

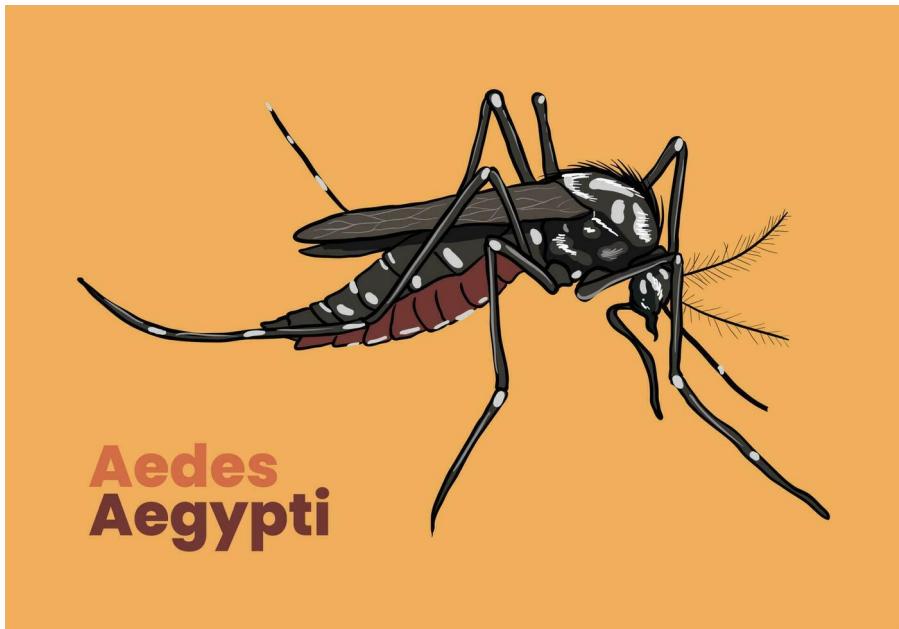
Control de larvas de mosquitos

Fernanda Federica Fernandez Licona

2026-02-06

Situación de investigación

Queremos evaluar el efecto de tres pesticidas sobre la supervivencia de larvas de *Aedes aegypti*. Estamos ensayando el pesticida en una zona en donde sabemos que existen distinta historia de exposición a contaminantes, lo que sospechamos puede afectar su respuesta. Desafortunadamente poco sabemos de los detalles de esas historias de exposición previa por lo que la consideramos como una fuente de variabilidad un poco compleja y no medible (Sokal and Rohlf 2013).



Resultados

Tratamiento	Tipo de territorio	Supervivencia (%)
Control	prístino	77.2

Tratamiento	Tipo de territorio	Supervivencia (%)
Pesticida_A	prístino	58.8
Pesticida_B	prístino	57.8
Control	uso humano medio	80.4
Pesticida_A	uso humano medio	60.6
Pesticida_B	uso humano medio	58.6
Control	muy alterado	82.3
Pesticida_A	muy alterado	53.7
Pesticida_B	muy alterado	46.6

Pregunta de investigación

¿Cómo afecta el tipo de pesticida a la supervivencia de larvas de *Aedes aegypti*, considerando territorios con distinta historia de exposición a contaminantes?

Tratamientos (efecto fijo)

Control

A: Mezcla de Bacillus thuringiensis, Beauveria bassiana, Peacelomyces fumorosae

B: Temefos

Tipo de territorio (efecto aleatorio)

- Prístino
- Uso humano medio
- Muy alterado

Variable respuesta

Supervivencia de larvas (%)

MODELO DE EFECTOS MIXTOS

Las diferentes variables (fija y aleatoria) sugieren que el problema corresponde a este tipo de modelo (Cuevas, Febrero, and Fraiman 2004).

Modelo:

$$Supervivencia_{ij} = \mu + Trat_i + (1 | Territorio_j) + \varepsilon_{ij}$$

```
library(lme4)
```

Cargando paquete requerido: Matrix

```
library(emmeans)
```

```
Welcome to emmeans.  
Caution: You lose important information if you filter this package's results.  
See '? untidy'
```

Análisis

Lectura de los datos

```
datos <- data.frame(  
  Tratamiento = factor(c("Control", "A", "B",  
                        "Control", "A", "B",  
                        "Control", "A", "B")),  
  Territorio = factor(c("Pristino", "Pristino", "Pristino",  
                        "Medio", "Medio", "Medio",  
                        "Alterado", "Alterado", "Alterado")),  
  Supervivencia = c(77.2, 58.8, 57.8,  
                   80.4, 60.6, 58.6,  
                   82.3, 53.7, 46.6)  
)
```

Exploración numérica

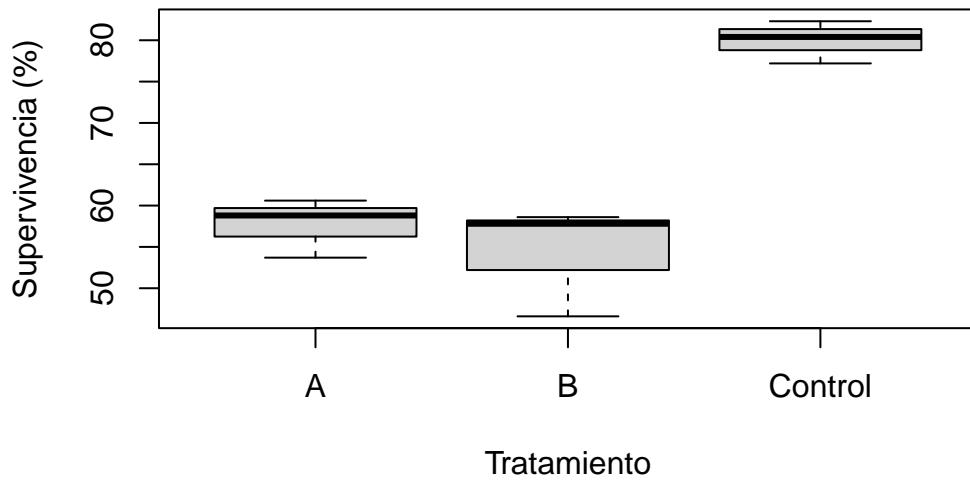
```
aggregate(Supervivencia ~ Tratamiento, datos, mean)
```

	Tratamiento	Supervivencia
1	A	57.70000
2	B	54.33333
3	Control	79.96667

En promedio, el control presentó la mayor supervivencia, mientras que los pesticidas redujeron la supervivencia larval, con una mayor efecto en la supervivencia por el tratamiento B: Temefos.

Representación gráfica

```
boxplot(Supervivencia ~ Tratamiento,  
        data = datos,  
        ylab = "Supervivencia (%)",  
        xlab = "Tratamiento")
```



Las diferencias entre los tratamientos y el control son drásticamente visibles en el gráfico.

ANOVA del modelo

```
modelo <- lmer(Supervivencia ~ Tratamiento + (1 | Territorio), data = datos)
anova(modelo)
```

```
Analysis of Variance Table
  npar Sum Sq Mean Sq F value
Tratamiento     2 1164.2   582.1  29.419
```

El análisis de varianza indicó que el tratamiento tuvo un efecto significativo sobre la supervivencia larval ($F = 29.42$, $gl = 2$, $p < 0.05$), lo que sugiere diferencias claras entre los tratamientos evaluados. Por lo que el siguiente paso es el de comparaciones múltiples.

Comparaciones múltiples

```
emmeans(modelo, pairwise ~ Tratamiento)
```

```
$emmeans
Tratamiento emmean    SE   df lower.CL upper.CL
A            57.7 2.68 5.93     51.1     64.3
B            54.3 2.68 5.93     47.8     60.9
```

```
Control      80.0 2.68 5.93      73.4      86.5
```

```
Degrees-of-freedom method: kenward-roger
```

```
Confidence level used: 0.95
```

```
$contrasts  
contrast   estimate    SE df t.ratio p.value  
A - B       3.37 3.63  4   0.927  0.6542  
A - Control -22.27 3.63  4  -6.131  0.0079  
B - Control -25.63 3.63  4  -7.058  0.0047
```

```
Degrees-of-freedom method: kenward-roger
```

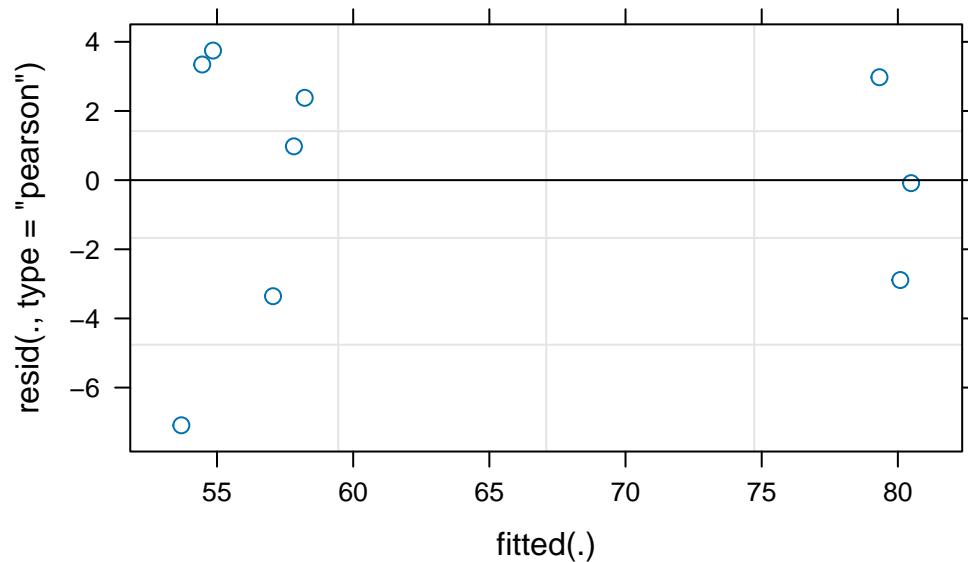
```
P value adjustment: tukey method for comparing a family of 3 estimates
```

Las medias estimadas indican que el tratamiento control presentó la mayor supervivencia larval, mientras que los tratamientos A y B redujeron la supervivencia a 58 % y 54 %, respectivamente.

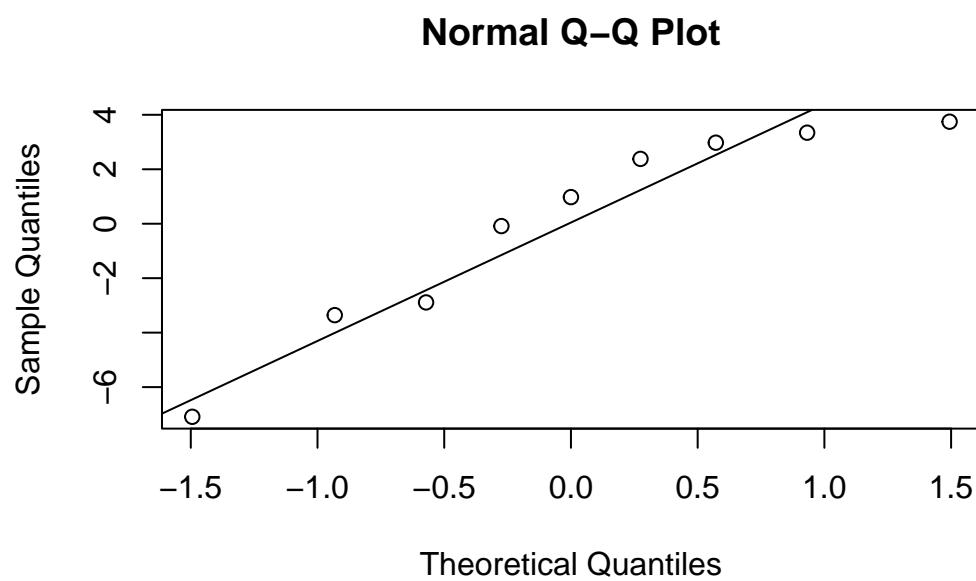
Las comparaciones múltiples ajustadas mostraron que ambos pesticidas reducen significativamente la supervivencia en comparación con el control, sin embargo, no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos A y B.

Diagnóstico del modelo

```
plot(modelo)
```



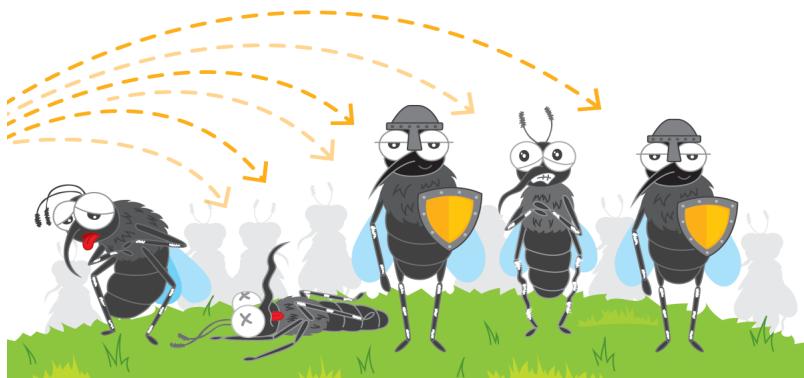
```
qqnorm(resid(modelo))
qqline(resid(modelo))
```



Los residuos se distribuyeron aleatoriamente alrededor de cero, lo que sugiere heterocedasticidad y el gráfico Q–Q de los residuos mostró una aproximación razonable a la normalidad, con desviaciones menores en los extremos.

Conclusión

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, atribuibles a la diferencia entre el grupo Control y los tratamientos A y B, los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí, en larvas de *Aedes aegypti*. El uso de un modelo de efectos mixtos permitió considerar la variabilidad asociada al territorio, fortaleciendo el análisis sobre el efecto del tratamiento (Fraker and Peacor 2008).



Referencias

- Cuevas, Antonio, Manuel Febrero, and Ricardo Fraiman. 2004. “An ANOVA Test for Functional Data.” *Computational Statistics & Data Analysis* 47 (1): 111–22. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2003.10.021>.
- Fraker, Michael E., and Scott D. Peacor. 2008. “Statistical Tests for Biological Interactions: A Comparison of Permutation Tests and Analysis of Variance.” *Acta Oecologica* 33 (1): 66–72. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2007.09.001>.
- Sokal, Robert R., and F. James Rohlf. 2013. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. W. H. Freeman; Company.