

Prueba de hipótesis

Santos G

Tabla de contenidos

1	Contexto del proyecto	1
2	Carga de librerías y datos	1
3	Verificación de supuestos	2
4	Ejecución del Kruskal-Wallis global	3
5	Comparaciones post-hoc (Dunn, corrección Bonferroni)	4
6	Conclusiones generales	5
7	Anova con transformación logarítmica	6
8	Comparaciones post-hoc (Tukey HSD)	7
9	Conclusiones generales	8

1 Contexto del proyecto

El estudio de diferencias morfométricas entre especies es fundamental para comprender las adaptaciones ecológicas que presentan los organismos en relación con su ambiente y dieta. En el caso de los pingüinos de la Antártida, variables como el largo del pico permiten explorar cómo cada especie se especializa en la captura de presas y la ocupación de distintos nichos tróficos.

En este análisis trabajaremos con el dataset `palmerpenguins`, que contiene información morfométrica de tres especies (*Adelie*, *Chinstrap* y *Gentoo*). Previamente, los datos fueron limpiados y verificados, de modo que ahora podemos avanzar hacia las pruebas estadísticas que comparan medias entre grupos.

Pregunta de investigación:

¿Existen diferencias significativas en el largo del pico (*bill_length_mm*) entre las tres especies de pingüinos?

2 Carga de librerías y datos

```

1 #|label: prep
2 library(tidyverse) # dplyr, ggplot2, tidyr: manipulación de datos y gráficos
3 library(janitor) # clean_names(): estandarizar nombres de variables
4 library(palmerpenguins) # dataset de ejemplo (penguins)
5 library(car) # leveneTest(): prueba de homogeneidad de varianzas
6 library(rstatix) # funciones rápidas para ANOVA, Kruskal-Wallis, post-hoc
7 library(ggpubr) # visualización de resultados estadísticos
8
9 df_raw <- penguins %>% as_tibble() # guardo raw para auditoría
10 df <- df_raw %>% clean_names()

```

3 Verificación de supuestos

```

1 modelo <- aov(bill_length_mm ~ species, data = df)
2
3 # Normalidad de residuos
4 Normalidad <- shapiro.test(residuals(modelo))
5
6 # Homogeneidad de varianzas (Levene)
7 Homogeneidad <- leveneTest(bill_length_mm ~ species, data = df)
8
9 # Tablas
10 knitr::kable(
11   broom::tidy(Normalidad),
12   caption = "Test de normalidad de residuos (Shapiro-Wilk)"
13 )

```

Tabla 1: Test de normalidad de residuos (Shapiro-Wilk)

statistic	p.value	method
0.9890313	0.0113053	Shapiro-Wilk normality test

```

1 knitr::kable(
2   broom::tidy(Homogeneidad),
3   caption = "Test de homogeneidad de varianzas (Levene)"
4 )

```

Tabla 2: Test de homogeneidad de varianzas (Levene)

statistic	p.value	df	df.residual
2.242456	0.1077705	2	339

En la **Tabla 1** se presentan los resultados del test Shapiro-Wilk ($W = 0.989$, $p = 0.0113$). el valor p es menor a 0.05; por lo tanto, se rechaza la normalidad de los residuos. En cuanto a la homogeneidad de varianzas, en la **Tabla 2** se reflejan los resultados del test de Levene ($F = 2.242$, $p = 0.108$) arrojó un

valor p mayor a 0.05, lo que indica que no se rechaza este supuesto, es decir las varianzas entre grupos pueden considerarse similares.

En consecuencia, dado que el supuesto de normalidad no se cumple, aunque sí el de homogeneidad de varianzas, la opción más segura y robusta es realizar Kruskal–Wallis (prueba no paramétrica).

4 Ejecución del Kruskal-Wallis global

```
1 #|label: kruskal_global
2
3 # Kruskal-Wallis (global)
4 kruskal_res <- df %>% kruskal_test(bill_length_mm ~ species)
5
6 # Formatear p-value como p < 0.001 si es muy pequeño
7 kruskal_res <- kruskal_res %>%
8   mutate(p = ifelse(p < 0.001, "< 0.001", round(p, 3)))
9
10 knitr::kable(kruskal_res, caption = "Prueba Kruskal-Wallis global")
```

Tabla 3: Prueba Kruskal-Wallis global

.y.	n	statistic	df	p	method
bill_length_mm	342	244.1367	2	< 0.001	Kruskal-Wallis

En la **Tabla 1** se presentan los resultados de la prueba de Kruskal–Wallis: $\chi^2 = 244.14$, $gl = 2$, $p = < 0.001$. El valor p es mucho menor a 0.05, lo que indica diferencias altamente significativas en el largo del pico entre las tres especies de pingüinos.

```
1 #|label: epsilon-squared
2
3 # Tamaño de efecto (epsilon-squared)
4 Efe <- df %>% kruskal_effsize(bill_length_mm ~ species)
5 knitr::kable(Efe, caption = "Tamaño de efecto (epsilon-squared)")
```

Tabla 4: Tamaño de efecto (epsilon-squared)

.y.	n	effsize	method	magnitude
bill_length_mm	342	0.7142676	eta2[H]	large

En la **Tabla 2** se muestra el tamaño de efecto (ϵ^2): 0.7142676. Este resultado confirma que la magnitud de estas diferencias es muy grande: la variable “especie” explica aproximadamente el 71% de la variación en el largo del pico. Esto significa que el largo del pico no varía al azar, sino que está fuertemente determinado por la especie.

5 Comparaciones post-hoc (Dunn, corrección Bonferroni)

```

1 ##/ label: dunn_posthoc
2
3 # Dunn test con corrección Bonferroni
4 dunn_res <- df %>%
5   dunn_test(bill_length_mm ~ species, p.adjust.method = "bonferroni") %>%
6   mutate(p = ifelse(p < 0.001, "< 0.001", round(p, 3)),
7          p.adj = ifelse(p.adj < 0.001, "< 0.001", round(p.adj, 3)))
8
9 knitr::kable(dunn_res, caption = "Comparaciones post-hoc (Dunn, Bonferroni)")

```

Tabla 5: Comparaciones post-hoc (Dunn, Bonferroni)

.y.	group1	group2	n1	n2	statistic	p	p.adj	p.adj.signif
bill_length_mm	Adelie	Chinstrap	151	68	12.753511	< 0.001	< 0.001	****
bill_length_mm	Adelie	Gentoo	151	123	13.135630	< 0.001	< 0.001	****
bill_length_mm	Chinstrap	Gentoo	68	123	-	0.077	0.231	ns
					1.767498			

En la **Tabla 3** se presentan las comparaciones por pares (Dunn, Bonferroni):

- *Adelie* vs *Chinstrap*: $p.\text{adj} = < 0.001 \rightarrow$ significativo (****).
- *Adelie* vs *Gentoo*: $p.\text{adj} = < 0.001 \rightarrow$ significativo (****).
- *Chinstrap* vs *Gentoo*: $p.\text{adj} = 0.231 \rightarrow$ no significativo (ns).

Las comparaciones muestran que el largo del pico en *Adelie* difiere significativamente tanto de *Chinstrap* como de *Gentoo*. Mientras que entre *Chinstrap* y *Gentoo* no se detectan diferencias estadísticamente significativas en el largo del pico. Esto sugiere que la dieta de *Adelie* es distinta a la de las otras especies. Mientras que entre *Gentoo* y *Chinstrap*, podrían compartir parcialmente los mismos recursos tróficos. En conjunto, la prueba confirma una clara segregación de *Adelie* respecto a las otras especies, lo que reduce la competencia y favorece la coexistencia de las tres especies en el ecosistema antártico.

```

1 # Añadir posiciones y columnas útiles para gráficas
2 dunn_res <- dunn_res %>% add_xy_position(x = "species")
3
4 # Calcula un y-position razonable para las etiquetas
5 y_max <- max(df$bill_length_mm, na.rm = TRUE)
6 dunn_res <- dunn_res %>% mutate(y.position = y_max + seq(0.5, by = 0.5,
7   length.out = nrow(dunn_res)))
8
9 p <- ggplot(df, aes(x = species, y = bill_length_mm, fill = species)) +
10   geom_boxplot(alpha = 0.7) +
11   geom_jitter(width = 0.15, alpha = 0.5, size = 1) +
12   theme_minimal() +
13   theme(legend.position = "none") +
14   labs(x = "Especie", y = "Largo del pico (mm)",
15        title = "Comparación del largo del pico entre especies")

```

```

16
17 # Añadir anotaciones de p ajustadas
18 p + ggpubr::stat_pvalue_manual(dunn_res, label = "p.adj.signif",
19   tip.length = 0.01)

```

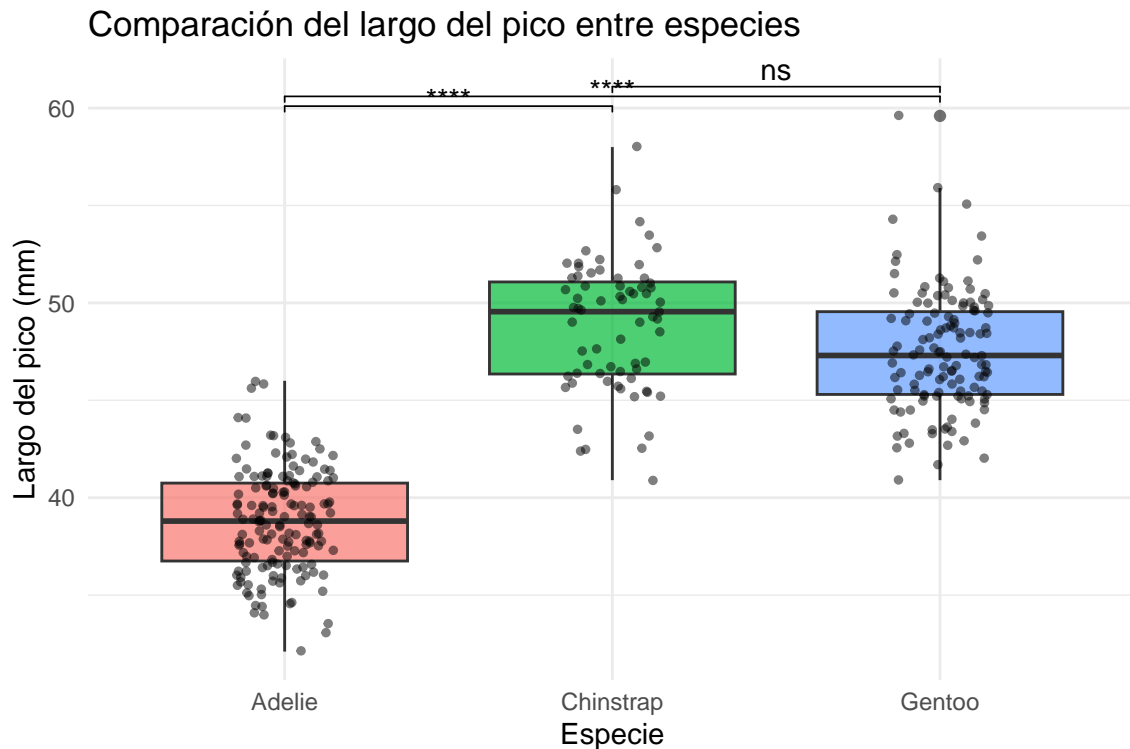


Figura 1: Boxplot de bill_length_mm por especie con comparaciones post-hoc (Dunn).

La **Figura 1** muestra la distribución del largo del pico en las tres especies de pingüinos (*Adelie*, *Chinstrap* y *Gentoo*). Se observa que los *Adelie* presentan valores menores y más concentrados (mediana cercana a 38–40 mm), mientras que los *Chinstrap* tienen los picos más largos (mediana en torno a 48–50 mm). Los *Gentoo* ocupan una posición intermedia, con valores cercanos a 46–48 mm y mayor variabilidad en comparación con *Adelie*.

Las comparaciones post-hoc de Dunn con corrección de Bonferroni evidencian diferencias altamente significativas en *Adelie* vs *Chinstrap* (****) y *Adelie* vs *Gentoo* (****). Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas entre *Chinstrap* vs *Gentoo* (ns).

6 Conclusiones generales

- El análisis estadístico mediante Kruskal–Wallis confirmó diferencias significativas en la distribución del largo del pico entre especies de pingüinos ($\chi^2 = 244.1$, $p < 0.001$), con un tamaño de efecto muy grande ($\varepsilon^2 = 0.71$). Esto indica que la especie explica una proporción sustancial de la variabilidad observada en la morfología del pico.
- Las pruebas post-hoc mostraron que los *Adelie* difieren significativamente de *Chinstrap* y *Gentoo*, mientras que estas dos últimas no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

- Desde una perspectiva ecológica, los resultados sugieren que *Adelie* ocupa un nicho trófico diferenciado, asociado al consumo de krill y pequeños invertebrados, lo que reduce la competencia directa con las otras especies. En cambio, *Gentoo* y *Chinstrap*, al presentar longitudes de pico más similares, podrían solaparse en el aprovechamiento de presas de mayor tamaño (peces e invertebrados grandes).
- En conjunto, los hallazgos respaldan la hipótesis de una segregación morfológica y trófica que favorece la coexistencia de las tres especies en el ecosistema antártico.

7 Anova con transformación logarítmica

```

1 df <- df %>%
2   mutate(log_bill_length = log(bill_length_mm))
3
4 modelo_log <- aov(log_bill_length ~ species, data = df)
5
6 # Supuestos
7 shapiro_res <- shapiro.test(residuals(modelo_log))
8 levene_res <- leveneTest(log_bill_length ~ species, data = df)
9
10 # Tablas
11 knitr::kable(
12   broom::tidy(shapiro_res),
13   caption = "Test de normalidad de residuos (Shapiro-Wilk)"
14 )

```

Tabla 6: Test de normalidad de residuos (Shapiro-Wilk)

statistic	p.value	method
0.9945676	0.2675526	Shapiro-Wilk normality test

```

1 knitr::kable(
2   broom::tidy(levene_res),
3   caption = "Test de homogeneidad de varianzas (Levene)"
4 )

```

Tabla 7: Test de homogeneidad de varianzas (Levene)

statistic	p.value	df	df.residual
0.5610386	0.571145	2	339

```

1 #|label: anova
2 Anova_res <- summary(modelo_log)
3 Anova_res

```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
species	2	3.846	1.9230	427.6	<2e-16 ***
Residuals	339	1.525	0.0045		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de la prueba de Anova (log-transformado): $F =$, $gl = 2$, $p =$. El valor p es mucho menor a 0.05, lo que indica diferencias altamente significativas en el largo del pico entre las tres especies de pingüinos.

8 Comparaciones post-hoc (Tukey HSD)

```
1 #|label: Post-hoc de Tukey
2
3 tukey_res <- TukeyHSD(modelo_log)
4 tukey_res
```

Tukey multiple comparisons of means
95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = log_bill_length ~ species, data = df)

\$species		diff	lwr	upr	p adj
Chinstrap-Adelie	0.23023589	0.20718014	0.253291643	0.000000	
Gentoo-Adelie	0.20292758	0.18375262	0.222102538	0.000000	
Gentoo-Chinstrap	-0.02730831	-0.05116498	-0.003451639	0.020178	

En la **Tabla 5** se presentan las comparaciones por pares (Tukey HSD):

- *Adelie* vs *Chinstrap*: $p_{adj} = \rightarrow$ diferencia significativa.
- *Adelie* vs *Gentoo*: $p_{adj} = \rightarrow$ diferencia significativa.
- *Chinstrap* vs *Gentoo*: $p_{adj} = \rightarrow$ diferencia significativa, aunque de magnitud mucho menor que en los otros contrastes.

Las comparaciones muestran que el largo del pico en *Adelie* difiere significativamente tanto de *Chinstrap* como de *Gentoo*. Mientras que entre *Chinstrap* y *Gentoo* no se detectan diferencias estadísticamente significativas en el largo del pico. Esto sugiere que la dieta de *Adelie* es distinta a la de las otras especies. Mientras que entre *Gentoo* y *Chinstrap*, podrían compartir parcialmente los mismos recursos tróficos. En conjunto, la prueba confirma una clara segregación de *Adelie* respecto a las otras especies, lo que reduce la competencia y favorece la coexistencia de las tres especies en el ecosistema antártico.

9 Conclusiones generales

- El ANOVA transformado confirma que el largo del pico difiere significativamente entre las tres especies de pingüinos.
- *Adelie* presenta picos claramente más cortos que *Chinstrap* y *Gentoo*, lo cual concuerda con su especialización en krill y pequeños invertebrados.
- *Chinstrap* posee picos más largos, asociados a una dieta más flexible (peces e invertebrados de mayor tamaño).
- *Gentoo*, aunque intermedio, muestra diferencias significativas con ambas especies: picos más largos que *Adelie* y ligeramente más cortos que *Chinstrap*.
- En conjunto, los resultados sugieren una segregación trófica clara de *Adelie*, mientras que *Gentoo* y *Chinstrap* solapan parcialmente en el uso de recursos, pero aun así presentan diferencias detectables estadísticamente.