

Nanopartículas metálicas para el control de la **marchitez** vascular por ***Fusarium*** en tomate

FEBRERO 2026

DANIELA CUBILLOS BOLAÑOS

INDICE

INTRODUCCIÓN

HIPÓTESIS

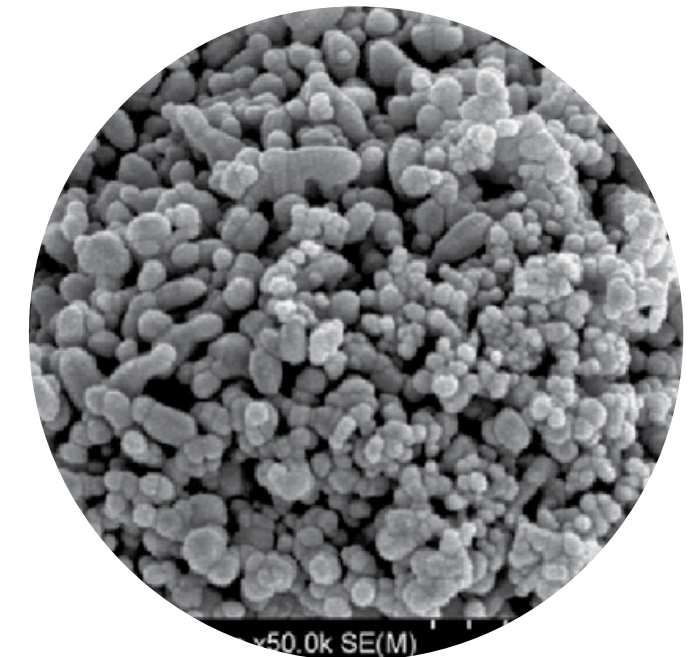
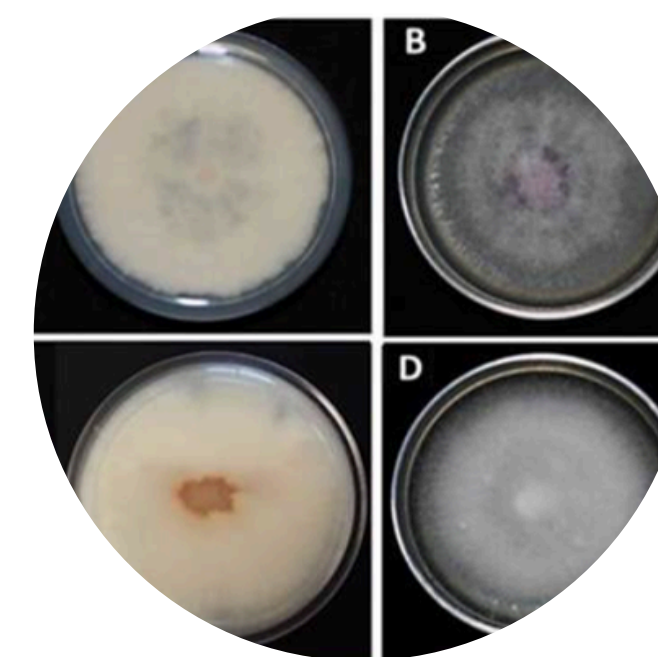
DAG

SIMULACIÓN DE DATOS

daniela.cubillos@posgrado.ecologia.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El cultivo de *Solanum lycopersicum* L. posee alta relevancia comercial mundial. La problemática fitosanitaria más grave que afecta su producción actualmente es la marchitez vascular que causa *Fusarium oxysporum*, por lo tanto, se plantea el uso de nanopartículas (NPs) metálicas ZnO y Cu, evaluando su efecto de inhibición de FOL.



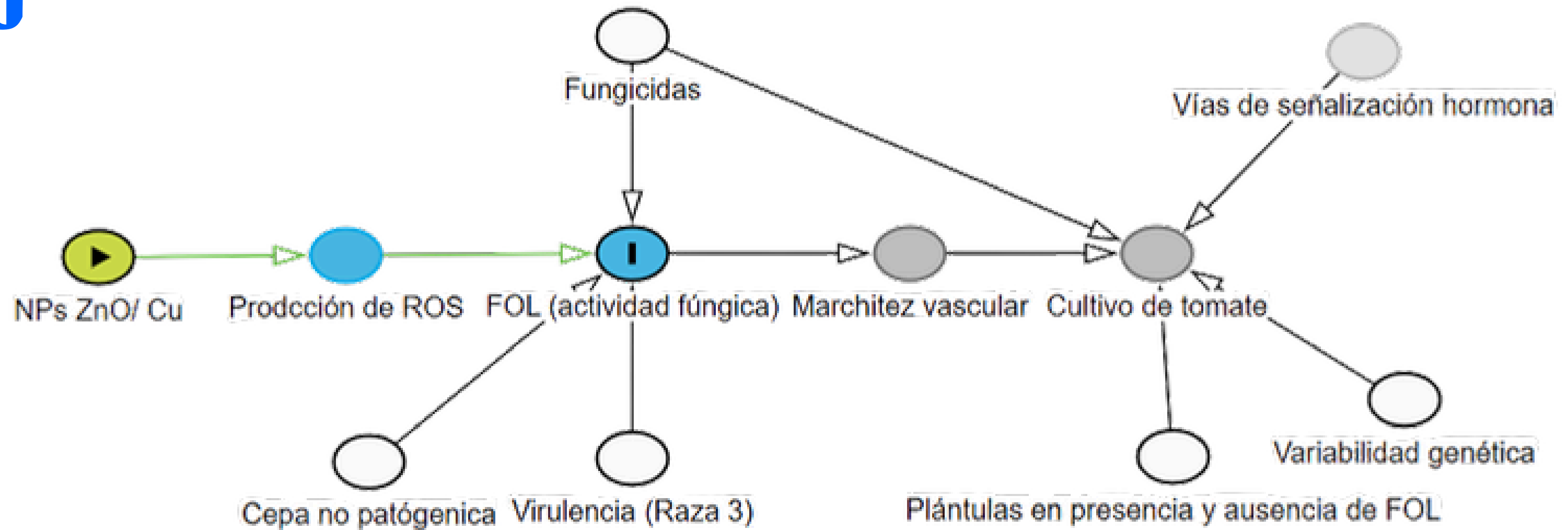
HIPÓTESIS

Pregunta de investigación:

¿Qué potencial antifúngica presentan las NPs de ZnO y Cu frente a *Fusarium oxysporum* en un modelo in vitro?

Ha: Las NPs de ZnO y Cu presentan un potencial antifúngico capaz de inhibir el desarrollo de *Fusarium oxysporum* in vitro, en comparación con el grupo control.

DAG



HIPÓTESIS

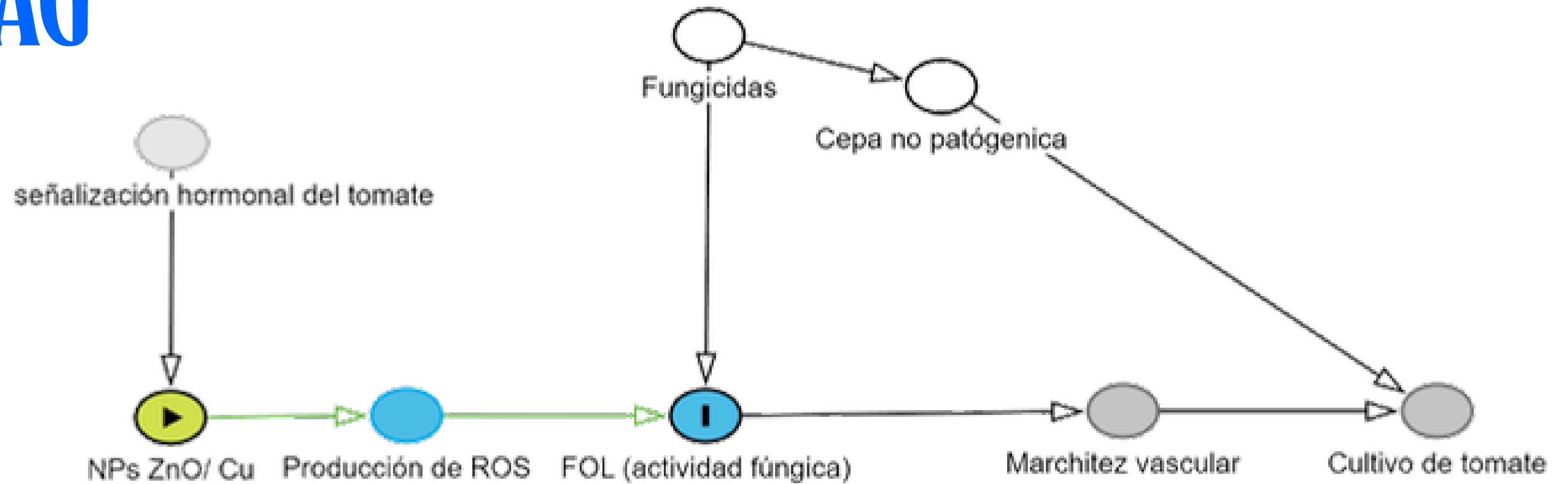
Pregunta de investigación:

¿Existe una diferencia significativa en la capacidad antifúngica de las NPs de ZnO y Cu?

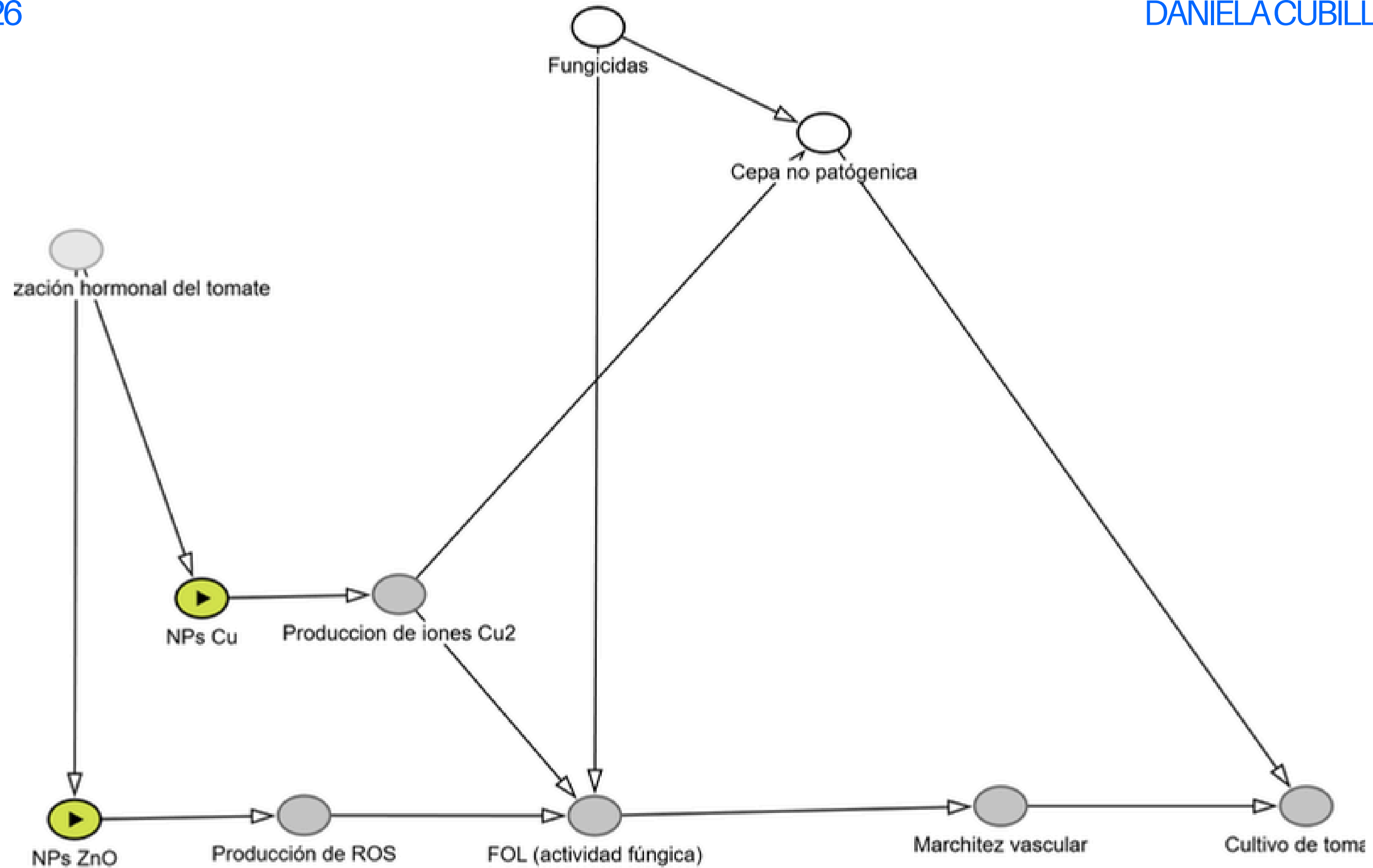
Si es específica o de amplio espectro

Ha: Las NPs de ZnO presentan mayor actividad antifúngica, debido a la producción de ROS en *Fusarium oxysporum*.

DAG



DAG



MODELO

$$y = \mu + NP + Conc + (NP \times Conc) + \varepsilon$$

GRUPO CONTROL
SIN FUNGICIDA

NPZNO
4[]

NPCU
4[]

CEPA PATONEGA

MODELO

$$y = \mu + NP + Conc + (NP \times Conc) + \varepsilon$$

GRUPO CONTROL
SIN FUNGICIDA

NPZNO
4[]

NPCU
4[]

CEPA PATONEGA

CEPA NO
PATONEGA

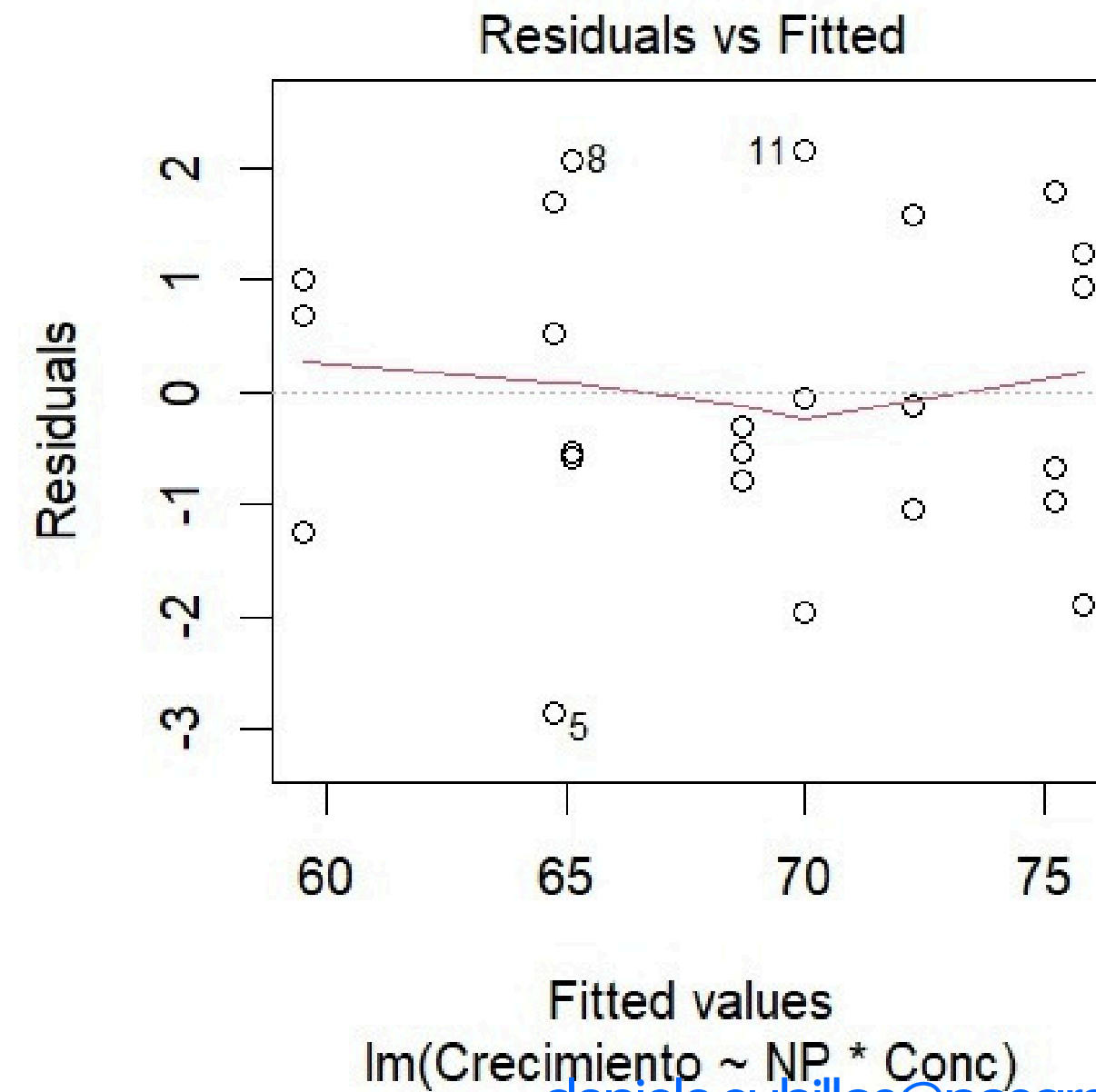
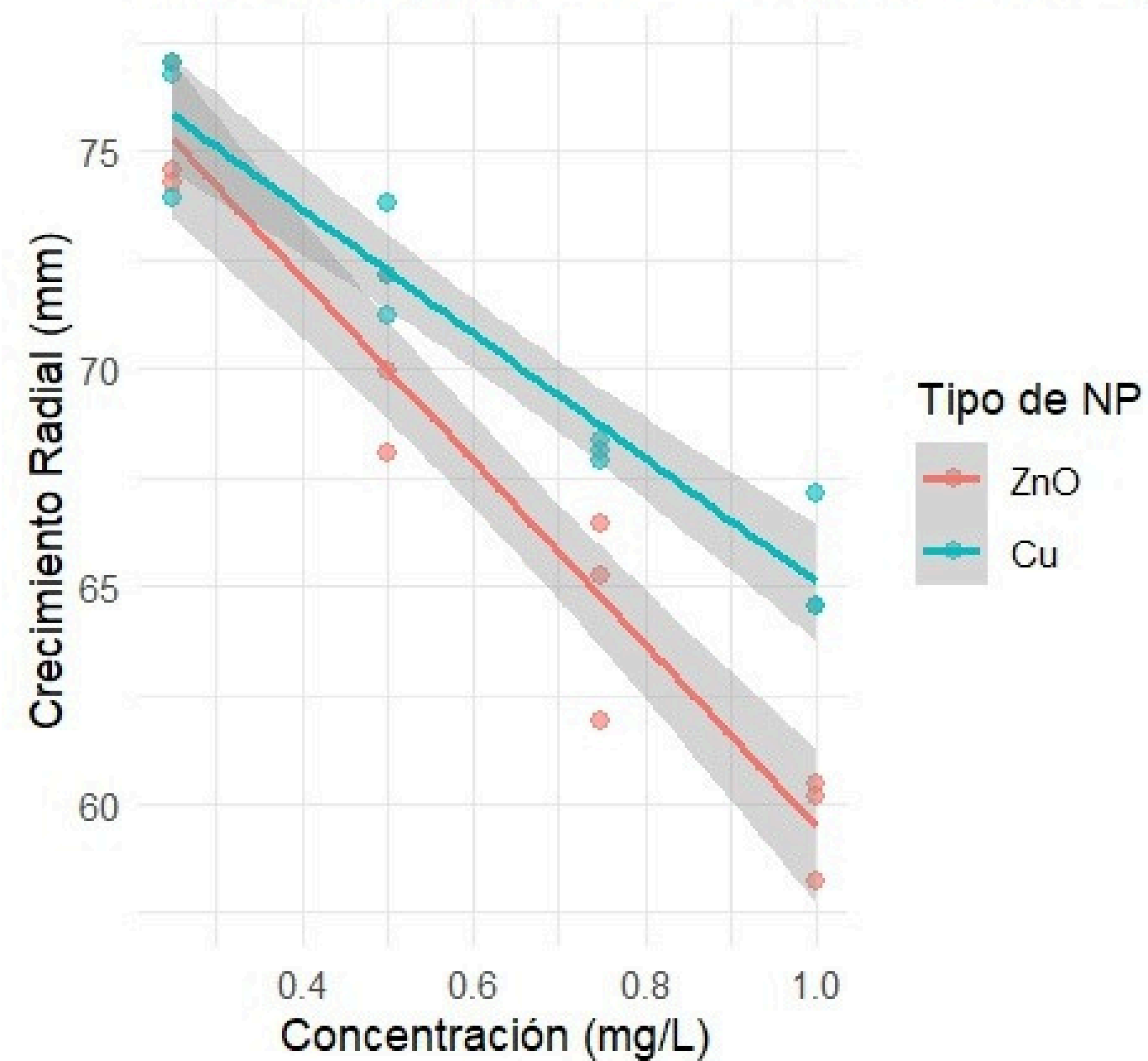
ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(> F)
NP	1	57.21506	57.21506	26.764144	4.619464e-05
Conc	1	585.24530	585.24530	273.766915	3.891788e-13
NP:Conc	1	21.14883	21.14883	9.893033	5.092779e-03
Residuals	20	42.75501	2.13775	NA	NA

PLOT

Efecto antifúngico NPs metálicas

Modelo de regresión lineal $Y = \mu + NP + Conc + (N$



R SCRIPT

```
set.seed(42)
n<-48 #número de observaciones
replicas<-3

#Modelo matemático lineal
#Y=mu+NP+Conc+(NP*Conc)+E#

#Tabla de datos
datos_NPs<-expand.grid(NP=c("ZnO", "Cu"),
Conc=c(0.25, 0.5, 0.75, 1), rep=1:3)
```

R SCRIPT

```
#Tabla de datos
datos_NPs<-expand.grid(NP=c("ZnO", "Cu"),
Conc=c(0.25,0.5,0.75,1), rep=1:3)
#ZnO tiene más potencia
datos_NPs$Crecimiento <- with(datos_NPs,{intercepto<-
80
efecto_Cu <- -15*Conc
efecto_ZnO <- -20*Conc

error <- rnorm(48, mean=0, sd=1.5)
```

R SCRIPT

```
ifelse(NP=="ZnO", intercepto + efecto_ZnO + error,  
intercepto + efecto_Cu + error))
```

```
modelo_hipotesis <- lm(Crecimiento~NP*Conc, data =  
datos_NPs)
```

```
#ANOVA
```

```
anova_r <- anova(modelo_hipotesis)  
View(anova_r)
```

```
#T.student
```

```
t.test(Crecimiento~NP, data=datos_NPs)
```

R SCRIPT

```
library(ggplot2)
ggplot(datos_NPs, aes(x = Conc, y = Crecimiento, color
= NP)) + # 'x' en minúscula
  geom_point(size = 2, alpha = 0.6) +
  geom_smooth(method = "lm", se = TRUE) +
  labs(
    title = "Efecto antifúngico NPs metálicas",
    subtitle = "Modelo de regresión lineal  $Y = \mu + NP$ 
+ Conc + (NP*Conc)",
    x = "Concentración (mg/L)",
    y = "Crecimiento Radial (mm)",
    color = "Tipo de NP"
  ) +
  theme_minimal()
plot(modelo_hipotesis, which = 1)
```