

PARCELAS DIVIDIDAS

Solución

1. Utilice los datos que se encuentran en el archivo `papel.Rdata`. Asegúrese que están bien definidos los factores método y temperatura.

```
load("papel.Rdata")
str(base)
```

```
## 'data.frame': 36 obs. of 4 variables:
## $ res : int 30 36 35 37 42 34 38 41 40 31 ...
## $ metodo: int 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 ...
## $ temp : int 200 275 225 250 275 200 250 225 275 200 ...
## $ lote : int 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 ...
```

```
base$metodo = factor(base$metodo)
levels(base$metodo)=c("M1", "M2", "M3")
base$temp = factor(base$temp)
base$lote=factor(base$lote)
str(base)
```

```
## 'data.frame': 36 obs. of 4 variables:
## $ res : int 30 36 35 37 42 34 38 41 40 31 ...
## $ metodo: Factor w/ 3 levels "M1","M2","M3": 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 ...
## $ temp : Factor w/ 4 levels "200","225","250",...: 1 4 2 3 4 1 3 2 4 1 ...
## $ lote : Factor w/ 9 levels "1","2","3","4",...: 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 ...
```

- La variable `lote` indica los lotes de pulpa, y se enumeran de 1 a 9 para diferenciar todos los lotes. Ponga juntas las variables `metodo` y `lote` para observar la correspondencia de los lotes con los métodos.

```
base[,c(2,4)]
```

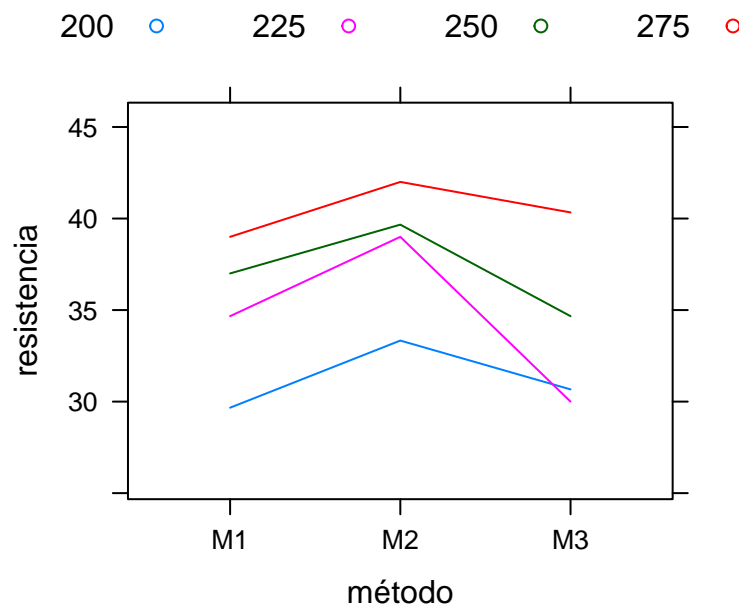
```
##      metodo lote
## 1      M1      1
## 2      M1      1
## 3      M1      1
## 4      M1      1
## 5      M2      2
## 6      M2      2
## 7      M2      2
## 8      M2      2
## 9      M2      3
## 10     M2      3
## 11     M2      3
## 12     M2      3
## 13     M1      4
## 14     M1      4
## 15     M1      4
## 16     M1      4
## 17     M3      5
## 18     M3      5
## 19     M3      5
## 20     M3      5
## 21     M1      6
## 22     M1      6
## 23     M1      6
```

```
## 24      M1      6
## 25      M3      7
## 26      M3      7
## 27      M3      7
## 28      M3      7
## 29      M2      8
## 30      M2      8
## 31      M2      8
## 32      M2      8
## 33      M3      9
## 34      M3      9
## 35      M3      9
## 36      M3      9
```

Los lotes 1, 4 y 6 fueron producidos con el método 1. En la variable lote se denominan 1, 2 y 3. Los lotes 2, 3 y 8 fueron producidos con el método 2 y también se denominan 1, 2 y 3 en la variable lote. Finalmente, los lotes 5, 7, 9 fueron producidos con el método 3 y también se denominan 1, 2 y 3 en la variable lote.

- Haga una representación gráfica de los datos para ver el comportamiento de la respuesta según método y temperatura. Analice primero la interacción entre método y temperatura. Use `type="a"` en la función `xyplot`. En los diseños de parcela divididas se pone más énfasis al factor que está en la subparcela, por lo que ese factor debe colocarse en `groups`, mientras que el factor de parcela se coloca en el eje X.

```
library(lattice)
xyplot(res ~ metodo, groups = temp, type="a", auto.key=list(columns=4),
       xlab="método", ylab="resistencia", data=base)
```



En el gráfico parece haber interacción entre temperatura y método ya que la distancia en el M3 entre los promedios de las temperaturas 200 y 225 son nulas, mientras que con el M1 son más diferentes. Sin embargo, esto puede causar dudas, pues en el resto de las comparaciones las diferencias se ven muy parecidas en todos los métodos. Más bien podría pensarse que en general no hay interacción

- Basado en lo que ve en el gráfico, se esperarí un efecto de la temperatura?

Los promedios para la temperatura 275 siempre son más altos que para la temperatura 200, las distancias son bastante grandes, por lo que sí se podría esperar un efecto. Sin embargo, es importante ver la variabilidad que hay en cada tratamiento.

2. ¿Qué implicaciones tendría una interacción entre método y temperatura?

Si hubiera interacción entre método y temperatura se esperarí que el efecto que tiene la temperatura fuera diferente para cada método.

- Haga el análisis usando la función `lmer` de la librería `lme4`. La parte aleatoria son los bloques que se separan con un `+` del resto del modelo y se pone entre paréntesis (`1|bloque`). La instrucción completa debe quedar de la siguiente forma: `lmer(Y~FP*FSP+(1|bloque))`.

```
library(lme4)
mod1=lmer(res~metodo*temp+ (1|lote),data=base)
```

- El anova que da esta librería no tiene las probabilidades asociadas, pero se pueden calcular con los valores de F que da el anova, siempre que se sepa cómo calcular los grados de libertad. Los grados de libertad para el error de parcela se obtienen sabiendo que los lotes están anidados dentro de cada método. Entonces se tienen $a(r-1)$ grados de libertad, donde a es el número de métodos y r el número de lotes por cada método. En este caso $3*(3-1)=6$. El error de subparcela se calcula con $n-p-gl.parcela$, donde p es el número de coeficientes (1 de intercepto, 2 de métodos, 3 de temperaturas, 6 de interacción, son 12 coeficientes), por lo que el error de parcela tiene $36-12-6=18$ grados de libertad. La probabilidad para la interacción se calcula con el error de subparcela.

```
anova(mod1)
```

```
## Analysis of Variance Table
##              npar Sum Sq Mean Sq F value
## metodo         2   33.47   16.736   3.9724
## temp           3  412.11  137.370  32.6066
## metodo:temp     6   58.06    9.676   2.2967
```

```
1-pf(2.2967,6,18)
```

```
## [1] 0.08015959
```

La probabilidad asociada a esta prueba es mayor que el nivel de significancia ($p=0.08$), por lo que no se rechaza la hipótesis de no interacción. De esta forma se asume que el efecto de la temperatura es el mismo para cada método.

3. Asumiendo que no hay interacción entre método y temp, se pueden probar dos hipótesis, una sobre el efecto del método usando los grados de libertad de parcela y otra sobre el efecto de la temperatura usando los grados de libertad de subparcela.
- Use un modelo sin interacción y haga la prueba sobre el efecto de la temperatura comparando los promedios de forma marginal. Debe ajustar los grados de libertad, pues ahora los 6 grados de libertad de la interacción se suman al error de subparcela. De esta forma quedan 24 grados de libertad en la subparcela.

```
mod2=lmer(res~metodo+temp+ (1|lote),data=base)
anova(mod2)
```

```
## Analysis of Variance Table
##              npar Sum Sq Mean Sq F value
## metodo         2   44.32   22.161   3.9724
## temp           3  412.11  137.370  24.6241
```

```
1-pf(24.6241,3,24)
```

```
## [1] 1.675379e-07
```

Hay efecto de la temperatura.

- Haga la prueba sobre el efecto del método comparando los promedios de forma marginal. Use los grados de libertad de parcela que son 6. Estos grados de libertad no cambian haya o no interacción.

```
anova(mod2)
```

```
## Analysis of Variance Table
##      npar Sum Sq Mean Sq F value
## metodo    2  44.32   22.161   3.9724
## temp      3 412.11  137.370  24.6241
```

```
1-pf(3.9724,2,6)
```

```
## [1] 0.0796557
```

No hay efecto del método.

4. Puesto que se supone que no hay interacción entre método y temperatura, para hacer comparaciones múltiples entre los promedios de las 4 temperaturas, se pueden hacer comparaciones de Tukey.
- Compare los promedios y obtenga límites inferiores para los casos en que tenga sentido. Se usan solo los coeficientes fijos, los cuales se extraen mediante `summary(mod)$coef`. Se pueden usar solo los coeficientes de temperatura, lo que es equivalente a poner los de método en cero, es decir, para hacer las comparaciones marginales. Debe usar los grados de libertad de subparcela que son 24.

```
contrasts(base$temp)
```

```
##      225 250 275
## 200    0    0    0
## 225    1    0    0
## 250    0    1    0
## 275    0    0    1
```

```
summary(mod2)$coef
```

```
##      Estimate Std. Error   t value
## (Intercept) 30.472222   1.375912 22.1469332
## metodoM2     3.416667   1.690113  2.0215612
## metodoM3    -1.166667   1.690113 -0.6902892
## temp225      3.333333   1.113424  2.9937695
## temp250      5.888889   1.113424  5.2889927
## temp275      9.222222   1.113424  8.2827622
```

```
b=summary(mod2)$coef[4:6,1]
b
```

```
## temp225 temp250 temp275
## 3.333333 5.888889 9.222222
```

```
vcov=vcov(mod2)[4:6,4:6]
vcov
```

```
## 3 x 3 Matrix of class "dsyMatrix"
##      temp225 temp250 temp275
## temp225 1.239712 0.619856 0.619856
## temp250 0.619856 1.239712 0.619856
```

```
## temp275 0.619856 0.619856 1.239712
c200=c(0,0,0)
c225=c(1,0,0)
c250=c(0,1,0)
c275=c(0,0,1)
c275.200=c275-c200
c275.225=c275-c225
c275.250=c275-c250
c250.200=c250-c200
c250.225=c250-c225
c225.200=c225-c200
cont=cbind(c225.200,c250.200,c275.200,c250.225,c275.225,c275.250)
L=t(cont)%*%b
L
```

```
##           [,1]
## c225.200 3.333333
## c250.200 5.888889
## c275.200 9.222222
## c250.225 2.555556
## c275.225 5.888889
## c275.250 3.333333
```

```
ee=sqrt(diag(t(cont)%*%vcov%*%cont))
ee
```

```
## [1] 1.113424 1.113424 1.113424 1.113424 1.113424 1.113424
```

```
q=L/ee
p=ptukey(q*sqrt(2),4,24,lower.tail = F)
round(p,5)
```

```
##           [,1]
## c225.200 0.02993
## c250.200 0.00011
## c275.200 0.00000
## c250.225 0.12730
## c275.225 0.00011
## c275.250 0.02993
```

```
q = qt(1-0.05/5,24)
ic = L[-4]-q*ee[-4]
names(ic)=names(data.frame(cont))[-4]
round(ic,2)
```

```
## c225.200 c250.200 c275.200 c275.225 c275.250
##      0.56      3.11      6.45      3.11      0.56
```

No se observan diferencias entre las medias de las temperaturas 250 y 225, pero sí las hay entre todos los demás pares. Las que más se diferencian son 200 con 275 pues la resistencia promedio para 275 es al menos 6.45kg/cm mayor que la de 200.

- Se pueden obtener las probabilidades de las comparaciones de Tukey usando la función `lsmeans` de la librería `lsmeans` con la siguiente instrucción `lsmeans(mod2, pairwise~"temp", adjust="tukey")`. Note que esto solo es útil para obtener las probabilidades pero no los intervalos o límites de confianza.

```
library(lsmeans)
```

```
## Loading required package: emmeans

## The 'lsmeans' package is now basically a front end for 'emmeans'.
## Users are encouraged to switch the rest of the way.
## See help('transition') for more information, including how to
## convert old 'lsmeans' objects and scripts to work with 'emmeans'.

lsmeans(mod2, pairwise~"temp", adjust="tukey")

## $lsmeans
##   temp lsmean   SE    df lower.CL upper.CL
##   200   31.2 0.97 18.9    29.2    33.3
##   225   34.6 0.97 18.9    32.5    36.6
##   250   37.1 0.97 18.9    35.1    39.1
##   275   40.4 0.97 18.9    38.4    42.5
##
## Results are averaged over the levels of: metodo
## Degrees-of-freedom method: kenward-roger
## Confidence level used: 0.95
##
## $contrasts
##   contrast      estimate    SE df t.ratio p.value
## temp200 - temp225    -3.33 1.11 24  -2.994 0.0299
## temp200 - temp250    -5.89 1.11 24  -5.289 0.0001
## temp200 - temp275    -9.22 1.11 24  -8.283 <.0001
## temp225 - temp250    -2.56 1.11 24  -2.295 0.1273
## temp225 - temp275    -5.89 1.11 24  -5.289 0.0001
## temp250 - temp275    -3.33 1.11 24  -2.994 0.0299
##
## Results are averaged over the levels of: metodo
## Degrees-of-freedom method: kenward-roger
## P value adjustment: tukey method for comparing a family of 4 estimates
```