERENCIAS

1. Akobeng AK. Understanding type I and type II errors, statistical power and sample size. *Acta Paediatrica*. 2016; 105(6):605-609. <https://doi.org/10.1111/apa.13384>
2. Greenland S, Senn SJ, Rothman KJ, Carlin JB, Poole, C, Goodman SN, Altman DG. Statistical tests, P values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. *Eur J Epidemiol*. 2016; 31(4):337-350. <https://doi.org/10.1007/s10654-016-0149-3>
3. Cohen J. Statistical power analysis: Current Directions in Psychological Science 1992; 1(3):98-101. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10768783>
4. Wilcox RR. ANOVA: A paradigm for low power and misleading measures of effect size?. *Rev Educ Res*. 1995; 65(1):51-77. <https://doi.org/10.3102/00346543065001051>
5. Kelley K, Rausch, JR. Sample size planning for the standardized mean difference: Accuracy in parameter estimation via narrow confidence intervals. *Psychol Methods*. 2006; 11(4):363-385. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.11.4.363>
6. Houle TT, Penzien DB, Houle CK. Statistical power and sample size estimation for headache research: An overview and power calculation tools. *Headache*. 2005; 45(5):414-418. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4610.2005.05092.x>
7. Mascha EJ, Vetter TR. Significance, errors, power, and sample size: the blocking and tackling of statistics. *Anesth Analg*. 2018; 126(2):691-698. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002741>
8. Aslan E, Koşkan Ö, Altay Y. Determination of the Sample Size on Different Independent K Group Comparisons by Power Analysis. *Turk Tarim Arast Derg*. 2021; 8(1):34-41. <https://doi.org/10.19159/tutad.792694>
9. Szucs D, Ioannidis JP. Sample size evolution in neuroimaging research: An evaluation of highly-cited studies (1990–2012) and of latest practices (2017–2018) in high-impact journals. *NeuroImage*. 2020; 221:117-164. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117164>
10. Murphy KR, Myors B. Statistical power analysis: A simple and general model for traditional and modern hypothesis tests. Second Edition (2nd ed.). Mahwah, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers; 2004.
11. Lane SP, Hennes EP. Power struggles: Estimating sample size for multilevel relationships research. *J Soc Pers Relat*. 2018; 35(1):7-31. <https://doi.org/10.1177/0265407517710342>
12. Peterman RM. Statistical power analysis can improve fisheries research and management. *Can J Fish Aquat Sci*. 1990; 47(1):2-15. <https://doi.org/10.1139/f90-001>
13. Fairweather PG. Statistical power and design requirements for environmental monitoring. *Mar Freshw Res*. 1991; 42(5):555-567. <https://doi.org/10.1071/MF9910555>
14. Muller KE, Benignus VA. Increasing scientific power with statistical power. *Neurotoxicol Teratol*. 1992; 14(3):211-219. [https://doi.org/10.1016/0892-0362\(92\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0892-0362(92)90019-7)
15. Taylor BL, Gerrodette T. The uses of statistical power in conservation biology: the vaquita and northern spotted owl. *Conserv Biol Ser*. 1993; 7(3):489-500. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.07030489.x>
16. Searcy-Bernal R. Statistical power and aquacultural research. *Aquaculture*. 1994; 127(4):371-388. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90239-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90239-9)
17. Thomas L, Juanes F. The importance of statistical power analysis: an example from animal behaviour. *Anim. Behav*. 1996; 52(4):856-859. <https://doi.org/10.1006/anbe.1996.0232>
18. Thomas L, Retrospective power analysis. *Conservation Biology*. *Conservation Biology*. 1997; 11(1):276-280. <https://www.jstor.org/stable/2387304>
19. Pinu FR, Beale DJ, Paten AM, Kouremenos K, Swarup S, Schirra HJ, Wishart D. Systems biology and multi-omics integration: viewpoints from the metabolomics research community. *Metabolites*. 2019; 9(4):76. <https://doi.org/10.3390/metabo9040076>

20. Hoenig JM, Heisey DM. The abuse of power: the pervasive fallacy of power calculations for data analysis. *Am Stat.* 2001; 55(1):19-24. <https://doi.org/10.1198/000313001300339897>
21. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner AG. Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.* 2007; 39(2):175-191. <https://doi.org/10.3758/BF03193146>
22. La Rosa PS, Brooks JP, Deych E, Boone EL, Edwards DJ, Wang Q, Sodergren E, Weinstock G, Shannon WD. Hypothesis testing and power calculations for taxonomic-based human microbiome data. *PloS One.* 2012; 7(12):e52078. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052078>
23. Fanelli D. Do pressures to publish increase scientists' bias? An empirical support from US States Data. *PloS One.* 2010; 5(4):e10271. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010271>
24. Abt G, Boreham C, Davison G, Jackson R, Nevill A, Wallacea E, Williamsa M. Power, precision, and sample size estimation in sport and exercise science research. *J Sports Sci.* 2020; 38(17):1993-1935. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1776002>
25. Lewis KP. Statistical power, sample sizes, and the software to calculate them easily. *BioScience.* 2006; 56(7):607-612. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[607:SPSSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[607:SPSSAT]2.0.CO;2)
26. Zar JH. *Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition.* New Jersey, NJ, USA: Pearson Higher Edition; 2013.
27. Hartley HO. The maximum F-ratio as a short-cut test for heterogeneity of variance. *Biometrika.* 1950; 37(3/4):308-312. <https://doi.org/10.2307/2332383>
28. Pearson ES, Hartley HO. Charts of the power function for analysis of variance tests, derived from the non-central F-distribution. *Biometrika.* 1951; 38(1/2):112-130. <https://doi.org/10.2307/2332321>
29. Başpınar E, Gürbüz F, The power of the test in comparing samples of different sample sizes taken from binary combinations of Normal, Beta, Gamma (Chi-square) and Weibull distributions. *J Agric Sci.* 2000; 6(1):116-127. [https://doi.org/10.1501/Tarimbil\\_00000000940](https://doi.org/10.1501/Tarimbil_00000000940)
30. Lenth RV. Statistical power calculations. *J Anim Sci.* 2007; 85(13):24-29. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-449>
31. Başpınar E, Type I error and power of the test obtained by applying Student's t, Welch and sorted t-tests on two samples of different sample sizes taken from normal populations with different variance ratios. *J Anim Sci.* 2001; 7(1):151-157. [https://doi.org/10.1501/Tarimbil\\_0000000271](https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000271)
32. Koşkan Ö, Gürbüz F. Resampling approach and power of t-test and comparison of type I error. *J Anim Prod.* 2008; 49(1):29-37. <https://dergipark.org.tr/en/pub/hayuretim/issue/7617/99817>
33. Kalaycioğlu O, Akhanli SE. The importance and main principles of power analysis in health research: Application examples on medical case studies. *Turk J Public Health.* 2020; 18(1):103-112. <https://doi.org/10.20518/tjph.602400>
34. Mewhort, DJ, A comparison of the randomization test with the F test when error is skewed. *Behav Res Methods.* 2005; 37(3):426-435. <https://doi.org/10.3758/BF03192711>