

UNIVERSIDAD DE
TALCA



Facultad de Cs Forestales
Escuel de Ing. Forestal

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE EROSIVIDAD PLUVIAL (R) DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO, PARA DOS ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DE LA VII REGIÓN DEL MAULE.

**Autores: Dr. Ing. Roberto Pizarro T.
Ing. (E) Juan Farfán Z.**

¿Qué es la ecuación universal de pérdidas de suelo?

- Es un modelo estadístico, que consiste en una regresión múltiple de los cinco factores más importantes que intervienen en el proceso erosivo. →

¿Qué es el índice de erosividad pluvial (R)?

- Representa la influencia que sobre la erosión tiene la energía cinética liberada por los aguaceros y su intensidad máxima. →

¿Qué importancia tiene su estimación?

- Estudiando el factor R, se pretende contribuir a la utilización de modelos que permitan estimar la erosión. →

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A: Valor promedio de las pérdidas de suelo anuales (ton/ha/año).

R: Índice de erosión pluvial

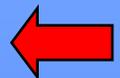
K: Factor de erosionabilidad del suelo

L: Factor longitud de pendiente

S: Factor gradiente de pendiente

C: Factor ordenación de cultivos

P: Factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo.



$$R = \left[\frac{\sum_{j=1}^n (210,2 + 89 * \log_{10} I_j) * (I_j * T_j) * I_{30}}{100} \right]$$

Donde:

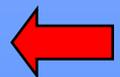
R : Es el índice de erosión pluvial ($J * m^{-2} * cm * h^{-1}$).

T_j : Periodo de tiempo en horas para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.

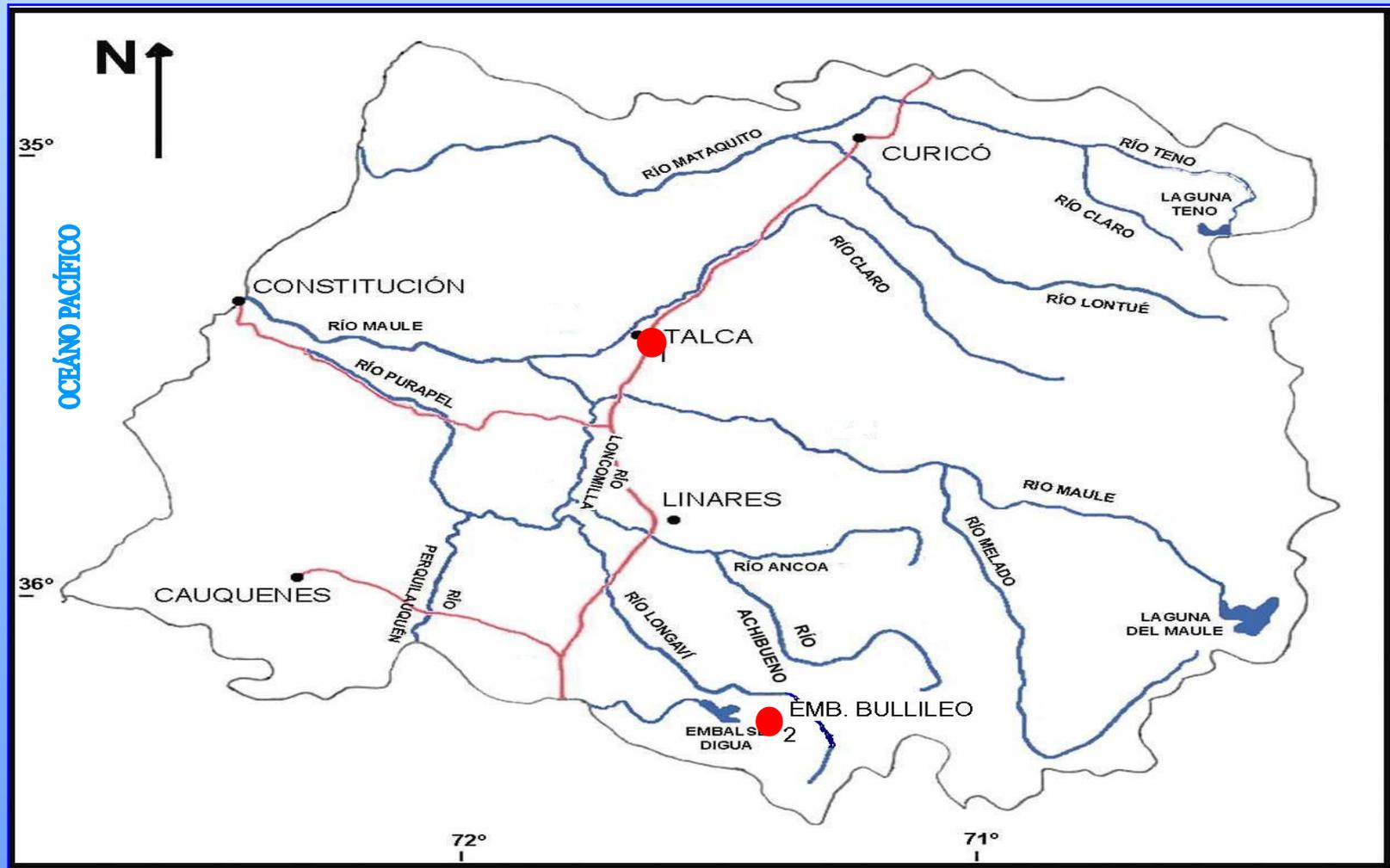
I_{30} : Máxima intensidad de lluvia durante el aguacero (cm/h).

j: Intervalos homogéneos del aguacero.

n: Número de intervalos.



Mapa de la VII Región y la ubicación de las estaciones pluviográficas.

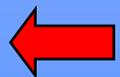


METODOLOGÍA

- Recopilación de registros pluviométricos y pluviográficos de las estaciones pluviográficas en estudio.
- Selección y cálculo de las intensidades →
- Método alternativo para la obtención del índice R. →
- Diferenciación y separación de la información recopilada.
- Análisis estadístico. →

De acuerdo a López (2001), para la selección de las intensidades y aguaceros, se pueden aplicar diferentes criterios.

- ✓ Se utilizaron en el cálculo del factor R las intensidades de precipitación igual y superior a 1,0 mm/h.
- ✓ Se consideró como tiempo mínimo 1 hora de precipitación, para ser considerada como aguacero.
- ✓ Una vez detenidas las precipitaciones y transcurrido un lapso de 24 horas sin precipitar, la precipitación siguiente se consideró como otro aguacero.



$$\text{IF} = \frac{(P_{\max})^2}{P_m}$$

Donde:

IF : Índice de Fournier.

P_{\max} : Precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año i (mm).

P_m : Representa la precipitación media anual (mm).

$$\text{IMF}_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{ij})^2}{P_m}$$

Donde:

IMF_j : Índice modificado de Fournier.

P_{ij} : Precipitación (mm) correspondiente al mes i del año j .

P_m : Representa la precipitación media anual (mm).

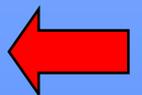
$$\text{IF}_m = \frac{(P_i)^2}{P_m}$$

Donde:

IF_m : Índice de Fournier mensual.

P_i : Precipitación correspondiente al mes i (mm).

P_m : Representa la precipitación media anual (mm).



$$R = \alpha_0 + \alpha_1 * I + \beta_0 * IFm + \beta_1 * IFm * I$$

Donde: R = Variable dependiente

α_0 = Coeficiente de intercepción

α_1 = Coeficiente de intercepción diferencial

β_0 = Coeficiente de pendiente

β_1 = Coeficiente de pendiente diferencial

IFm = Variable explicativa

I = Variable indicadora

0, categoría base; 1, segunda categoría

Medidas de bondad de ajuste

Se seleccionaron los modelos que presentaron:

- ✓ Un elevado R^2 .
- ✓ Un bajo error estándar de la estimación (EEE).
- ✓ Cumplimiento con los supuestos de los estimadores de mínimos cuadrados.
 - Normalidad
 - Homocedasticidad
 - No Autocorrelación

Las docimas de hipótesis utilizadas para los coeficientes del modelo de regresión corresponden a las siguientes:

➤ Docima de hipótesis para las pendientes.

Ho: Pendiente = 0

Ha: Pendiente \neq 0

➤ Docima de hipótesis para los interceptos.

Ho: Intercepto = 0

Ha: Intercepto $>$ 0

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

RESULTADOS

Los valores mensuales del índice R e IFm, presentaron gran diferencia por estación y entre las estaciones, por las siguientes razones:

- ✓ Gran concentración de las precipitaciones en los meses de invierno.
- ✓ Hay una marcada diferencia en el monto de las precipitaciones, siendo mayores las de Bullileo.

Figura 1: Gráfico de dispersión de los datos en conjunto R v/s IFm

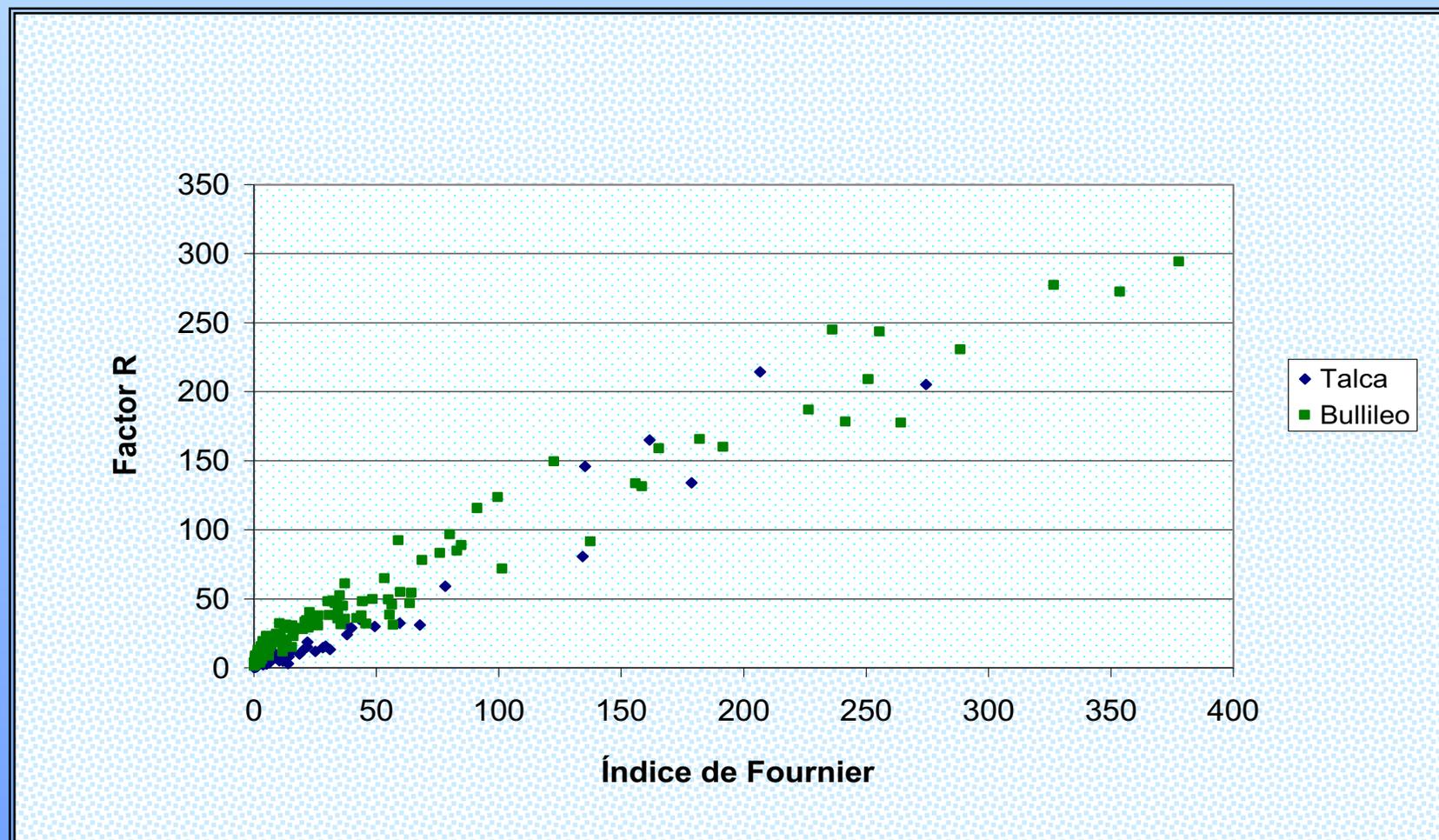


TABLA 1: Rango de valores mensuales del índice R e IFm.

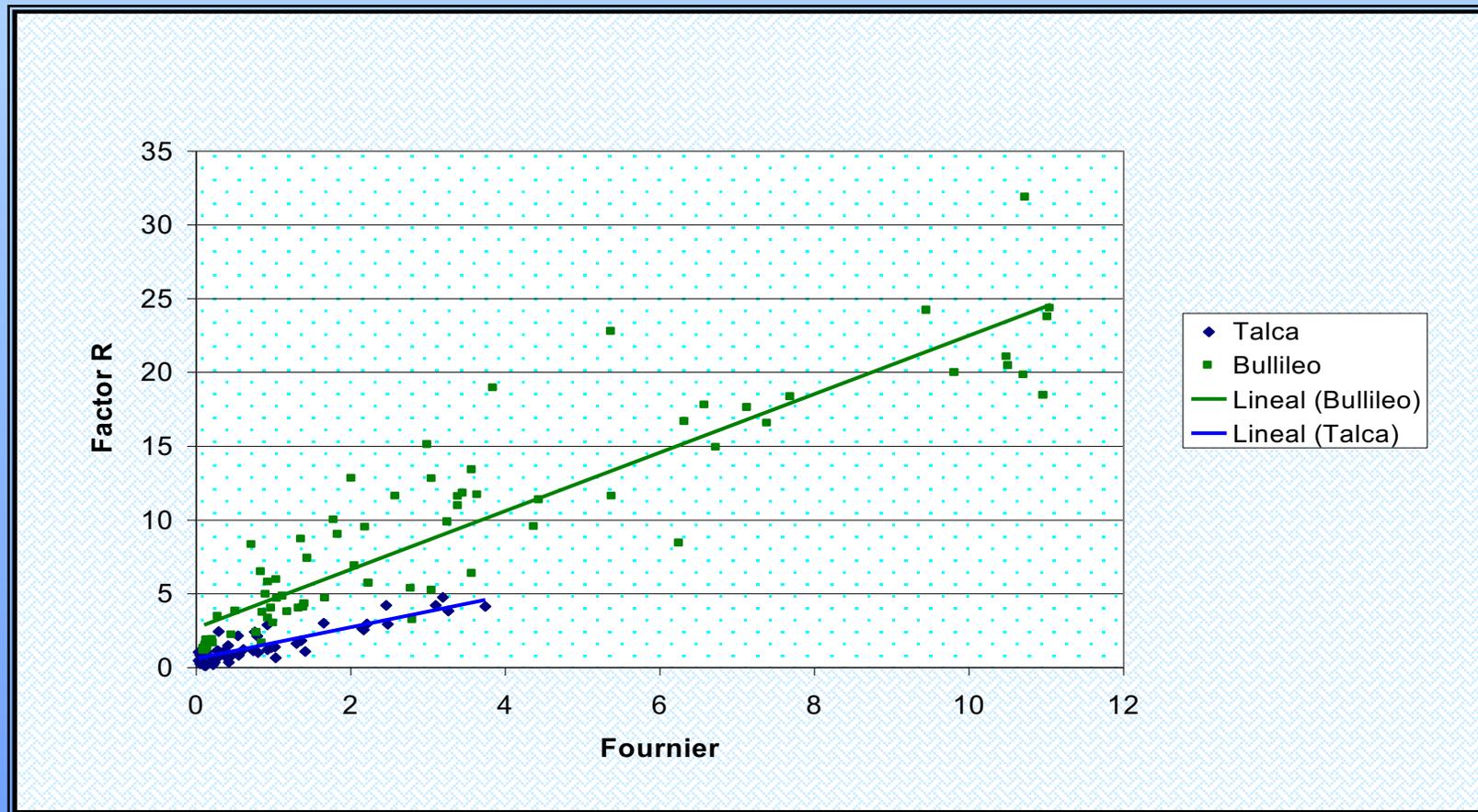
Rango de los índices	Est. Univ. De Talca	Est. Emb. Bullileo
Factor R menor	0,14	1,12
Factor R mayor	214,45	293,82
I. Fournier menor	0,03	0,10
I. Fournier mayor	274,5	378,0

Se concluye que la mejor opción para ajustar un modelo de regresión, es a través de la separación de datos en base al monto de la precipitación.

- ✓ Datos de meses secos y húmedos para Talca.
- ✓ Datos de meses secos y húmedos para Bullileo.

Resultados obtenidos con los datos de meses secos

Figura 2: Gráfico de dispersión de los datos de meses secos.



Modelo seleccionado para los meses secos.

$$R = [0,513244 + 0,36122 \cdot I + \sqrt{IFm} \cdot (0,795429 + 0,427359 \cdot I)]^2$$

$n = 127$ datos

$R^2 = 90,53\%$

$EEE = 0,389496$

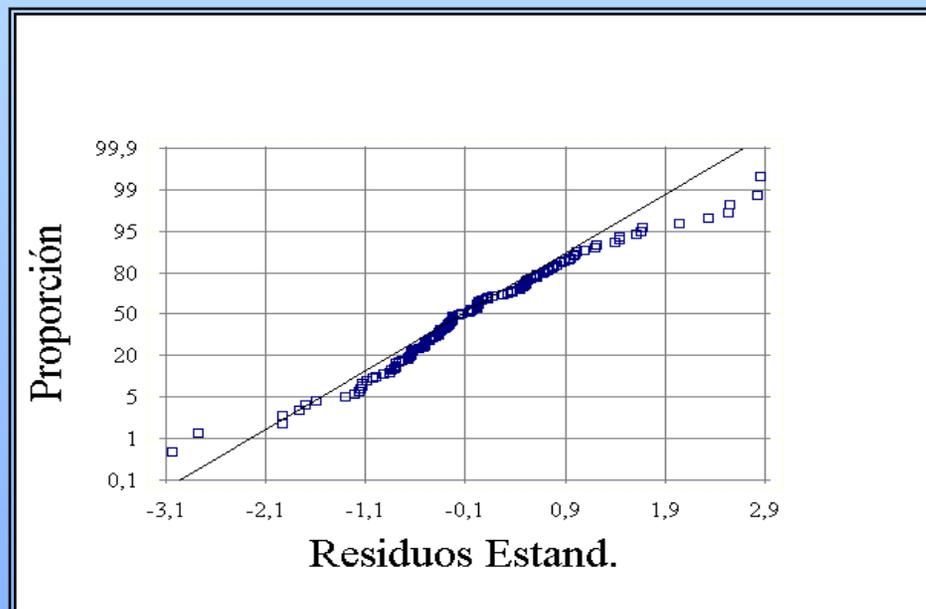
Estadístico Durbin - Watson = 1,98829

Tabla 2: Análisis de regresión

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico - t	Valor p
Constante α_0	0,513344	0,109863	4,67165	0,0000
Constante α_1	0,36122	0,139311	2,5929	0,0107
Pendiente β_0	0,795429	0,114601	6,94084	0,0000
Pendiente β_1	0,427359	0,124349	3,43678	0,0008

Supuesto de Normalidad

Figura 3: Probabilidad normal de los residuos.



Test Kolmogorov - Smirnov (95% de confianza)

Estadístico Kolmogorov Estimado DPLUS = 0,0838321

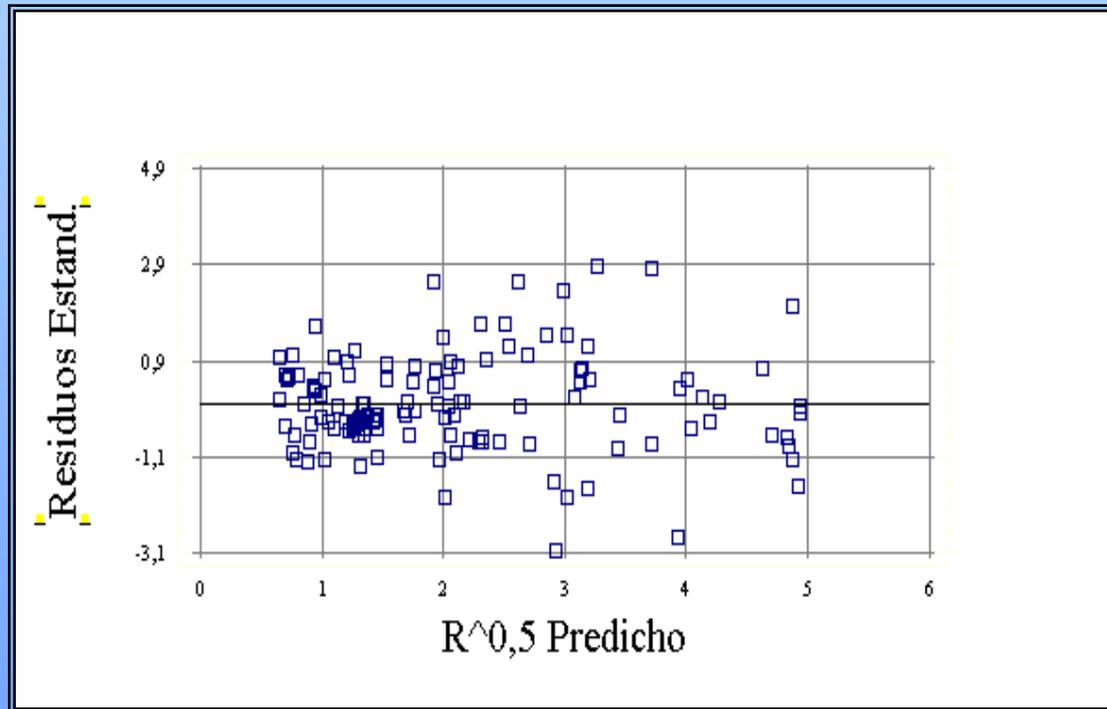
Estadístico Kolmogorov Estimado DMINUS = 0,0662005

Estadístico Total Estimado DN = 0,0838321

Valor p Aproximado = 0,336364

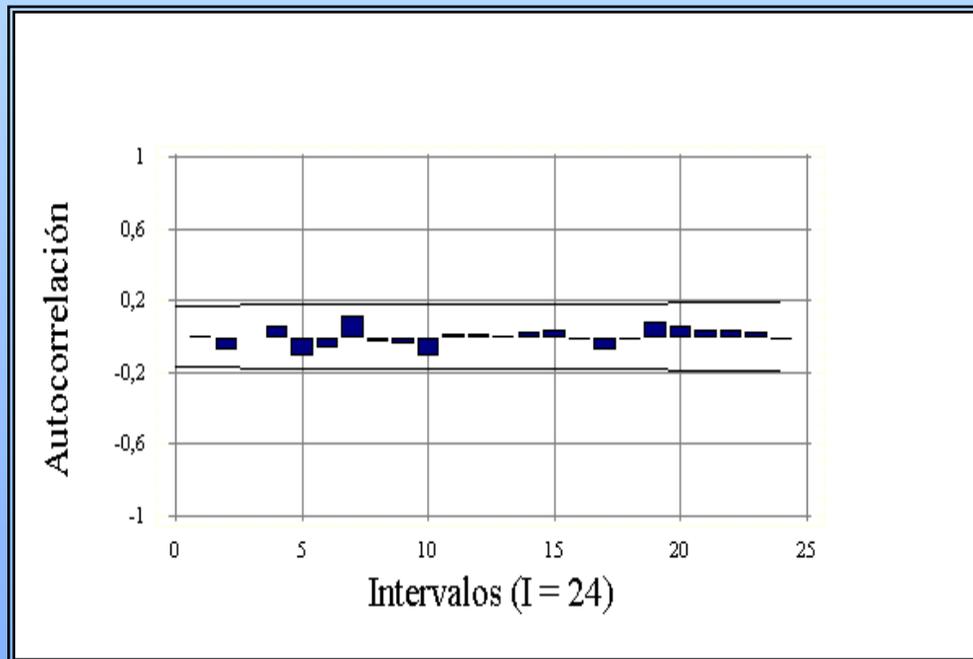
Supuesto de Homocedasticidad

Figura 4: Residuos Estand. v/s valores estimados



Supuesto de no Autocorrelación

Figura 5: Autocorrelación de los residuos



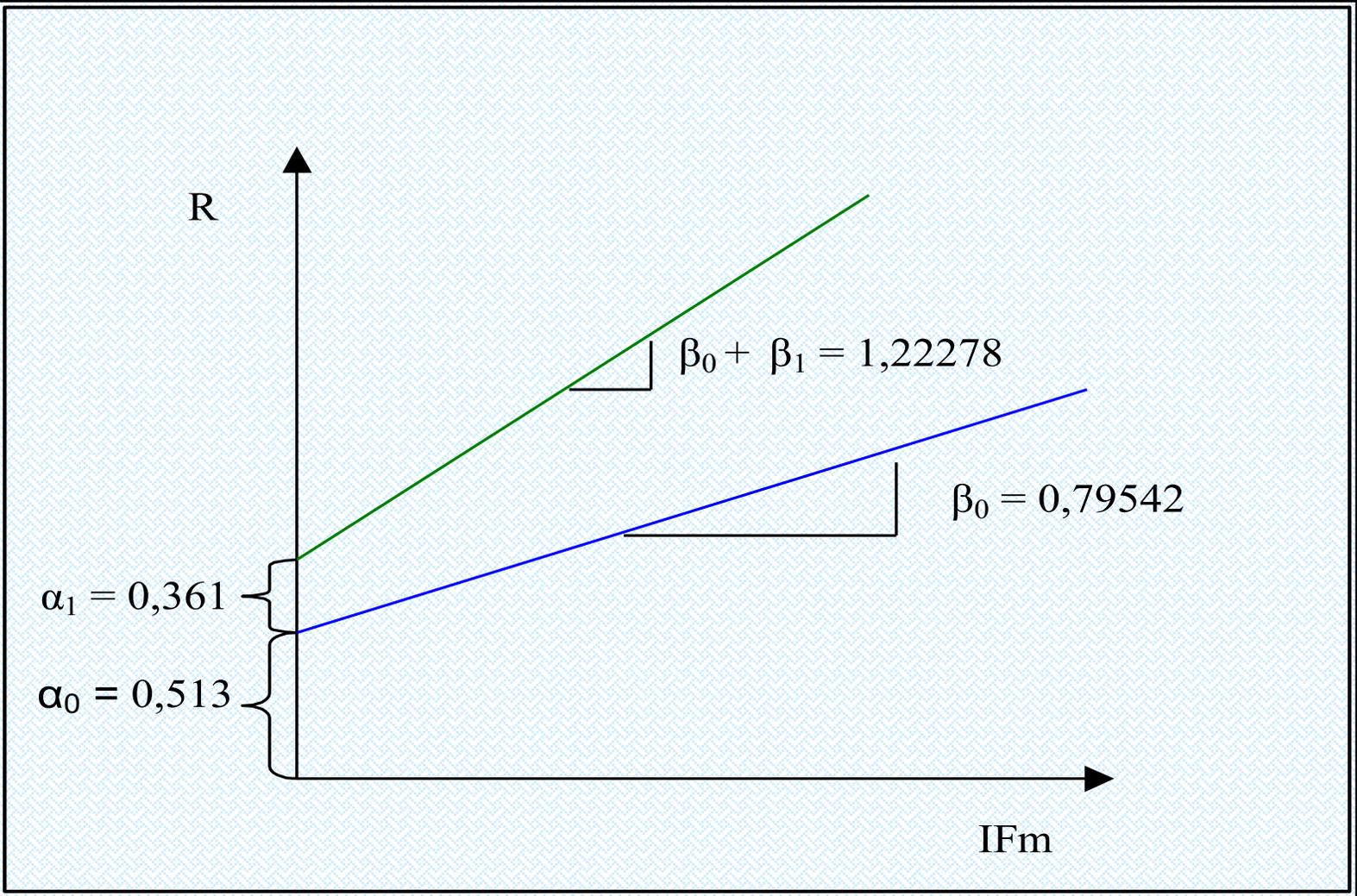
Prueba de Durbin - Watson (95% de confianza)

$d = 1,98829$; $dL = 1,675$; $du = 1,743$

$du < d < 4 - du$

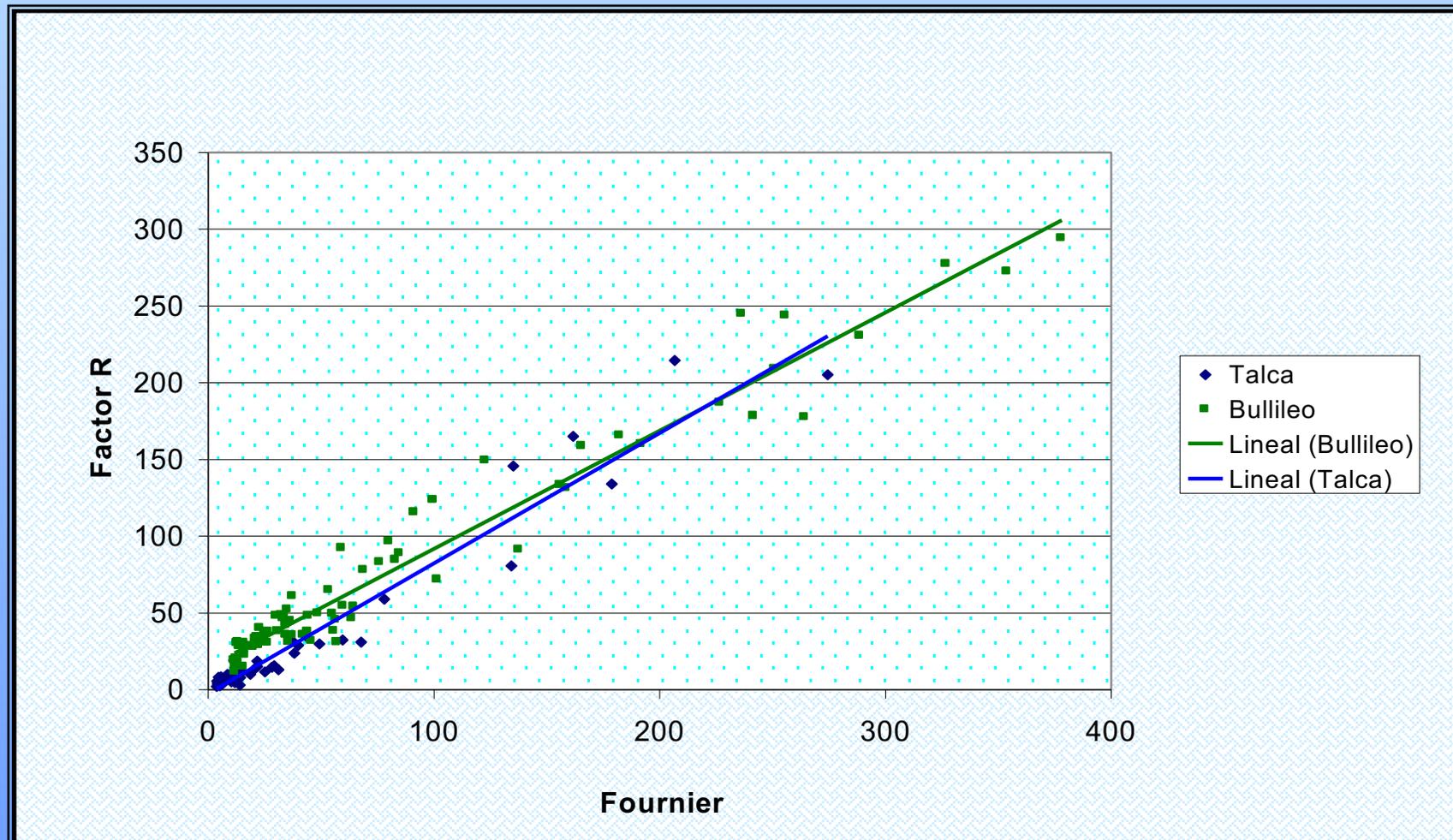
$1,743 < 1,98829 < 2,257$

Figura 6: Esquema del modelo ajustado para los meses secos



Resultados obtenidos con los meses húmedos.

Figura 7: Gráfico de dispersión de los datos de meses húmedos.



Modelo seleccionado para los meses húmedos.

$$\text{Ln (R)} = -0,0664572 + 1,07523 * I + 0,929247 * \text{Ln (IFm)} - 0,157756 * \text{Ln}[(\text{IFm})] * I$$

$n = 125$ datos

$R^2 = 94,16\%$

EEE = 0,286619

Estadístico Durbin - Watson = 1,71286

Corrección del modelo

$$\ln(R^*_t) = -0,11283 + 0,968765 * I_t + 0,944807 * \ln(IFm_t) - 0,170782 * \ln[(IFm_t)] * I_t$$

Tabla 3: Análisis de regresión

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico - t	Valor - p
Constante α_0^*	-0,11283	0,0940008	-1,20031	0,2324
Constante α_1^*	0,968765	0,146796	6,5994	0,0000
Pendiente β_0^*	0,944807	0,0340797	27,7235	0,0000
Pendiente β_1^*	-0,170782	0,0470513	-3,6297	0,0004

n = 124 datos

$R^2 = 94,02\%$

EEE = 0,277158

Estadístico Durbin -Watson = 1,97545

Tabla 4: Coeficientes de regresión del modelo original

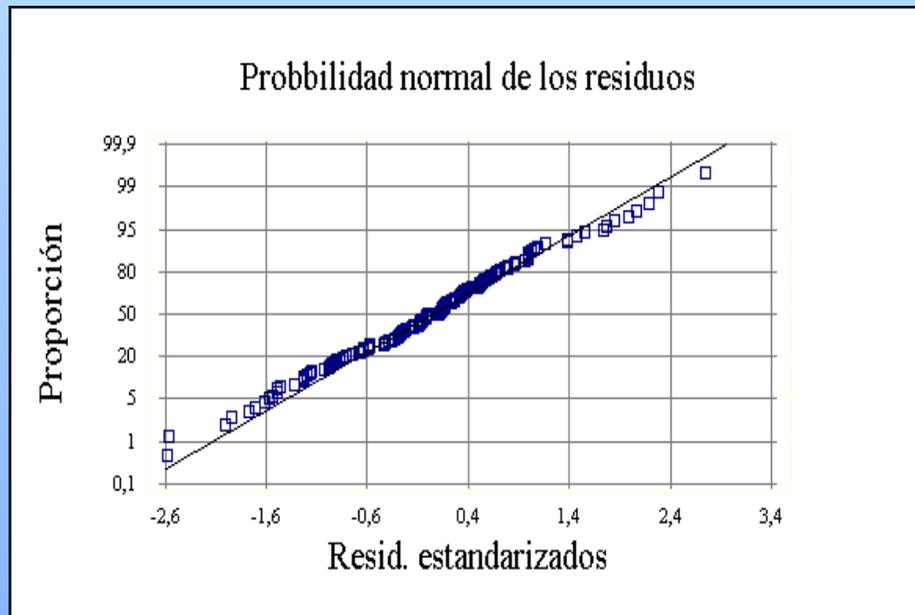
Parámetro	Fórmula	Valor
$\alpha_0^* = -0,11283$	$\alpha_0 = \alpha_0^*/(1 - \rho)$	$\alpha_0 = -0,1318$
$\alpha_1^* = 0,968765$	$\alpha_1 = \alpha_1^*/(1 - \rho)$	$\alpha_1 = 1,13173$
$\beta_0^* = 0,944807$	$\beta_0 = \beta_0^*$	$\beta_0 = 0,944807$
$\beta_1^* = -0,170782$	$\beta_1 = \beta_1^*$	$\beta_1 = -0,170782$



$$R = e^{(1,13173)*I} * IFm(0,944807 - 0,170782*I)$$

Supuesto de Normalidad

Figura 8: Probabilidad normal de los residuos



Test Kolmogorov - Smirnov (95% de confianza)

Estadístico Kolmogorov Estimado DPLUS = 0,0371062

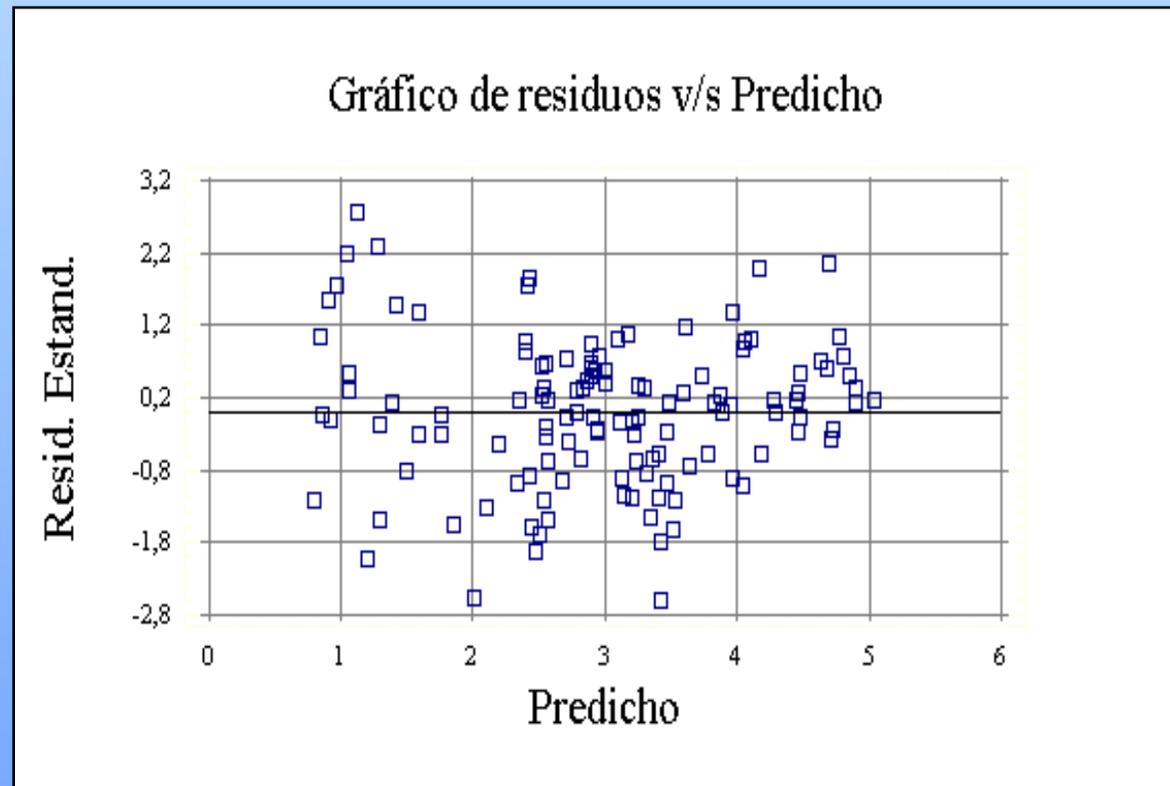
Estadístico Kolmogorov Estimado DMINUS = 0,0545098

Estadístico Total Estimado DN = 0,0545098

Valor - p Aproximado = 0,854887

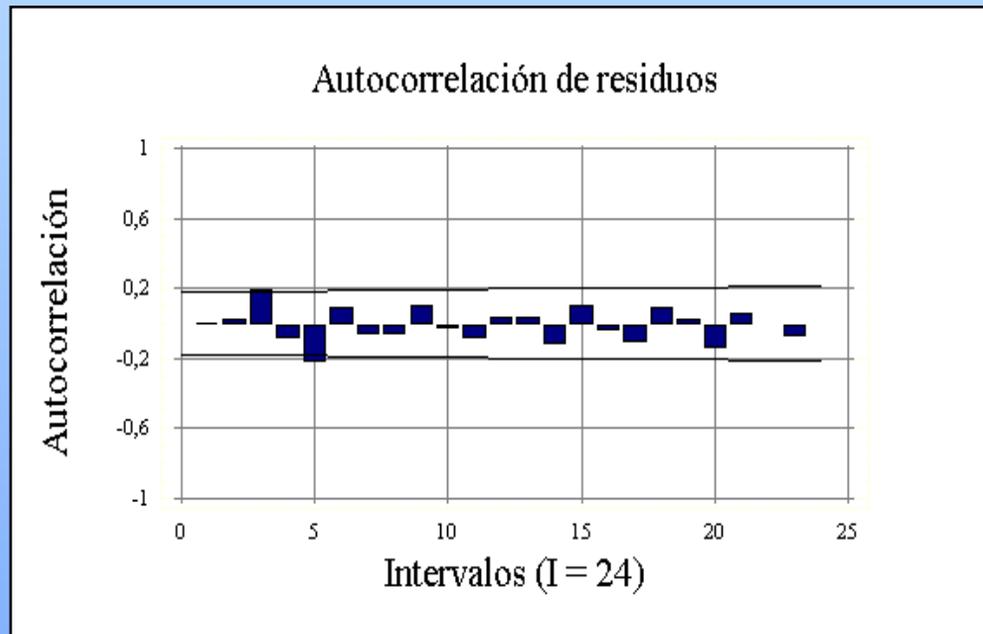
Supuesto de Homocedasticidad

Figura 9: Residuos estand. v/s valores estimados



Supuesto de no Autocorrelación

Figura 10: Autocorrelación de los residuos



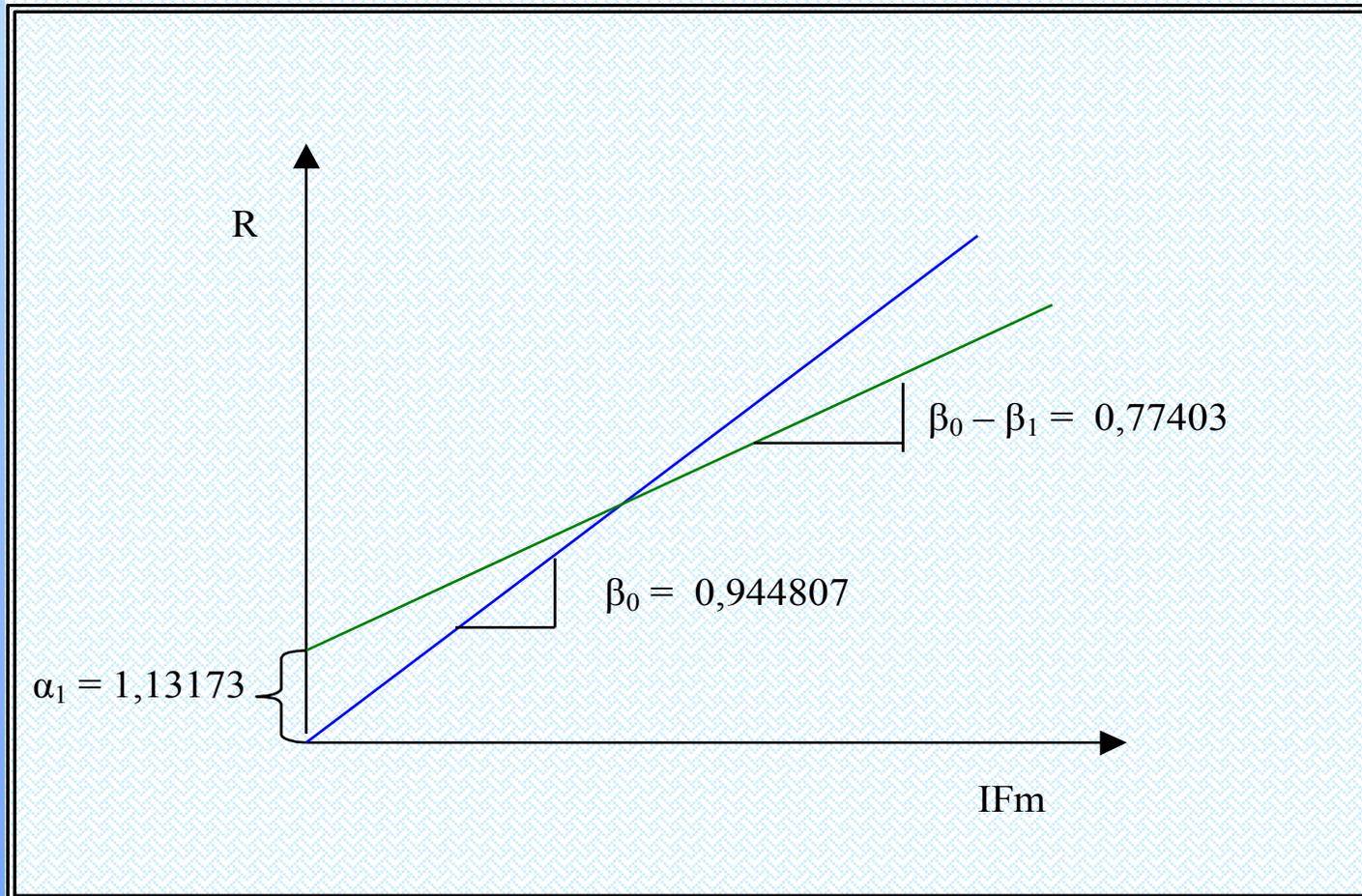
Prueba de Durbin – Watson (95% de confianza)

$$d = 1,97545 ; d_L = 1,659 ; d_u = 1,728$$

$$d_u < d < 4 - d_u$$

$$1,728 < 1,97545 < 2,272$$

Figura 11: Esquema del modelo de los meses húmedos



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

- ✓ Es factible desarrollar el cálculo del factor R a través del índice de Fournier.
- ✓ El promedio anual del factor R en la estación de Bullileo, supera en más de tres veces al obtenido en Talca.
- ✓ Existen diferencias importantes entre Talca y Bullileo, para las intensidades de precipitaciones máximas.

Recomendaciones.

- ✓ Se sugiere ampliar esta investigación a nivel regional, integrando las restantes estaciones que en la actualidad posee la VII Región.
- ✓ Finalmente, se recomienda continuar con estas investigaciones sobre la problemática de los procesos erosivos, usando los diferentes métodos de evaluación que existen.

UNIVERSIDAD DE
TALCA



Facultad de Cs Forestales
Escuel de Ing. Forestal

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE EROSIVIDAD PLUVIAL (R) DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO, PARA DOS ESTACIONES PLUVIOGRÁFICAS DE LA VII REGIÓN DEL MAULE.

**Autores: Dr. Ing. Roberto Pizarro T.
Ing. (E) Juan Farfán Z.**