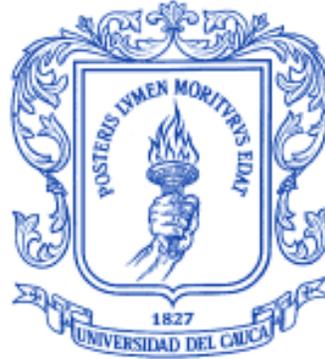


Método de conjunto de clasificadores para la detección de roya basado en datos sintéticos



Edwar Javier Girón Buitrón

Tesis de Maestría en Ingeniería Telemática

Director:

Dr. David Camilo Corrales Muñoz, PhD
Departamento de telemática, Universidad del Cauca

Co-Directores:

Dr. José Antonio Iglesias Martínez
Departamento de informática, Universidad Carlos III de Madrid
Dr. Juan Carlos Corrales Muñoz, PhD
Departamento de telemática, Universidad del Cauca

Universidad Del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y telecomunicaciones
Departamento de Telemática
e- @mbiente
Popayán, Noviembre de 2019

Edwar Javier Girón Buitrón

Método de conjunto de clasificadores para la detección de
roya basado en datos sintéticos

Tesis presentada a la
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
de la Universidad del Cauca, Colombia
para otorgar el grado académico de

Magíster en:
Ingeniería Telemática

Director:
Dr. David Camilo Corrales Muñoz, PhD
Departamento de telemática, Universidad del Cauca

Co-Directores:
Dr. José Antonio Iglesias Martínez
Departamento de informática, Universidad Carlos III de Madrid
Dr. Juan Carlos Corrales Muñoz, PhD
Departamento de telemática, Universidad del Cauca

Popayán
2019

Contenido

Contenido	iii
Lista de Figuras	vi
Lista de Tablas	xiii
Anexo A	15
Selección de características	15
A.1 Experimentos con el algoritmo RFE	15
A.1.1 Experimento E-001	15
A.1.2 Experimento E-002	17
A.1.3 Experimento E-003	18
A.1.4 Experimento E-004	22
A.1.5 Experimento E-005	25
A.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN	30
A.2.1 Precipitación en “El Naranjal”	30
A.2.2 Precipitación en “Santagueda”	33
A.2.3 Precipitación en “Jazmín”	34
Anexo B	37
Predicción con series de tiempo	37
B.1 Pruebas de rendimiento en la predicción de variables climatológicas	38
B1.1 Todos los datos disponibles.....	38
B1.1.1 Temperatura máxima.....	38
B1.1.2 Temperatura media	41
B1.1.3 Punto de rocío	43
B1.1.4 Humedad	45

B1.1.5 Brillo solar	46
B1.1.6 Precipitación durante el día.....	48
B1.1.7 Precipitación durante la noche	50
B1.2 Formación de hojas	52
B1.2.1 Temperatura máxima	52
B1.2.2 Temperatura media.....	53
B1.2.3 Punto de rocío.....	55
B1.2.4 Humedad	57
B1.2.5 Brillo solar	58
B1.2.6 Precipitación durante el día.....	60
B1.2.7 Precipitación durante la noche	61
B1.3 Floración.....	64
B1.3.1 Temperatura máxima	64
B1.3.2 Temperatura media.....	65
B1.3.3 Punto de rocío.....	67
B1.3.4 Humedad	69
B1.3.5 Brillo solar	70
B1.3.6 Precipitación durante el día.....	72
B1.3.7 Precipitación durante la noche	74
B1.4 Cosecha	76
B1.4.1 Temperatura máxima	76
B1.4.2 Temperatura media.....	77
B1.4.3 Punto de rocío.....	79
B1.4.4 Humedad	81
B1.4.5 Brillo solar	82
B1.4.6 Precipitación durante el día.....	84
B1.4.7 Precipitación durante la noche	86

B.2 Evaluación del pronóstico con series de tiempo para las variables de clima utilizando los test de Friedman y T-test pareado	87
B.2.1 Test de Friedman.....	88
B.2.2 T-test pareado	90
Anexo C	96
Detección de la Incidencia de Roya (IR) en cultivos de café colombianos	96
C.1 Capacidades del método de conjunto para la detección de roya en Colombia	96
C.2 Medidas de estadística descriptiva en la IR	100

Lista de Figuras

Figura A 1. Valores de RMSE para las regiones “Jazmín”, “Naranjal” y “Santaguada” utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-001.....	16
Figura A 2. Valores de RMSE para las regiones “Jazmín”, “Naranjal” y “Santaguada” utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-002.....	17
Figura A 3. Valores de RMSE para las regions: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santaguada, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-003	20
Figura A 4. Valores de RMSE para las regions: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santaguada, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-004	23
Figura A 5. Valores de RMSE para las regions: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santaguada, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-005	27
Figura A 6. Precipitación en los años de 1985 (a), 1986 (b) y 1987(c) frente a la incidencia de roya en los mismos periodos	31
Figura A 7. Precipitación en los años de 1985 frente a la incidencia de roya en los mismos periodos	33
Figura A 8. Precipitación en los años de 1986 (a), 1987 (b) y 1988 (c) frente a la incidencia de roya en los mismos periodos para la región Jazmín	35
Figura B 1. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	39
Figura B 2. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”	39
Figura B 3. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santaguada”	40
Figura B 4. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	41

Figura B 5. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”	41
Figura B 6. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”	42
Figura B 7. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	43
Figura B 8. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”	43
Figura B 9. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”	44
Figura B 10. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	45
Figura B 11. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal” ..	45
Figura B 12. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”	46
Figura B 13. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín” ...	47
Figura B 14. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal” .	47
Figura B 15. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”	47
Figura B 16. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	48
Figura B 17. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”	49

Figura B 18. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”.....	49
Figura B 19. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”	50
Figura B 20. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranja”	50
Figura B 21. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”.....	51
Figura B 22. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	52
Figura B 23. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranja”	52
Figura B 24. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	53
Figura B 25. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín” .	54
Figura B 26. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranja”	54
Figura B 27. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	54
Figura B 28. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	55
Figura B 29. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranja”	56
Figura B 30. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	56

Figura B 31. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	57
Figura B 32. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”	57
Figura B 33. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	58
Figura B 34. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	59
Figura B 35. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”	59
Figura B 36. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	59
Figura B 37. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	60
Figura B 38. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”	61
Figura B 39. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	61
Figura B 40. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”	62
Figura B 41. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”	62
Figura B 42. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”	63
Figura B 43. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	64
Figura B 44. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	64

Figura B 45. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	65
Figura B 46. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	66
Figura B 47. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	66
Figura B 48. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	66
Figura B 49. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	67
Figura B 50. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	68
Figura B 51. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	68
Figura B 52. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	69
Figura B 53. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	69
Figura B 54. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	70
Figura B 55. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	71
Figura B 56. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	71
Figura B 57. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	71
Figura B 58. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	72
Figura B 59. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	73
Figura B 60. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”	73
Figura B 61. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”	74

Figura B 62. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”	74
Figura B 63. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Santaguada”	75
Figura B 64. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	76
Figura B 65. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	76
Figura B 66. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santaguada”	77
Figura B 67. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	78
Figura B 68. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	78
Figura B 69. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santaguada”	78
Figura B 70. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	79
Figura B 71. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	80
Figura B 72. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santaguada”	80
Figura B 73. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	81
Figura B 74. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	81
Figura B 75. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santaguada”	82
Figura B 76. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	83
Figura B 77. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	83

Figura B 78. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”	83
Figura B 79. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”	84
Figura B 80. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	85
Figura B 81. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”	85
Figura B 82. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”.	86
Figura B 83. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”	86
Figura B 84. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”	87
Figura C 1. Detección de la IR durante el periodo de floración para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación.....	96
Figura C 2. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el primer semestre del año para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación	97
Figura C 3. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el segundo semestre del año para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación	97
Figura C 4. Detección de la IR durante el periodo de cosecha para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación.....	98
Figura C 5. Detección de la IR durante el periodo de floración para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación.....	98
Figura C 6. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el primer semestre del año para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación	99
Figura C 7. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el segundo semestre del año para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación	99
Figura C 8. Detección de la IR durante el periodo de cosecha para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación.....	100

Lista de Tablas

Tabla A 1. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 1	17
Tabla A 2. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 2	18
Tabla A 3. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 3	21
Tabla A 4. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 4	25
Tabla A 5. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 5	29
Tabla A 6. Distribución de la precipitación en la región Naranjal clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante los años de 1985, 1986 y 1987.....	32
Tabla A 7. Distribución de la precipitación en la región Santaguada clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante 1985	33
Tabla A 8. Distribución de la precipitación en la región Jazmín clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante los años de 1986, 1987 y 1988 ...	36
Tabla C 1. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región “Jazmín”	100
Tabla C 2. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región “Jazmín”.....	100
Tabla C 3. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región “Jazmín”	101
Tabla C 4. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región “Santaguada”	101
Tabla C 5. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región “Santaguada”	101

Tabla C 6. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región "Santagueda"	101
Tabla C 7. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región "Naranjal"	101
Tabla C 8. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región "Naranjal" ..	101
Tabla C 9. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región "Naranjal"	102

Anexo A

Selección de características

Este anexo contiene los resultados de los experimentos correspondientes a la selección de características de la presente investigación. En primer lugar, se presentan los resultados de los experimentos E-001, 002, 003, 004 y 005, en los cuales se evalúan varios subconjuntos de datos con el algoritmo RFE y cuatro estimadores externos. En segundo lugar, se presentan las variables seleccionadas por el algoritmo RFE para cada experimento realizado en esta sección.

A.1 Experimentos con el algoritmo RFE

Las figuras A1, A2, A3, A4 y A5 muestran el RMSE obtenido en cada experimento para los estimadores externos: random forest, linear regression, bagging tree y GAM. Por su parte, las tablas A1 a A5 muestran los atributos seleccionados por algoritmo RFE para cada experimento realizado.

A.1.1 Experimento E-001

La figura A1 muestra los resultados del experimento correspondiente a la utilización todas las muestras del conjunto de datos con los atributos de clima recomendados por reportes técnicos y especialistas en cultivos.

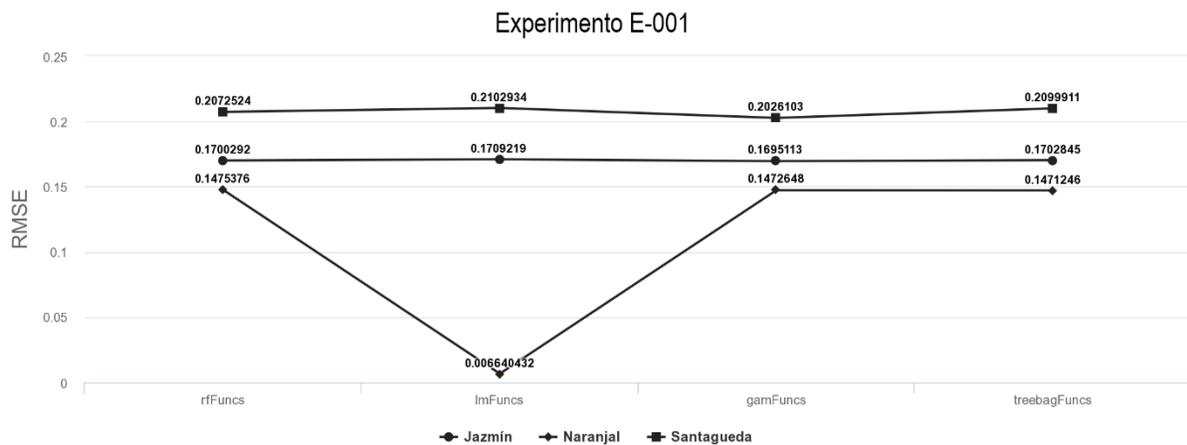


Figura A 1. Valores de RMSE para las regiones “Jazmín”, “Naranjal” y “Santaguada” utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-001

Los atributos seleccionados de acuerdo al algoritmo RFE para el experimento 1 se muestran en la tabla A1:

Región	Modelo	Nro atributos seleccionados	Atributos seleccionados
Jazmín	RF	5	Hum, ΔT , MaxTem, MinTem, Pd
Jazmín	LM	3	MaxTem, MinTem, Hum
Jazmín	GAM	4	Hum, MaxTem, Pd, MinTem
Jazmín	BT	5	Hum, Sol, ΔT , MaxTem, MinTem
Naranjal	RF	7	Hum, MaxTem, ΔT , MinTem, Pd, Sol, Pn
Naranjal	LM	6	MinTem, Sol, MaxTem, Hum, Pd, Pn
Naranjal	GAM	2	MinTem, Hum
Naranjal	BT	5	Hum, ΔT , MaxTem, MinTem, Pn
Santaguada	RF	5	MaxTem, ΔT , MinTem, Sol, Hum
Santaguada	LM	3	MaxTem, MinTem, Sol
Santaguada	GAM	4	Sol, MinTem, MaxTem, ΔT
Santaguada	BT	7	Hum, Sol, MaxTem, ΔT , MinTem, Pn, Pd

Tabla A 1. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 1

A.1.2 Experimento E-002

La figura A2 muestra los RMSE para el experimento correspondiente a la utilización de todas las muestras del conjunto de datos con todos los atributos de clima disponibles.

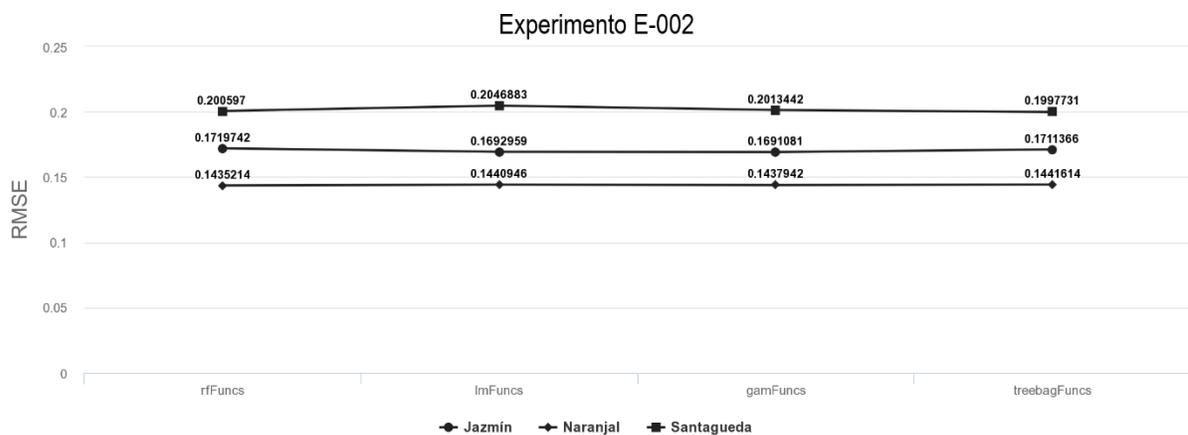


Figura A 2. Valores de RMSE para las regiones “Jazmín”, “Naranjal” y “Santaguada” utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-002

Los atributos seleccionados de acuerdo al algoritmo RFE para el experimento 2 se muestran en la tabla A2:

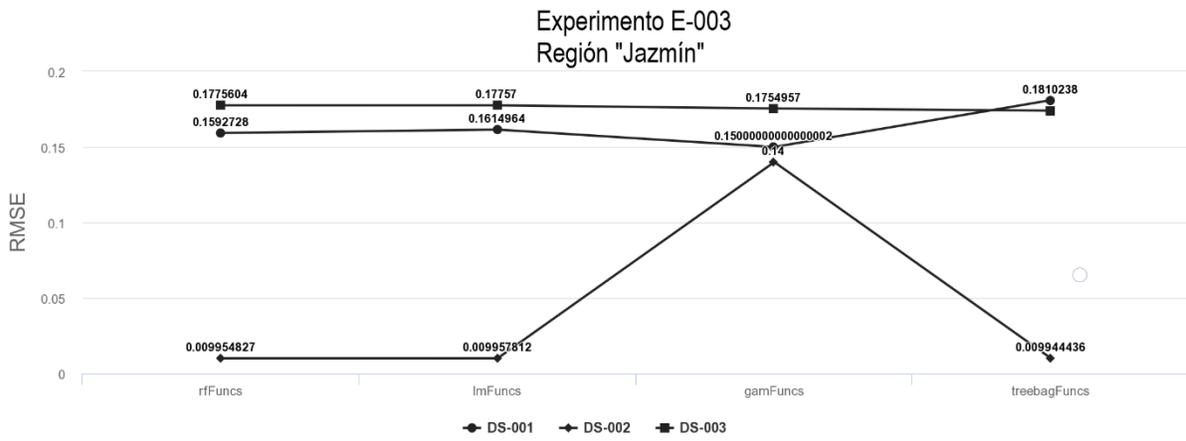
Región	Modelo	Nro atributos seleccionados	Atributos seleccionados
Jazmín	RF	7	VPress, ΔT , Hum, PR, MaxTem, MinTem, PTOTAL
Jazmín	LM	7	PR, VPress, AvgTem, MinTem, MaxTem, Hum, Sol
Jazmín	GAM	4	MaxTem, MinTem, VPress, PR
Jazmín	BT	9	VPress, ΔT , Hum, AvgTem, MaxTem, Sol, MinTem, PR, PTOTAL

Naranjal	RF	11	VPress, Hum, AvgTem, MaxTem, ΔT , MinTem, PR, Sol, PTOTAL, Pd, Pn
Naranjal	LM	9	AvgTem, MinTem, PR, Sol, MaxTem, Hum, Pd, Pn, VPress
Naranjal	GAM	9	VPress, Pd, Sol, Hum, PTOTAL, ΔT , AvgTem, MinTem, Pn
Naranjal	BT	8	Hum, MaxTem, ΔT , VPress, AvgTem, PR, MinTem, PTOTAL
Santagueda	RF	6	Hum, AvgTem, MaxTem, PR, Sol, VPress
Santagueda	LM	6	PR, VPress, MaxTem, Sol, MinTem, Hum
Santagueda	GAM	6	PR, VPress, Sol, ΔT , MinTem, Hum
Santagueda	BT	9	Hum, AvgTem, Sol, VPress, PR, ΔT , MaxTem, MinTem, PTOTAL

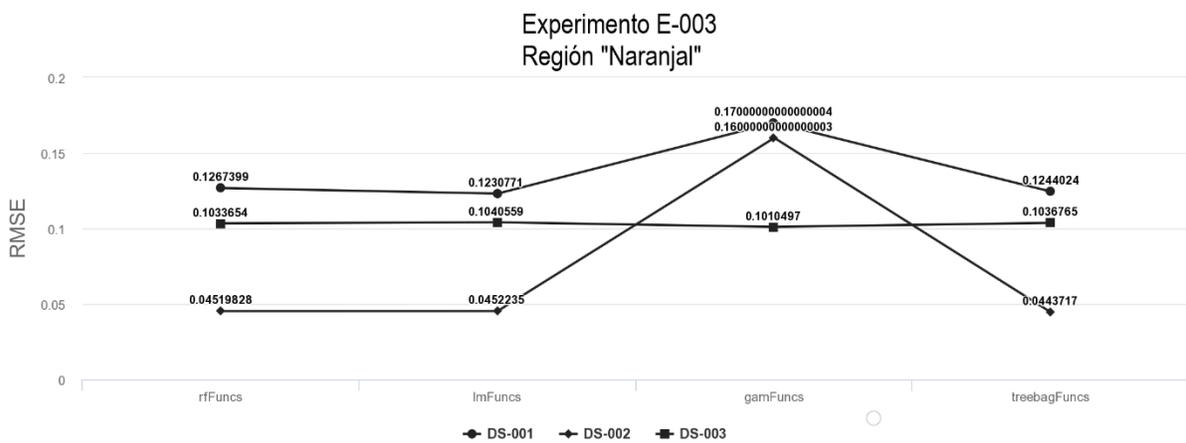
Tabla A 2. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 2

A.1.3 Experimento E-003

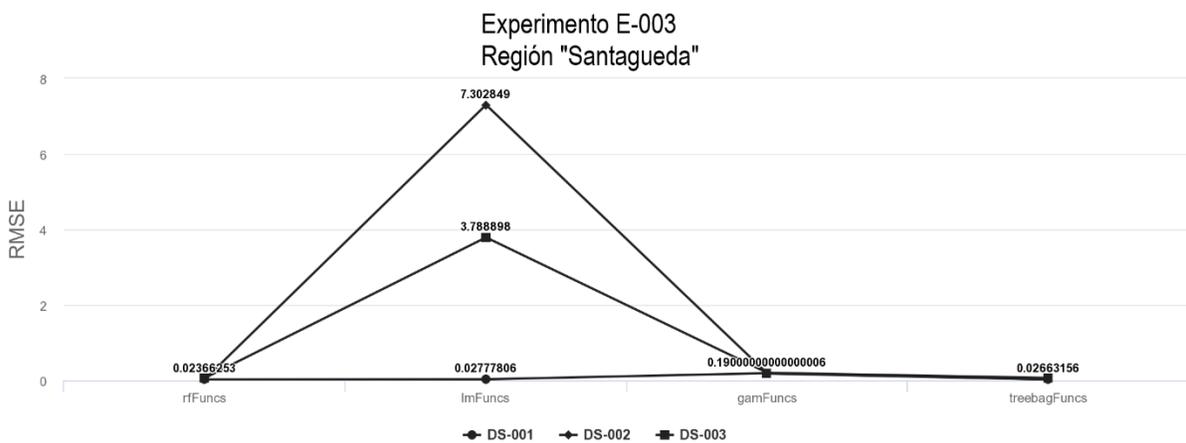
La figura A3 muestra los resultados del experimento correspondiente a la utilización de las muestras correspondientes a los periodos de floración dentro del conjunto de datos, todos los atributos de clima disponibles y tres subconjuntos de datos: DS-001, DS-002, DS-003



(a)



(b)



(c)

Figura A 3. Valores de RMSE para las regions: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santaguada, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-003

Los atributos seleccionados de acuerdo al algoritmo RFE para el experimento 3 se muestran en la tabla A3:

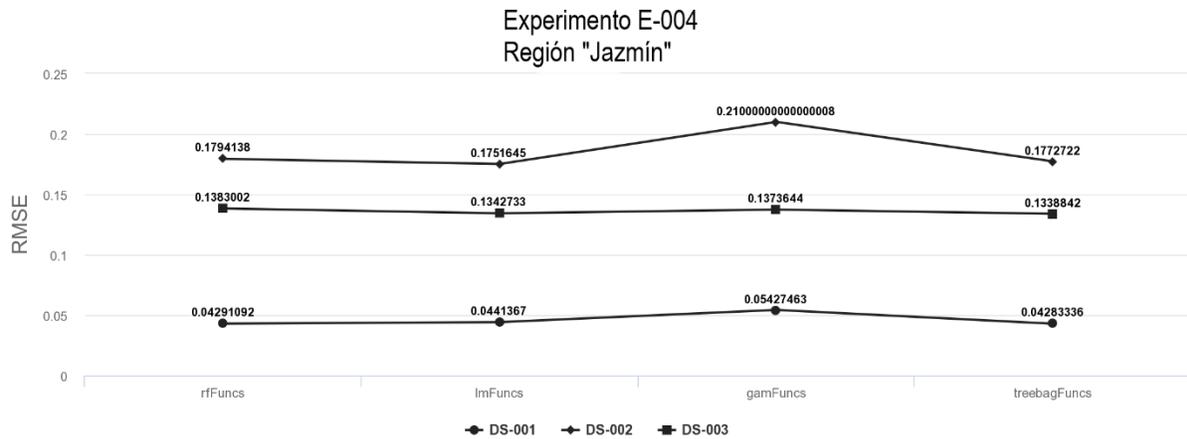
Dataset	Región	Modelo	Nro Atributos seleccionados	Atributos seleccionados
DS1	Jazmín	RF	11	VPress, PR, MinTem, Hum, MaxTem, ΔT , AvgTem, Pd, PTOTAL, Sol, Pn
DS2	Jazmín	RF	3	MinTem, Hum, VPress
DS3	Jazmín	RF	7	VPress, Hum, MinTem, PR, ΔT , AvgTem, MaxTem
DS1	Jazmín	LM	4	PR, VPress, MinTem, AvgTem
DS2	Jazmín	LM	5	PR, VPress, MinTem, AvgTem, Sol
DS3	Jazmín	LM	6	PR, VPress, AvgTem, MinTem, MaxTem, Hum
DS1	Jazmín	GAM	0	
DS2	Jazmín	GAM	0	
DS3	Jazmín	GAM	6	ΔT , MinTem, VPress, Hum, MaxTem, AvgTem
DS1	Jazmín	BT	6	VPress, Hum, MaxTem, AvgTem, ΔT , PR
DS2	Jazmín	BT	10	VPress, MinTem, PR, Hum, Sol, TEMD, MaxTem, ΔT , PTOTAL, Pn
DS3	Jazmín	BT	6	Hum, AvgTem, VPress, MaxTem, ΔT , MinTem
DS1	Naranjal	RF	2	VPress, AvgTem
DS2	Naranjal	RF	10	MaxTem, Hum, VPress, ΔT , MinTem, PR, AvgTem, PTOTAL, Sol, Pd
DS3	Naranjal	RF	6	MaxTem, ΔT , AvgTem, VPress, Hum, MinTem
DS1	Naranjal	LM	11	AvgTem, PR, Hum, MinTem, MaxTem, Sol,

				Pd, Pn, VPress, ΔT , PTOTAL
DS2	Naranjal	LM	4	PR, MaxTem, AvgTem, MinTem
DS3	Naranjal	LM	2	PR, AvgTem
DS1	Naranjal	GAM	0	
DS2	Naranjal	GAM	0	
DS3	Naranjal	GAM	3	MinTem, PR, PTOTAL
DS1	Naranjal	BT	5	AvgTem, VPress, MaxTem, ΔT , Hum
DS2	Naranjal	BT	8	VPress, ΔT , AvgTem, MaxTem, Hum, PR, MinTem, Sol
DS3	Naranjal	BT	11	ΔT , MaxTem, AvgTem, Hum, MinTem, VPress, Sol, PR, PTOTAL, Pd, Pn
DS1	Santaguada	RF	11	MinTem, AvgTem, VPress, Hum, MaxTem, Sol, ΔT , Pd, PTOTAL, PR, Pn
DS2	Santaguada	RF	6	PR, VPress, ΔT , Hum, MaxTem, Sol
DS3	Santaguada	RF	10	MaxTem, VPress, Hum, MinTem, ΔT , PR, Sol, AvgTem, Pd, PTOTAL
DS1	Santaguada	LM	1	VPress
DS2	Santaguada	LM	2	VPress, Pd
DS3	Santaguada	LM	1	VPress
DS1	Santaguada	GAM	0	
DS2	Santaguada	GAM	0	
DS3	Santaguada	GAM	0	
DS1	Santaguada	BT	9	MinTem, Hum, AvgTem, VPress, Sol, PR, MaxTem, ΔT , Pd
DS2	Santaguada	BT	2	VPress, PR
DS3	Santaguada	BT	4	Hum, Sol, VPress, ΔT

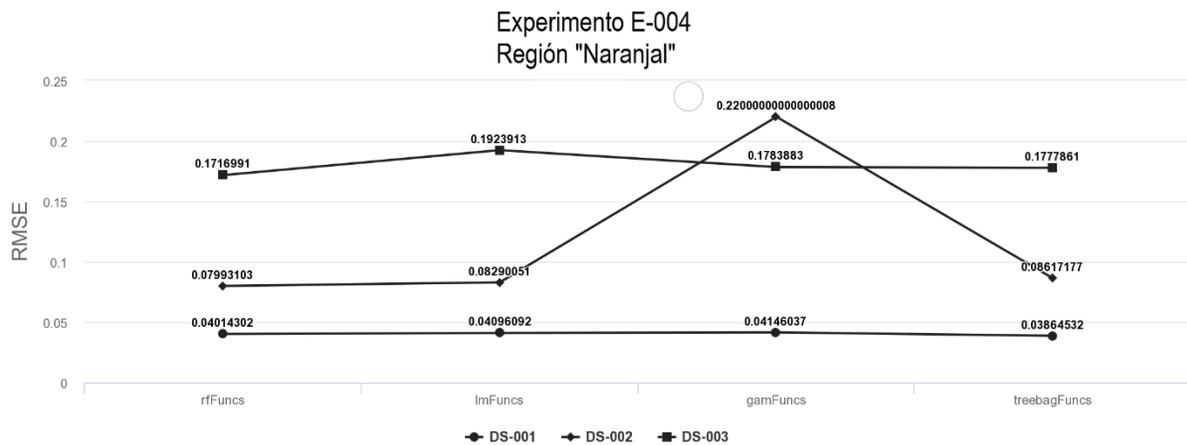
Tabla A 3. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 3

A.1.4 Experimento E-004

Experimento correspondiente a la utilización de las muestras correspondientes a los periodos de formación dentro del conjunto de datos, todos los atributos de clima disponibles y tres subconjuntos de datos: DS-001, DS-002, DS-003. La figura A4 muestra los resultados del RMSE en cada caso estudiado.



(a)



(b)

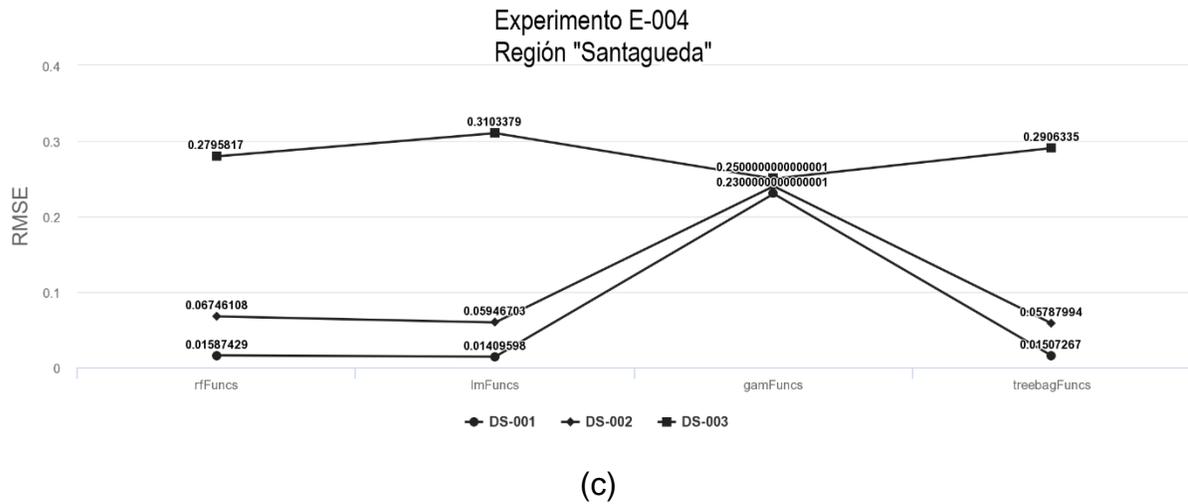


Figura A 4. Valores de RMSE para las regiones: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santagueda, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-004

Los atributos seleccionados de acuerdo al algoritmo RFE para el experimento 4 se muestran en la tabla A4:

Dataset	Región	Modelo	Nro Atributos seleccionados	Atributos seleccionados
DS1	Jazmín	RF	10	VPress, AvgTem, MaxTem, ΔT , PR, Sol, PTOTAL, Pd, Hum, MinTem
DS2	Jazmín	RF	9	ΔT , VPress, MaxTem, PR, AvgTem, Hum, Sol, MinTem, PTOTAL
DS3	Jazmín	RF	11	MaxTem, ΔT , Hum, AvgTem, VPress, PR, PTOTAL, Pd, MinTem, Sol, Pn
DS1	Jazmín	LM	2	AvgTem, VPress
DS2	Jazmín	LM	6	PR, VPress, AvgTem, MinTem, MaxTem, Hum
DS3	Jazmín	LM	6	VPress, PR, AvgTem, MinTem, MaxTem, Sol
DS1	Jazmín	GAM	1	Pd
DS2	Jazmín	GAM	0	

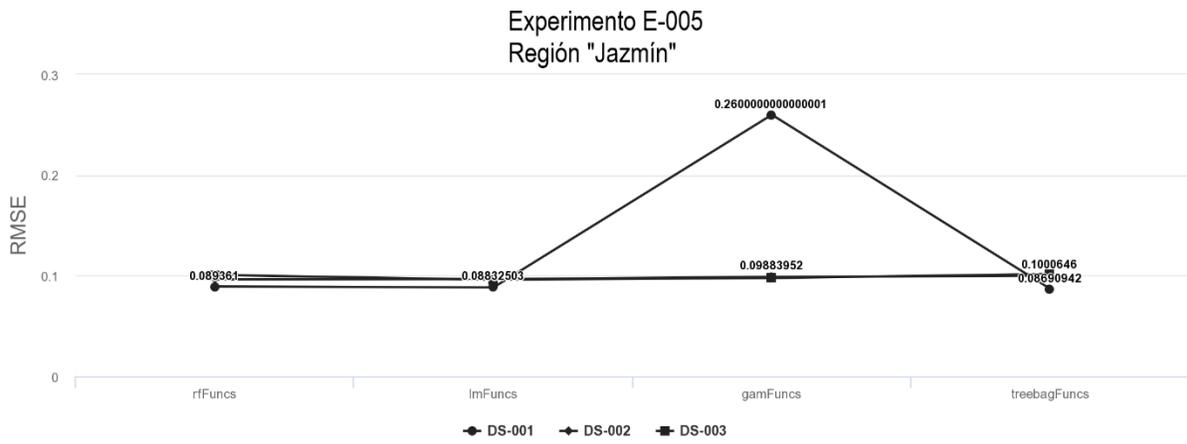
DS3	Jazmín	GAM	1	Sol
DS1	Jazmín	BT	10	VPress, AvgTem, PR, Sol, MaxTem, ΔT , Hum, MinTem, PTOTAL, Pd
DS2	Jazmín	BT	4	ΔT , VPress, MaxTem, AvgTem
DS3	Jazmín	BT	11	ΔT , MaxTem, AvgTem, VPress, Hum, Sol, MinTem, PTOTAL, PR, Pd, Pn
DS1	Naranjal	RF	7	VPress, PR, MaxTem, MinTem, Hum, Sol, ΔT
DS2	Naranjal	RF	8	VPress, PR, Hum, ΔT , MinTem, Sol, MaxTem, AvgTem
DS3	Naranjal	RF	6	VPress, Hum, AvgTem, Sol, Pd, MaxTem
DS1	Naranjal	LM	9	AvgTem, PR, MaxTem, Sol, Hum, MinTem, Pd, Pn, VPress
DS2	Naranjal	LM	5	PR, AvgTem, VPress, MaxTem, Hum
DS3	Naranjal	LM	6	Sol, AvgTem, PR, Hum, MaxTem, MinTem, Pd, Pn, VPress
DS1	Naranjal	GAM	3	VPress, Sol, MaxTem
DS2	Naranjal	GAM	0	
DS3	Naranjal	GAM	6	VPress, Sol, Hum, ΔT , Pd, Pn
DS1	Naranjal	BT	8	VPress, Hum, PR, ΔT , MaxTem, AvgTem, MinTem, Sol
DS2	Naranjal	BT	7	VPress, Hum, ΔT , PR, MinTem, AvgTem, MaxTem
DS3	Naranjal	BT	10	Hum, AvgTem, VPress, MaxTem, ΔT , PR, Sol, MinTem, PTOTAL, Pd
DS1	Santaguada	RF	11	PR, VPress, AvgTem, PTOTAL, Pn, Hum, MaxTem, MinTem, Sol, ΔT , Pd
DS2	Santaguada	RF	9	VPress, PR, ΔT , AvgTem, MaxTem, Hum, Pn

				,PTOTAL ,Sol
DS3	Santagueda	RF	7	Hum, Sol, MaxTem ,AvgTem ,ΔT ,PR ,MinTem
DS1	Santagueda	LM	7	VPress ,PR ,AvgTem ,Pd ,MaxTem ,Pn ,Sol
DS2	Santagueda	LM	3	AvgTem ,VPress ,PR
DS3	Santagueda	LM	4	PR ,VPress ,AvgTem ,MaxTem
DS1	Santagueda	GAM	0	
DS2	Santagueda	GAM	0	
DS3	Santagueda	GAM	0	
DS1	Santagueda	BT	6	VPress ,AvgTem ,PR ,Hum ,MaxTem ,Sol ,ΔT, MinTem ,PTOTAL ,Pn
DS2	Santagueda	BT	2	VPress ,PR
DS3	Santagueda	BT	8	Sol ,Hum ,AvgTem ,ΔT ,MaxTem ,MinTem ,VPress ,PR

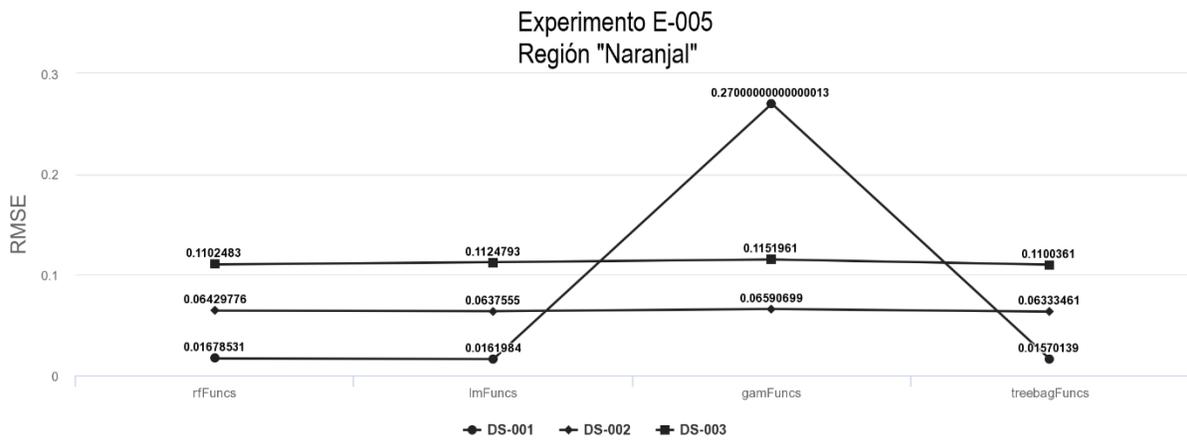
Tabla A 4. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 4

A.1.5 Experimento E-005

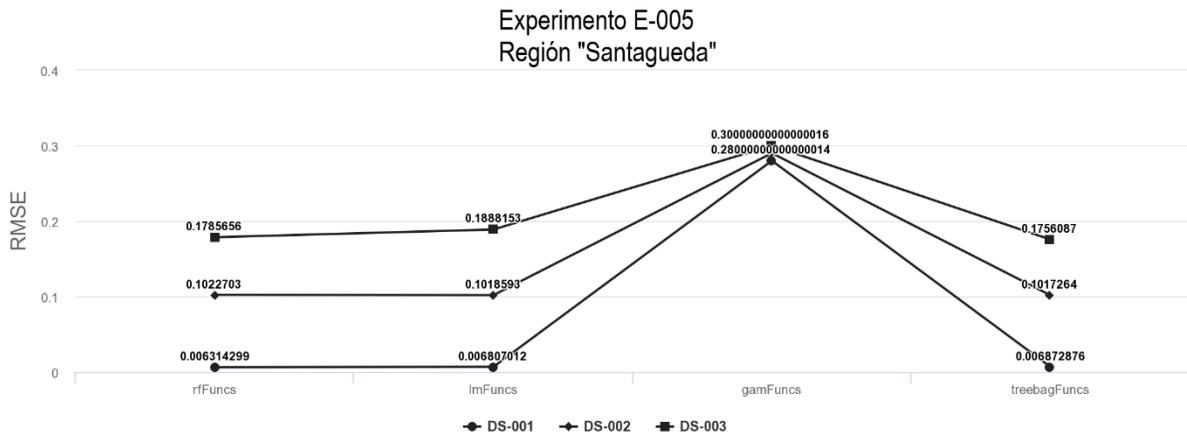
Experimento correspondiente a la utilización de las muestras correspondientes a los periodos de cosecha dentro del conjunto de datos, todos los atributos de clima disponibles y tres subconjuntos de datos: DS-001, DS-002, DS-003. La figura A5 muestra los resultados obtenidos en el experimento para las distintas combinaciones estudiadas.



(a)



(b)



(c)

Figura A 5. Valores de RMSE para las regions: (a) Jazmín, (b) Naranjal y (c) Santaguada, utilizando los estimadores externos: RF, LM, GAM y BT y el experimento E-005

Los atributos seleccionados de acuerdo al algoritmo RFE para el experimento 5 se muestran en la tabla A5:

Dataset	Región	Modelo	Nro Atributos seleccionados	Atributos seleccionados
DS1	Jazmín	RF	11	PR , Pn , ΔT ,MaxTem ,VPress, AvgTem ,PTOTAL ,Sol ,Hum ,Pd ,MinTem
DS2	Jazmín	RF	11	VPress ,PR ,AvgTem ,MaxTem ,Pn ,Hum ,PTOTAL , ΔT ,Sol ,MinTem ,Pd
DS3	Jazmín	RF	5	VPress, PR ,AvgTem ,MaxTem , ΔT
DS1	Jazmín	LM	1	VPress
DS2	Jazmín	LM	1	VPress
DS3	Jazmín	LM	1	VPress
DS1	Jazmín	GAM	0	
DS2	Jazmín	GAM	1	VPress
DS3	Jazmín	GAM	1	VPress
DS1	Jazmín	BT	8	VPress ,Hum ,AvgTem ,Sol ,PR ,MaxTem , ΔT ,PTOTAL
DS2	Jazmín	BT	8	VPress ,AvgTem ,MaxTem ,Hum ,Sol ,PR , ΔT ,PTOTAL
DS3	Jazmín	BT	1	VPress
DS1	Naranjal	RF	3	VPress , ΔT ,Hum
DS2	Naranjal	RF	5	Hum , ΔT ,Sol ,MaxTem ,VPress
DS3	Naranjal	RF	4	VPress ,MaxTem ,MinTem ,AvgTem

DS1	Naranjal	LM	9	PR ,AvgTem ,MaxTem ,Hum ,Sol ,MinTem ,Pd ,Pn ,VPress
DS2	Naranjal	LM	6	PR ,AvgTem ,MinTem ,Hum ,Sol ,MaxTem
DS3	Naranjal	LM	11	PR ,AvgTem ,MinTem ,Hum ,MaxTem, Sol ,Pd ,Pn, VPress , ΔT ,PTOTAL
DS1	Naranjal	GAM	0	
DS2	Naranjal	GAM	1	Sol
DS3	Naranjal	GAM	3	VPress ,MinTem ,Sol
DS1	Naranjal	BT	9	VPress , ΔT ,MaxTem ,Hum ,AvgTem ,Sol ,MinTem ,PR ,PTOTAL
DS2	Naranjal	BT	1	,Hum
DS3	Naranjal	BT	6	MaxTem ,VPress ,MinTem ,AvgTem ,Hum , ΔT
DS1	Santagueda	RF	10	MinTem , ΔT ,MaxTem ,AvgTem ,VPress ,PR ,Sol ,PTOTAL ,Hum ,Pn
DS2	Santagueda	RF	3	Pd ,VPress ,PR
DS3	Santagueda	RF	2	AvgTem ,MaxTem
DS1	Santagueda	LM	3	PR ,VPress ,AvgTem
DS2	Santagueda	LM	1	PR
DS3	Santagueda	LM	5	VPress ,PR ,AvgTem ,MaxTem ,MinTem
DS1	Santagueda	GAM	0	
DS2	Santagueda	GAM	0	
DS3	Santagueda	GAM	0	
DS1	Santagueda	BT	6	AvgTem , ΔT ,Sol ,VPress ,MaxTem ,PR
DS2	Santagueda	BT	2	VPress ,PR

DS3	Santagueda	BT	5	AvgTem ,MaxTem	,Hum ,Sol
-----	------------	----	---	-------------------	--------------

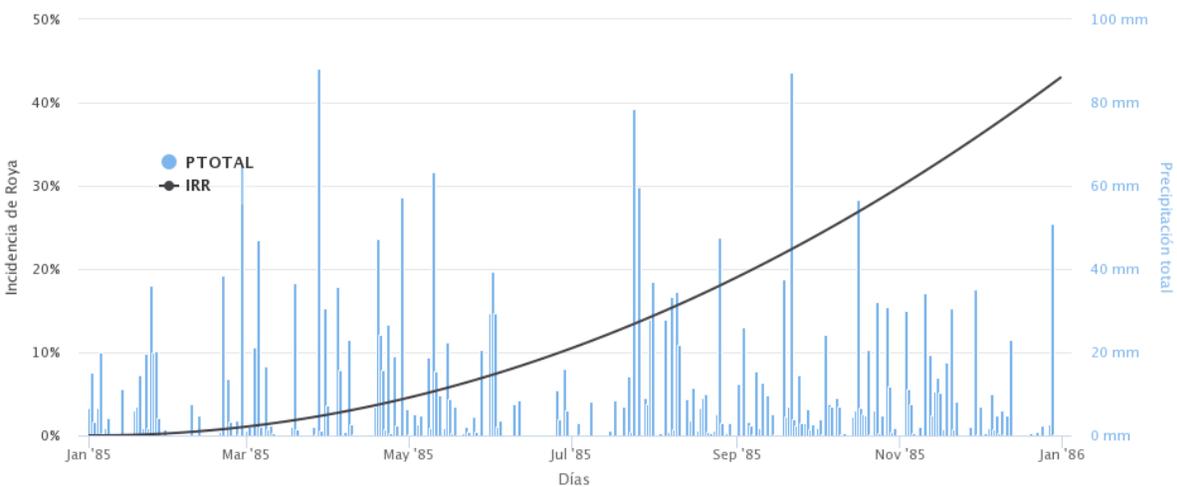
Tabla A 5. Atributos seleccionados por el algoritmo RFE utilizando los estimadores externos RF, LM, GAM y BT para las distintas regiones cafeteras en el experimento 5

A.2 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN

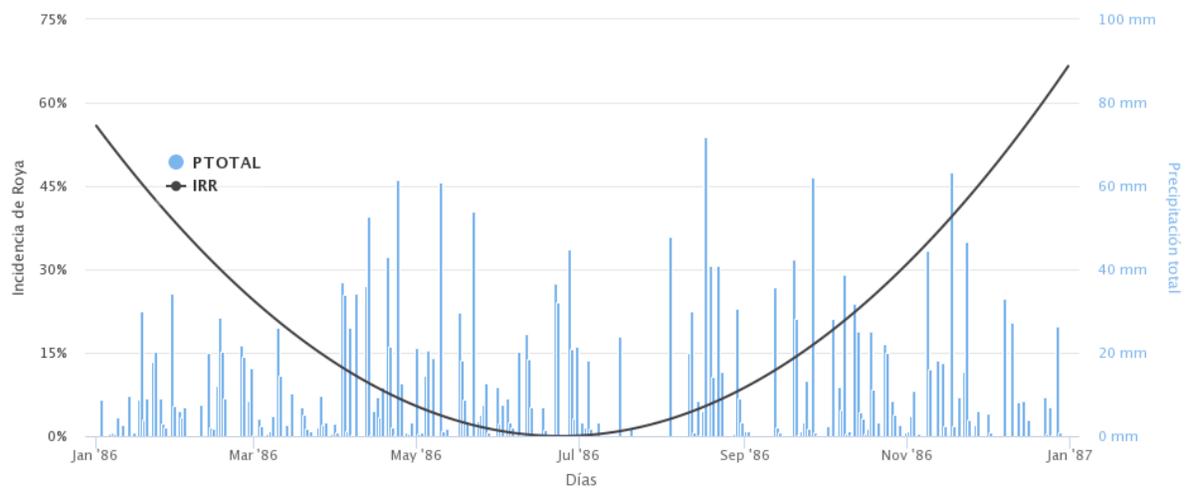
La precipitación en una región es uno de los factores fundamentales en el desarrollo de la roya en los cultivos de café [1]. Dependiendo la cantidad de lluvia en una región, la precipitación puede favorecer o afectar el buen desarrollo de la enfermedad. A continuación, se describe el comportamiento de la precipitación en los distintos conjuntos de datos, analizando la viabilidad de utilizar la variable de precipitación en cada uno de los conjuntos de datos para el proceso de detección de la Incidencia de Roya (IR) en los cultivos de café.

A.2.1 Precipitación en “El Naranjal”

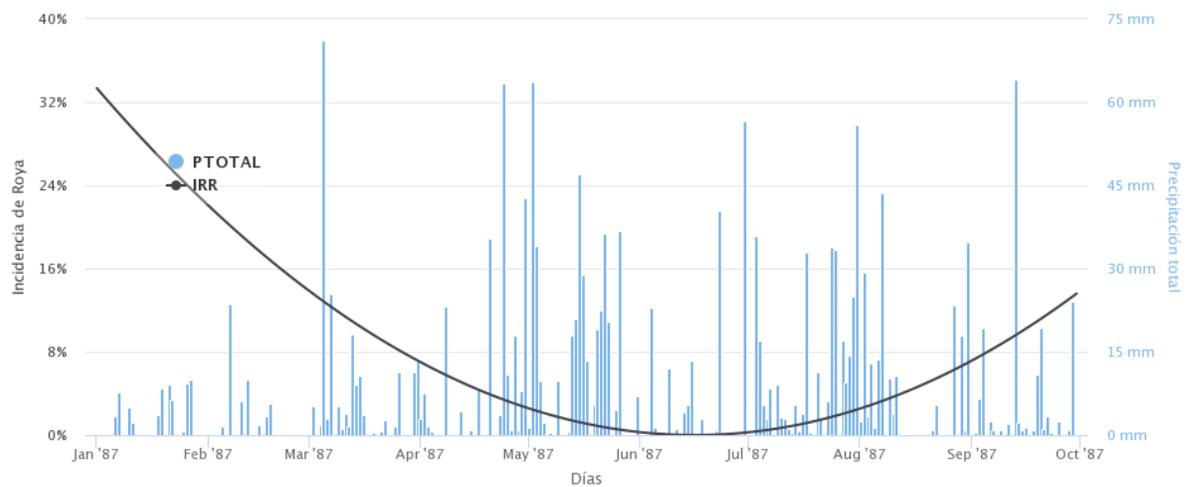
El conjunto de datos de “El Naranjal” cuenta con 1003 muestras diarias de la precipitación total (precipitación durante el día y la noche), de las cuales el 36.79% de los datos no contienen valores de precipitación mayores a cero, debido a que en esos días no se presentaron lluvias. La figura A.6 muestra la distribución de lluvia en los años de 1985-1987 para la región Naranjal.



(a)



(b)



(c)

Figura A 6. Precipitación en los años de 1985 (a), 1986 (b) y 1987(c) frente a la incidencia de roya en los mismos periodos

La Figura A6 muestra que, en los tres años registrados, la precipitación tiene periodos significativos de lluvia en el segundo y cuarto trimestre del año. En esos periodos de tiempo la roya tiende a disminuir en el segundo trimestre del año, mientras que en el cuarto trimestre la roya tiende a aumentar su porcentaje de incidencia con el tiempo. Durante estos periodos se visualizan días de lluvia constantes, sin embargo, es necesario comparar los niveles de lluvia de cada año analizado para la región con referentes nacionales, con el objetivo de identificar si los niveles de lluvia presentes en

los conjuntos de datos son los adecuados para la dispersión de la enfermedad, o por el contrario son periodos demasiado lluviosos, lo que impide el progreso de la enfermedad en las hojas de las plantas, debido a un proceso de limpieza natural.

Para comprender de mejor manera la relación de los datos de precipitación y la roya, se describe a continuación el comportamiento de la precipitación en la región a partir del coeficiente de evapotranspiración de referencia media (ETo) para las regiones cafeteras de Colombia [2][3], la cual nos permite clasificar los periodos de lluvia de los datos en: seco, húmedo y muy húmedo, teniendo como referencia el análisis de los periodos de lluvia de las distintas regiones de Colombia. El cálculo del Eto diario se realiza para Colombia de la siguiente manera, considerando la altitud en metros:

$$ETo = 4.37 e^{(-0.0002*altitud)} \quad (A1)$$

Dónde, un día es considerado seco si la precipitación en milímetros es menor o igual al ETo. Por otra parte, un periodo de tiempo es considerado húmedo si la precipitación es mayor que el valor del ETo y menor o igual que dos veces la medida del ETo. Finalmente, un día se considera muy húmedo si el valor de precipitación es mayor a 2ETo. Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, podemos describir los datos de precipitación de la región Naranjal como se muestra en la Tabla A6

Región	Año	Días secos	Días húmedos	Días muy húmedos
Naranjal	1985	63.562%	8.493%	27.945%
	1986	64.11%	6.85%	29%
	1987	65.2%	8.791%	26%

Tabla A 6. Distribución de la precipitación en la región Naranjal clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante los años de 1985, 1986 y 1987

Los resultados de la Tabla A6 indican que los años analizados para esta región se pueden clasificar como periodos secos, debido a la gran cantidad de días durante cada año donde la precipitación fue baja comparada a las referencias nacionales, por lo cual, es posible determinar que los periodos de lluvia en los años de análisis presentan un comportamiento constante y con bajos niveles de precipitación, lo cual favorece considerablemente el progreso de la enfermedad.

A.2.2 Precipitación en “Santagueda”

El conjunto de datos de “Santagueda” cuenta con 365 muestras diarias de la precipitación total (precipitación durante el día y la noche). La figura A.7 muestra la distribución de lluvia en el año de 1985 para la región Santagueda.

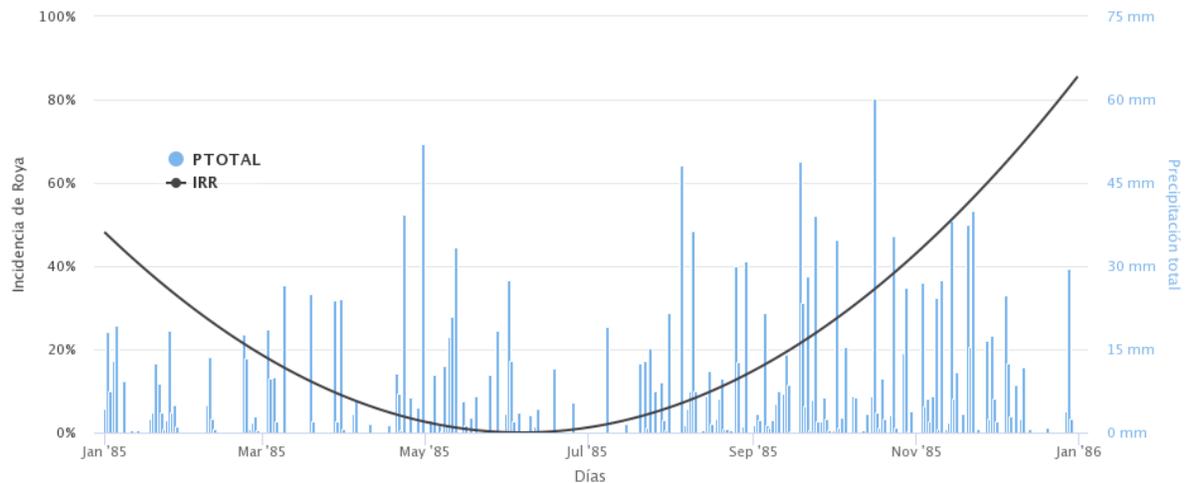


Figura A 7. Precipitación en los años de 1985 frente a la incidencia de roya en los mismos periodos

La Figura A7 muestra una distribución de lluvias constante durante el año, con valores un poco más altos en el último trimestre del año. Al igual que en la región Naranjal, los periodos de lluvia en los cuales la roya tiende a aumentar corresponden a periodos con precipitaciones constantes entre los 20 y 60 milímetros diarios. Con el objetivo de comparar el periodo de lluvia de 1985 de la región Santagueda con los referentes nacionales para la determinación del tipo de periodo presentado en el año, a continuación, se describe el comportamiento de la precipitación en la región Santagueda a partir del coeficiente de evapotranspiración de referencia media (ET_o)

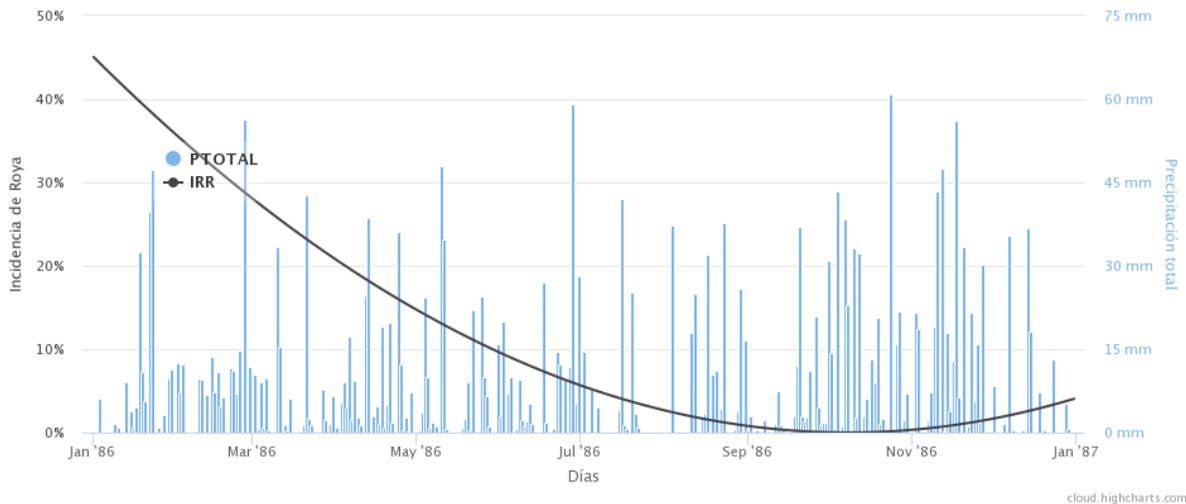
Región	Año	Días secos	Días húmedos	Días muy húmedos
Santagueda	1985	69.041%	9.315%	21.644%

Tabla A 7. Distribución de la precipitación en la región Santagueda clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante 1985

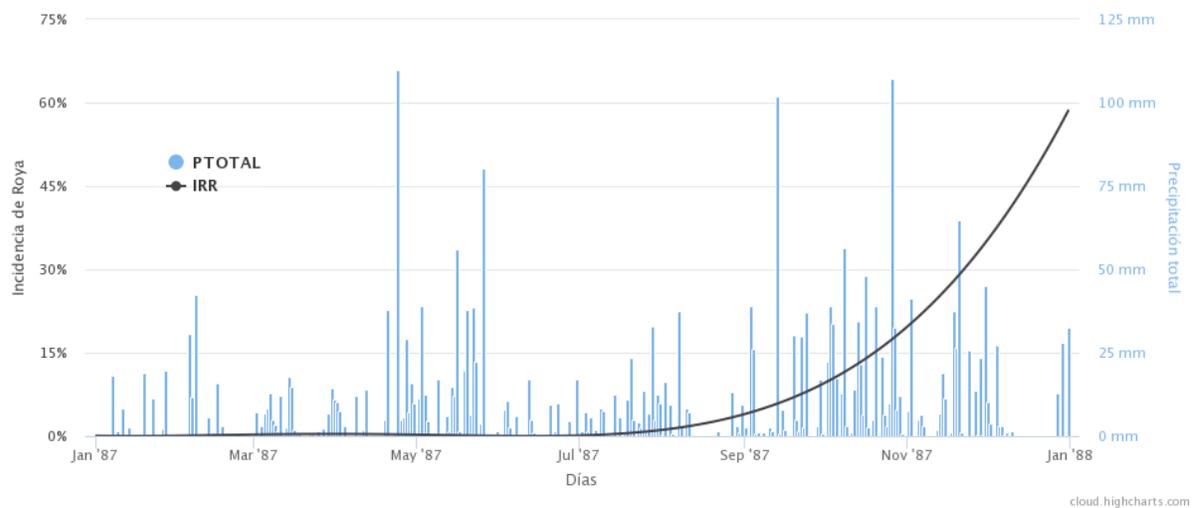
La Tabla A7 muestra que el mayor porcentaje de días de los datos muestreados son días secos, seguido por días muy húmedos. Esta información indica que el periodo de lluvias para la región fue al igual que en Naranjal, constante y con bajos niveles de lluvia en general.

A.2.3 Precipitación en “Jazmín”

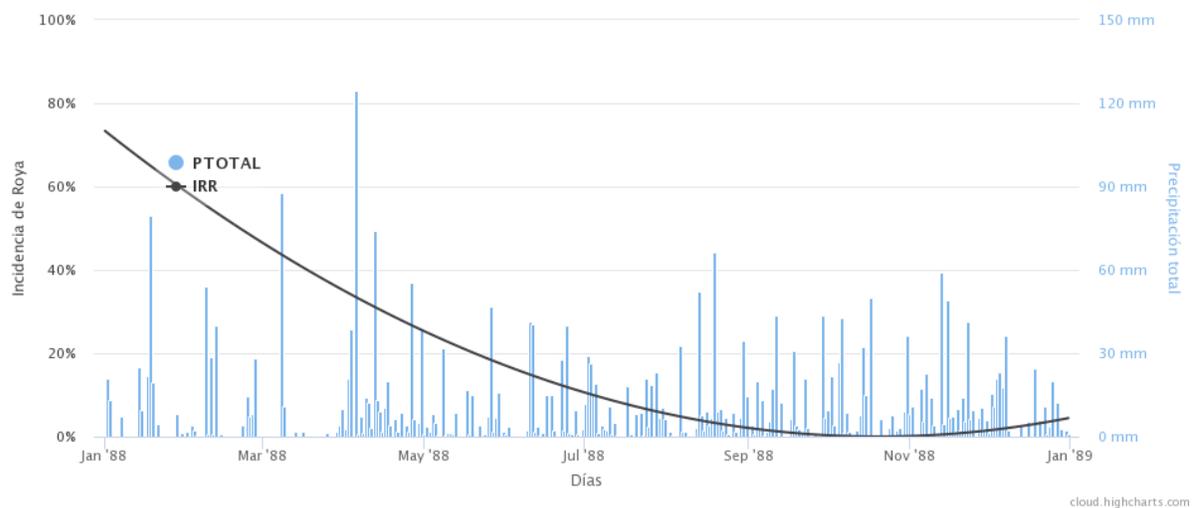
El conjunto de datos de “Jazmín” cuenta con 1096 muestras diarias de la precipitación total (precipitación durante el día y la noche), de los cuales el 34.22% de ellos contienen valores ceros en sus mediciones. La figura A.8 muestra la distribución de lluvia en la región Jazmín para los años 1986-1988.



(a)



(b)



(c)

Figura A 8. Precipitación en los años de 1986 (a), 1987 (b) y 1988 (c) frente a la incidencia de roya en los mismos periodos para la región Jazmín

La Figura A8 muestra una distribución de lluvias constante durante los años analizados, sin embargo, es posible distinguir una disminución de la lluvia año a año. En el primer año (Figura A8a) se visualiza un periodo anual de lluvias intercalado entre días con niveles muy bajos de lluvias, seguidos de días muy lluviosos. En el mismo periodo de tiempo la curva de progreso de la roya tiende a disminuir. Durante el segundo año (Figura A8b), se presenta un primer semestre del año con valores bajos

de precipitación, seguido de un aumento de lluvias al final de año que permanece constante. Este comportamiento favorece el aumento de la roya en los cultivos. Finalmente, en el tercer año de análisis (Figura A8C) los niveles de lluvia bajan considerablemente, lo cual desfavorece el crecimiento de la incidencia de roya, puesto que la dispersión por salpicadura disminuye.

La descripción de los días secos, húmedos y muy húmedos de la región indican que en general los tres años de análisis para “El Jazmín” son periodos secos, favoreciendo a la enfermedad, y año a año el porcentaje de días muy húmedos crece, lo cual indica una mayor probabilidad de limpieza de hojas por exceso de agua en las hojas de las plantas, lo que ocasiona una disminución en los niveles de la roya en los cultivos (Tabla A8).

Región	Año	Días secos	Días húmedos	Días muy húmedos
Jazmín	1986	62.740%	6.849%	30.411
	1987	63,836%	6.849%	29.315%
	1988	56.557%	10.656%	32.787%

Tabla A 8. Distribución de la precipitación en la región Jazmín clasificada en la cantidad de días secos, húmedos y muy húmedos durante los años de 1986, 1987 y 1988

Dado que los datos brindan información relevante sobre la relación de la incidencia de roya con la precipitación, se decide considerar la variable de precipitación total dentro del análisis posterior para la construcción del método de conjunto.

Anexo B

Predicción con series de tiempo

Este anexo presenta los resultados correspondientes a la selección de las mejores técnicas de predicción en series de tiempo para las variables de clima de los distintos conjuntos de datos estudiados, considerando las técnicas tradicionales como: Box-

Jenkins y Holt Winters, y una red neuronal artificial. En primer lugar, se muestran los resultados de evaluación de cada variable de clima de los conjuntos de datos de las regiones cafeteras estudiadas a través del uso de las siguientes métricas: error relativo, error cuadrático medio, y coeficiente de correlación de Pearson. En segundo lugar, son presentados resultados de significancia estadística, los cuales permiten analizar los resultados obtenidos en esta primera parte, y con esto tomar decisiones acerca de las mejores técnicas a utilizar en cada una de las variables de clima analizadas.

B.1 Pruebas de rendimiento en la predicción de variables climatológicas

A continuación, se presentan los resultados sobre el rendimiento de predicción de series de tiempo de las técnicas utilizadas. Los resultados se muestran por variables de clima y etapas del cultivo.

B1.1 Todos los datos disponibles

B1.1.1 Temperatura máxima

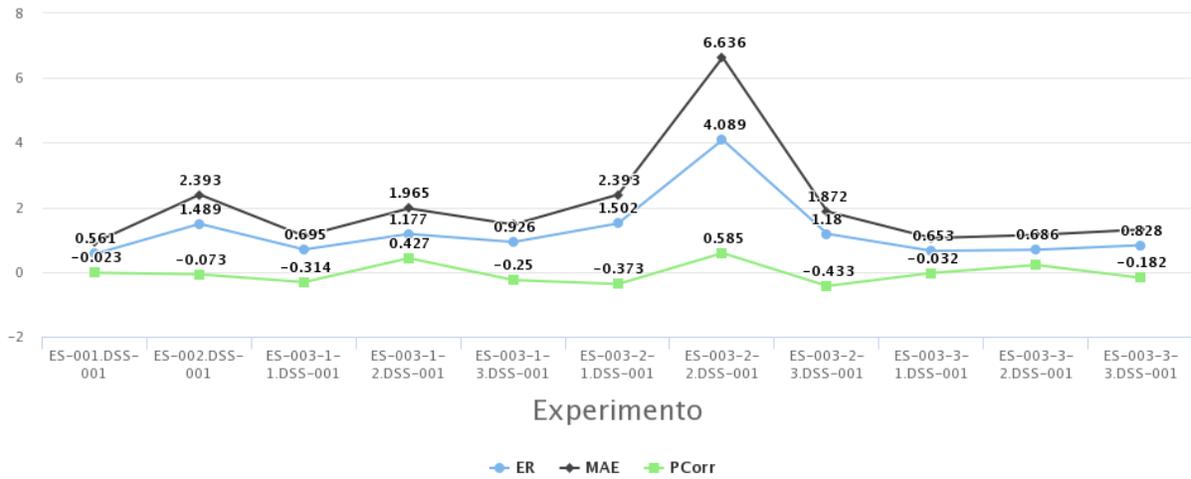


Figura B 1. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

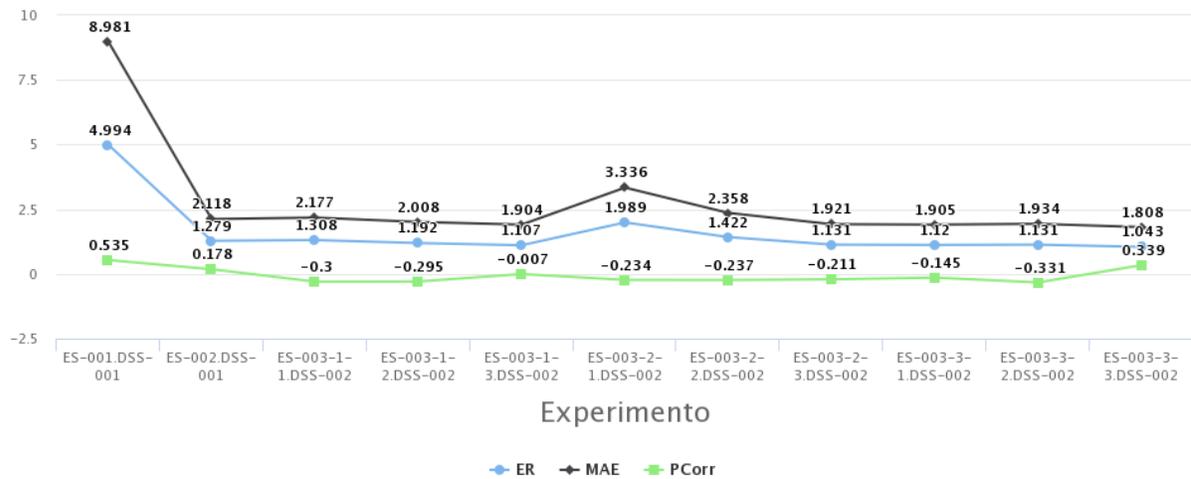


Figura B 2. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

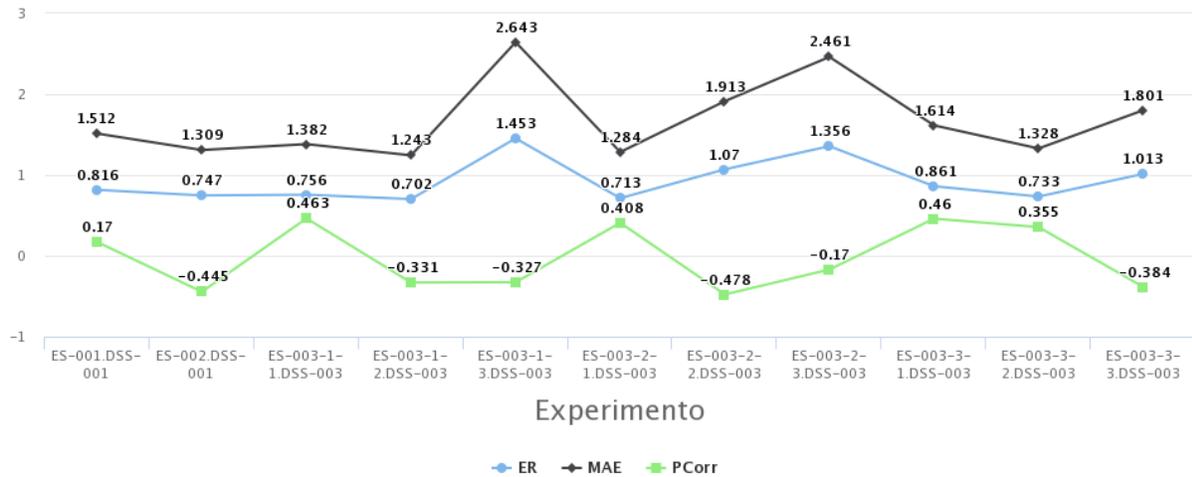


Figura B 3. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B1, B2 y B3 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.08 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.535. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.561 y su mejor correlación de -0.585. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.243 y -0.478 respectivamente.

B1.1.2 Temperatura media

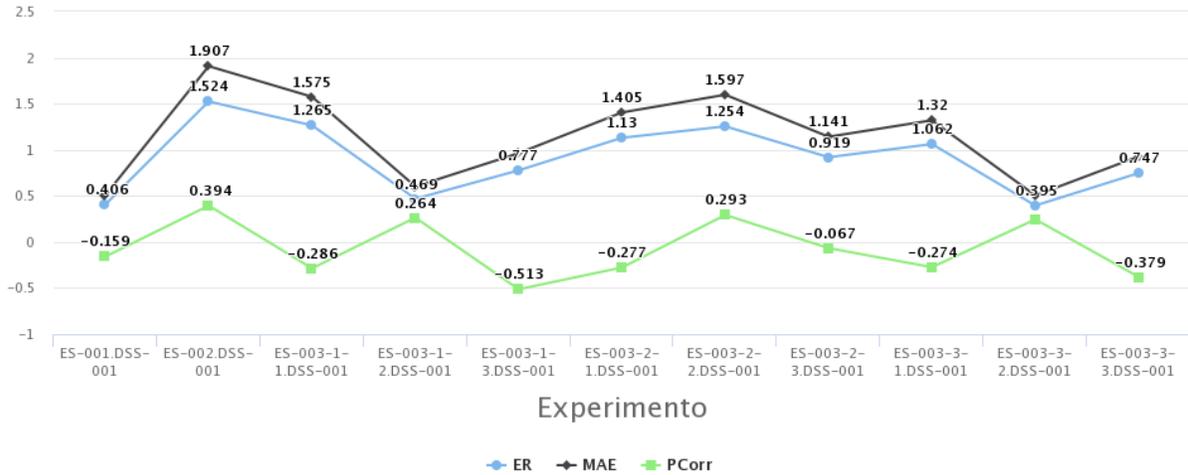


Figura B 4. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

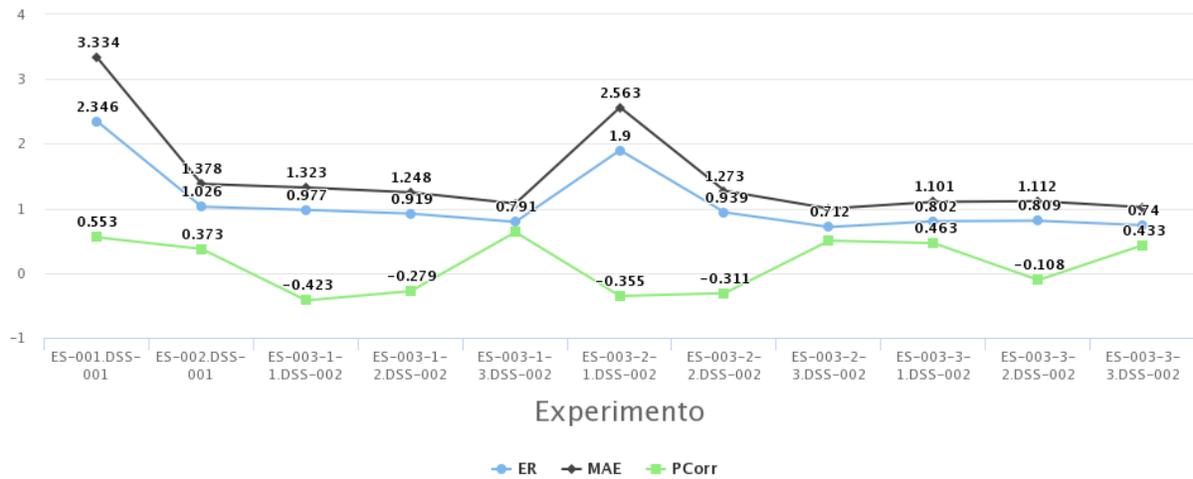


Figura B 5. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

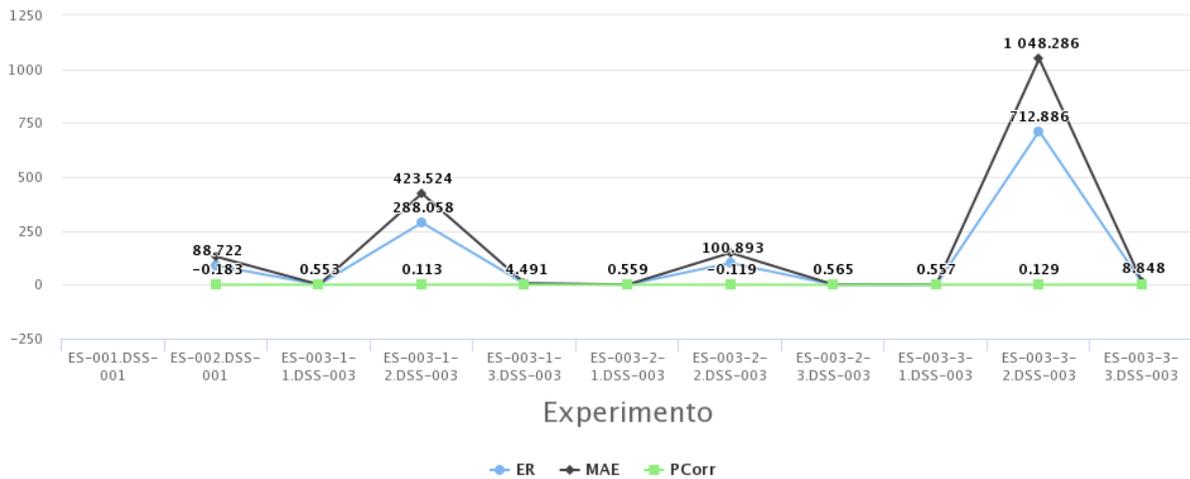


Figura B 6. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B4, B5 y B6 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.791 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.553. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.395 y su mejor correlación de 0.394. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 0.553 y 0.115 respectivamente.

B1.1.3 Punto de rocío

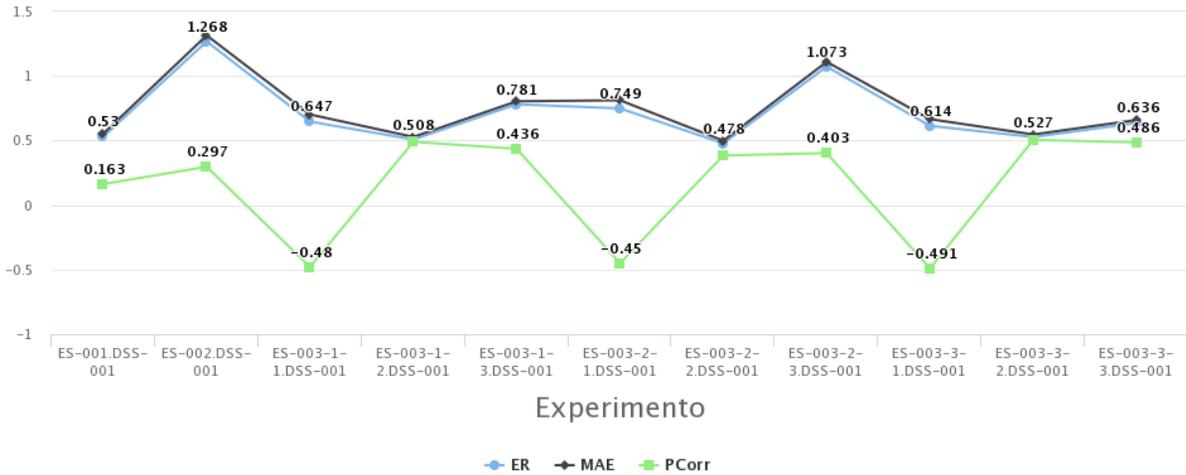


Figura B 7. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

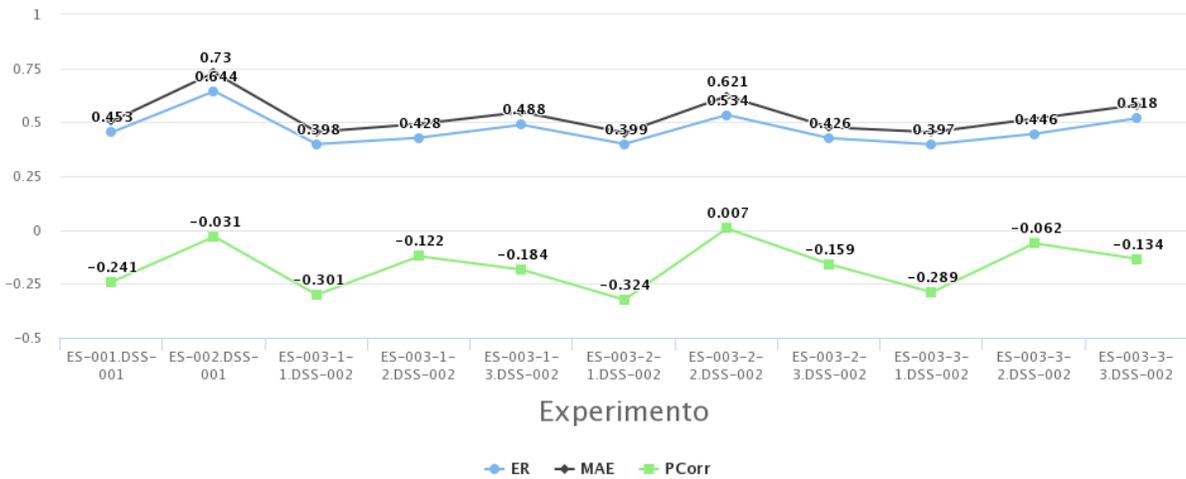


Figura B 8. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

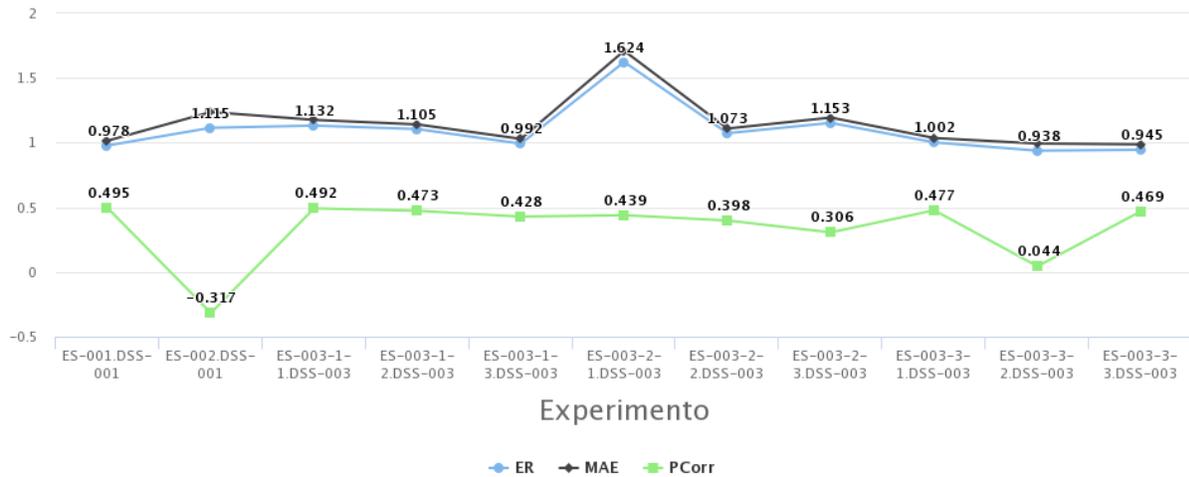


Figura B 9. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B7, B8 y B9 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.399 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.324. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.474 y su mejor correlación de 0.486. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de ER y correlación de Pearson son 0.938 y 0.495 respectivamente.

B1.1.4 Humedad

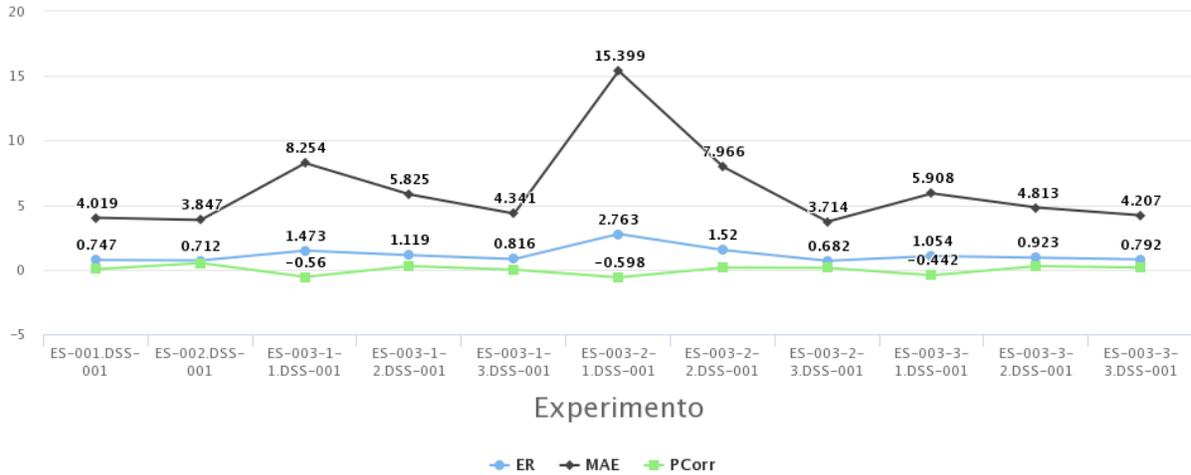


Figura B 10. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

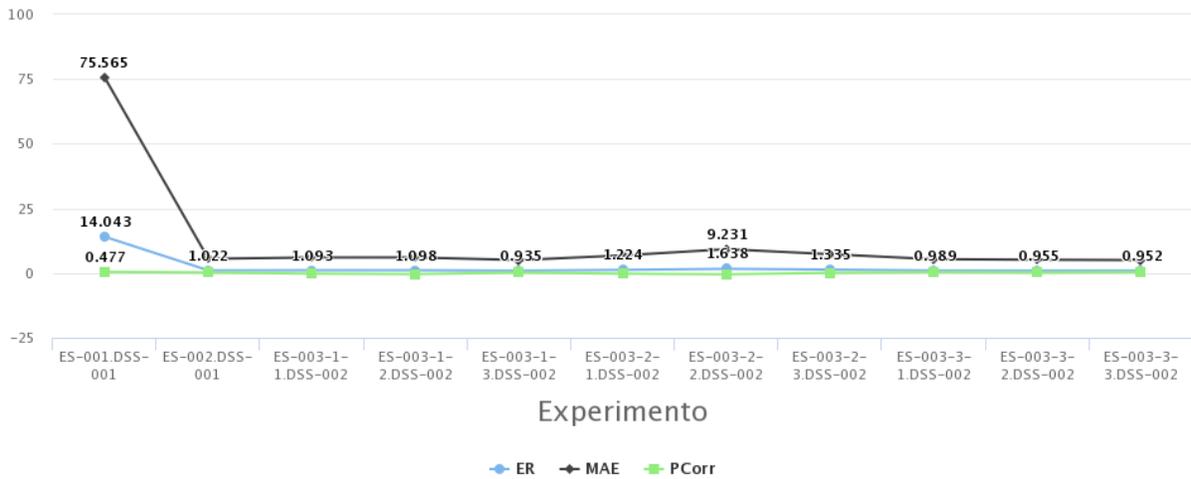


Figura B 11. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

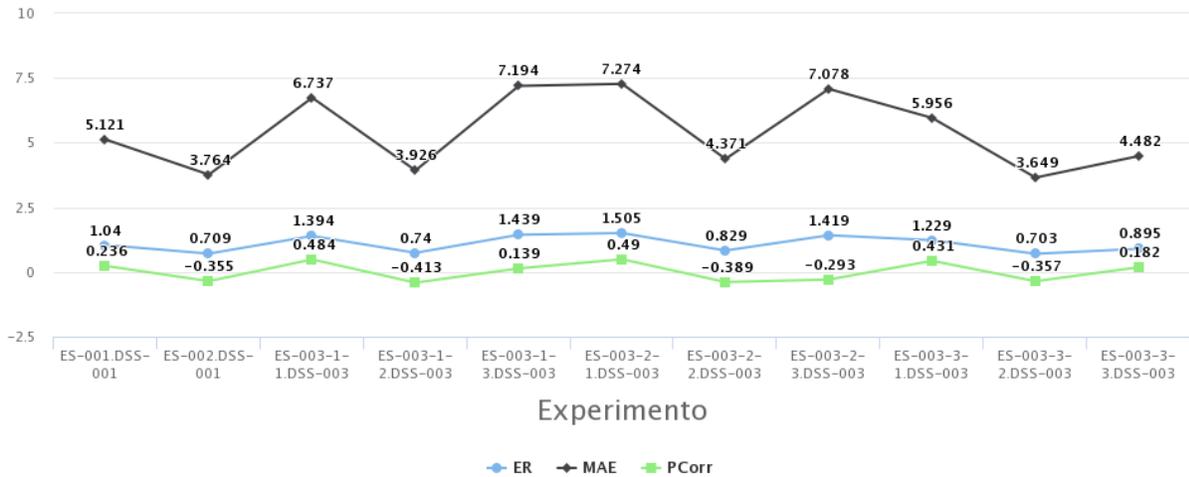


Figura B 12. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B10, B11 y B12 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.952 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.02. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.682 y su mejor correlación de -0.598. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 3.649 y 0.49 respectivamente.

B1.1.5 Brillo solar

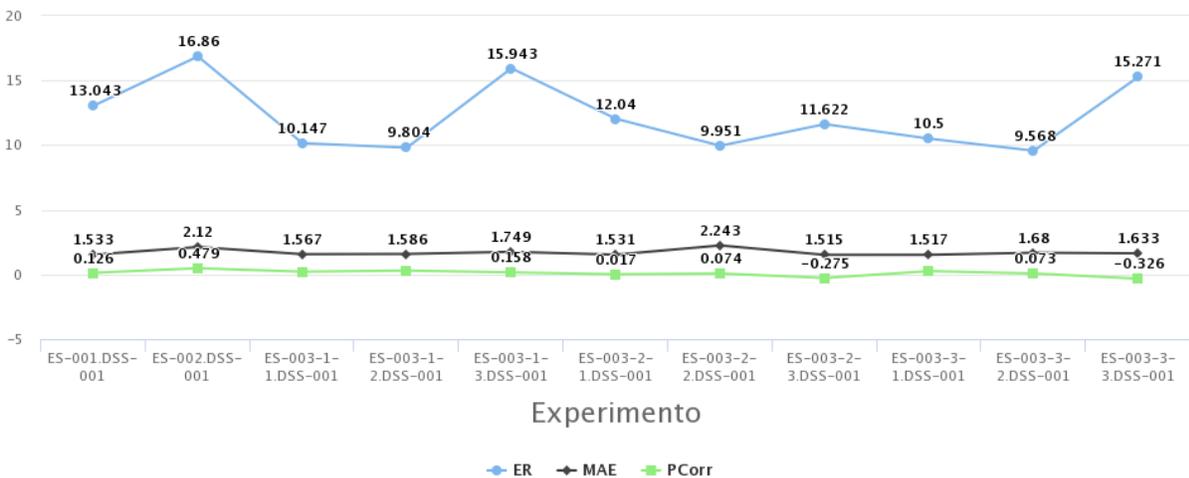


Figura B 13. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Todos los datos disponibles" para la región "Jazmín"

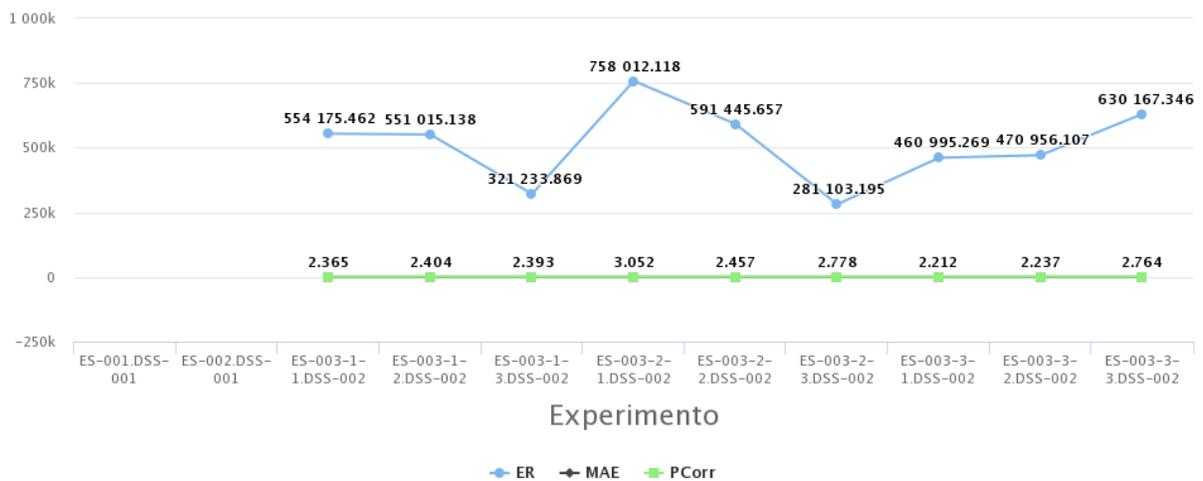


Figura B 14. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Todos los datos disponibles" para la región "Naranja"

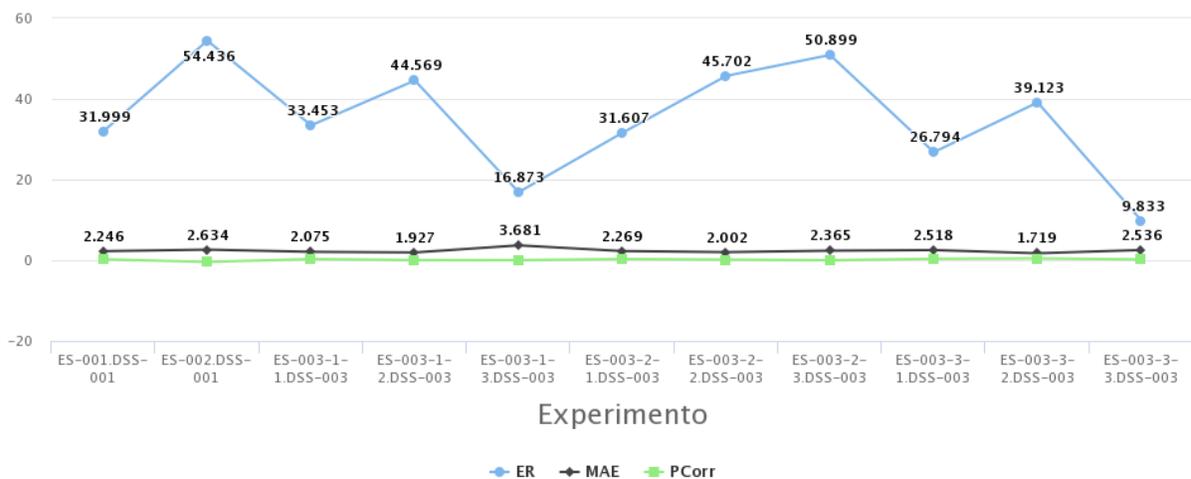


Figura B 15. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Todos los datos disponibles" para la región "Santagueda"

Los resultados presentados en las Figuras B13, B14 y B15 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 2.212 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.01. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 9.568 y su mejor correlación de 0.479. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.719 y 0.125 respectivamente.

B1.1.6 Precipitación durante el día

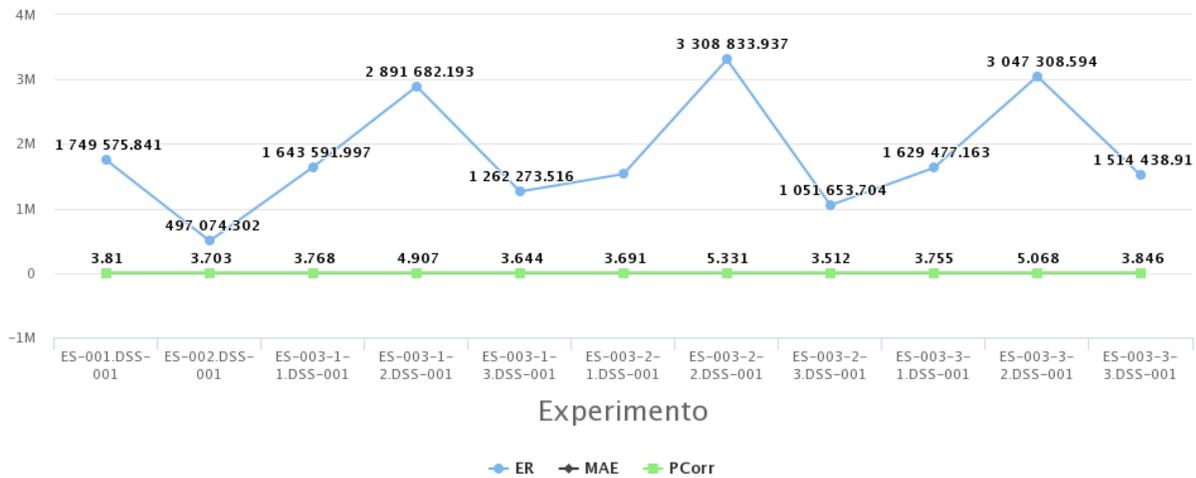


Figura B 16. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

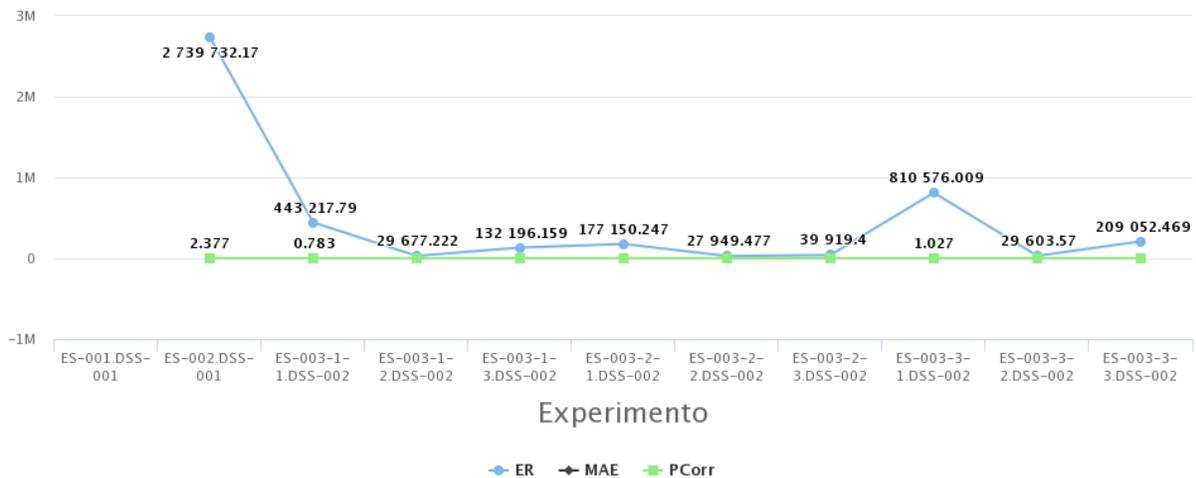


Figura B 17. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

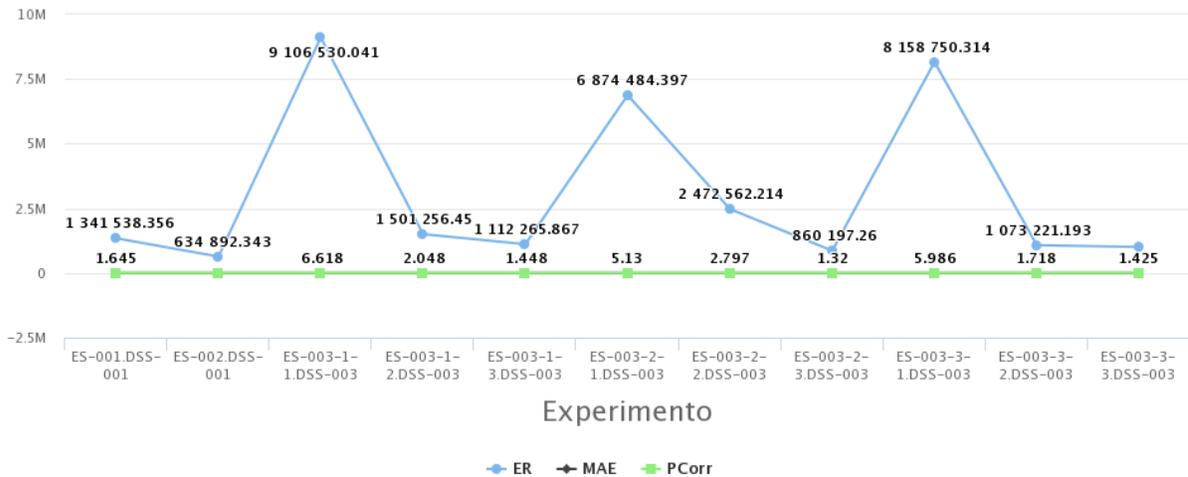


Figura B 18. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B16, B17 y B18 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.027 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.2. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 3.512 y su mejor correlación de 0.189. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.32 y 0.129 respectivamente.

B1.1.7 Precipitación durante la noche

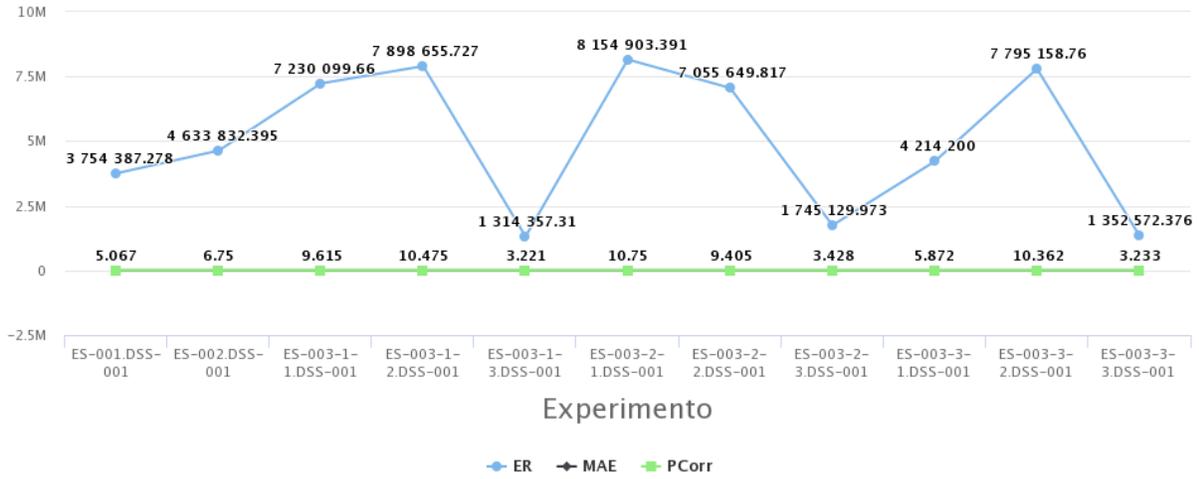


Figura B 19. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Jazmín”

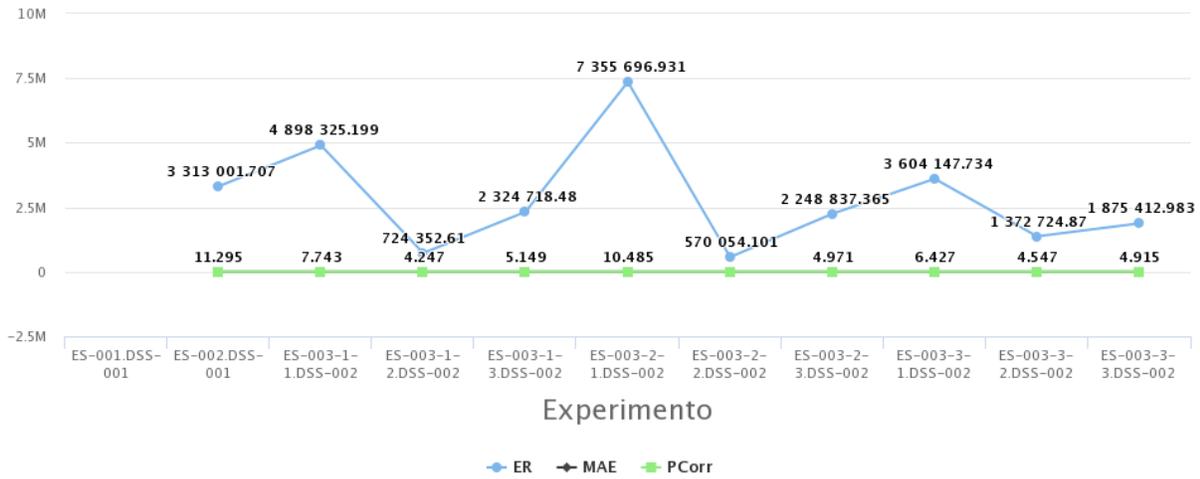


Figura B 20. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Naranjal”

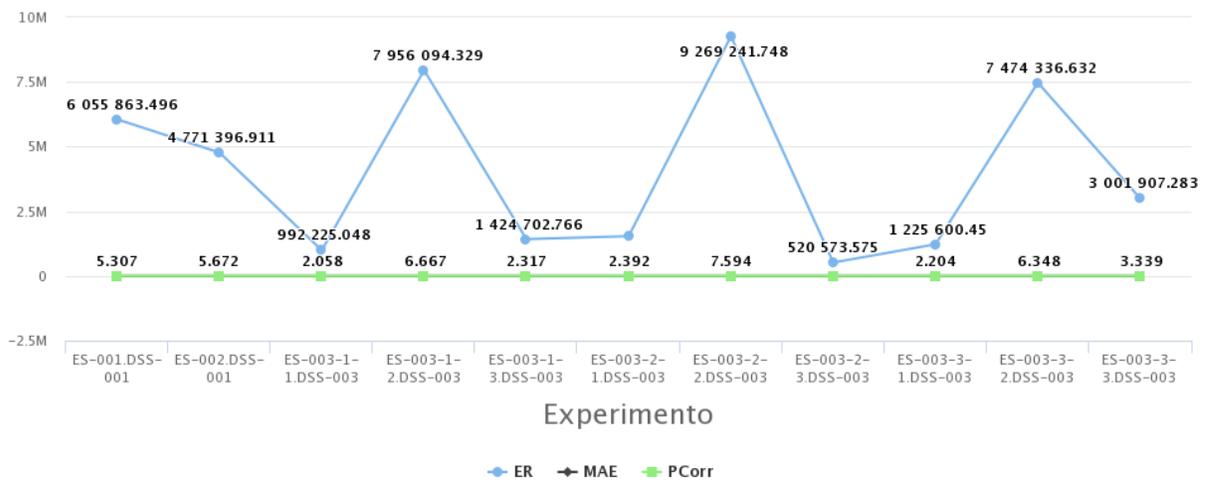


Figura B 21. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Todos los datos disponibles” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B19, B20 y B21 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 4.247 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.233. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 3.221 y su mejor correlación de 0.17. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 2.058 y 0.1 respectivamente.

B1.2 Formación de hojas

B1.2.1 Temperatura máxima

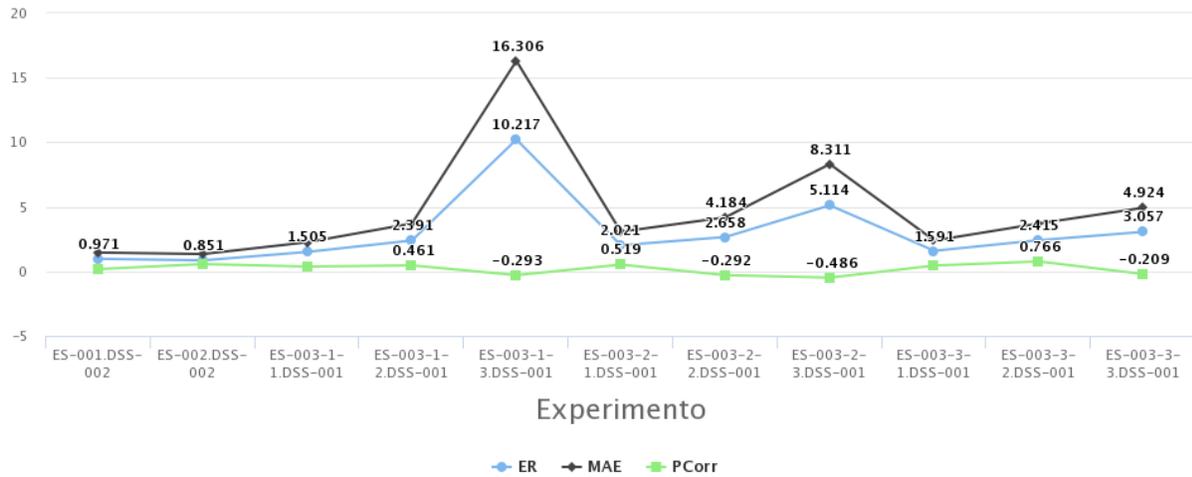


Figura B 22. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

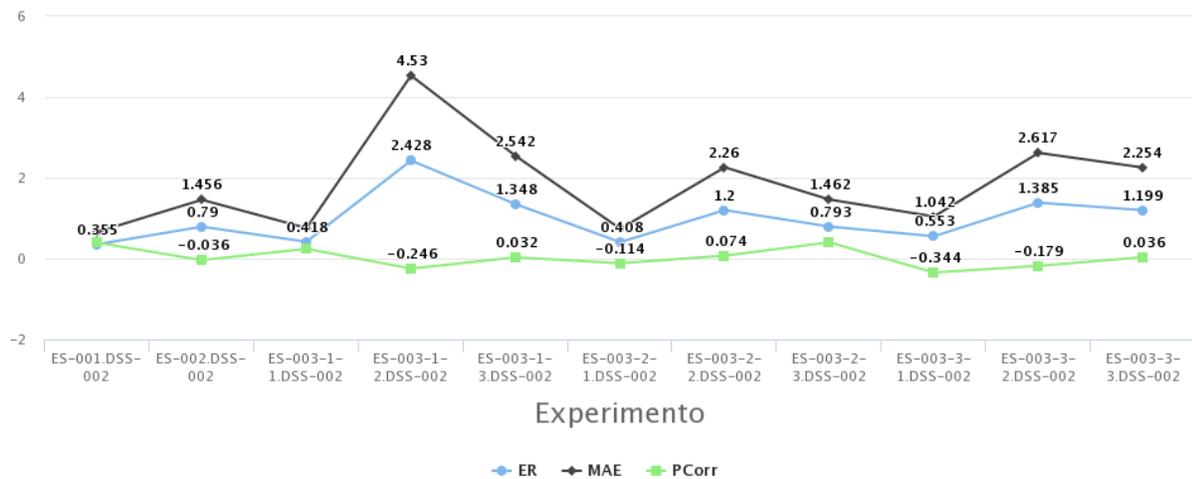


Figura B 23. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

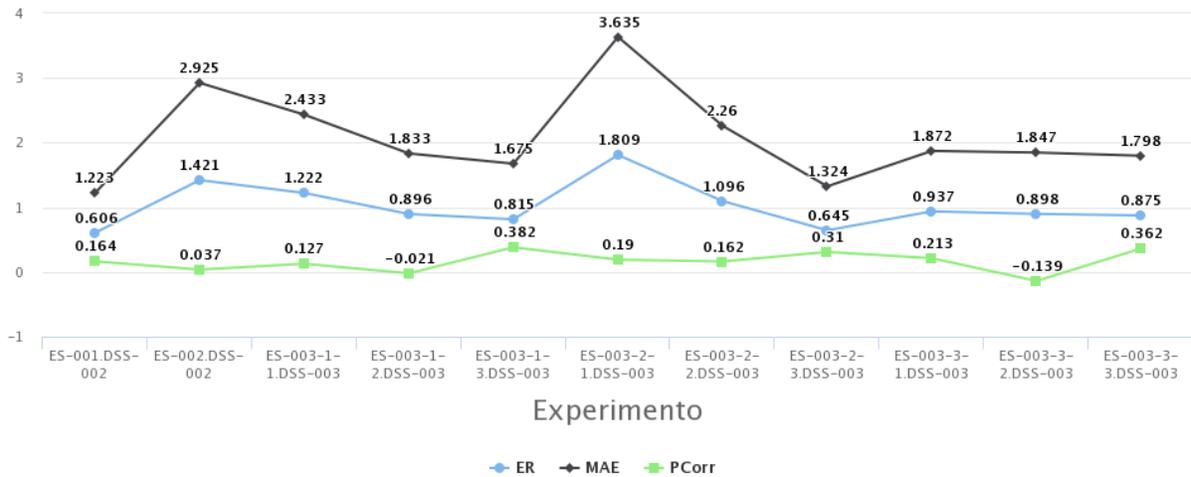


Figura B 24. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B22, B23 y B24 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.409 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.355. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.971 y su mejor correlación de 0.51. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.223 y 0.362 respectivamente.

B1.2.2 Temperatura media

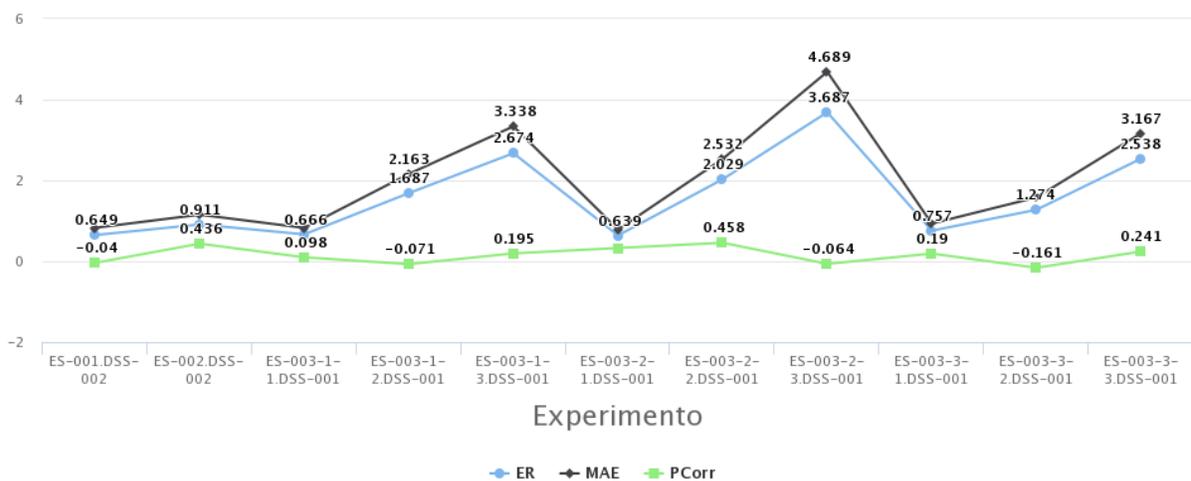


Figura B 25. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

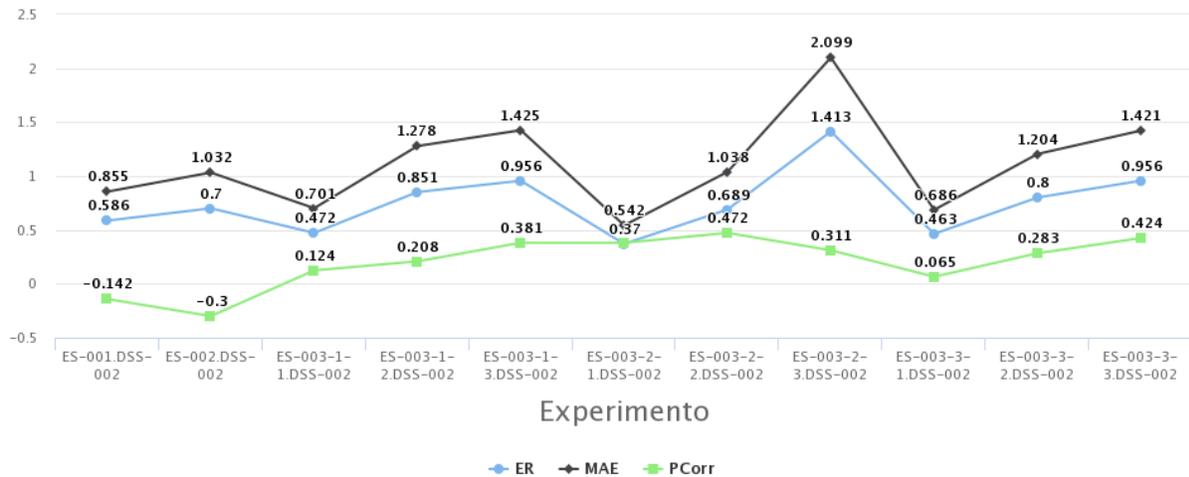


Figura B 26. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

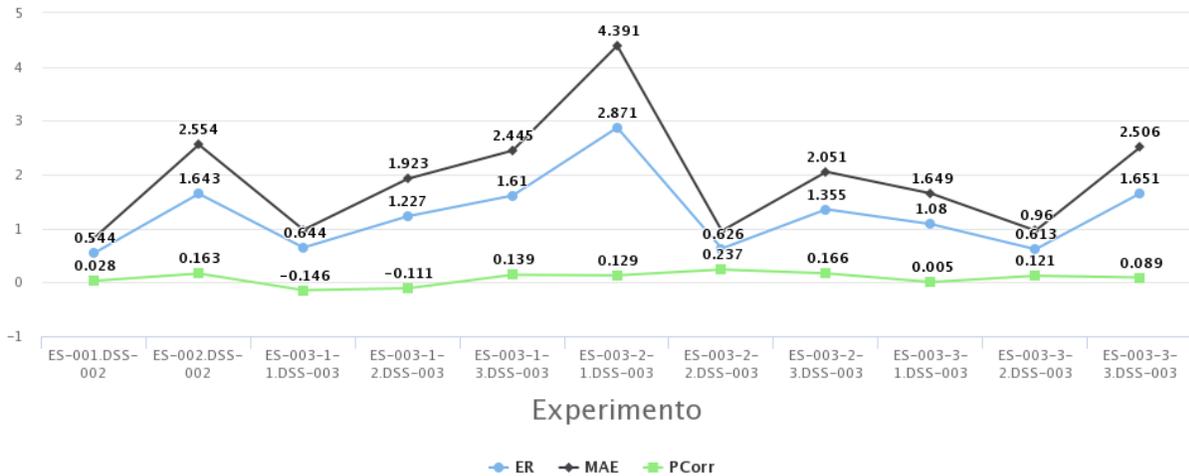


Figura B 27. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B25, B26 y B27 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.542 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.472. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.637 y su mejor correlación de 0.241. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 0.544 y 0.237 respectivamente.

B1.2.3 Punto de rocío

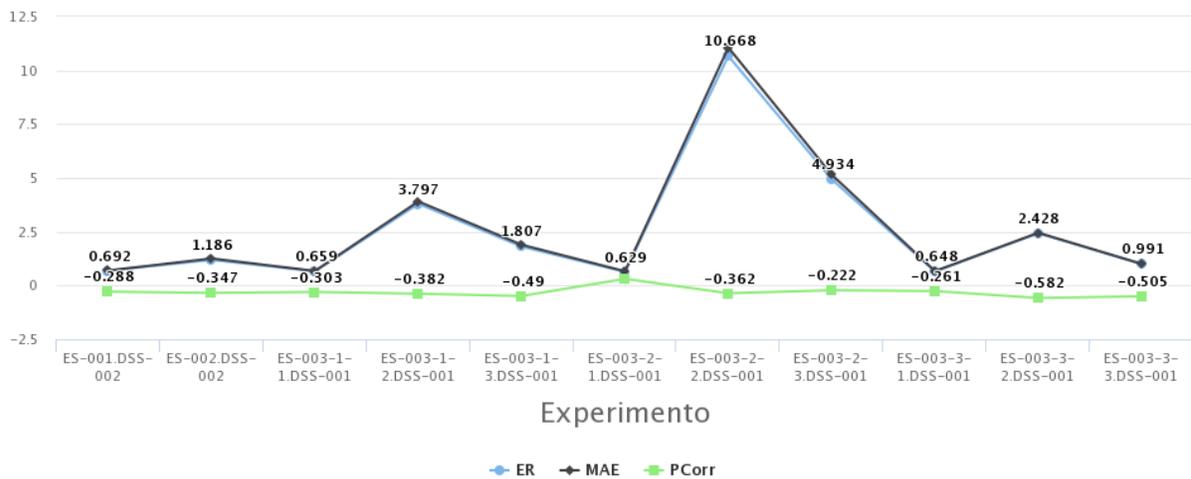


Figura B 28. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

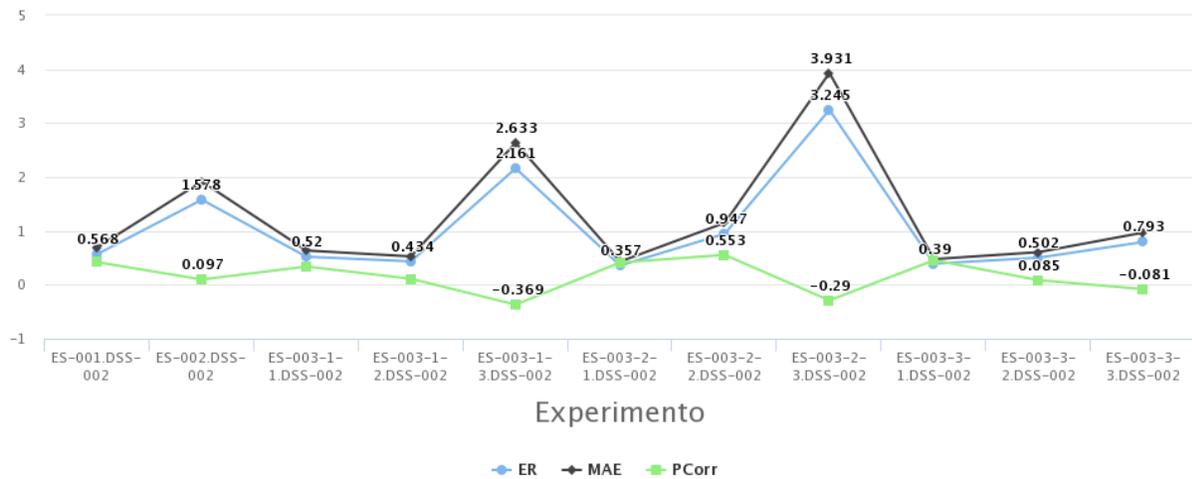


Figura B 29. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

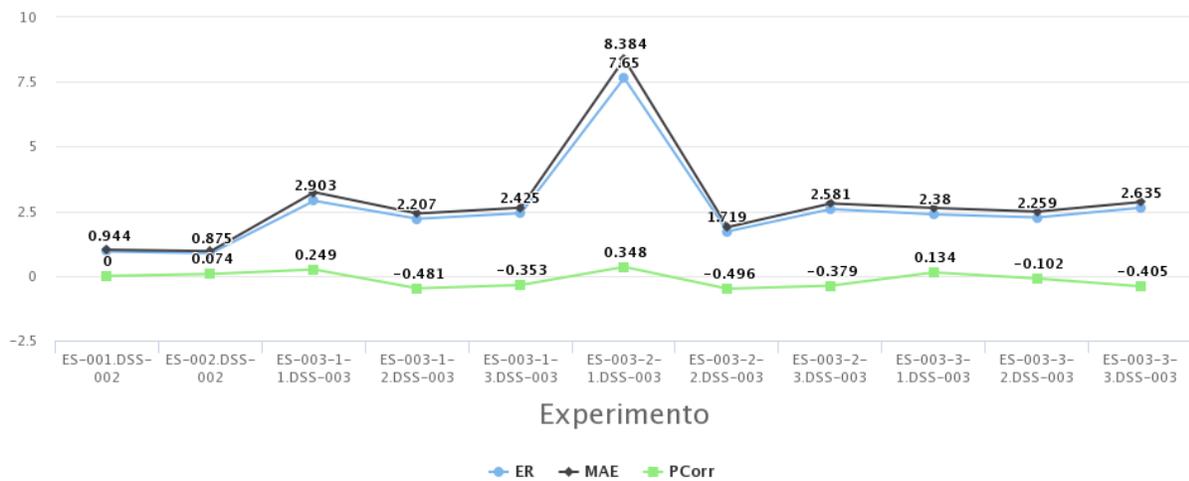


Figura B 30. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B28, B29 y B30 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.357 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.553. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.629 y su mejor correlación de -0.505. Finalmente, para

la región “Santagueda” los mejores resultados de ER y correlación de Pearson son 0.875 y -0.496 respectivamente.

B1.2.4 Humedad

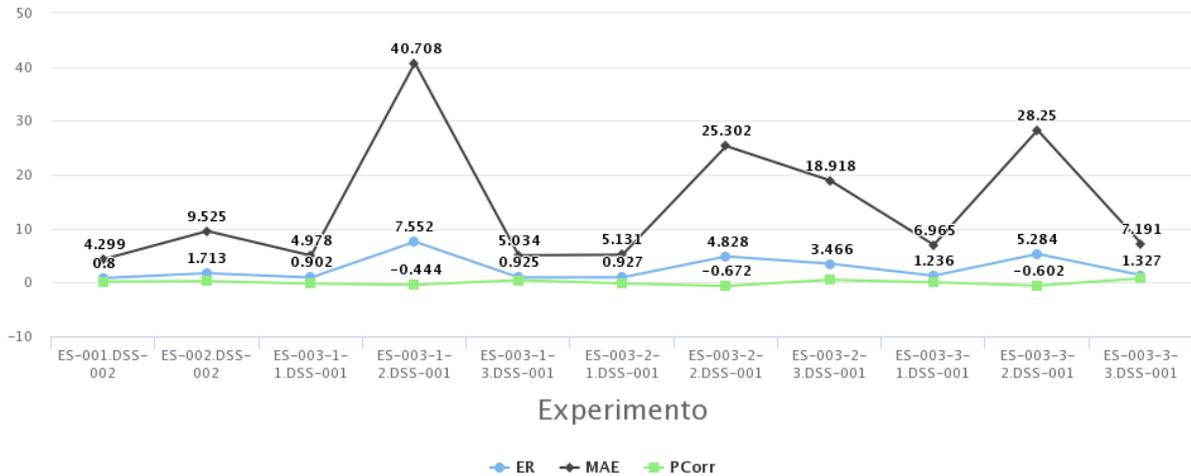


Figura B 31. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

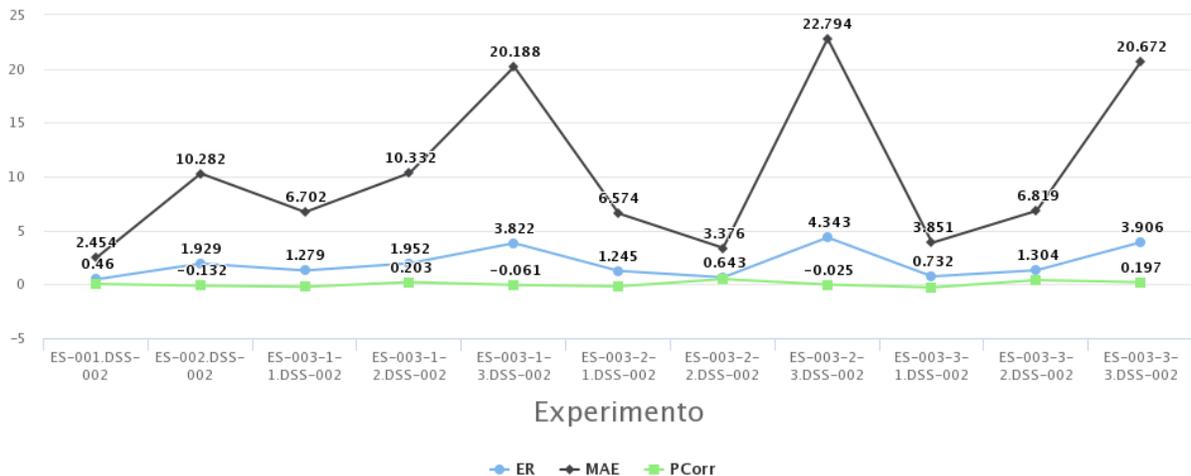


Figura B 32. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

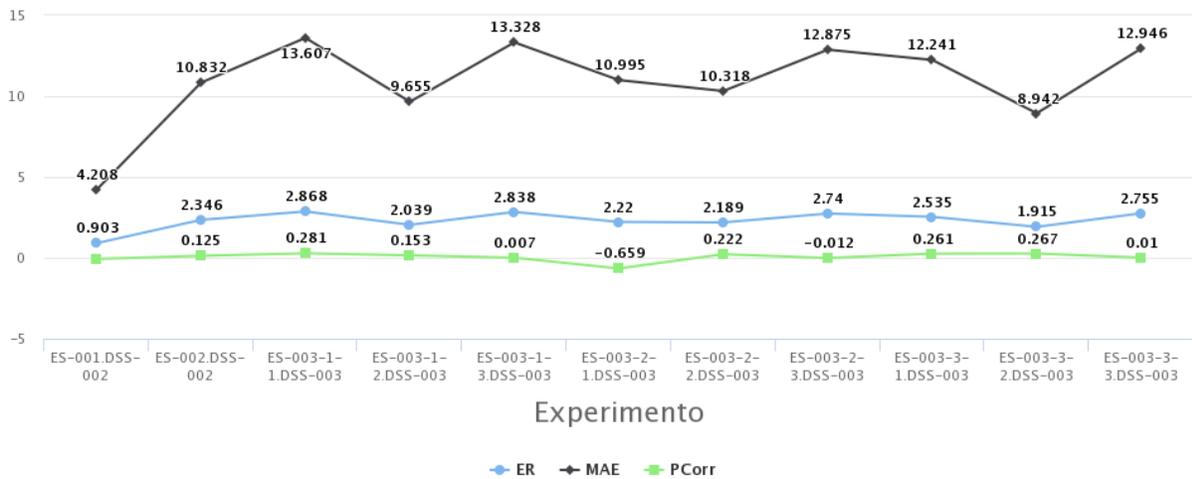


Figura B 33. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B31, B32 y B33 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 2.454 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.203. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.8 y su mejor correlación de -0.672. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 4.208 y -0.659 respectivamente.

B1.2.5 Brillo solar

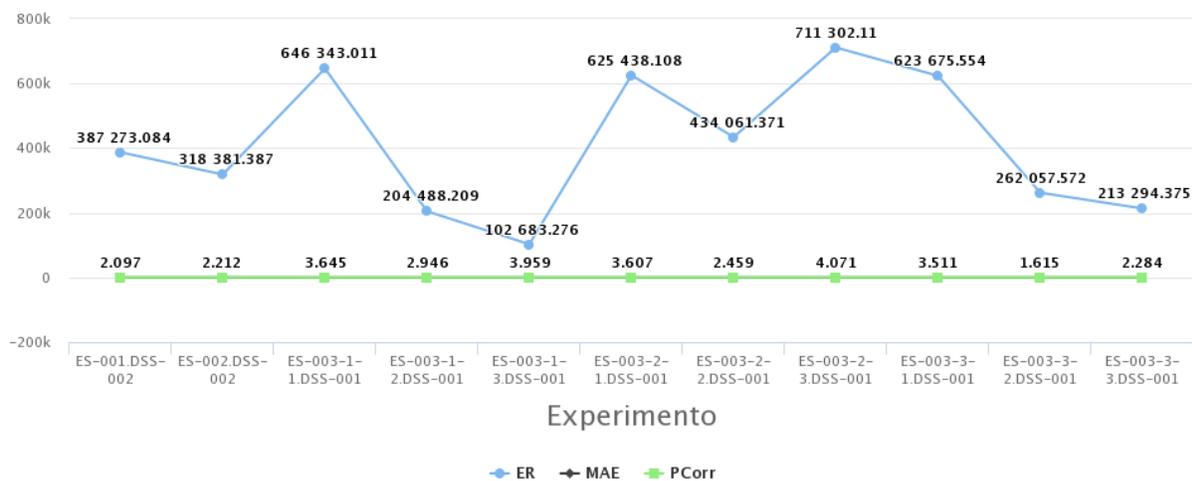


Figura B 34. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Formación de hojas" para la región "Jazmín"

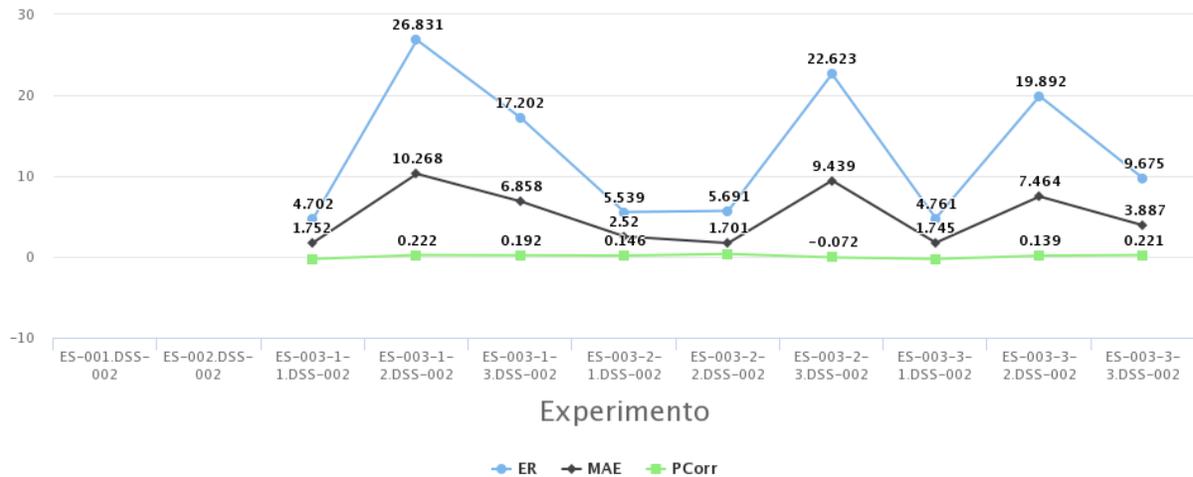


Figura B 35. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Formación de hojas" para la región "Naranjal"

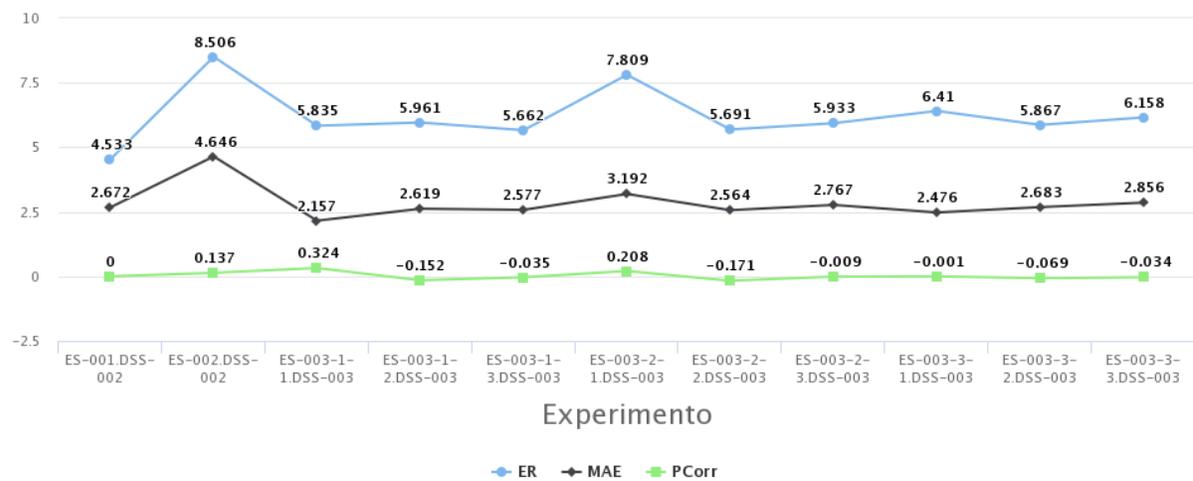


Figura B 36. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto "Formación de hojas" para la región "Santagueda"

Los resultados presentados en las Figuras B34, B35 y B36 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.701 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.222. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de MAE es 1.615 y su mejor correlación de 0.102. Finalmente, para la región “Santaguada” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 2.157 y 0.324 respectivamente.

B1.2.6 Precipitación durante el día

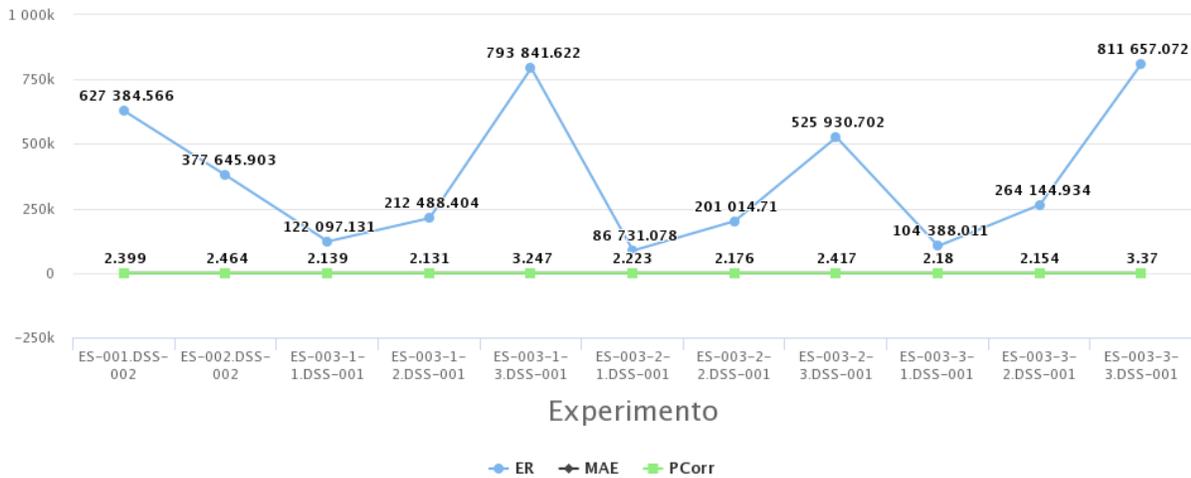


Figura B 37. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

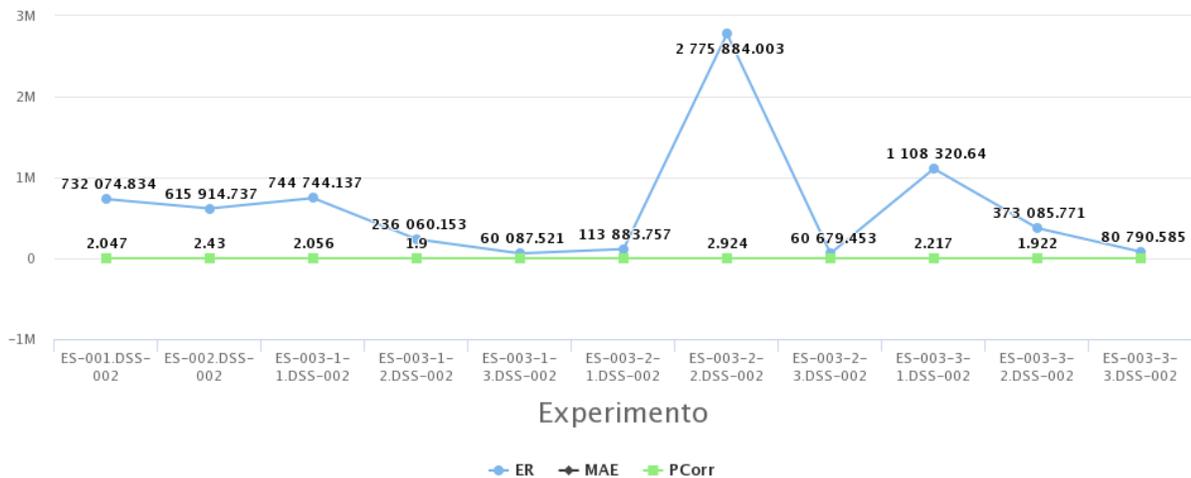


Figura B 38. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

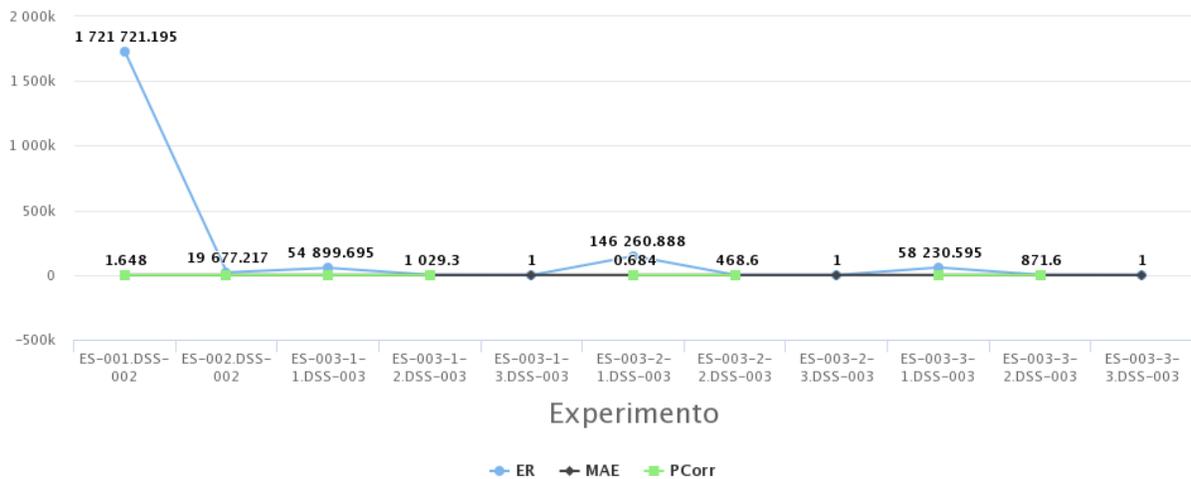


Figura B 39. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B37, B38 y B39 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.922 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.234. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 2.131 y su mejor correlación de 0.096. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.648 y 0.103 respectivamente.

B1.2.7 Precipitación durante la noche

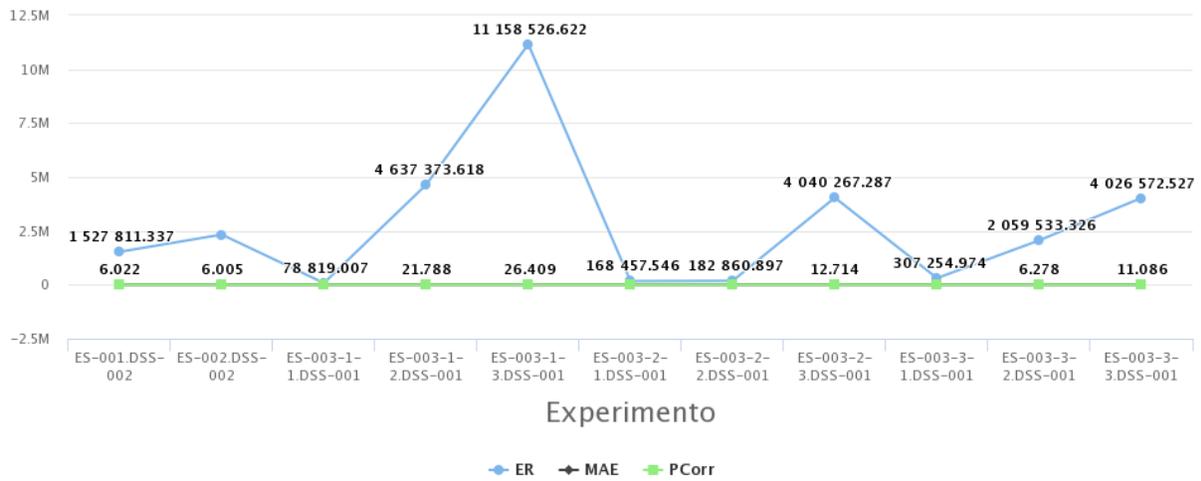


Figura B 40. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Jazmín”

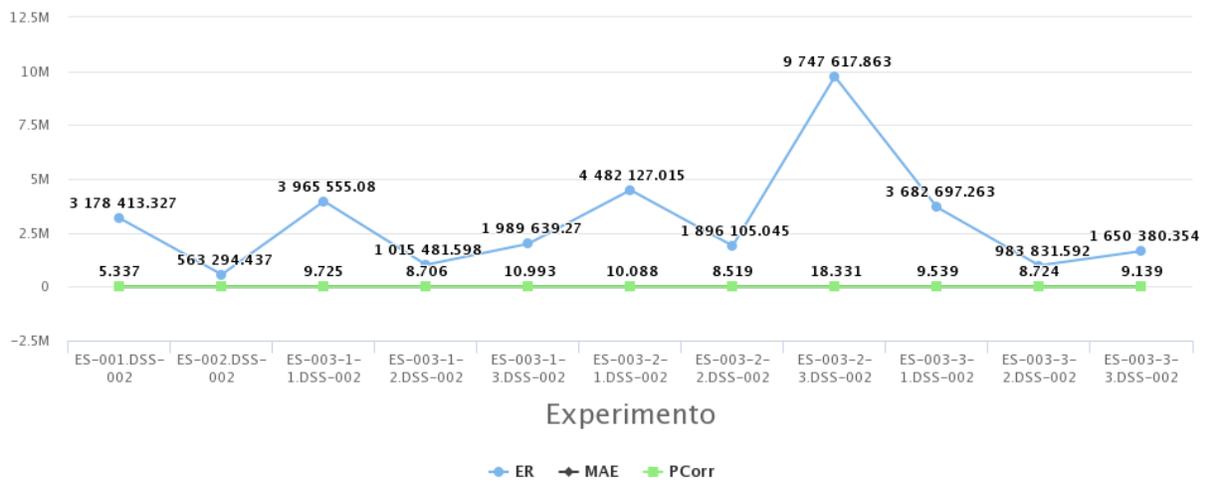


Figura B 41. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Naranjal”

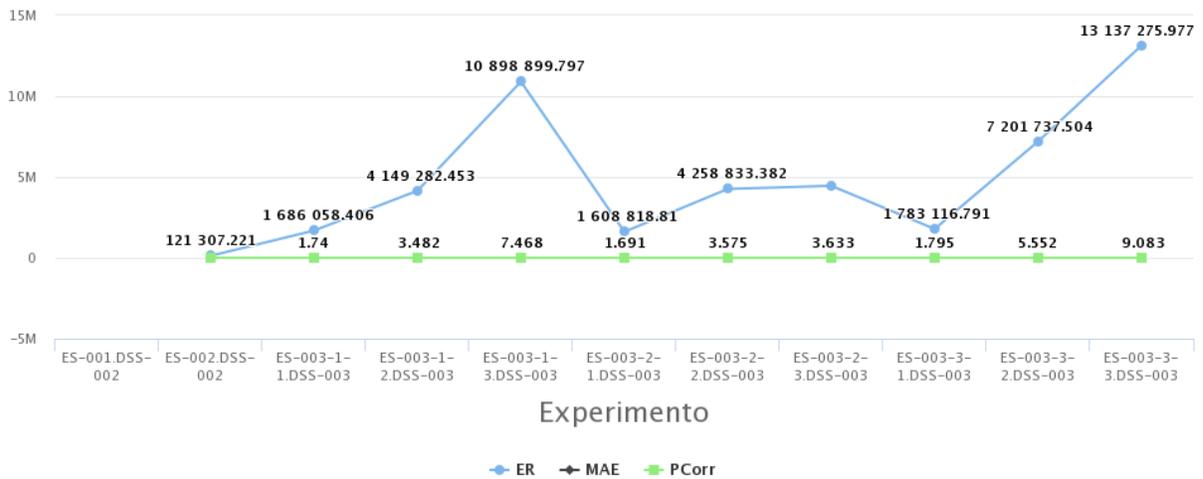


Figura B 42. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Formación de hojas” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B40, B41 y B42 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 5.337 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.089. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 6.005 y su mejor correlación de 0.112. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.74 y 0.092 respectivamente.

B1.3 Floración

B1.3.1 Temperatura máxima

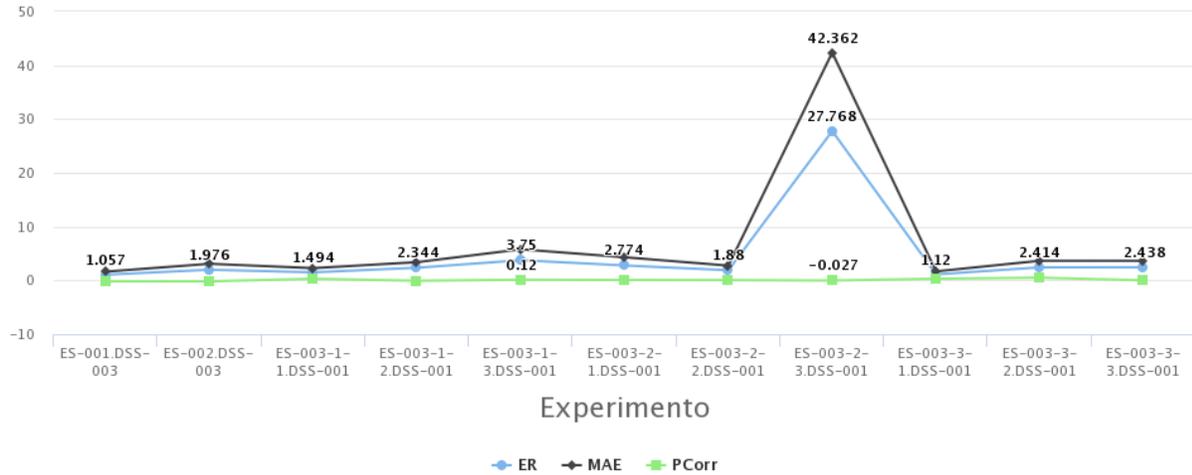


Figura B 43. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

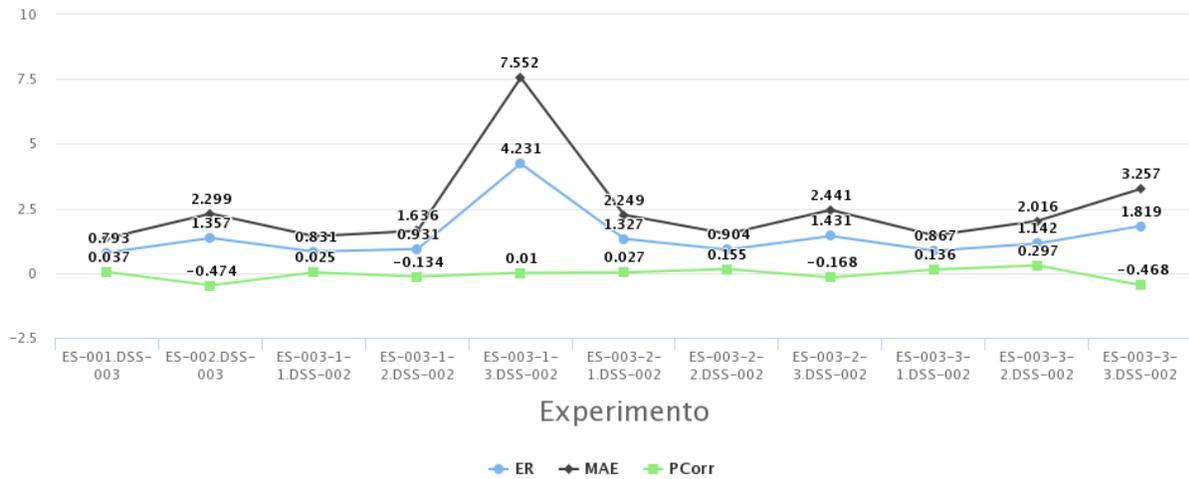


Figura B 44. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Naranja”

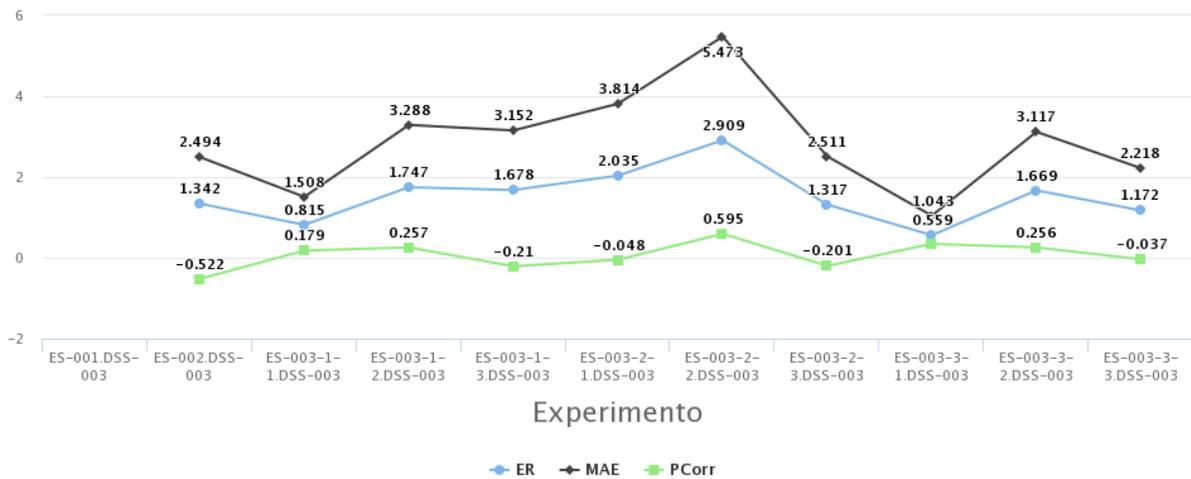


Figura B 45. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Floración” para la región “Santaguada”

Los resultados presentados en las Figuras B43, B44 y B45 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.793 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.474. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 1.057 y su mejor correlación de 0.104. Finalmente, para la región “Santaguada” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.043 y 0.595 respectivamente.

B1.3.2 Temperatura media

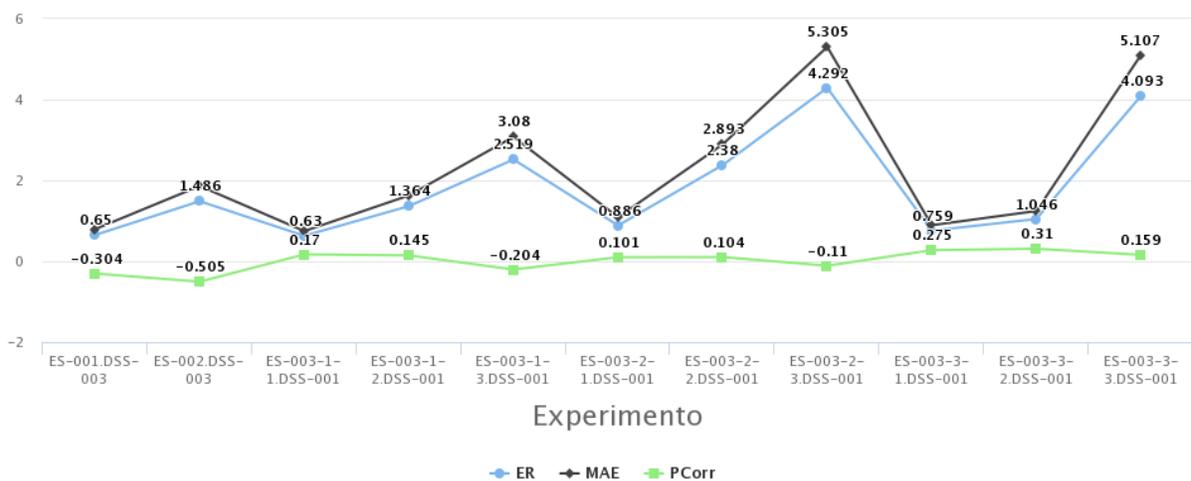


Figura B 46. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

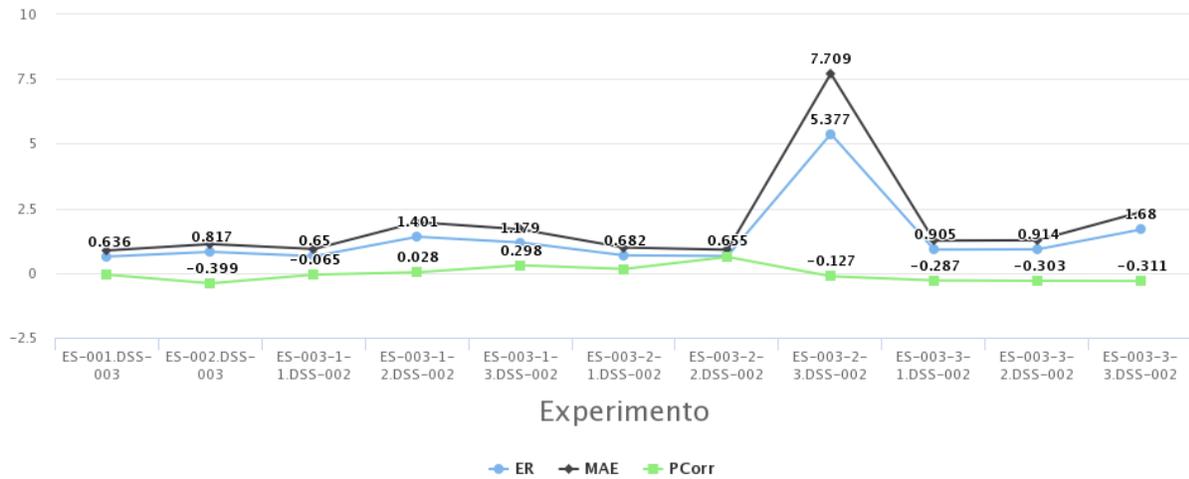


Figura B 47. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”

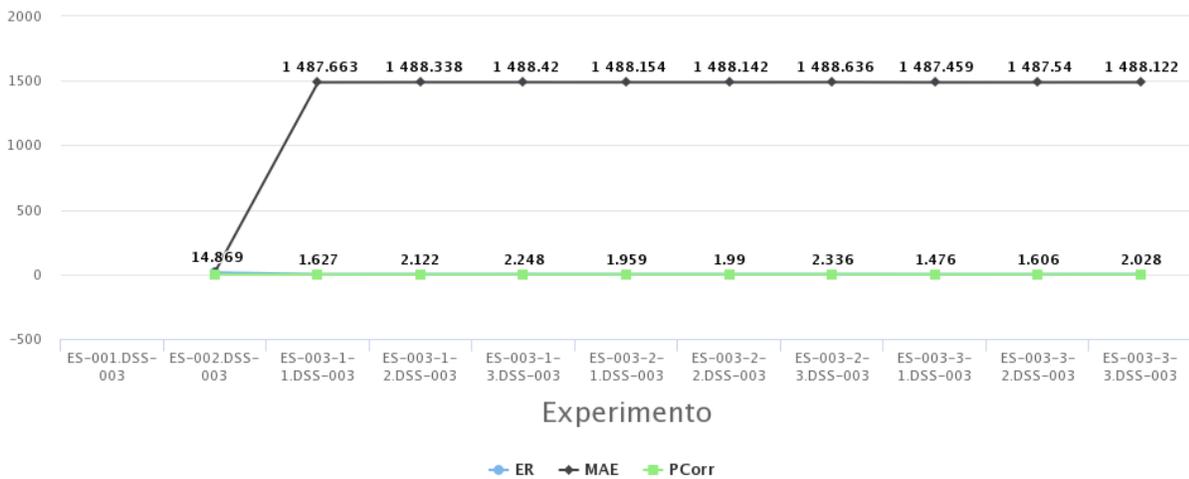


Figura B 48. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B46, B47 y B48 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.636 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.399. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.65 y su mejor correlación de -0.505. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 14.869 y 0.237 respectivamente.

B1.3.3 Punto de rocío

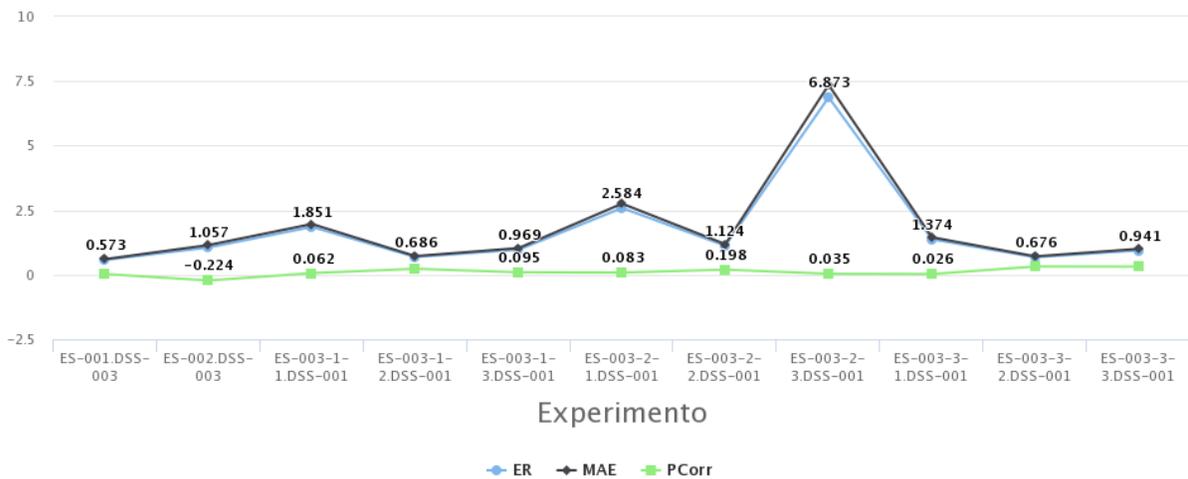


Figura B 49. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

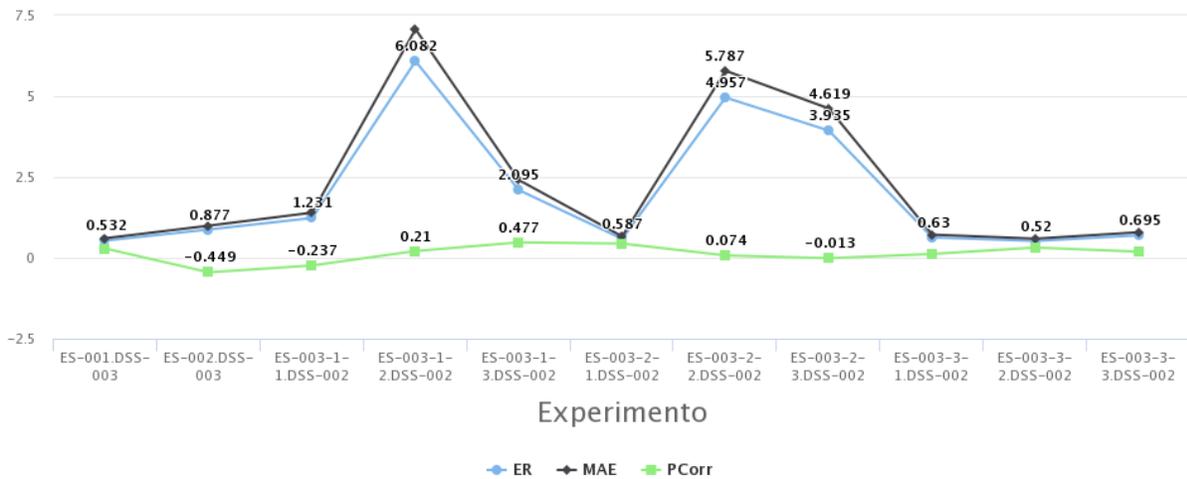


Figura B 50. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”

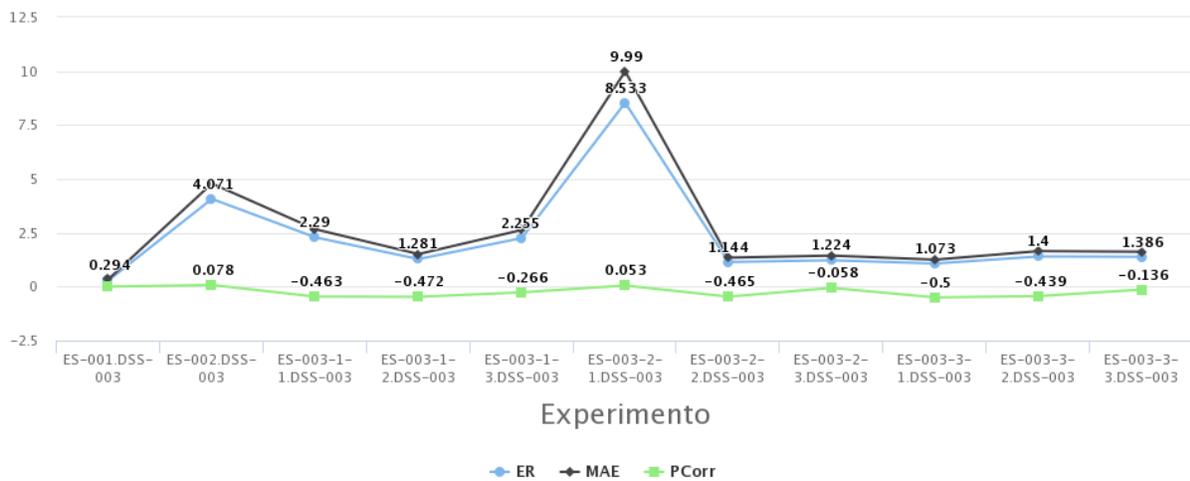


Figura B 51. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Floración” para la región “Santaguada”

Los resultados presentados en las Figuras B49, B50 y B51 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.52 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.477. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.573 y su mejor correlación de -0.224. Finalmente, para

la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 0.294 y -0.5 respectivamente.

B1.3.4 Humedad

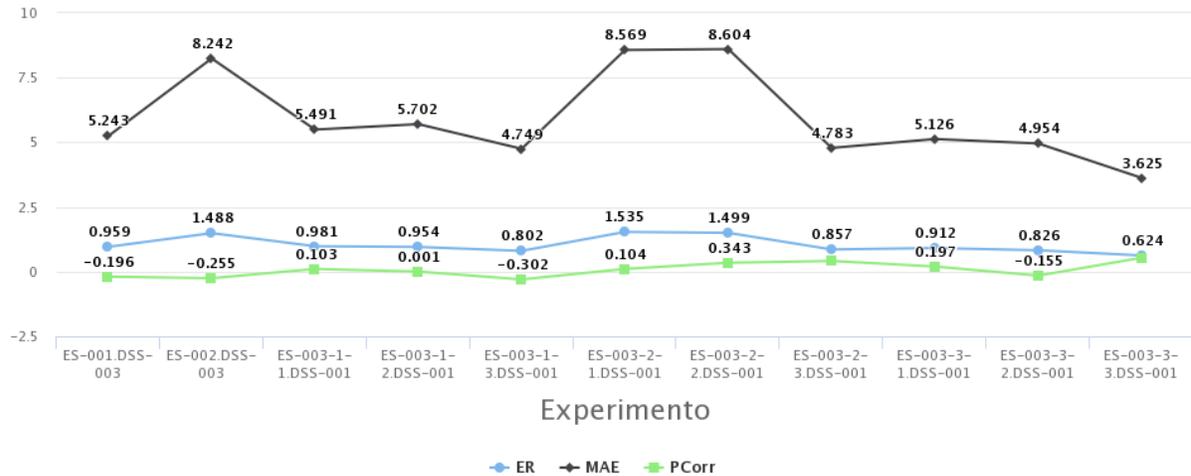


Figura B 52. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

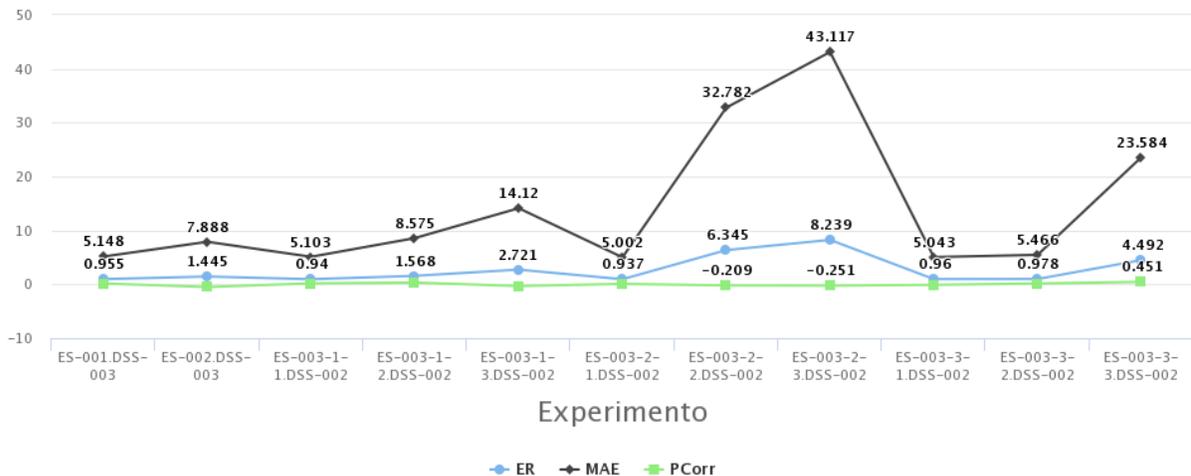


Figura B 53. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”

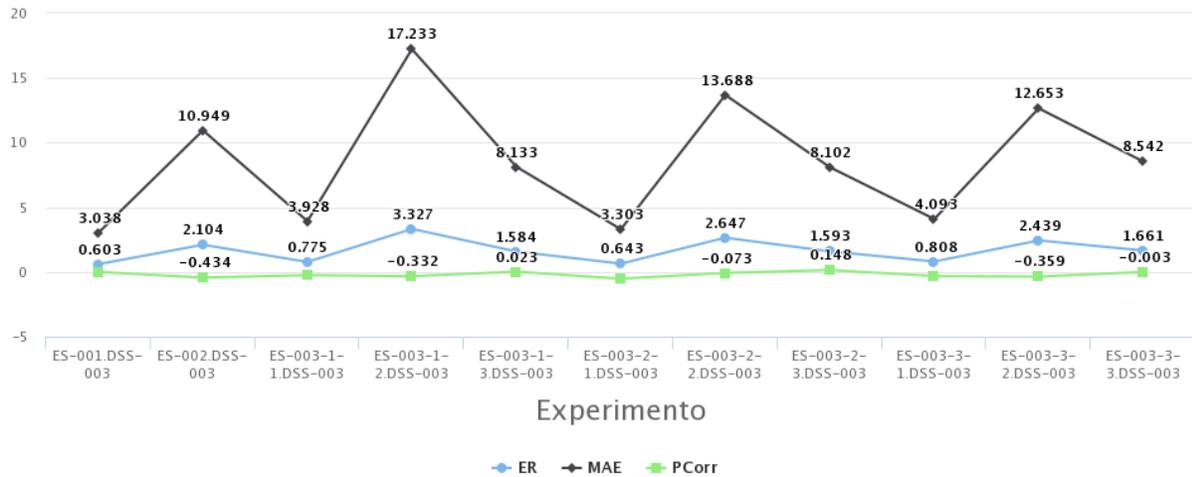


Figura B 54. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B52, B53 y B54 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 5.002 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.451. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.802 y su mejor correlación de 0.343. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 3.303 y -0.434 respectivamente.

B1.3.5 Brillo solar

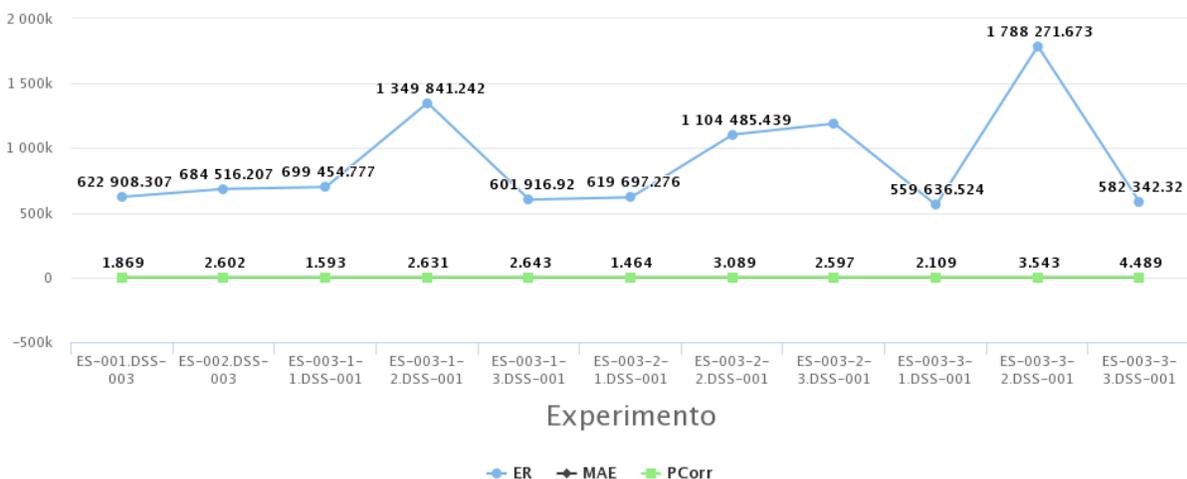


Figura B 55. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

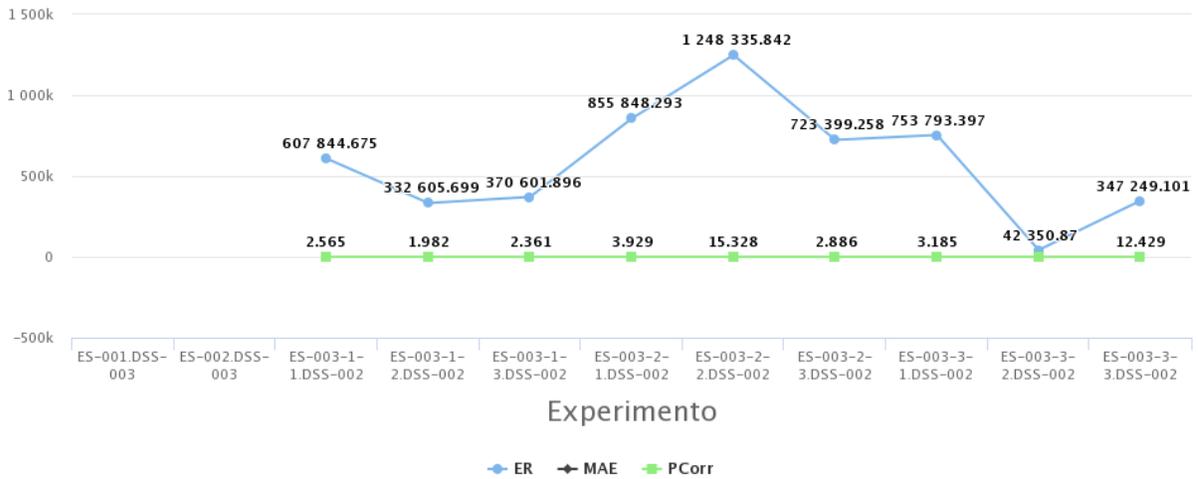


Figura B 56. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”

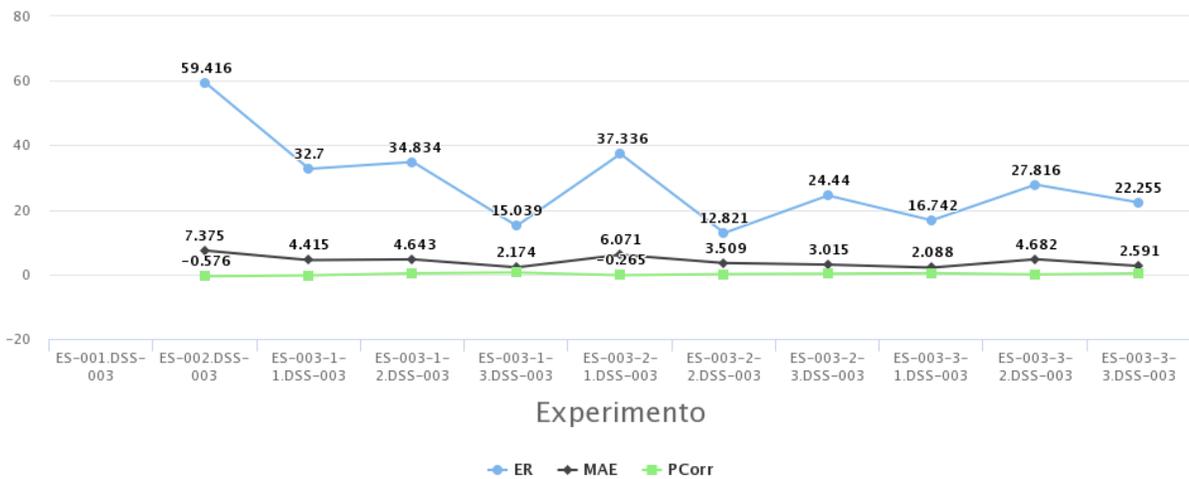


Figura B 57. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Floración” para la región “Santaguada”

Los resultados presentados en las Figuras B55, B56 y B57 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.982 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.143. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de MAE es 1.464 y su mejor correlación de 0.106. Finalmente, para la región “Santaguada” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 2.088 y -0.576 respectivamente.

B1.3.6 Precipitación durante el día

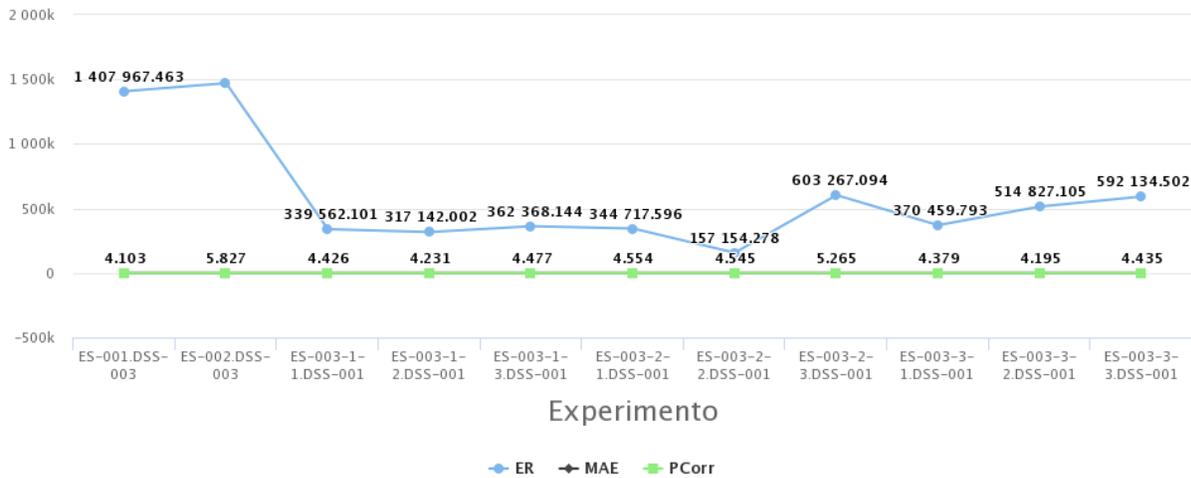


Figura B 58. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

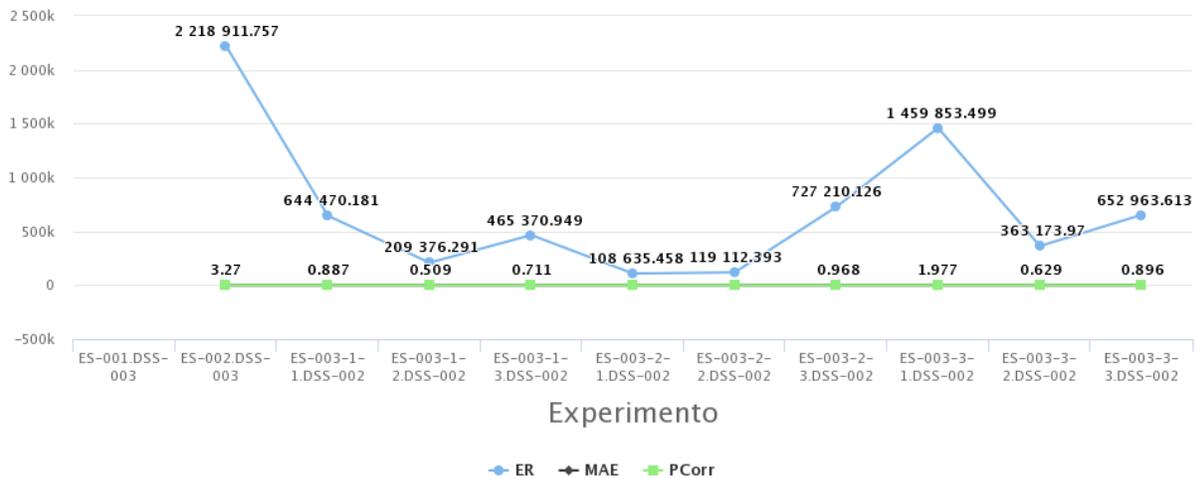


Figura B 59. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Naranja”

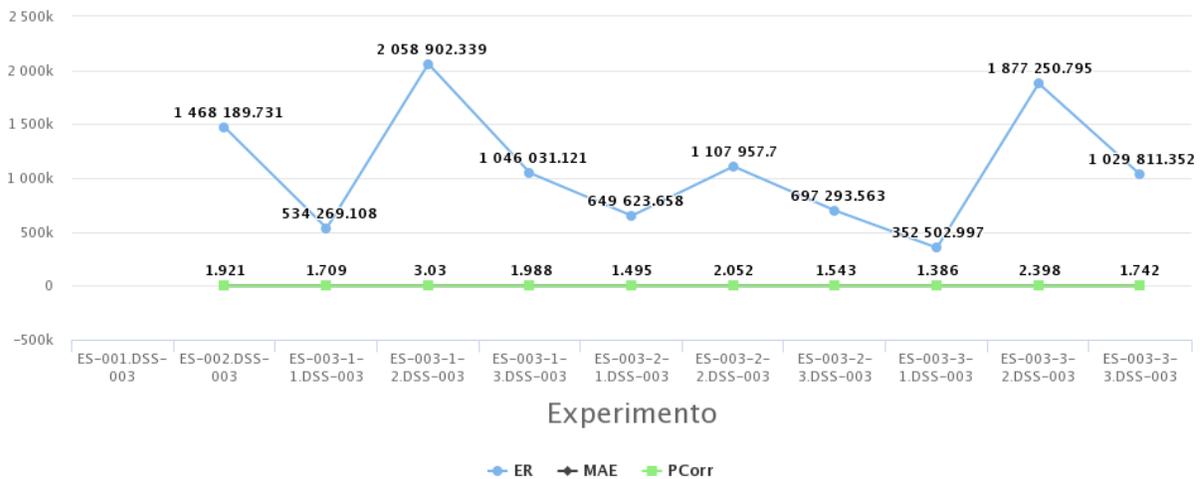


Figura B 60. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B58, B59 y B60 muestran que para la región “Naranja” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.509 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.24. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 4.103 y su mejor correlación de 0.084. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 1.386 y 0.205 respectivamente.

B1.3.7 Precipitación durante la noche

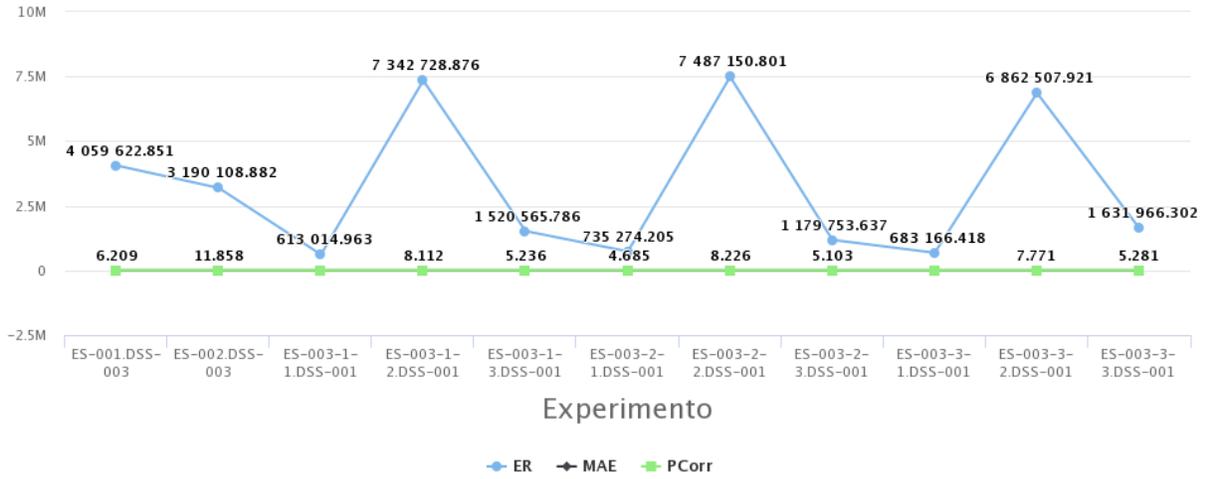


Figura B 61. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Jazmín”

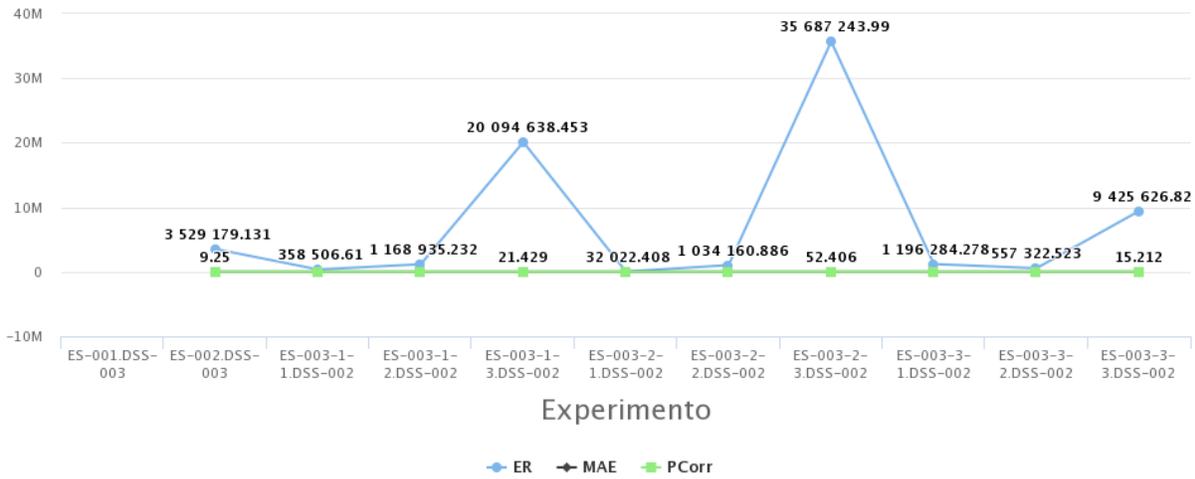


Figura B 62. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Naranjal”

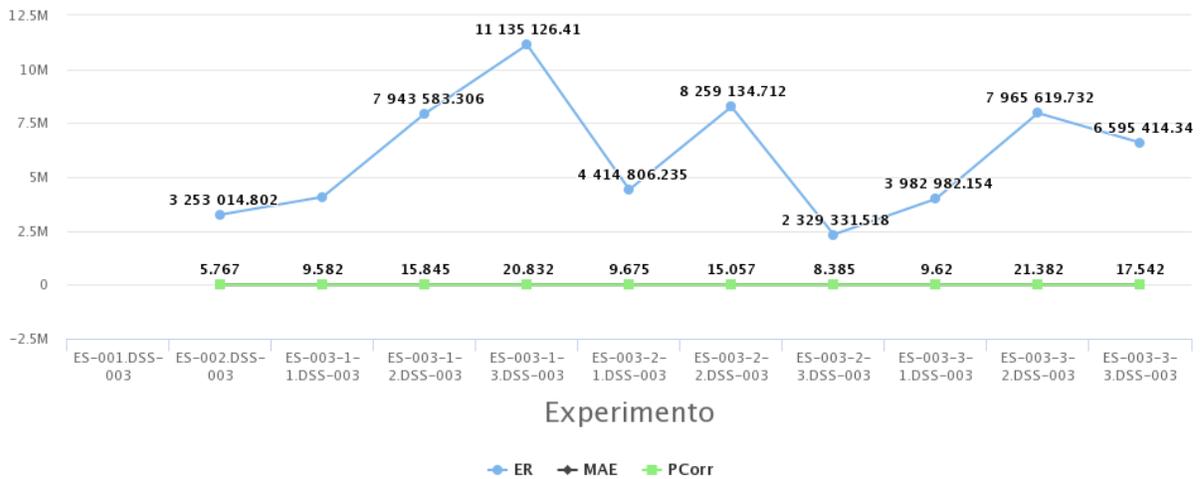


Figura B 63. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Floración” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B61, B62 y B63 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 9.25 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.08. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 4.685 y su mejor correlación de 0.10. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 5.767 y 0.12 respectivamente.

B1.4 Cosecha

B1.4.1 Temperatura máxima

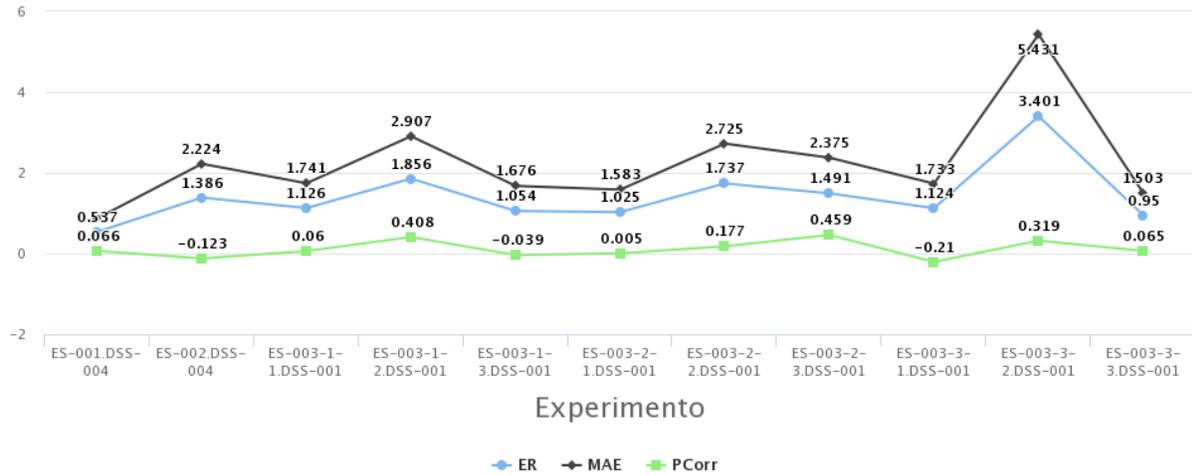


Figura B 64. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

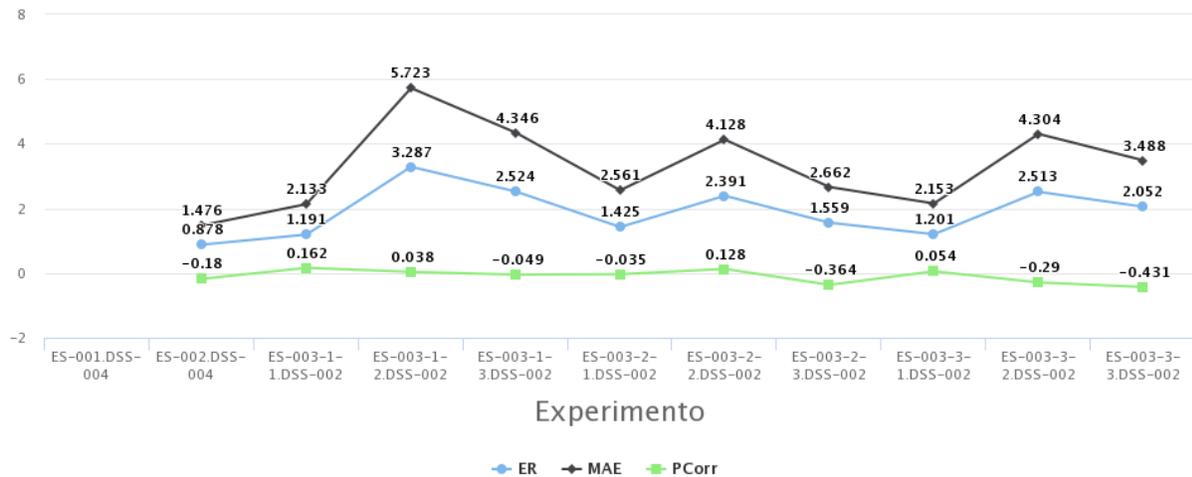


Figura B 65. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

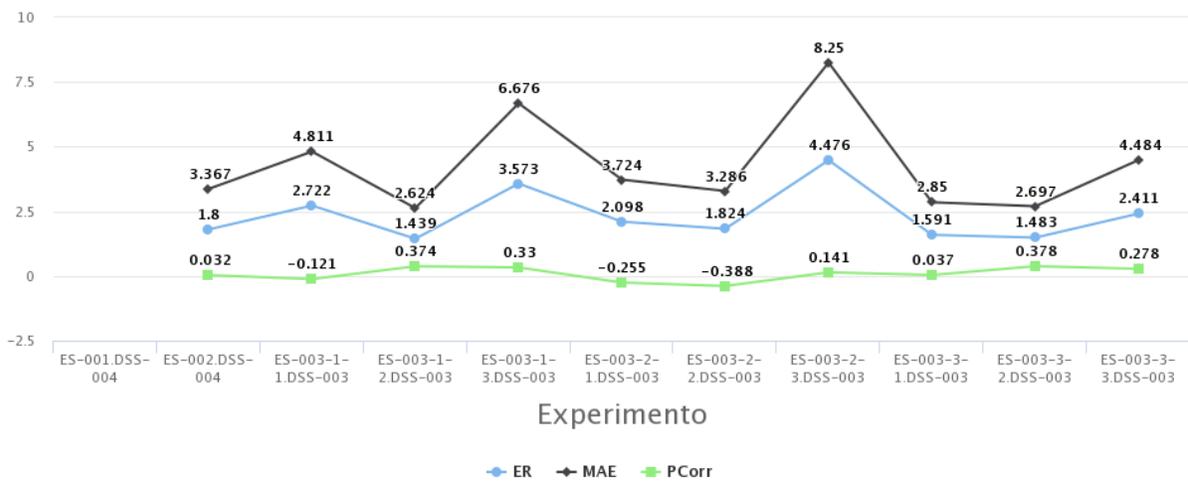


Figura B 66. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura máxima y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B64, B65 y B66 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 1.476 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.432. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.537 y su mejor correlación de 0.459. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 2.624 y -0.388 respectivamente.

B1.4.2 Temperatura media

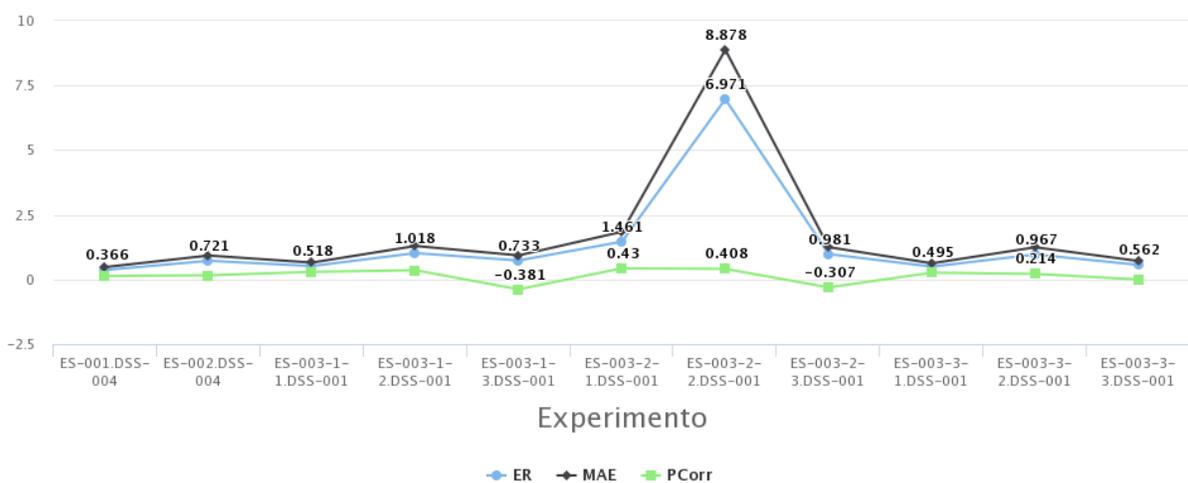


Figura B 67. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

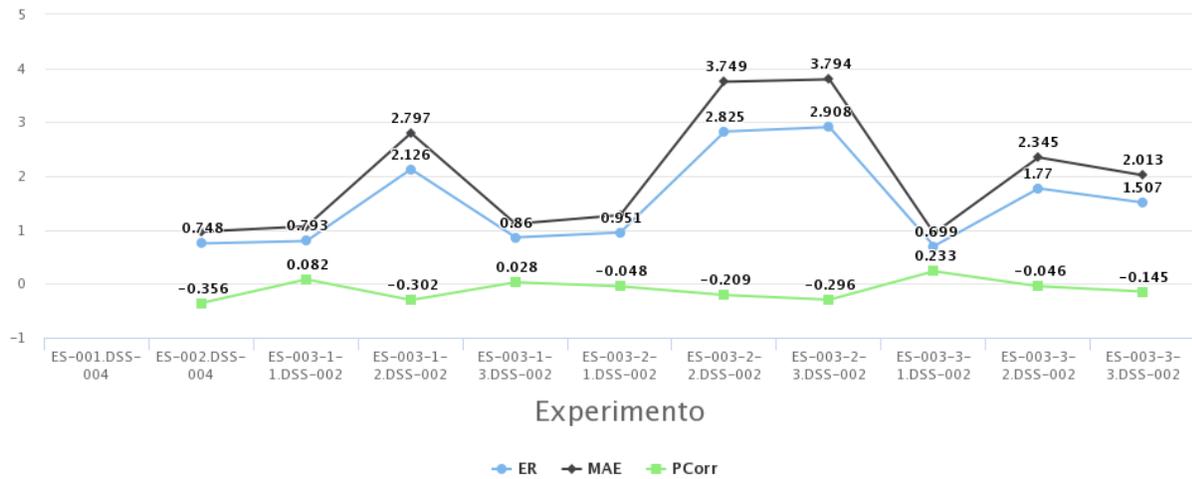


Figura B 68. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

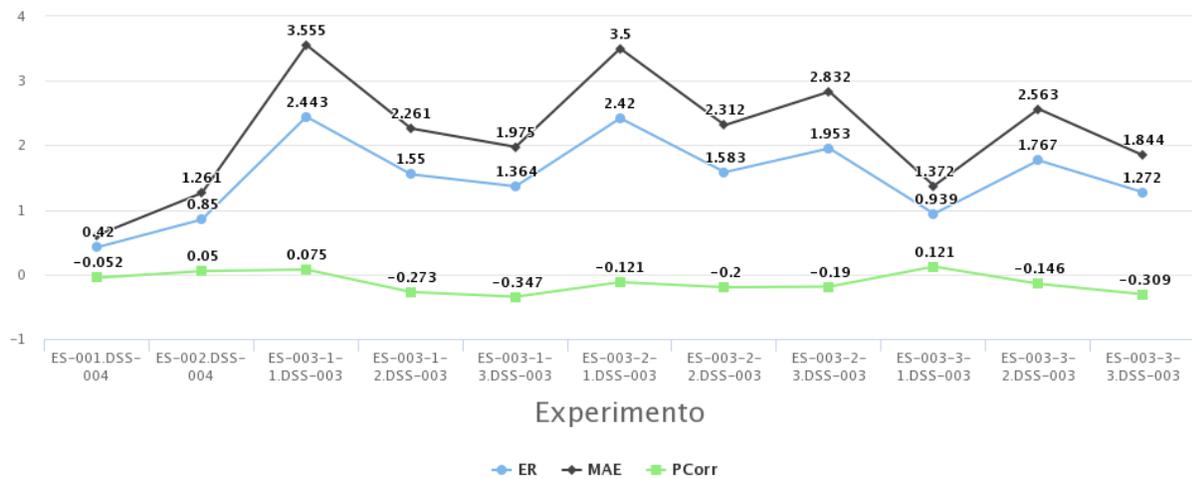


Figura B 69. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la temperatura media y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B67, B68 y B69 muestran que para la región “Naranja” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.785 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.356. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.366 y su mejor correlación de 0.495. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 0.45 y -0.347 respectivamente.

B1.4.3 Punto de rocío

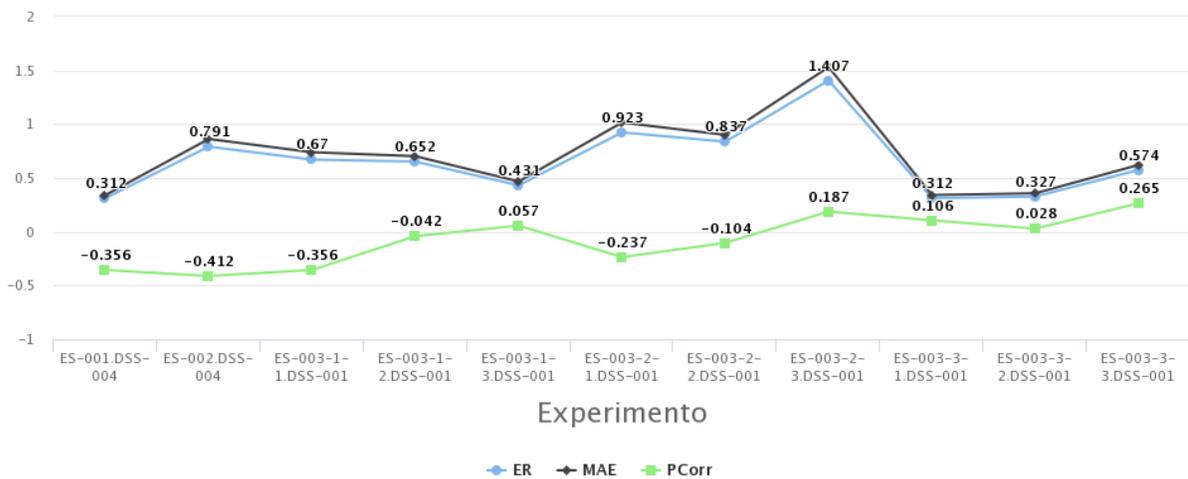


Figura B 70. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

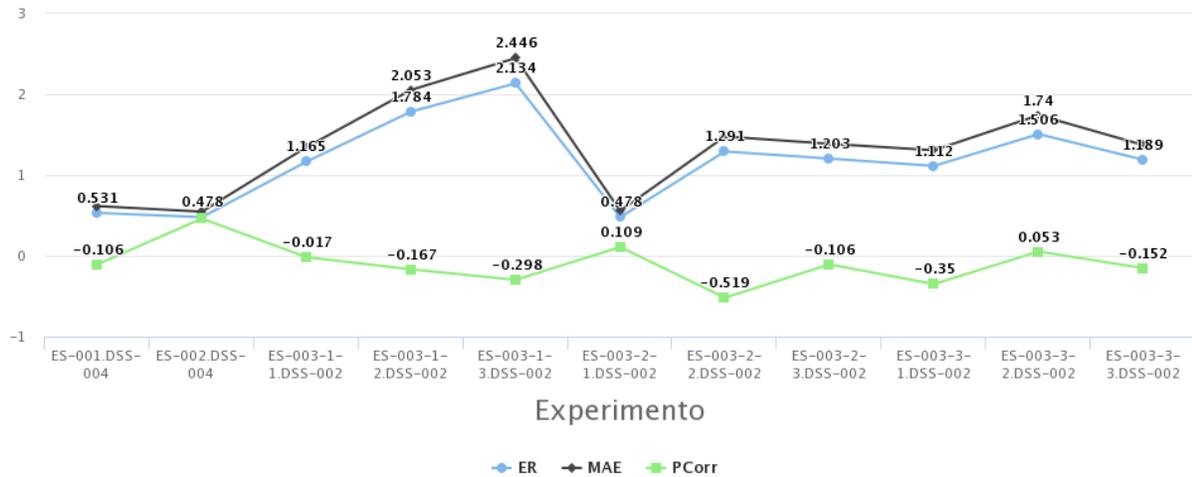


Figura B 71. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

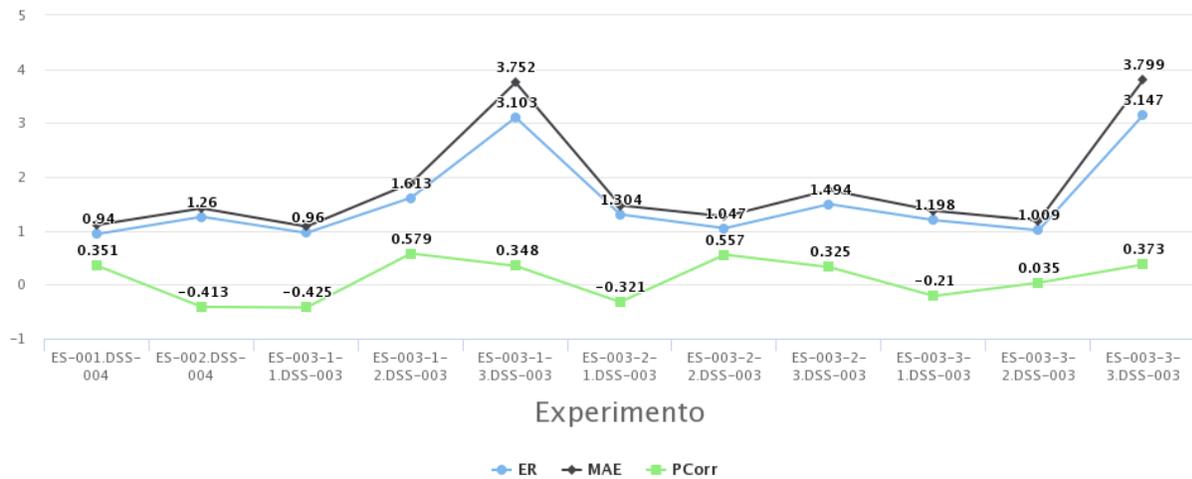


Figura B 72. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del punto de rocío y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B70, B71 y B72 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 0.478 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.579. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.312 y su mejor correlación de -0.412. Finalmente, para

la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 0.94 y 0.579 respectivamente.

B1.4.4 Humedad

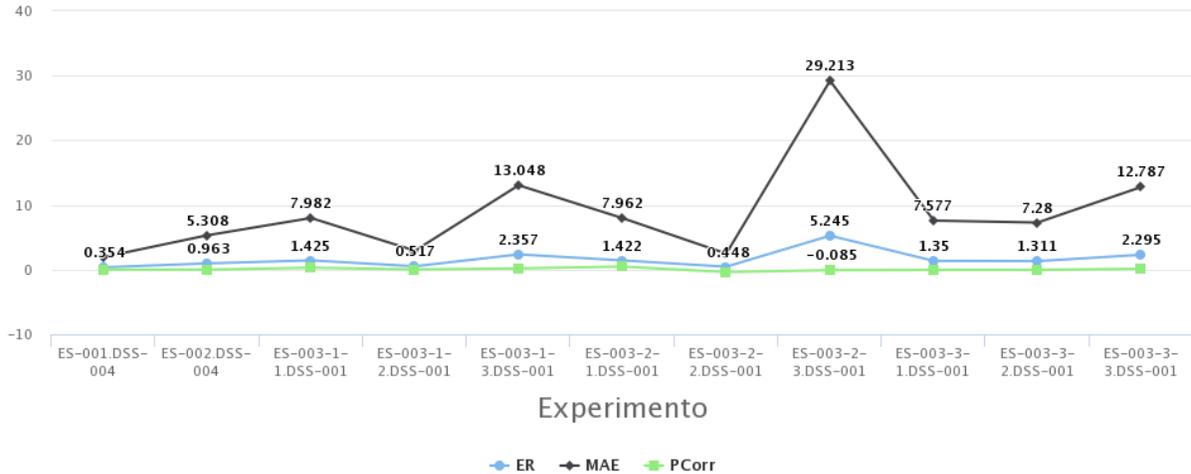


Figura B 73. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

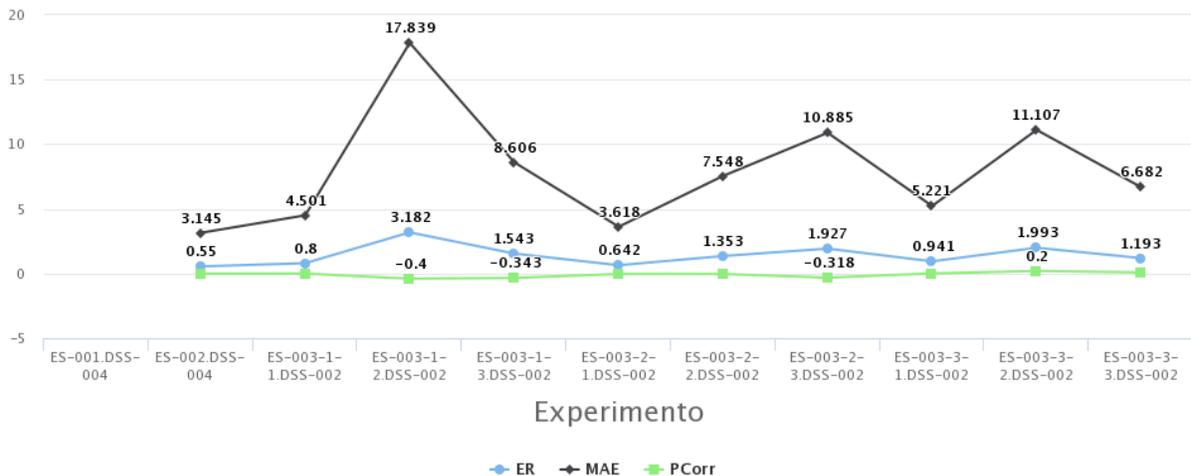


Figura B 74. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

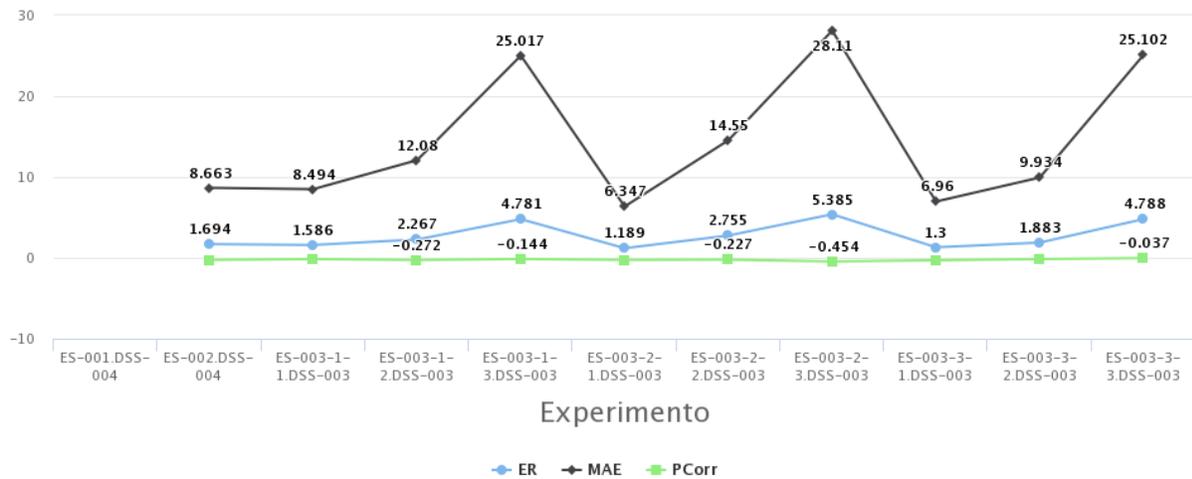


Figura B 75. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la humedad y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B73, B74 y B75 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 3.145 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.55. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de error relativo es 0.448 y su mejor correlación de -0.102. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 6.347y -0.454 respectivamente.

B1.4.5 Brillo solar

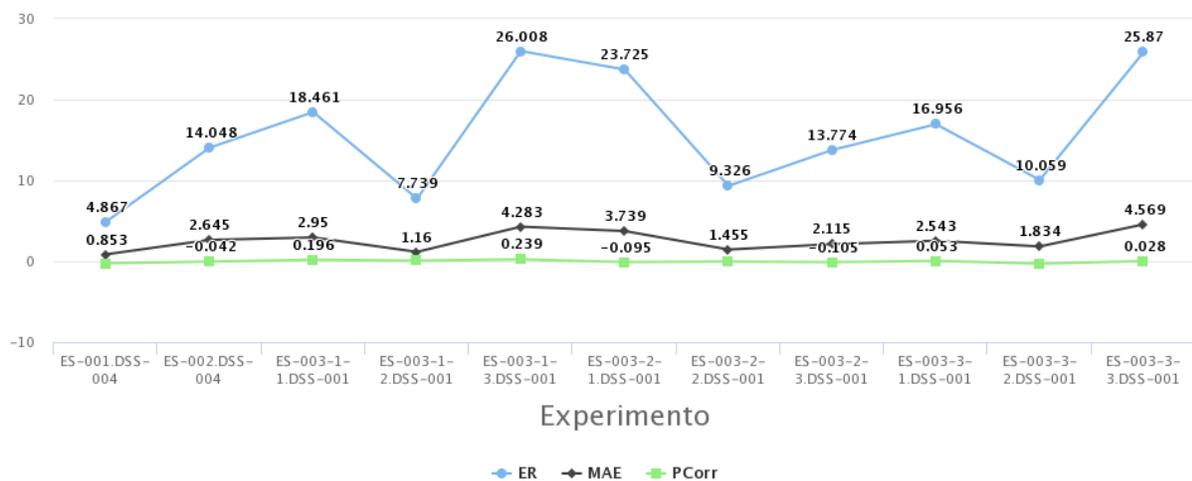


Figura B 76. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

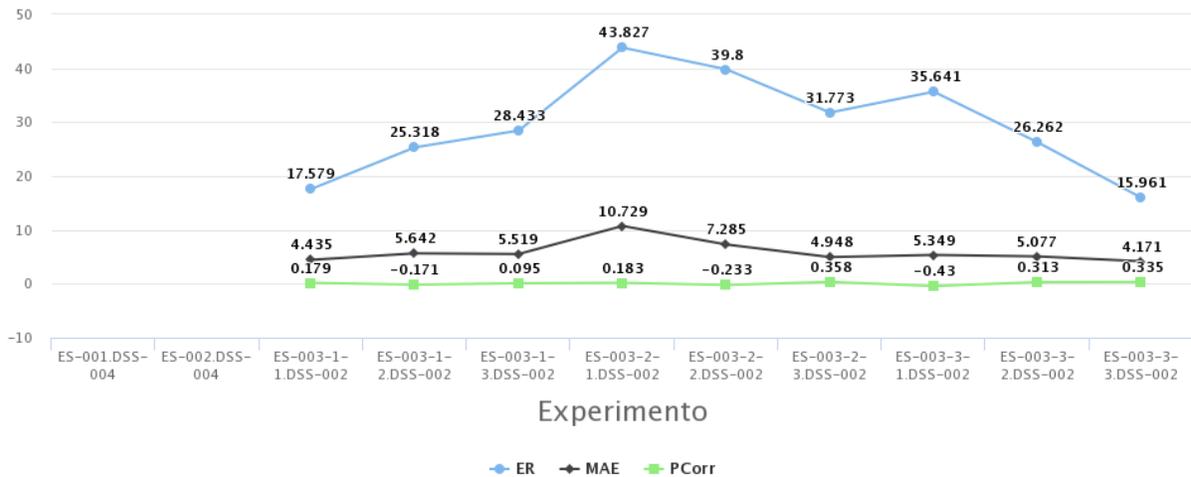


Figura B 77. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

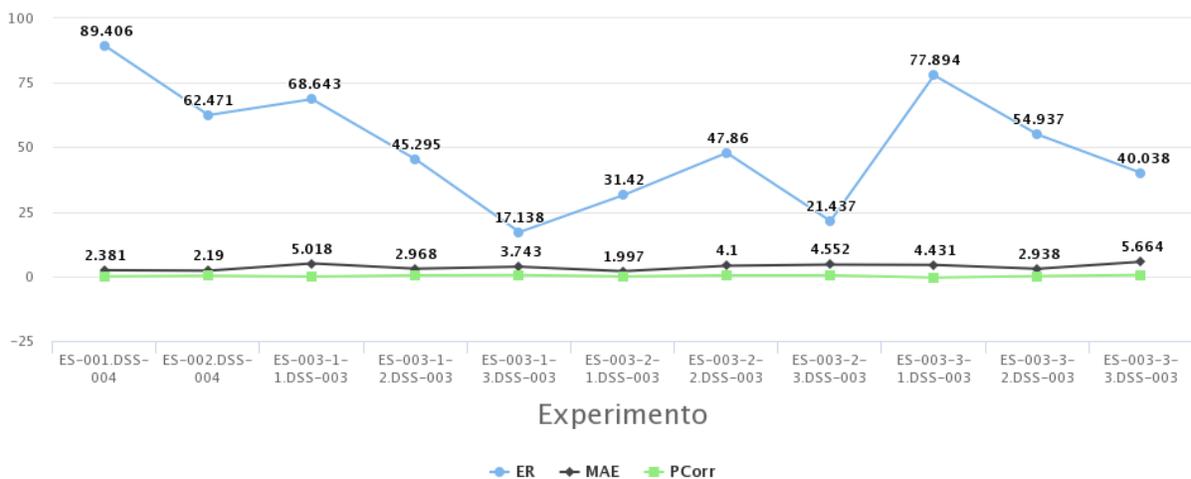


Figura B 78. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección del brillo solar y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santaguada”

Los resultados presentados en las Figuras B76, B77 y B78 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 4.171 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a -0.43. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de MAE es 4.867 y su mejor correlación de 0.239. Finalmente, para la región “Santaguada” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 2.19 y 0.23 respectivamente.

B1.4.6 Precipitación durante el día

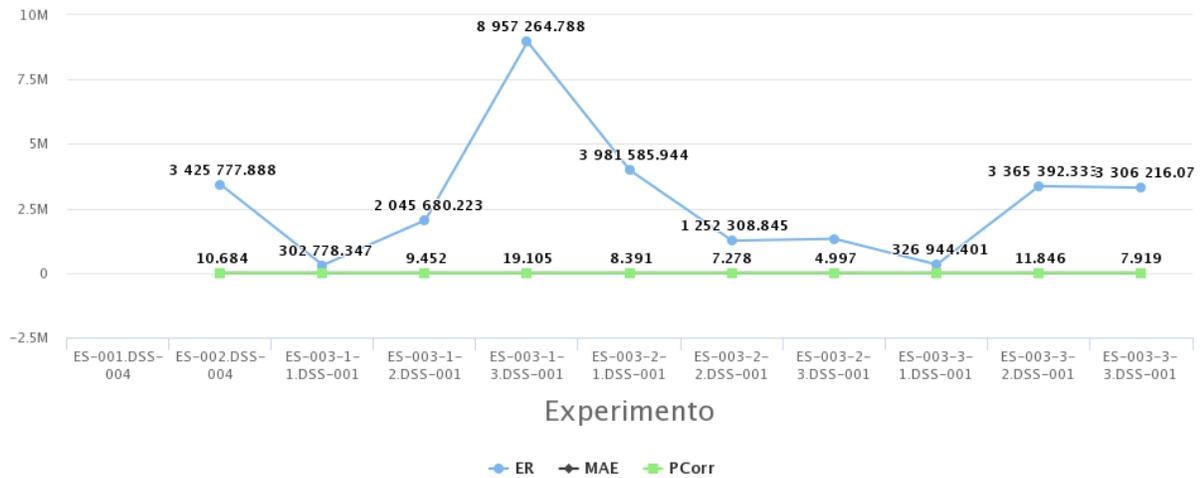


Figura B 79. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

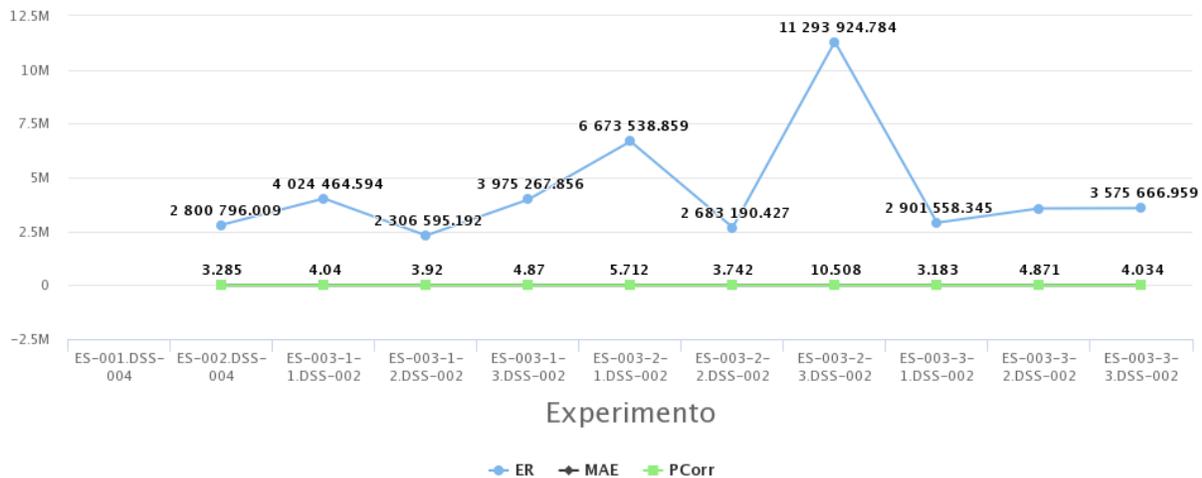


Figura B 80. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”



Figura B 81. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante el día y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B79, B80 y B81 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 3.183 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.21. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 4.997 y su mejor correlación de -0.076. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 8.62 y 0.17 respectivamente.

B1.4.7 Precipitación durante la noche

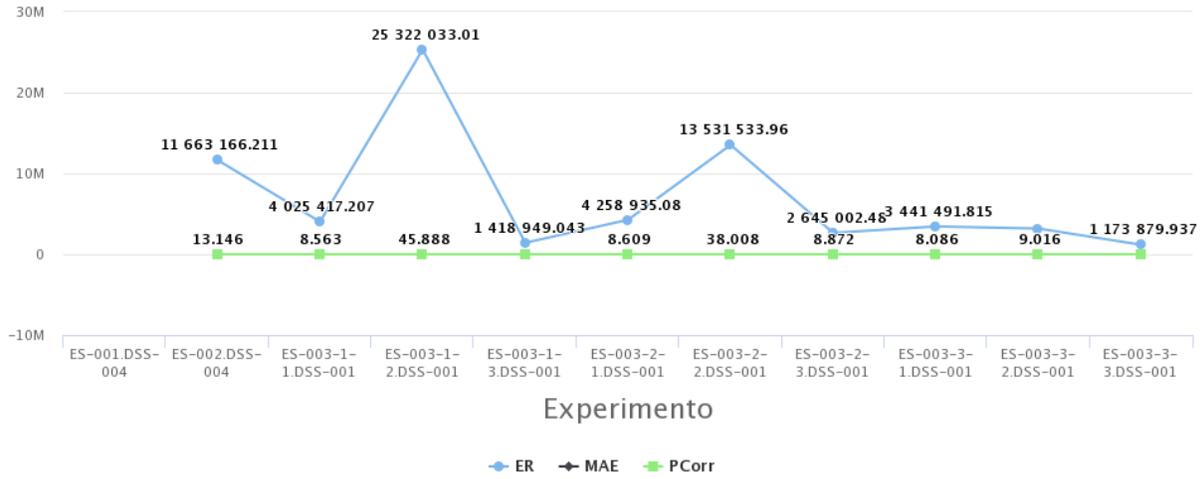


Figura B 82. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Jazmín”

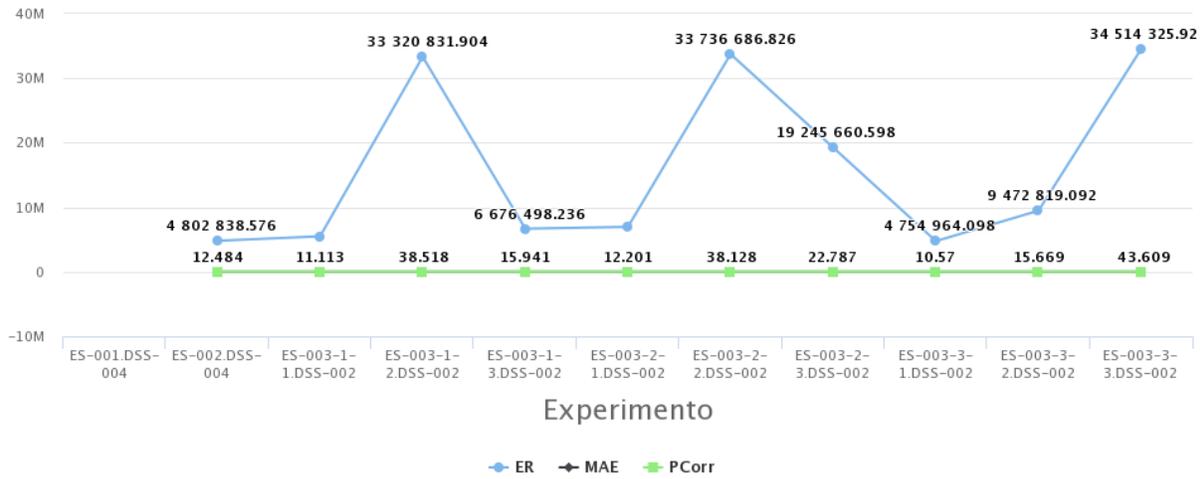


Figura B 83. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Naranjal”

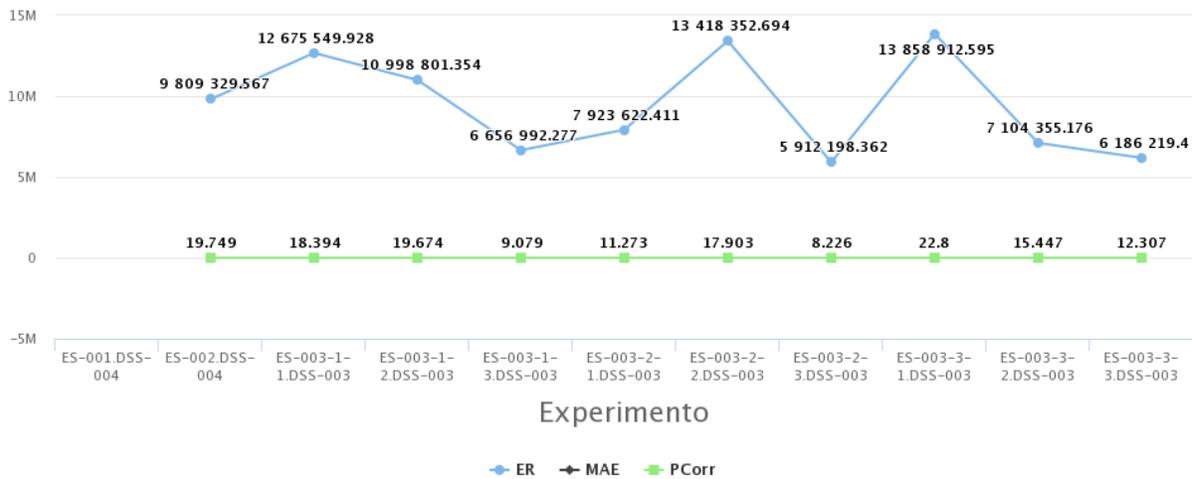


Figura B 84. Resultados de los experimentos correspondientes a la intersección de la precipitación durante la noche y el subconjunto “Cosecha” para la región “Santagueda”

Los resultados presentados en las Figuras B82, B83 y B84 muestran que para la región “Naranjal” el menor error absoluto medio (MAE) encontrado fue 10.57 y su mejor coeficiente de correlación se aproxima a 0.15. Para la región “Jazmín” el mejor resultado de la MAE es 8.086 y su mejor correlación de -0.24. Finalmente, para la región “Santagueda” los mejores resultados de MAE y correlación de Pearson son 8.226 y -0.19 respectivamente.

B.2 Evaluación del pronóstico con series de tiempo para las variables de clima utilizando los test de Friedman y T-test pareado

En esta sección son mostrados los resultados de las evaluaciones de los experimentos con series de tiempo en las variables de clima disponibles en los distintos conjuntos de datos, utilizando los test de Friedman y el T-test como métricas de evaluación.

B.2.1 Test de Friedman

En primer lugar, las tablas B1, B2 y B3 muestran los resultados del test de Friedman para la primera fase de evaluación en la elección de los mejores algoritmos de series de tiempo para cada una de las variables de clima utilizadas en el presente proyecto.

Región	Atributo	Score	p- value	Modelo
Jazmin	MinTem	10.779	3.749e-01	Box jenkins
Jazmin	MaxTem	35.735	9.344e-05	Holt winters
Jazmin	AvgTem	15.559	1.129e-01	ANN-2-10
Jazmin	PR	49.396	3.445e-07	ANN-3-15
Jazmin	Hum	34.188	1.715e-04	ANN-3-15
Jazmin	Brillo solar	31.786	4.346e-04	ANN-3-15
Jazmin	Pd	34.669	1.421e-04	ANN-3-5
Jazmin	Pn	41.816	8.085e-06	ANN-2-10
Naranjal	MinTem	50.441	2.213e-07	ANN-3-5
Naranjal	MaxTem	23.923	7.806e-03	Box jenkins
Naranjal	AvgTem	17.446	6.504e-02	ANN-2-10
Naranjal	PR	38.779	2.774e-05	ANN-3-5
Naranjal	Hum	24.528	6.315e-03	ANN-2-10
Naranjal	Brillo solar	6.267	6.173e-01	ANN-3-5
Naranjal	Pd	61.427	1.945e-09	ANN-2-15
Naranjal	Pn	53.164	6.938e-08	ANN-2-10
Santagueda	MinTem	34.465	1.539e-04	ANN-2-5
Santagueda	MaxTem	79.852	5.366e-13	ANN-2-15
Santagueda	AvgTem	61.949	1.546e-09	ANN-2-10
Santagueda	PR	25.974	3.774e-03	Holt winters
Santagueda	Hum	53.207	6.813e-08	ANN-2-5
Santagueda	Brillo solar	68.326	9.318e-11	Box jenkins
Santagueda	Pd	126.447	2.474e-22	ANN-1-10
Santagueda	Pn	64.025	2.231e-10	ANN-1-15

Tabla B 1. Resultados de significancia estadística para las distintas regiones cafeteras (Jazmín, Naranjal, Santagueda) utilizando el dataset “Formación de hojas” y el test de Friedman

Región	Atributo	Score	p- value	Modelo
Jazmin	MinTem	9.283	5.0547e-01	ANN-1-5
Jazmin	MaxTem	26.364	3.279e-03	ANN-3-5
Jazmin	AvgTem	38.566	3.023e-05	Holt winters
Jazmin	PR	60.0	3.624e-09	ANN-3-10

Jazmin	Hum	26.389	3.249e-03	ANN-3-15
Jazmin	Brillo solar	15.647	1.101e-01	Box jenkins
Jazmin	Pd	20.380	2.585e-02	ANN-3-10
Jazmin	Pn	19.619	3.306e-02	ANN-1-5
Naranjal	MinTem	10.047	4.362e-01	ANN-2-10
Naranjal	MaxTem	21.018	2.096e-02	Holt winters
Naranjal	AvgTem	46.578	1.126e-06	ANN-2-10
Naranjal	PR	24.918	5.502e-03	ANN-2-5
Naranjal	Hum	26.452	3.176e-03	Holt winters
Naranjal	Brillo solar	24.895	1.619e-03	ANN-1-10
Naranjal	Pd	58.934	2.149e-09	ANN-2-15
Naranjal	Pn	27.189	1.301e-03	ANN-2-10
Santagueda	MinTem	47.667	2.946e-07	ANN-1-5
Santagueda	MaxTem	28.073	9.272e-04	ANN-3-5
Santagueda	AvgTem	44.014	1.403e-06	Holt winters
Santagueda	PR	56.176	1.902e-08	Box jenkins
Santagueda	Hum	37.685	4.304e-05	Box jenkins
Santagueda	Brillo solar	33.848	9.495e-05	ANN-1-15
Santagueda	Pd	33.277	1.195e-04	ANN-2-15
Santagueda	Pn	5.667	7.726e-01	Holt winters

Tabla B 2. Resultados de significancia estadística para las distintas regiones cafeteras (Jazmín, Naranjal, Santagueda) utilizando el dataset “Floración” y el test de Friedman

Región	Atributo	Score	p- value	Modelo
Jazmin	MinTem	35.172	1.166e-04	Box jenkins
Jazmin	MaxTem	18.461	4.765e-02	ANN-2-15
Jazmin	AvgTem	26.201	3.478e-03	ANN-1-15
Jazmin	PR	46.591	1.120e-06	Box jenkins
Jazmin	Hum	44.226	2.997e-06	Box jenkins
Jazmin	Brillo solar	24.918	5.502e-03	Box jenkins
Jazmin	Pd	20.567	1.471e-02	ANN-3-15
Jazmin	Pn	25.314	2.642e-03	ANN-3-5
Naranjal	MinTem	47.968	6.288e-07	Holt winters
Naranjal	MaxTem	10.276	3.285e-01	ANN-2-15
Naranjal	AvgTem	7.188	6.174e-01	ANN-1-10
Naranjal	PR	23.288	9.728e-03	Holt winters
Naranjal	Hum	4.115	9.036e-01	ANN-1-10
Naranjal	Brillo solar	20.92	7.362e-03	ANN-3-15
Naranjal	Pd	15.353	8.166e-02	ANN-1-10
Naranjal	Pn	22.816	6.621e-03	ANN-2-5
Santagueda	MinTem	28.264	1.637e-03	ANN-2-15
Santagueda	MaxTem	29.466	5.404e-04	ANN-1-10

Santagueda	AvgTem	35.748	9.297e-05	ANN-1-15
Santagueda	PR	62.754	1.087e-09	ANN-1-5
Santagueda	Hum	37.165	2.458e-05	ANN-3-5
Santagueda	Brillo solar	38.503	3.101e-05	ANN-1-15
Santagueda	Pd	48.512	5.003e-07	ANN-2-5
Santagueda	Pn	26.791	1.514e-03	ANN-2-15

Tabla B 3. Resultados de significancia estadística para las distintas regiones cafeteras (Jazmín, Naranjal, Santagueda) utilizando el dataset “Cosecha” y el test de Friedman

B.2.2 T-test pareado

A continuación, se muestran los resultados de confianza y puntajes para cada una de las comparaciones definidas en esta segunda fase de evaluación, y la decisión final para cada variable de clima en las tablas B4 a B26.

Las referencias a cada uno de los conjuntos de datos en las tablas B1 a B26 son descritas en seguida:

- **TD:** todos los datos disponibles
- **FH:** formación de hojas
- **FL:** floración
- **CO:** cosecha

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	1.514	0.141	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-1.749	0.091	
TD vs CO	-2.099	0.044	

Tabla B 4. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	3.150	0.003	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-4.001	0.0004	
TD vs CO	-1.303	0.203	

Tabla B 5. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.808	0.425	Datasets separados por las etapas del cultivo de café
TD vs FL	-3.952	0.0007	
TD vs CO	-0.724	0.47	

Tabla B 6. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-2.577	0.015	Datasets separados por las etapas del cultivo de café
TD vs FL	-1.087	0.285	
TD vs CO	-0.095	0.924	

Tabla B 7. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.121	0.903	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-0.800	0.430	
TD vs CO	-2.075	0.047	

Tabla B 8. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-1.731	0.094	Todos los datos disponibles
TD vs FL	5.178	0.000017	
TD vs CO	1.054	0.3005	

Tabla B 9. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	1.622	0.115	Todos los datos disponibles
TD vs FL	2.084	0.046	
TD vs CO	2.128	0.042	

Tabla B 10. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-1.396	0.173	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-1.093	0.283	
TD vs CO	2.644	0.013	

Tabla B 11. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	0.356	0.723	Todos los datos disponibles
TD vs FL	2.625	0.013	
TD vs CO	-0.490	0.627	

Tabla B 12. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.170	0.865	Todos los datos disponibles
TD vs FL	2.469	0.019	
TD vs CO	-2.648	0.013	

Tabla B 13. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-4.508	0.000106	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-4.185	0.000255	
TD vs CO	1.049	0.302	

Tabla B 14. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-1.758	0.089	

TD vs FL	-2.20007	0.036	Todos los datos disponibles
TD vs CO	-0.102	0.919	

Tabla B 15. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	1.155	0.257	Todos los datos disponibles
TD vs FL	1.370	0.181	
TD vs CO	0.336	0.738	

Tabla B 16. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	0.0041	0.996	Todos los datos disponibles
TD vs FL	0.877	0.387	
TD vs CO	1.791	0.084	

Tabla B 17. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.491	0.626	Todos los datos disponibles
TD vs FL	1.061	0.297	
TD vs CO	0.245	0.807	

Tabla B 18. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas del cultivo de la variable de precipitación durante la noche en la región Jazmín

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	1.666	0.106	Todos los datos disponibles
TD vs FL	0.658	0.515	
TD vs CO	-2.862	0.007	

Tabla B 19. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas del cultivo de la variable de temperatura mínima en la región Santaguada utilizando la prueba t-test pareado

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	3.681	0.00097	Todos los datos disponibles
TD vs FL	3.002	0.005	
TD vs CO	-3.989	0.00043	

Tabla B 20. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	1.481	1.496e-01	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-42.878	4.395e-27	
TD vs CO	-2.843	8.241e-03	

Tabla B 21. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-7.573	2.994e-08	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-6.281	8.598e-07	
TD vs CO	2.629	1.373e-02	

Tabla B 22. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.512	0.612	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-3.142	0.0039	
TD vs CO	4.065	0.00035	

Tabla B 23. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-0.557	0.581	Todos los datos disponibles
TD vs FL	0.144	0.886	
TD vs CO	1.243	0.223	

Tabla B 24. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	0.852	0.401	Todos los datos disponibles
TD vs FL	-1.336	0.192	
TD vs CO	5.367	0.00001	

Tabla B 25. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas

Conjuntos de datos	Score	P-value	Decisión final
TD vs FH	-2.277	3.057e-02	Datasets separados por las etapas del cultivo de café
TD vs FL	-6.673	3.051e-07	
TD vs CO	0.897	3.785e-01	

Tabla B 26. Resultados de significancia estadística para las distintas etapas del cultivo de la variable de precipitación durante la noche en la región Jazmín

Anexo C

Detección de la Incidencia de Roya (IR) en cultivos de café colombianos

Este anexo contiene los resultados de las pruebas realizadas al método de conjunto para evaluar las capacidades de detección de incidencia de roya en cultivos de café colombianos.

C.1 Capacidades del método de conjunto para la detección de roya en Colombia

A continuación, las figuras C1 a C8 muestran los resultados de las predicciones realizadas por el método de conjunto frente a los valores de validación.

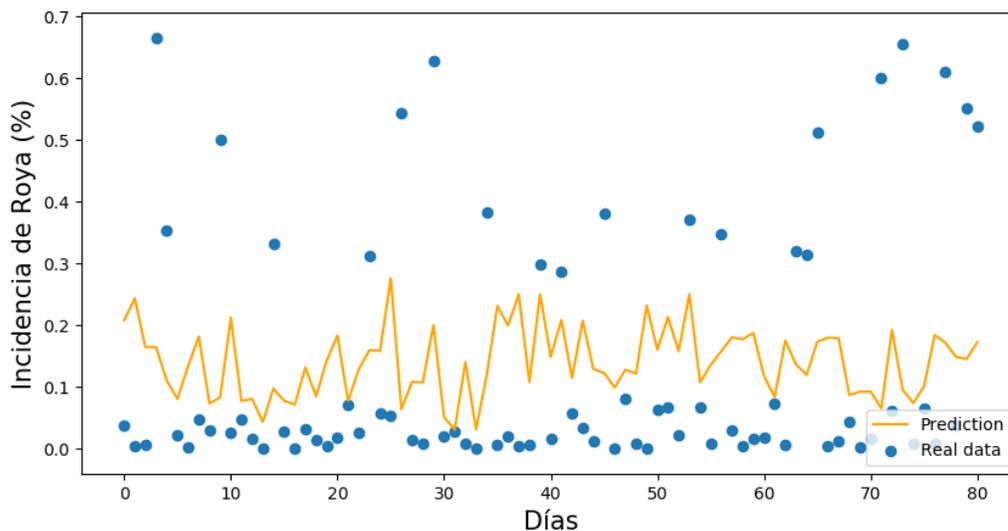


Figura C 1. Detección de la IR durante el periodo de floración para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación

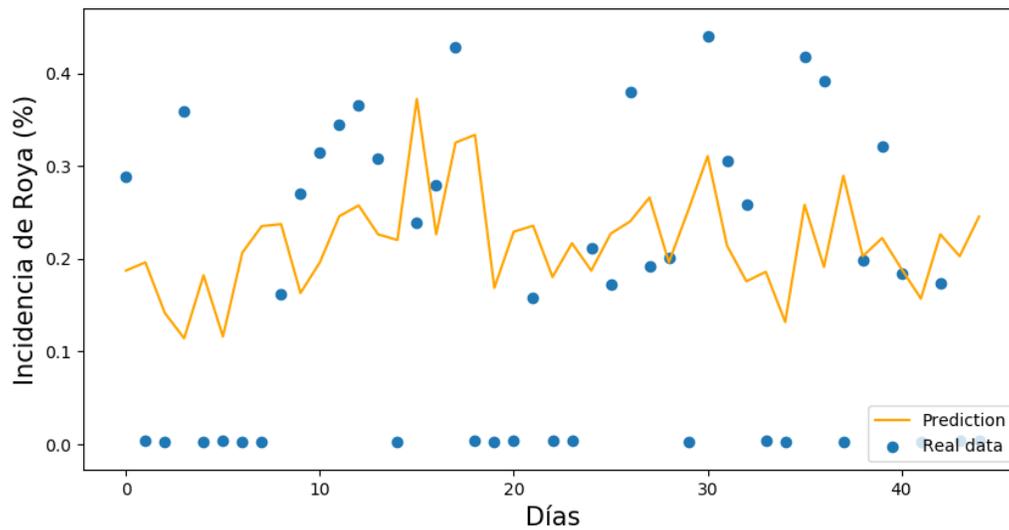


Figura C 2. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el primer semestre del año para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación

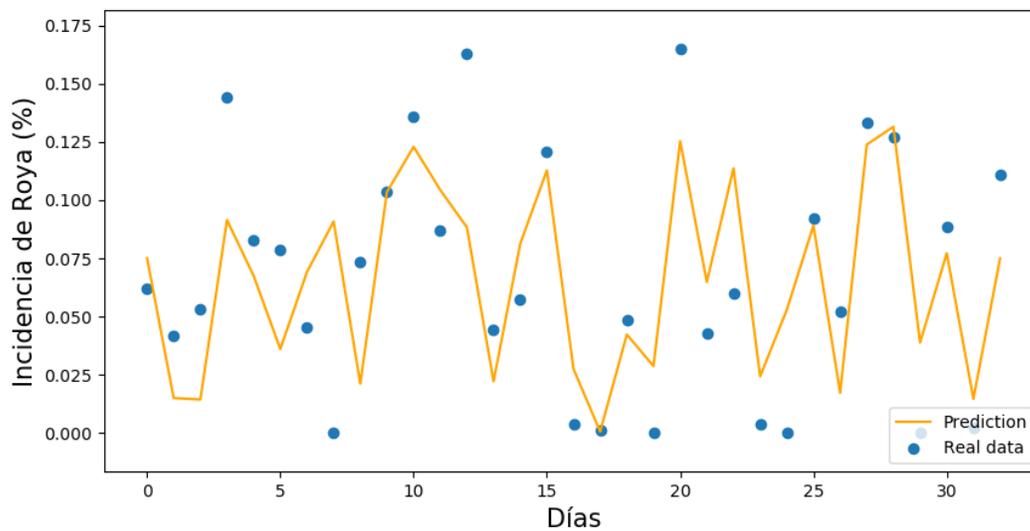


Figura C 3. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el segundo semestre del año para la región “Jazmín” con la primera prueba de evaluación

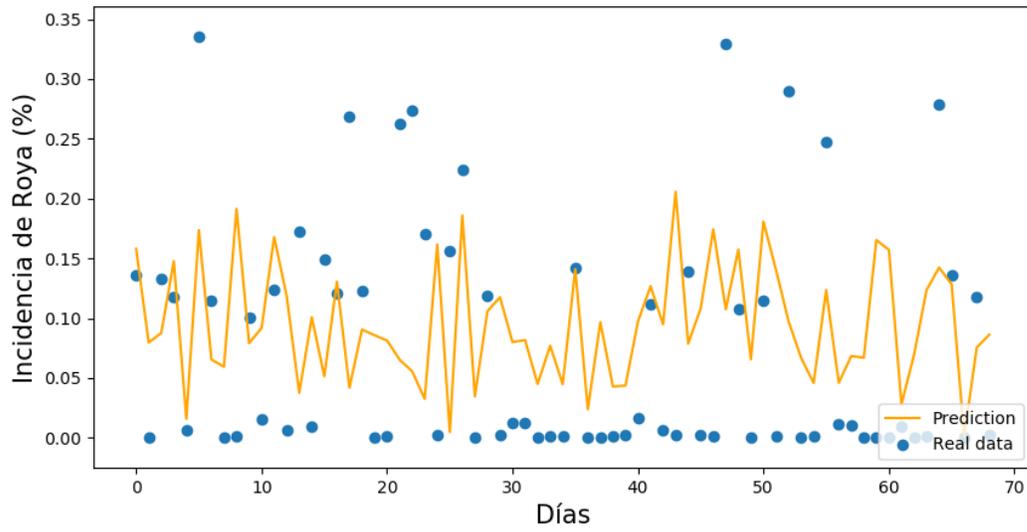


Figura C 4. Detección de la IR durante el periodo de cosecha para la región "Jazmín" con la primera prueba de evaluación

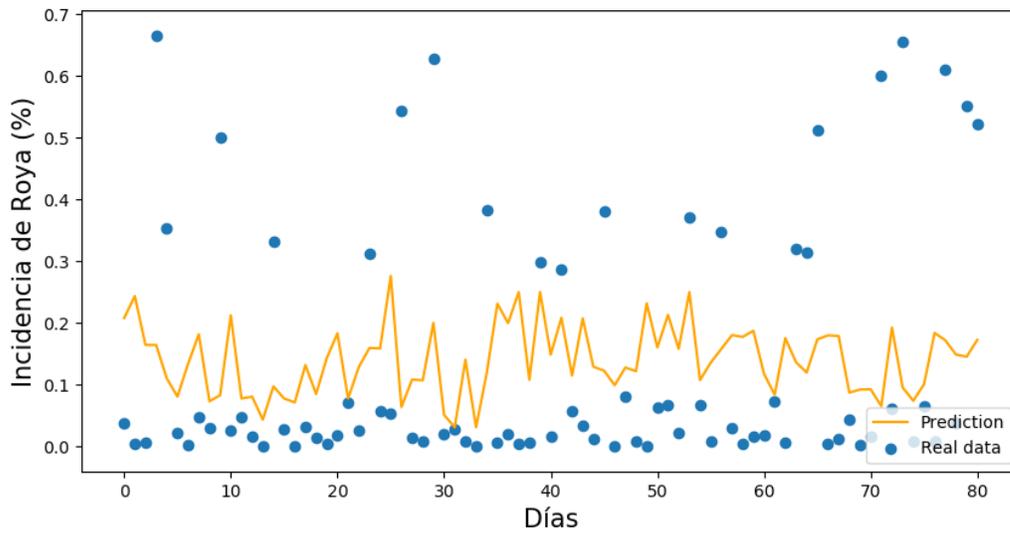


Figura C 5. Detección de la IR durante el periodo de floración para la región "Naranjal" con la primera prueba de evaluación

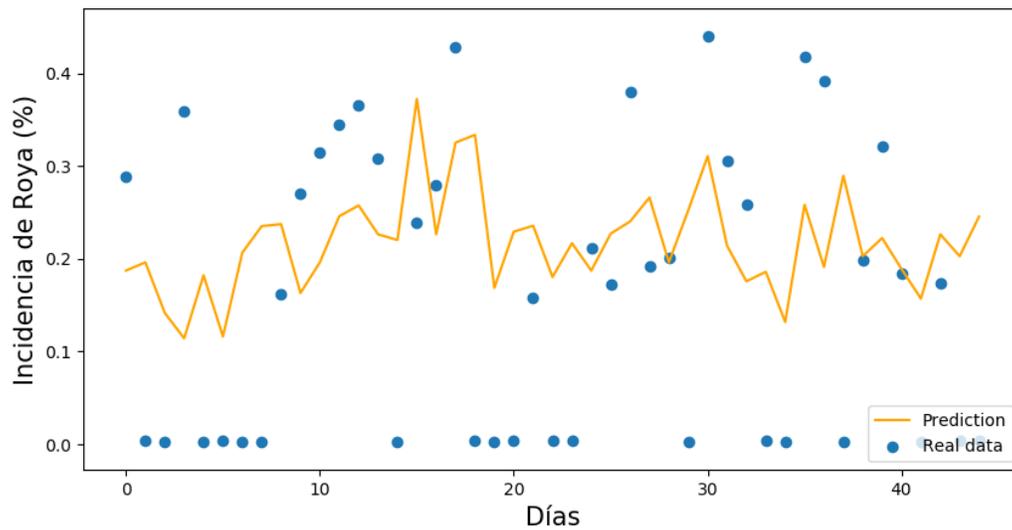


Figura C 6. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el primer semestre del año para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación

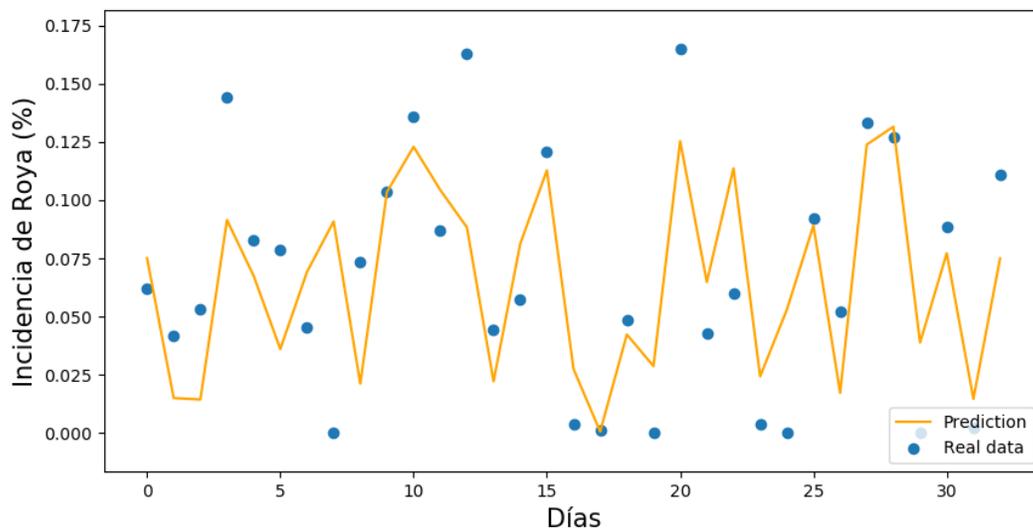


Figura C 7. Detección de la IR durante el periodo de formación de hojas en el segundo semestre del año para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación

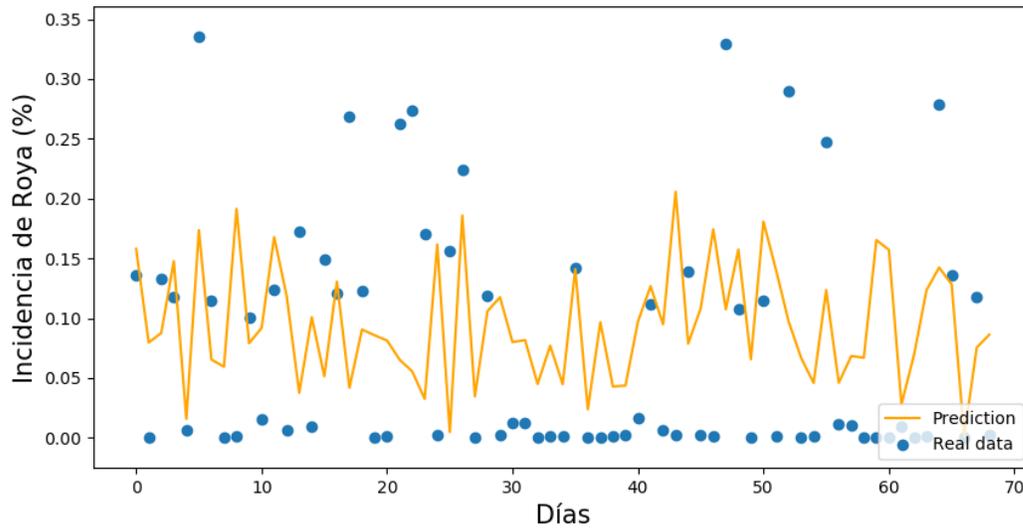


Figura C 8. Detección de la IR durante el periodo de cosecha para la región “Naranjal” con la primera prueba de evaluación

C.2 Medidas de estadística descriptiva en la IR

Las siguientes tablas (C1-C10) muestran los valores de media, desviación estándar, número de muestras, valor mínimo y máximo de la IR para cada conjunto de datos de las regiones analizadas.

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	324	14%	2%	0%	67%

Tabla C 1. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región “Jazmín”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	183	19%	15%	0%	46%

Tabla C 2. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región “Jazmín”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	276	8%	10%	0%	35%

Tabla C 3. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región “Jazmín”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	108	18%	11%	3%	40%

Tabla C 4. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región “Santagueda”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	61	9%	5%	3%	19%

Tabla C 5. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región “Santagueda”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	92	29%	22%	0%	62%

Tabla C 6. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región “Santagueda”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	324	13%	12%	0	47%

Tabla C 7. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de floración para la región “Naranjal”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	183	8%	6%	1%	24%

Tabla C 8. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de formación de hojas durante el primer semestre del año para la región “Naranjal”

Variable	Número de muestras	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mínimo	Valor Máximo
IR	215	19%	14%	0%	47%

Tabla C 9. Estadística descriptiva para la Incidencia de Roya durante el periodo de cosecha para la región "Naranjal"