# Bioestadística inferencial y multivariada

## Rigurosamente sencilla

SIL
SISTEMA DE INFORMACIÓN EN LÍNEA
COMPLEMENTO VIRTUAL

ECOE EDICIONES

Gerardo Ardila Duarte
Sandra Elizabeth Aguilera Rojas

# BIOESTADÍSTICA INFERENCIAL Y MULTIVARIADA

## RIGUROSAMENTE SENCILLA

Gerardo Ardila Duarte
Sandra Elizabeth Aguilera Rojas

*Catalogación en la publicación - Biblioteca Nacional de Colombia*

Ardila Duarte, Gerardo, autor
Bioestadística inferencial y multivariada : rigurosamente sencilla / Gerardo Ardila Duarte -Sandra Elizabeth Aguilera Rojas -- Primera edición -- Bogotá : Ecoe Ediciones, 2022
271 páginas. -- (Ciencias básicas. Estadística)

Incluye datos curriculares del autor -- Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-503-400-6 -- 978-958-503-401-3 (e-book)

1. Estadística vital - Procesamiento de datos - Problemas, ejercicios, etc. 2. Probabilidades - Procesamiento de datos - Problemas, ejercicios, etc.

CDD: 570.151950285 ed. 23 CO-BoBN - a1097189

**Área:** *Ciencias básicas*
**Subárea:** *Estadística*

ECOE
EDICIONES

© Gerardo Ardila Duarte
© Sandra Elizabeth Aguilera Rojas

► Ecoe Ediciones S.A.S.
info@ecoeediciones.com
www.ecoeediciones.com
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 919 80 02
Bogotá, Colombia

**Primera edición:** Bogotá, enero del 2023

**ISBN:** 978-958-503-400-6
**e-ISBN:** 978-958-503-401-3

Directora editorial: Claudia Garay Castro
Coordinadora editorial: Paula Bermúdez B.
Corrección de estilo: Andrés Caro
Diagramación: Magda Rocío Barrero
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz
Impresión: Multi-impresos S.A.S.
Calle 76 # 24 – 37
Bogotá D.C. Colombia

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados*

*A Dios, mi familia y lectores.*

*A la Editorial ECOE por creer en mi proyecto y por su apoyo profesional en correcciones y sugerencias*

# CONTENIDO


**Capítulo 6. Distribuciones muestrales** ..... 1
6.1. El valor P y los intervalos de confianza ..... 2
6.1.1. Resumen ..... 2
6.1.2. Introducción ..... 2
6.1.3. Cálculo y aplicación ..... 3
6.1.4. Distribuciones muestrales ..... 7
6.2. Introducción ..... 7
6.3. Distribuciones muestrales ..... 7
6.3.1. Media de medias muestrales ..... 9
6.3.2. Varianza y error estándar de medias muestrales ..... 9
6.3.3. Definición: el error estándar de la distribución muestral de las medias ..... 9
6.3.4. Impacto del tamaño de la muestra en el error estándar ..... 10
6.3.5. Ejemplo 1 ..... 10
6.3.6. Ejercicio ..... 10
6.4. Teorema central del límite ..... 11
6.4.1. Teorema central del límite ..... 11
6.5. La transformación de Box Cox ..... 11
6.6. Aplicación de la distribución muestral ..... 15
6.7. Ejemplo 2 ..... 15
6.7.1. Distribución de proporciones muestrales ..... 17
6.8. Métodos de muestreo ..... 22
6.8.1. Muestreo Aleatorio Simple (MAS) ..... 22
6.8.2. Muestreo Aleatorio Simple Sistemático (MASS) ..... 23
6.8.3. Muestreo Aleatorio Estratificado (MAE) ..... 23

6.8.4. Muestreo aleatorio por conglomerados ..... 23
6.8.5. Muestreo aleatorio por conveniencia y por conveniencia o intencional ..... 24
6.8.6. Muestreo por cuotas ..... 24
6.9. Apéndice ..... 24
6.9.1. Propiedades avanzadas de distribuciones de probabilidad ..... 24

**CAPÍTULO 7. INTERVALOS DE CONFIANZA (IC) Y PRUEBA DE HIPÓTESIS** ..... 27
7.1. Introducción ..... 27
7.1.1. Fundamento de un intervalo de confianza ..... 28
7.2. Intervalo de confianza para estimar $\pi$ cuando $\sigma$ es conocida ..... 31
7.2.1. Intervalo de confianza para estimar $\pi$ cuando $\sigma$ es desconocida ..... 32
7.3. Intervalo de confianza para la media en el caso de muestras pequeñas – la distribución t ..... 33
7.3.1. Ejercicios ..... 36
7.4. Intervalo de confianza para la proporción poblacional ..... 37
7.4.1. Ejercicios ..... 37
7.5. Control del ancho del intervalo ..... 37
7.5.1. Reducción del nivel de confianza ..... 37
7.5.2. Incremento del tamaño muestral ..... 38
7.6. Determinación del tamaño de una muestra para estimar un parámetro ..... 38
7.6.1. Tamaño de una muestra para estimar $\mu$ ..... 38
7.6.2. Tamaño de una muestra para estimar $\Pi$ ..... 39
7.6.3. Ejercicios ..... 40
7.7. Propiedades de los estimadores ..... 40
7.7.1. Estimador insesgado ..... 40
7.7.2. Estimador eficiente ..... 40
7.7.3. Estimador consistente ..... 41
7.7.4. Estimador suficiente ..... 41

**CAPÍTULO 8. PRUEBA DE HIPÓTESIS** ..... 43
8.1. Introducción ..... 43
8.2. Concepto de prueba de hipótesis ..... 44
8.2.1. Valores críticos de z y zonas de rechazo ..... 44
8.2.2. El nivel de significancia y probabilidad de error ..... 45
8.3. Prueba de dos colas para $\mu$ ..... 45
8.3.1. Ejercicios ..... 46
8.4. Pruebas de una cola para $\mu$ ..... 47
8.4.1. Ejercicios ..... 49
8.5. Valores p: uso e interpretación ..... 50
8.5.1. Valor p para una prueba de dos colas ..... 51
8.6. Ejercicios ..... 51
8.7. Pruebas para $\mu$: muestras pequeñas ..... 51
8.8. Ejercicios ..... 54
8.9. Pruebas para $\Pi$ ..... 54
8.10. Ejercicio ..... 57
8.11. Pruebas cuando se tienen dos poblaciones ..... 57
8.12. Estimación por intervalo en el caso de muestras independientes ..... 57

8.12.1. Estimación con muestras grandes ..... 57
8.13. Ejercicios ..... 58
8.14. Estimación con muestras pequeñas: la distribución t ..... 58
8.14.1. Ejercicios ..... 61
8.15. Estimación del intervalo con muestras pareadas ..... 61
8.15.1 Ejercicio ..... 63
8.16. Intervalo de confianza para la diferencia entre dos proporciones ..... 63
8.16.1. Ejercicios ..... 65
8.17. Tamaño de una muestra para comparar dos poblaciones ..... 66
8.17.1. Tamaño de una muestra para estimar $\mu 1$-$\mu 2$ ..... 66
8.17.2. Tamaño de una muestra para estimar $\pi 1 - \pi 2$ ..... 67
8.18. Prueba de hipótesis para dos medias con muestras independientes ..... 69
8.18.1. Prueba para muestras grandes ..... 69
8.18.2. Prueba de hipótesis con muestras pequeñas suponiendo varianzas iguales pero desconocidas ..... 72
8.19. Prueba de hipótesis con muestras pequeñas suponiendo varianzas diferentes pero desconocidas ..... 76
8.20. Prueba de hipótesis con datos pareados ..... 78
8.20.1. Ejercicios ..... 81
8.21. Prueba de hipótesis para comparar al diferencia entre dos proporciones ..... 81
8.21.1. Ejercicios ..... 84
8.22. Comparación de la varianza de dos poblaciones ..... 84
8.22.1. Ejercicios ..... 89

**Capítulo 9. Diseño de experimentos** ..... 91
9.1. ANOVA a una vía ..... 93
9.2. Teorema: identidad de la suma de cuadrados ..... 95
9.3. La prueba de Bartlett ..... 104
9.4. La prueba de Levene ..... 105
9.4.1. Ejercicios ..... 109
9.5. Comparaciones con un grado de libertad ..... 111
9.5.1. Ejercicios ..... 114
9.6. Comparaciones pareadas ..... 114
9.6.1. Prueba de Tukey ..... 118
9.6.2. Ejercicios ..... 120
9.6.3. Prueba de Duncan ..... 121
9.6.4. Prueba de Bonferroni ..... 121
9.6.5. Prueba de Dunnett ..... 125
9.6.6. Ejercicios ..... 130
9.7. Comparación de un conjunto de tratamientos en bloques ..... 130
9.7.1. Diseño de bloques completos aleatorizados ..... 131
9.8. Métodos gráficos y diagnósticos posteriores ..... 134
9.8.1. Ejercicio ..... 135
9.9. Modelos de efectos fijos y de efectos aleatorios ..... 136
9.10. Potencia de la pruebas de ANOVA ..... 137
9.11. Prueba de Welch ..... 137
9.11.1. Ejercicios ..... 138

**Capítulo 10. ANOVA a dos vías: diseño aleatorizado en bloques** ..... 141
10.1. ANOVA de dos vías con una muestra por grupo ..... 142
10.2. Teorema: identidad de la suma de cuadrados ..... 142
10.2.1. ANOVA II vías con varias muestras por grupo ..... 148
10.3. Usando Excel ..... 152
10.3.1. Análisis de seguimiento para ANOVA de dos factores con replicaciones (poshoc) ..... 157
10.3.2. Diseño en cuadrado latino ..... 161
10.4. Experimentos de tres factores ..... 164

**Capítulo 11. Regresión simple y correlación** ..... 169
11.1. Determinación del modelo de regresión lineal simple ..... 171
11.2. Mínimos cuadrados ordinarios: la recta de mejor ajuste ..... 172
11.3. Ejemplo utilizando MCO ..... 175
11.4. Supuestos del modelo de regresión lineal ..... 177
11.4.1. El término de error ξ es una variable aleatoria con distribución normal ..... 177
11.4.2. Varianzas iguales de los valores de la variable dependiente ..... 177
11.4.3. Los términos de error son independientes uno del otro ..... 177
11.4.4. Supuesto de linealidad ..... 178
11.4.5. El término de error ξ, es una variable aleatoria con distribución normal ..... 179
11.4.6. Varianzas iguales de los valores de la variable dependiente (y) ..... 180
11.4.7. Los términos de error son independientes uno de otro ..... 181
11.4.8. Supuesto de linealidad ..... 181
11.5. El error estándar de estimación: una medida de bondad de ajuste ..... 181
11.5.1. Análisis de correlación ..... 183
11.5.2. Ejercicios ..... 184
11.5.3. Limitaciones del análisis de regresión ..... 185
11.6. Pruebas para los parámetros poblacionales ..... 185
11.6.1. Pruebas para β1 ..... 185
11.6.2. Pruebas para el coeficiente de correlación poblacional ρ ..... 186
11.6.3. Ejercicios ..... 186
11.7. 10 intervalos de confianza en el análisis de regresión ..... 186
11.7.1. La media de Y condicionada a un valor de X ..... 187
11.7.2. Intervalo de predicción para un valor único de Y ..... 188
11.7.3. Factores que influyen en el ancho del intervalo ..... 188
11.7.4. Ejercicios ..... 189
11.8. Análisis de varianza (ANOVA) en regresión ..... 189
11.8.1. Ejercicios ..... 194
11.9. Regresión logística binaria ..... 194
11.10. Tamaño de una muestra en regresión logística ..... 195
11.10.1. Ejercicios ..... 196
11.10.2. Ejercicios ..... 202

**Capítulo 12. Regresión múltiple y correlación** ..... 205
12.1. Introducción ..... 205
12.2. Teorema 12,1. Estimación insesgada de la varianza ..... 207
12.3. Un ejemplo de aplicación ..... 208
12.4. Evaluación del modelo ..... 213
12.4.1. El error estándar de estimación Se ..... 213
12.4.2. Coeficiente de determinación múltiple ..... 214
12.4.3. El coeficiente de determinación corregido o ajustado ..... 215
12.4.4. Evaluación del modelo como un todo ..... 215
12.4.5. Pruebas individuales para los coeficientes de regresión parcial ..... 216
12.5. Presencia de multicolinealidad ..... 218
12.5.1. Los problemas de la multicolinealidad ..... 218
12.5.2. Detección de la multicolinealidad ..... 218
12.5.3. Corrección de la multicolinealidad ..... 220
12.5.4. Ejercicios ..... 221
12.6. Comparación de los coeficientes de regresión ..... 221
12.7. Regresión paso a paso ..... 222
12.7.1. Eliminación hacia atrás ..... 222
12.7.2. Selección hacia adelante ..... 222
12.8. Variables dummy ..... 222
12.8.1. Ejercicios ..... 224
12.9. Un ejemplo general de regresión múltiple ..... 225
12.10. El error estándar de estimación Se ..... 234
12.11. El coeficiente de determinación múltiple y el ajustado $R^2$ ..... 234
12.12. Evaluación del modelo como un todo ..... 235
12.13. Pruebas individuales para los coeficientes de regresión parcial ..... 235
12.14. Ejercicios ..... 235
12.15. El caso curvilineal ..... 236
12.15.1. Ejercicios ..... 240

**Lecturas recomendadas** ..... 241

**Bibliografía** ..... 243

**Acerca de los autores** ..... 245

# ÍNDICE DE FIGURAS


Figura 1. Límites del intervalo de confianza ..... 4
Figura 2. Comparativo cambios de longitud del segundo premolar inferior derecho (Por máximos y mínimos) ..... 5
Figura 3. Comparativo por intervalos de confianza de la longitud 2º premolar inferior derecho ..... 6
Figura 4. Comparativo medias 2º premolar inferior derecho por Box-Plot ..... 6
Figura 5. Distribución muestral de las medias del periodo de silencio ..... 8
Figura 6. Análisis de normalidad datos a transformar por Box Cox ..... 12
Figura 7. Lamda y transformación de Box Cox ..... 13
Figura 8. Lamda en datos ordenados y transformación de Box Cox ..... 13
Figura 9. Normalidad en datos transformados ..... 13
Figura 10. Lamda que maximiza los datos transformados ..... 14
Figura 11. Distribución datos estandarizados ..... 15
Figura 12. Valor de Z correspondiente a un área 0,2382 ..... 20
Figura 13. Descripción de la distribución normal para 15 muestras ..... 31
Figura 14. Tabla distribución T ..... 35
Figura 15. Estimación valores distribución T con Excel ..... 36

Figura 16. Selección del estadístico Z o T apropiado ..... 36
Figura 17. Gráfico de dos colas distribución normal ..... 44
Figura 18. Pasos en la regla de decisión para Ho: μ=2 (Comparación contra un parámetro) ..... 46
Figura 19. Valores Z a confianza del 95 % ..... 47
Figura 20. Evaluación zona de rechazo o no en una prueba de hipótesis a una cola ..... 48
Figura 21. Evaluación zona de rechazo a una cola ..... 48
Figura 22. Estimación del valor p usando Excel ..... 50
Figura 23. Prueba de cola a izquierda ..... 51
Figura 24. Tabla de distribución T. Ubicación de T con 29gl. ..... 52
Figura 25. Estimación del valor T con 29gl y significancia del 5% en Excel ..... 53
Figura 26. Regla de decisión bajo la curva de distribución ..... 55
Figura 27. Rugosidad tres sistemas de pulimento ..... 62
Figura 28. Presencia tipo de falla por tipo de Bracket ..... 65
Figura 29. Cálculo valor de Z usando Excel ..... 65
Figura 30. Intervalo de confianza del 95%, para evaluación tipo de falla. ..... 65
Figura 31. Estadísticos y cálculo de los mismos de mediciones tomográficas y anatómicas óseas ..... 67
Figura 32. Evaluación de la prueba de hipótesis ..... 70
Figura 33. Cálculo valor Z en Excel ..... 72
Figura 34. Ubicación valor estandarizado ..... 72
Figura 35. Base de datos Fuerza adhesiva ..... 73
Figura 36. Cálculo valor T en Excel ..... 74
Figura 37. Prueba de hipótesis a dos colas ..... 74
Figura 38. Cálculo valor de T en Excel, con 20 grados de libertad ..... 76
Figura 39. Prueba T a dos colas comparación 2 muestras ..... 77
Figura 40. Prueba T a dos colas comparación una muestra pre-pos tratamiento ..... 80
Figura 41. Prueba Z a dos colas ..... 82
Figura 42. Distribución F ..... 85
Figura 43. Tabla de la distribución F ..... 86
Figura 44. Estimación valor p (p-value) Distribución F en Excel ..... 88
Figura 45. ANOVA I: Análisis de datos en Excel ..... 97
Figura 46. Selección rangos en ANOVA I en Excel ..... 97

Figura 47. Resultados ANOVA I en Excel ..... 98
Figura 48. ANOVA I con Real Statistics ..... 98
Figura 49. Actividad de fosfata ..... 99
Figura 50. Resultados ANOVA I en Excel muestras no homogéneas ..... 100
Figura 51. Datos de Fosfata organizados en forma estándar ..... 100
Figura 52. Descargue Rcmdr de R ..... 102
Figura 53. Pasos en R: Menú Rcmdr para ANOVA I datos no homogéneos ..... 102
Figura 54. Importar datos de Excel en R ..... 103
Figura 55. Selección Archivo de Excel por R ..... 103
Figura 56. Menú ANOVA I y/o programarlo en R ..... 103
Figura 57. Selección grupos y variable explicada (Fosfata), para ANOVA I en R ..... 104
Figura 58. Resultados ANOVA I en R datos no homogéneos ..... 104
Figura 59. Homogeneidad de las Varianzas, Prueba de Levene por ANOVA I en Excel ..... 105
Figura 60. Prueba de Levene por Real Statitstics ..... 106
Figura 61. Varianza de los grupos ..... 108
Figura 62. Prueba de Bartlet en R ..... 109
Figura 63. Valor p prueba de Bartlet en R, grupos homogéneos ..... 109
Figura 64. ANOVA por Real Statitistics ..... 111
Figura 65. Contrastes con ANOVA en Real Statistics ..... 113
Figura 66. Contrastes propuestos en Real Statistics ..... 114
Figura 67. ANOVA en R: Comparación de Mezclas humedad cemento dental ..... 116
Figura 68. En R: Comparación gráfica intervalos de Mezclas humedad cemento dental ..... 117
Figura 69. Intervalos de confianza en Excel ..... 117
Figura 70. Prueba de Tukey con Real Statitics ..... 120
Figura 71. Comparaciones de Tukey con Real Statistics ..... 120
Figura 72. Tabla de Duncan ..... 121
Figura 73. Comparación de DUNCAN por tratamientos ..... 121
Figura 74. Valores por cada tipo de mezcla de cemento dental ..... 122
Figura 75. Importar datos de Excel en SPSS ..... 122
Figura 76. Comparación medias ANOVA I por SPSS ..... 123
Figura 77. Selección del Factor y valores Dependientes en SPSS ..... 123

Figura 78. Poshoc de ANOVA en SPSS ..... 123
Figura 79. Comparaciones múltiples en SPSS ..... 124
Figura 80. Rangos estudentizados mínimos significativos de Duncan ..... 125
Figura 81. Tabla de Dunnet ..... 126
Figura 82. Prueba de Bartlet por Rcmdr ..... 128
Figura 83. Prueba de Shapiro Wilk por Rcmdr ..... 128
Figura 84. ANOVA I en Excel, paso a paso ..... 129
Figura 85. Resultados: ANOVA II Hipoclorito por grupo y periodo ..... 134
Figura 86. Residuos por grupo de hipoclorito a diferentes tiempos ..... 135
Figura 87. Comparación eficiencia promedio por grupo de Hipoclorito ..... 135
Figura 88. ANOVA grupos desiguales ..... 138
Figura 89. Prueba de Welch en Real Statistics ..... 138
Figura 90. Gráficos p-plot ..... 144
Figura 91. Prueba de Shapiro Wilk en R ..... 145
Figura 92. Resultados en R, Normalidad y homocedasticidad ..... 146
Figura 93. ANOVA por bloques en Excel ..... 147
Figura 94. ANOVA II Una muestra por grupo ..... 148
Figura 95. Resultados ANOVA II una muestra por grupo ..... 148
Figura 96. DMS Fischer producción por abono y lote ..... 155
Figura 97. Base para: ANOVA II varias muestras por grupo en Excel: Producción por Lote y tipo de abono ..... 156
Figura 98. ANOVA II con Real Statistics ..... 156
Figura 99. Resultados ANOVA Factor único (Lotes) ..... 157
Figura 100. ANOVA II 2 filas por grupo (Contrastes por Lote (Li ) ..... 158
Figura 101. ANOVA II para evaluar contrastes factor único (Lotes) ..... 158
Figura 102. Prueba poshoc de Contraste con Real Statitistics ..... 159
Figura 103. Prueba poshoc ANOVA II con Real Statistics ..... 159
Figura 104. Resultados poshoc Tuckey ANOVA II con Real Statistics ..... 160
Figura 105. Diagrama de dispersión de los desplazamientos a diferentes alturas del 2do premolar ..... 173
Figura 106. Cálculos en Excel de MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios) ..... 175
Figura 107. Gráfico de dispersión de cambios de patrón de crecimiento ..... 178
Figura 108. Gráfico de probabilidad del error en una variable aleatoria ..... 179
Figura 109. Prueba de homocedasticidad de las varianzas del modelo en Real Statistics ..... 180

Figura 110. Cálculos paso a paso, de pendiente e intercepto en un modelo (Con 23 observaciones) ..... 182
Figura 111. Análisis de regresión con Excel con 23 observaciones ..... 183
Figura 112. Modelo en Excel con gráfico de dispersión ..... 192
Figura 113. El modelo en Excel ..... 193
Figura 114. Gráfico de los residuales ..... 193
Figura 115. Probabilidad de sobrevivencia ..... 196
Figura 116. Cálculos paso a paso de la probabilidad de sobrevivencia ..... 197
Figura 117. Estimación de los coeficientes del modelo logístico usando Solver de Excel ..... 198
Figura 118. El modelo logístico con Real Statitsitics en Excel ..... 198
Figura 119. Curva Roc ..... 199
Figura 120. El modelo logístico para datos desagregados en Excel con Real Statistics ..... 200
Figura 121. Modelo logístico en R para el ejercicio de sobrevivencia ..... 200
Figura 122. Modelo logístico en R presencia de fallas por temperatura ..... 201
Figura 123. Gráfico de probabilidad p(x) ..... 202
Figura 124. Modelo de regresión múltiple ..... 206
Figura 125. Cálculos manuales en Excel, para modelos de regresión múltiple ..... 209
Figura 126. Cálculo del Coeficiente de determinación múltiple ..... 210
Figura 127. Pasos en Excel, pendiente de una regresión múltiple ..... 210
Figura 128. Pasos modelo de regresión múltiple en Excel por la pestaña Análisis de datos ..... 211
Figura 129. Regresión múltiple en Excel ..... 211
Figura 130. Regresión múltiple en R ..... 212
Figura 131. Gráficos de regresión múltiple en Excel ..... 212
Figura 132. Gráfico de regresión múltiple en R ..... 213
Figura 133. Gráfico modelo de regresión múltiple ..... 214
Figura 134. Prueba F, o de varianza (significancia del modelo) ..... 215
Figura 135. Modelo de regresión múltiple en Real Statistics ..... 216
Figura 136. Resultados en R-Rcdmr ..... 217
Figura 137. Análisis de correlación con Excel ..... 219
Figura 138. Resultados en R ..... 219
Figura 139. Cálculo de los valores Beta (pendientes del modelo de regresión múltiple) ..... 221

Figura 140. Coeficientes del modelo con Excel: Distancia Intercanina=Espacio faringeo+sexo ..... 224
Figura 141. Resultados en Excel ..... 229
Figura 142. El modelo en Excel ..... 230
Figura 143. Análisis de Correlación en R, existe correlación entre variables independientes ..... 231
Figura 144. Análisis de regresión Y vs X2 Usando Excel ..... 232
Figura 145. Análisis de regresión Y vs X2, X3 ..... 232
Figura 146. Análisis de Regresión Y vs X2, X3, X4 ..... 233
Figura 147. Análisis de regresión Y vs X1, X2, X3, X4 usando Real Statistics ..... 233
Figura 148. Análisis de regresión Y vs X2, X3, X4 ..... 234
Figura 149. Regresión curvilineal ..... 236
Figura 150. Ajuste del modelo curvilenal ..... 237
Figura 151. Modelo de regresión curvilineal por regresión múltiple ..... 238
Figura 152. Resultados modelo logarítmico en Excel ..... 240

# ÍNDICE DE TABLAS


Tabla 1. Resumen estimación del intervalo de confianza..... 5
Tabla 2. Distribuciones muestrales para: N=4, n=2..... 8
Tabla 3. Distribuciones muestrales del trabajo..... 8
Tabla 4. Tamaño de una muestra para que presente distribución normal, basado en error estandarizado..... 10
Tabla 5. Datos a transformar por Box Cox..... 12
Tabla 6. Fuerza de adhesión del esmalte de dientes..... 14
Tabla 7. Tiempos (seg) actividad maseterina izquierda de individuos hiperdivergentes..... 16
Tabla 8. Niveles de deoxipiridinolinas y la altura en milímetros de la cresta ósea pre y postquirúrgica..... 17
Tabla 9. Frecuencia de solicitud de implantes..... 18
Tabla 10. Evaluación función oclusal..... 21
Tabla 11. Fuerza de descementación (Kilogramos fuerza)..... 28
Tabla 12. Muestras posibles a seleccionar de N=15..... 29
Tabla 13. Promedios de las 15 muestras..... 30
Tabla 14. Intervalos de confianza de las 15 muestras..... 31
Tabla 15. Determinación valor Z en Excel..... 31
Tabla 16. Intervalos de confianza con los valores Z..... 32

Tabla 17. Tipo de complicación (conteo total de leucocitos) ..... 32
Tabla 18. Estimación del valor de la distribución T en Excel..... 34
Tabla 19. Análisis de intervalos de confianza..... 38
Tabla 20. Mediciones patrón de crecimiento de Maxilar superior..... 47
Tabla 21. Prueba de hipótesis a una cola ..... 49
Tabla 22. Mediciones de Rickets. Maxilar superior..... 49
Tabla 23. Estimación de la probabilidad de T usando Excel..... 54
Tabla 24. Tabla de comparación de rugosidades pre-pos tratamiento..... 54
Tabla 25. Pasos en Real Statistics paar prueba de hipótesis de una proporción ..... 55
Tabla 26. Estadísticos de comparación..... 58
Tabla 27. Fuerzas y tipo de falla ..... 59
Tabla 28. Estadísticos de fuerzas..... 60
Tabla 29. Cálculo valor de T usando Excel..... 60
Tabla 30. Estadísticos tipos de Brackets..... 61
Tabla 31. Cálculo del estadístico T usando Excel ..... 61
Tabla 32. Estadísticos pre-pos tratamiento sistemas de pulimento..... 63
Tabla 33. Tipos de falla por Brackets..... 64
Tabla 34. Cantidad tipo de falla por Brackets ..... 64
Tabla 35. Cálculo del valor Z usando Excel ..... 66
Tabla 36. Cálculo valor Z utilizando Excel..... 68
Tabla 37. Cálculo valor Z utilizando Excel..... 68
Tabla 38. Planteamiento de hipótesis ..... 69
Tabla 39. Estadísticos de investigación patrón de crecimiento paciente puberal ..... 69
Tabla 40. Cálculo valor Z utilizando Excel..... 70
Tabla 41. Pasos para prueba Z en Excel ..... 71
Tabla 42. Pasos para la prueba T a dos colas..... 75
Tabla 43. Pasos en Excel para la prueba T ..... 77
Tabla 44. Estadísticos de investigación, comparación de rugosidad ..... 79
Tabla 45. Pasos para la prueba T a dos colas en Excel ..... 80
Tabla 46. Pasos en R para prueba Z de proporciones..... 83
Tabla 47. Estadísticos de investigación ..... 85
Tabla 48. Pasos para la prueba F en Excel..... 88
Tabla 49. Absorción de humedad en mezclas de cemento dental ..... 93

Tabla 50. Organización tabla de tratamientos ..... 94
Tabla 51. Cuadrado medio de tratamientos ..... 95
Tabla 52. Suma Cuadrado de tratamientos ..... 95
Tabla 53. Análisis de varianza para la clasificación en una vía ..... 96
Tabla 54. Tabla de ANOVA I ..... 96
Tabla 55. Tabla de ANOVA I cálculos en forma manual ..... 99
Tabla 56. Valores críticos para la prueba de Bartlett ..... 106
Tabla 57. Fuerza adhesiva de grabado ..... 110
Tabla 58. Cuatro experimentos: muerte de ratas con uso de tetracloruro ..... 110
Tabla 59. Suma de cuadrados ..... 112
Tabla 60. Análisis de varianza para la clasificación en una vía de la humedad salival ..... 113
Tabla 61. Piridinolina ..... 114
Tabla 62. Estadísticos T y F ..... 115
Tabla 63. Comparaciones de tratamientos ..... 115
Tabla 64. Comparaciones de Mezclas ..... 115
Tabla 65. Comparaciones de Mezclas humedad cemento dental ..... 116
Tabla 66. Tabla para Comparación intervalos de confianza de Mezclas humedad cemento dental en Excel ..... 117
Tabla 67. Comparación promedios de Mezclas humedad cemento dental ..... 118
Tabla 68. Puntos porcentuales superiores de la amplitud estudentizada de Tukey (qa) ..... 119
Tabla 69. Respuesta Tisular Osteosito ..... 126
Tabla 70. Efecto de cuatro enjuagues ..... 130
Tabla 71. Tratamientos por bloque ..... 131
Tabla 72. Registro por bloque ..... 131
Tabla 73. Registro de tratamientos por bloques ..... 131
Tabla 74. ANOVA por Bloques ..... 132
Tabla 75. Eficiencia del hipoclorito por periodos de 3min ..... 133
Tabla 76. ANOVA II Hipoclorito por grupo y periodo ..... 133
Tabla 77. Tiempos posición Brackets ..... 136
Tabla 78. Cuadrados medios esperados para el experimento de un factor ..... 136
Tabla 79. Dosis por grupo ..... 139

Tabla 80. Manchas en personas por crema ..... 139
Tabla 81. ANOVA II ..... 142
Tabla 82. Tiempos de coagulación ..... 143
Tabla 83. Base organizada para prueba de Bartlet en R ..... 145
Tabla 84. ANOVA II con réplicas ..... 149
Tabla 85. Resumen ANOVA II con réplicas ..... 150
Tabla 86. Alcalinidad por lote y tipo de abono ..... 150
Tabla 87. Promedios alcalinidad ..... 151
Tabla 88. Resumen ANOVA II vías con n réplicas, interacción de factores ..... 151
Tabla 89. ANOVA II vías con n réplicas ..... 152
Tabla 90. Estimación valor de la F usando Excel ..... 152
Tabla 91. ANOVA con varias muestras por grupo ..... 153
Tabla 92. Construcción de la base para R para ANOVA II ..... 153
Tabla 93. Pasos en R, para ANOVA II ..... 154
Tabla 94. Resultados Poshoc Tukey ..... 157
Tabla 95. Mediciones manual y digital de Bjork ..... 160
Tabla 96. Construcción Cuadrado Latino ..... 162
Tabla 97. Tabla 97. ANOVA II vías para el cuadrado latino ..... 163
Tabla 98. ANOVA II vías con el cuadrado latino ..... 163
Tabla 99. Cuadrado Latino, evaluación temperatura-horno ..... 164
Tabla 100. ANOVA III ..... 164
Tabla 101. Rellenos de dureza dental de oro ..... 165
Tabla 102. Pasos ANOVA III Por modelos lineales en R ..... 166
Tabla 103. Base para ANOVA III ..... 167
Tabla 104. Relación y ajuste lineal ..... 170
Tabla 105. Datos para análisis del desplazamiento del 2do premolar ..... 172
Tabla 106. Pasos para trazar el diagrama de dispersión por Excel ..... 173
Tabla 107. Datos ejercicio 4 ..... 175
Tabla 108. Pasos en Excel Modelo Lineal ..... 176
Tabla 109. Segmento base de datos Altura-Desplazamiento ..... 176
Tabla 110. Pesos y consumos ..... 176
Tabla 111. Pasos en Excel para estimar el modelo lineal (23 mediciones, Base Cráneo, Maxilar Inf.) ..... 178
Tabla 112. Tabla de ANOVA en regresión (con los 91 pacientes, evaluación maxilar inf.) ..... 181

Tabla 113. Desviación total en el estudio ..... 184
Tabla 114. ANOVA ..... 189
Tabla 115. Presión-Extensión ..... 190
Tabla 116. ANOVA para regresión ..... 191
Tabla 117. Resultados ANOVA de Regresión ..... 191
Tabla 118. Lecturas de calibración ..... 194
Tabla 119. Presencia de fallas a diferentes temperaturas ..... 201
Tabla 120. Dosis, linfoblastos y aberraciones ..... 203
Tabla 121. Temperaturas y variables de estudio ..... 203
Tabla 122. Concentración de Nicotina para muerte del Chikunguña ..... 204
Tabla 123. ANOVA de una regresión multiple ..... 208
Tabla 124. Datos clínica odontológica ..... 209
Tabla 125. Distancia intercanina y faringeo por sexo ..... 223
Tabla 126. Coeficientes del modelo: Distancia Intercanina= Espacio faringeo+sexo ..... 223
Tabla 127. Datos longitud maxilar ..... 225
Tabla 128. Tabla de datos para el modelo de regresión múltiple ..... 226
Tabla 129. Pasos en Excel, construcción de un modelo de regresión múltiple ..... 227
Tabla 130. Pasos en R (Rcmdr), para construir el modelo de regresión múltiple ..... 228
Tabla 131. Pasos en R para el modelo curvilineal ..... 238
Tabla 132. Datos para un modelo logarítmico ..... 239
Tabla 133. Datos para Ejercicio 1 ..... 240

# Sistema de Información en Línea

En el desarrollo del libro encontrará procedimientos paso a paso para el buen logro de sus objetivos en el desenvolvimiento de sus temas a estudiar o investigar y, sobre todo, en forma muy sencilla y comprensiva. Asimismo, al final del libro encontrará el código para ingresar al **Sistema de información en Línea** - SIL - - donde podrá descargar material complementario como artículos y evaluaciones e ingresar canal de YouTube "Bioestadística Sin Lágrimas", en el cual se resuelven los ejercicios paso a paso, investigaciones e incluso temas que saldrán en ediciones posteriores, así como los ejercicios solicitados por los seguidores de todo el mundo. Aprovecho para agradecer a la comunidad iberoamericana especialmente chilena, peruana, mexicana y española, pues hay bastante investigador y estudiante que me sigue y solicita ayuda, la que se ofrece con mucho gusto.

En forma rigurosamente sencilla, usted disfrutará y aplicará los conocimientos necesarios para que, apoyado en herramientas de bioestadística; estadística descriptiva, inferencial y multivariada; así como de calidad y de series de tiempo, tome decisiones fundamentándose en el rigor científico sin necesidad de haberse graduado en matemáticas, ingeniería o estadística. Para ello utilizará herramientas como Excel, Real Statistics (software libre cuyo autor es el Dr. Zaionitz), R y SPSS, aplicándolas sobre los conceptos necesarios y profundizando, en forma rigurosa, si así desea, para conocer los procedimientos o pruebas matemáticas.

Los ejemplos y ejercicios son tomados en su mayoría de casos reales de investigación desarrollados por odontólogos en sus diferentes especializaciones del Centro de Estudios e Investigaciones Odontológicas, además de los médicos investigadores de la Fundación Santa Fe de Bogotá, y el Colegio Odontológico Colombiano UNICOC.