

Modelo de predicción de riesgo en recursos hídricos para agricultura de precisión



Por

Lic. Ernesto Esteban Ledesma

Directora

Dra. Daniela López De Luise

Codirector

Mg. Javier Bazzocco

Tesis presentada para obtener el grado de Magíster en Ingeniería de Software

Facultad de Informática – Universidad Nacional de La Plata

Agosto 2020

Resumen

En los últimos años la agricultura de precisión a tomado mucha relevancia en la búsqueda de optimizar recursos y obtener mejores resultados, día a día se trabaja sobre nuevas tecnologías que permitan llegar al productor para obtener dichas mejoras.

En los cultivos que requieren una alta demanda de agua, como es el de arroz, se aplican diferentes técnicas de riego para lograr bajar la demanda hídrica y seguir obteniendo altos rindes. No obstante, se siguen presentando dificultades para realizar un monitoreo óptimo y en tiempo real.

El presente trabajo se desarrolla en el IDTILAB de la Facultad de Ciencia y Tecnología de UADER (Concepción del Uruguay, Entre Ríos), en conjunto con la seccional de INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Concepción del Uruguay), y presenta un modelo de comportamiento y prototipo innovador para monitorear cultivos de precisión en tiempo real.

Fundado en lo más reciente de la minería de datos temporal, emplea una extensión de los conocidos Sistemas Armónicos (HS por sus siglas en inglés) (Lopez de Luise D. 2013) denominada Sistemas Armónicos difusos (*Fuzzy Harmonic System, FHS*) (Lopez de Luise D. 2013a , 2013b) (Bel W. 2018) que constituye un heurístico simple y liviano capaz de detectar y predecir los eventos críticos de estrés hídrico en los lotes de los cultivos de arroz.

Se presenta el prototipo funcional de KRONOS.AgroData y KRONOS.AgroMonitor que implementa el modelo FHS adaptado para la predicción del nivel de riesgo de sequía en los lotes de riego en cultivos de arroz de la zona de San Salvador ubicada en (Entre Ríos) y en la zona de INTA, Concepción del Uruguay (Entre Ríos). Este prototipo está realizado con tecnología Arduino para la adquisición de datos y tecnologías web como React®, NextJS®, NodeJS® y MQTT®.

El diseño permite evaluar el rendimiento y eficiencia del modelo propuesto en un entorno real de prueba de campo donde intervienen variables de diverso tipo (climatológicas, variaciones de humedad en suelo, nivel hídrico en suelo, PH, entre otras).

De los estudio de campo y los análisis estadísticos que se muestran en este trabajo, se puede afirmar que el modelo derivado permite determinar intervalos de muestreo y riego mucho más adecuados que los tradicionales, y evaluar satisfactoriamente los rindes y condiciones de cultivo.

Palabras claves:

Minería temporal, Sistemas Armónicos Difusos, Patrones Difusos, Cultivos de Precisión, Cultivos de arroz.

Agradecimiento

En primer lugar quiero agradecer a la Dra. Daniela Lopez De Luise, por acompañarme en su incondicional trabajo a lo largo de este proceso de aprendizaje y formación, enseñándome y forjando en el inicio de la investigación científica para lograr los objetivos esperados.

Al Dr. Walter Bel, un gran compañero de trabajo que me ayudó y aportó todo sus conocimientos en los análisis de datos.

Al Ing. Eduardo Velázquez, que de manera incondicional aportó en el módulo de adquisición de datos y su conocimiento al respecto.

Al Ing. Agrónomo Javier Pirchi que trabajamos codo a codo en las pruebas de campo, aportando todo su conocimiento en los sistemas de riego.

Dedicatoria

*Esta tesis está dedicada
especialmente a mi esposa Cintia,
mis hijas Juana y Elena.*

Índice

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

I.1. PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA	19
<i>I.1.i. Distribución Geográfica de Cultivos de Arroz</i>	20
<i>I.1.ii Fuentes y Modos de Captación del Agua</i>	22
<i>I.1.iii. Manejo del riego</i>	22
I.2. EL CASO ESPECÍFICO EN CULTIVOS DE ARROZ	23
I.3. SISTEMAS DE RIEGO	24
<i>I.3.i. Métodos de impacto</i>	24
<i>I.3.ii Tratamientos</i>	24
<i>I.3.iii. Eficiencia de riego</i>	24
<i>I.3.iv. Tratamiento de riego alternativos</i>	24
I.4. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO	24
<i>I.4.i. Humedad de Saturación (HSat)</i>	24
<i>I.4.ii. Capacidad de Campo (CC)</i>	25
<i>I.4.iii. Punto de Marchitez Permanente (PMP)</i>	25
<i>I.4.iii. Agua Útil (AU) o disponible</i>	25
I.5. VARIABLES DE CONDICIONES CLIMÁTICAS	25
<i>I.5.i Radiación solar</i>	25
<i>I.5.ii. Temperaturas y esterilidad</i>	25
<i>I.5.iv. Precipitaciones</i>	26
<i>I.5.v. Humedad Relativa</i>	26
<i>I.5.vi. Nivel Hídrico en Suelo</i>	26
I.6. ESTADO DE ARTE SOBRE OTROS SISTEMAS DE RIEGO	26
I.7. MINERÍA DE DATOS	27
<i>I.7.i Minería de datos temporales</i>	29

CAPÍTULO II – ANÁLISIS DE LA PROPUESTA 31

II.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
<i>II.1.i Análisis preliminar y métodos de validación</i>	31
II.1.II. DEFINICIÓN DE DETECCIÓN DE PATRONES, ESTADÍSTICAS, TESTING Y DATASET	32
<i>II.1.ii.a. Lógica Difusa</i>	32
<i>II.1.iii.b Sistemas Armónicos HS</i>	33
<i>II.1.iii. Alcances de sistemas armónicos difusos</i>	35
<i>II.1.iv. Divulgación de los avances</i>	36
<i>II.1.v. Procesamiento inicial y uso de parser</i>	36
<i>II.1.vi. Implementación del sistema experto</i>	37
<i>II.1.vii. Implementación del sistema armónico</i>	39
<i>II.2.i. Evaluación estadística hipótesis 1 (h1)</i>	40
<i>II.2.ii. Evaluación estadística hipótesis 2 (h2)</i>	40
<i>II.2.iii. Evaluación estadística hipótesis 3 (h3)</i>	40
<i>II.2.iv. Validación técnica del modelo por medio de prototipo</i>	40
<i>II.2.v. Evaluación estadística de los resultados obtenidos del modelo</i>	41
<i>II.2.vi. Validación estadística de los resultados obtenidos del modelo</i>	41
<i>II.2.vii. Modelo Sistemas Armónicos Difusos (Fuzzy Harmonic Systems ó FHS)</i>	41
<i>II.2.viii. FHS</i>	41
<i>II.2.ix. Funcionamiento HS</i>	41
<i>II.2.x. Objetivos FHS</i>	42

CAPÍTULO III – PROTOTIPO Y ARQUITECTURA I 44

III.2. MATERIALES Y MÉTODOS. PRUEBA DE CAMPO I	44
<i>III.2.i. Módulo de adquisición de datos</i>	44
<i>III.2.ii. Componentes</i>	45

III.2.v. Estructura de Montaje.....	46
III.2.vi. Pruebas de ajuste	46
III.3. SENSORES.....	48
III.3.i. Sensor de radiación UV. modelo ML8511.....	48
III.3.ii. Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado	49
Especificación.....	49
III.3.iii. Sensor de humedad en suelo	50
III.3.iv. Anemómetro.....	50
III.4. COMPONENTES.....	51
III.4.i. Arduino Uno.....	51
III.4.ii. Características técnicas.....	52
III.4.iii. Batería	53
III.4.iv. Panel solar de 50w	53
III.4.v. Pluviómetro lineal.....	54
III.4.vi. Sensor de nivel hídrico.....	54
III.5. ARQUITECTURA DEL NODO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	55
III.5.i Funciones del módulo de adquisición de datos.....	55
III.5.ii. Clase de la función de Temperatura	57
CAPÍTULO IV - TESTING Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
IV.1. TEST CASE	58
IV.2 Análisis de distribución natural de datos	58
IV.2.i. Análisis estadístico.....	58
IV.2.ii. Variables.....	59
IV.2.iii. Agrupaciones.....	59
IV.2.iv. Confirmación empírica.....	60
IV.3. ANÁLISIS DEL RESULTADO	62
IV.3.ii. Calidad del resultado	64
IV.4. ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS CLUSTERS	65
IV.4.i Análisis de Krustall Wallis del dataset original.....	65
IV.4.ii. Análisis de Krustall Wallis del dataset en base a los clusters.....	65
IV.4.iii. Conclusiones del análisis estadístico	65
IV.4.iv. Reglas j48.....	65
IV.4.vi. Reglas basadas en horas y minutos.....	66
IV.5. REGLAS RESULTANTE	66
IV.6. ANÁLISIS PRELIMINAR	67
IV.6.i. Hallazgos	68
IV.6.ii. Mejoras.....	68
IV.6.iii Análisis de reglas.....	68
CAPÍTULO V – PROTOTIPO Y ARQUITECTURA II	69
V.1 MATERIALES Y MÉTODOS.....	69
V.1.i. Sensor ECH2O de humedad de suelo	69
V.1.ii Sensor de PH.....	69
V.1.iii - Placa Arduino Mega 2360.....	70
V.1.iv. Shield de comunicaciones GPRS SIM 900	71
V.1.v. Placa doble de diseño de circuito impreso	71
V.2 ÁREA DE PRUEBA DE CAMPO PARA LA ETAPA II.....	72
V.2.i Esquema de adquisición de datos y microservicios.....	73
V.2.ii. Sistema de conexión y servicios.....	74
V.2.iii. Funcionamiento del Microservicio del Punto Remoto	75
V.2.iv. Función para la toma de datos	76
V.2.v Persistencia de datos.....	77
V.2.vi. Funciones del módulo de adquisición.....	78
V.3. RESULTADOS CAMPAÑA II.....	81
V.3.i. Análisis de distribución natural de datos	81

V.3.ii. <i>Análisis estadístico</i>	81
V.3.iii. <i>Variables</i>	81
V.3.iv. <i>Clusters</i>	82
V.3.v. <i>Confirmación empírica</i>	83
V.3.vi. <i>Análisis del resultado</i>	85
V.3.vii. <i>Calidad del resultado</i>	87
V.3.viii. <i>Conclusiones del análisis estadístico</i>	87
V.3.ix. <i>Reglas j48</i>	87
V.4. MODIFICACIONES DEL DATASET SOBRE EL SENSOR DE PH	87
V.4.i <i>Unificación de bins</i>	87
V.4.ii. <i>Calidad del resultado</i>	89
V.4.iii <i>Análisis de regresiones</i>	90
V.4.iv. <i>Reglas j48</i>	91
V.4.v. <i>Sistemas armónicos y patrones</i>	92
V.4.v.a. <i>Patrón 1</i>	93
V.4.iv.b. <i>Patrón 2</i>	93
V.4.iv.c. <i>Patrón 3</i>	94
V.4.iv.d. <i>Patrón 4</i>	94
V.4.iv.e. <i>Patrón 5</i>	95
V.4.iv.f. <i>Patrón 6</i>	96
V.4.iv.g. <i>Patrón 7</i>	96
V.4.iv.h. <i>Patrón 8</i>	97
V.5. VALIDACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO	98
V.5.i. <i>Funciones de pertenencia para modelo armónico difuso</i>	98
V.5.ii. <i>Temperatura ambiente</i>	99
V.5.iii. <i>Humedad</i>	99
V.5.iv. <i>Viento</i>	100
V.5.v. <i>PH</i>	101
V.5.vi. <i>Temperatura de suelo</i>	101
V.5.vii. <i>Radiación Global</i>	102
V.6. DISTRIBUCIONES EMPÍRICAS DE VARIABLES SIGNIFICATIVAS	102
V.6.i <i>Descriptivas generales</i>	103
V.6.ii. <i>Comparación de condiciones entre riesgo mediano y alto (riesgo 2 y 3)</i>	103
V.6.iii. <i>Prueba de wilcoxon</i>	103
V.6.iv. <i>Prueba F de igualdad de varianza</i>	104
V.6.v. <i>Prueba de Sendero (Path Analysis)</i>	104
V.6.vi. <i>Coefficientes de correlación entre variables estratificadas por riesgo</i>	105
V.6.vii. <i>Medidas resumen discriminadas</i>	106
V.6.viii. <i>Comportamiento de las empíricas por nivel de riesgo</i>	107
CAPÍTULO VI – SISTEMA MONITOR DE KRONOS AGRO	112
VI.1 DESARROLLO	112
VI.1.i <i>Descripción, Implementación y Arquitectura del modelo</i>	112
VI.1.ii <i>Login de usuario</i>	112
VI.1.iii <i>Autenticación basada en correo electrónico y contraseña</i>	112
VI.1.iv. <i>Context API como patrón de implementación en Firebase</i>	113
VI.1.iv. <i>Funciones de guardado de sesión</i>	114
VI.1.v <i>Interfaz de creación de cuenta</i>	115
VI.1.vi <i>Funcion de validaciones</i>	116
VI.1.vii. <i>Pantalla principal</i>	116
VI.1.viii. <i>Notificaciones de alertas en el sistema</i>	118
VI.1.viii.a <i>Notificaciones push</i>	118
VI.1.viii.b <i>Service worker</i>	118
VI.1.viii.c <i>Implementación de notificaciones</i>	119
VI.1.viii.d <i>Configuración del Service Worker</i>	120
VI.2. DIAGRAMA DE CLASES	123
VI.2.i. <i>Diagrama de Casos de Uso</i>	123
VI.2.ii. <i>Diagrama de Actividades</i>	124

VI.2.iii. Diagrama de Estados	125
VI.2.vi. Diagrama de Paquetes.....	126
VI.3. JUSTIFICACIÓN.....	128
VI.3.i. MQTT	128
VI.3.ii. Cloud Firebase	128
VI.3.iv. NodeJS.....	128
VI.3.v. NextJS.....	128
CAPÍTULO VII - CONCLUSIONES	130
VII.1. ANÁLISIS DE SOLUCIONES A OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	130
VII.1.a. Validación del modelo	130
VII.1.b. Validación técnica del modelo.....	130
VII.1.c. Validación por parte de la comunidad científica	130
VII.2. HALLAZGOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	131
VII.2.a. Variables del estado del clima y su impacto en el nivel de riesgo	131
VII.2.b. Variables de Temperatura de suelo y viento	131
VII.2.c. Reglas obtenidas de analizar los resultados del funcionamiento del modelo FHS.....	131
CAPÍTULO VIII - TRABAJOS FUTUROS	132
VIII.3. EN RELACIÓN A LA DETERMINACIÓN DE NUEVOS LOGS DE DATOS	132
VIII.3.i. Muestreo de variables	132
VIII.3.ii. Detección y predicción de bajos niveles de índice verde	132
VIII.3.iii. Detección y predicción de plagas	132
VIII.3.iv. Detección y predicción basados en otros cultivos.....	132
VIII.4. RELACIONADOS AL PROTOTIPO KRONOS AGRO	133
VIII.4.i. Implementación de un sistema móvil	133
VIII.4.ii. Reportes de situaciones de riesgo hídrico.....	133
VIII.4.iii. Determinar nuevos patrones a partir del análisis de los resultados de las pruebas de campo.....	133
REFERENCIAS.....	134
APÉNDICE A	141
APÉNDICE B	144
I.B Prueba de Kruskal Wallis	144
II.B	146
APÉNDICE C.....	150
C.1. DATOS DE PRUEBAS DE CAMPOS INTA CONCEPCIÓN DEL URUGUAY.....	150
C.1.a. Clasificación de Humedad en Suelo	151
C.1.b. J48 y salida output de Humedad en Suelo.....	151
C.1.s. Árbol de clasificación de Humedad en Suelo	185
C.2 PRUEBAS DE REGRESIÓN	185
APÉNDICE D	188
Humedad Ambiente – Riesgo 2	188
Temperatura Ambiente – Riesgo 2	188
PH – Riesgo 2.....	189
Humedad Suelo – Riesgo 2	189
Humedad Ambiente – Riesgo 3	190
Temperatura Ambiente – Riesgo 3	190
PH – Riesgo 3.....	191
Humedad Suelo – Riesgo 3	191

Índice de figuras

Figura 1. Provincias productoras de arroz en la República Argentina y ubicación de los campos de producción comercial. (Fuente: Carñel, inédito. Quinteros 2009).....	21
Figura 2. Informe SIBER 2018-2019	22
Figura 3. Proceso KDD 1.....	28
Figura 5. Modelo de datos de KRONOS.Agro	35
Figura 7. Arquitectura del circuito aplicado.....	44
Figura 8. Diseño de circuito impreso del módulo de adquisición de datos	45
Figura 9. Estructura de soporte para módulo de adquisición de datos	46
Figura 10. Calibración de sensor de nivel hídrico.....	47
Figura 11. SAD en prueba de campo	47
Figura 12. Módulo sobre campo de arroz	48
Figura 13. Sensor UV	48
Figura 14. Sensor temperatura DS18B20	50
Figura 15. Sensor humedad en suelo FR4.....	50
Figura 16. Anemómetro	51
Figura 17. Placa Arduino UNO.....	52
Figura 18. Batería CP1270	53
Figura 19. Panel solar	54
Figura 20. Pluviómetro	54
Figura 21. Sensor de nivel de agua	55
Figura 22. Esquema del modelo implementado para la adquisición de datos.....	55
Figura 23. Librerías de Implementación.....	56
Figura 24. Control del Time de los datos.....	56
Figura 25. Función de Temperatura	57
Figura 26. Clase de Comunicación	57
Figura 27. Polígono del área de Ubajay	58
Figura 28. Cluster 0 (Fuente: Weka – Clustering).....	59
Figura 29. Distribución de meses (Source: Weka)	60
Figura 30. Desequilibrio de humedad ambiente (Source: Weka)	60
Figura 31. Desequilibrio de temperatura ambiente (Source: Weka)	61
Figura 32. Correlación entre Temp. Suelo y ambiente (Source: Weka)	61
Figura 33. Clase de humedad en suelo (Source: Weka).....	63
Figura 34. Variación de humedad por minutos (Source: Weka).....	64
Figura 35. Sensor de humedad en suelo	69
Figura 36. Sensor de PH.....	70
Figura 37. Placa de Arduino Mega 2560.....	71
Figura 38. SIM900.....	71
Figura 39. Placa doble faz para el montaje del Arduino y el SIM 900	72
Figura 40. Pruebas de laboratorio del sistema de adquisición de datos. (IDTILAB FCyT)....	72
Figura 41. Lote experimental INTA Concepción del Uruguay	73
Figura 42. Arquitectura del modelo D1.....	74
Figura 43. Dashboard cuenta MQTT.....	74
Figura 44. Dashboard cuenta MQTT LOG de comunicaciones	75
Figura 45. Modelo microservicios.....	76
Figura 46. Importación de las librerías de conexión	76
Figura 47. Timer de tiempo y funciones de lectura	77
Figura 48. Dashboard de la plataforma de Firestore	78

Figura 49. Definiciones de los distintos sensores para implementación	79
Figura 50. Importación e inicialización de sensores	80
Figura 51. Repositorio estación TTMega	81
Figura 52. Distribución de meses (Source: Weka)	82
Figura 53. Distribución de humedad (Source: Weka).....	83
Figura 54. Desequilibrio de temperatura ambiente (Source: Weka).....	83
Figura 55. Desequilibrio de temperatura ambiente con respecto a la humedad en suelo (Source: Weka)	84
Figura 56. Distribución empírica entre Humedad en suelo y PH (Source: Weka)	84
Figura 57. Correlación entre Humedad en suelo y Radiación global (Source: Weka)	85
Figura 58. Distribución humedad en suelo	86
Figura 59. Clase de humedad en suelo (Source: Weka).....	86
Figura 60. Rj48 (Source: Weka)	87
Figura 61. Clase del sensor de PH (Source: Weka).....	88
Figura 62. Distribución del sensor de PH (Source: Weka)	88
Figura 63. Distribución de cluster del sensor de PH (Source: Weka).....	89
Figura 64. Distribución de cluster del sensor de PH y sensor de humedad en suelo (Source: Weka)	89
Figura 65. Distribución de regresión del sensor de PH y sensor de humedad en suelo (Source: Rstudio®).....	90
Figura 66. Distribución de regresión del sensor de PH y temperatura ambiente (Source: Rstudio®)	91
Figura 67. Árbol J48 del para humedad en suelo.....	91
Figura 68. Gráfica función de pertenencia temperatura	99
Figura 69. Gráfica función de pertenencia humedad.....	100
Figura 70. Gráfica función de pertenencia viento	101
Figura 71. Gráfica función de pertenencia PH	101
Figura 72. Gráfica función de pertenencia temperatura suelo	102
Figura 73. Gráfica función de pertenencia radiación global	102
Figura 74. Medidas descriptivas consolidadas	103
Figura 75. Comportamiento empírico variable HS	107
Figura 76. Función de aproximación polinómica de Humedad Suelo para el nivel de riesgo 2	107
Figura 77. Función de aproximación de Humedad Suelo para el nivel de riesgo 3	108
Figura 78. Comportamiento empírico variable TA	108
Figura 79. Función de aproximación de Temperatura Suelo para el nivel de riesgo 2	108
Figura 80. Función de aproximación de Temperatura Suelo para el nivel de riesgo 3	109
Figura 81. Comportamiento empírico variable PH.....	109
Figura 82. Función de aproximación de PH para el nivel de riesgo 2	110
Figura 83. Función de aproximación de PH para el nivel de riesgo 3	110
Figura 84. Definición carga de función de pertenencia	110
Figura 85. Instancia de función de pertenencia.....	110
Figura 86. Definición función "Membership"	110
Figura 87. Interfaz de inicio de sesión.....	113
Figura 88. Autenticación de usuario en Firebase	114
Figura 89. Funciones de guardado de sesión	115
Figura 90. Interfaz de creación de cuenta.....	115
Figura 91. Validación con expresiones regulares	116
Figura 92. Interfaz principal del panel de sensores	117
Figura 93. Implementación del Hook para la data del polígono	117
Figura 94. Arquitectura de notificaciones en Firebase	119
Figura 95. Script de implementación de Firebase Messaging.....	120

Figura 96. Importación del Script de implementación de Firebase Messaging	120
Figura 97. Importación de la función serviceWorker	120
Figura 98. Generación de clave	121
Figura 99. Función de ejecución en background	121
Figura 100. Notificación de riesgo medio	122
Figura 101. Notificación de alerta de riesgo alto	122
Figura 102. Listado de notificaciones	123
Figura 103. Diagrama de caso de uso ingresar Usuario.....	124
Figura 104. Diagrama de actividades autenticación de usuario.....	125
Figura 105. Diagrama de estados de ejecución de KronosAgro	126
Figura 106. Diagrama de paquetes KronosData	127
Figura 107. Diagrama de paquetes de KRONOS.Agro	127
Figura 108. Raíz y nodos principales del modelo J48.....	148
Figura 109. Rama para el Mes ≤ 1 and Día ≤ 17	148
Figura 110. Rama para el Mes > 1 and Día > 5 y Temperatura de Suelo ≤ 23.81	149
Figura 111. Rama para el Mes > 1 y Temperatura de Suelo > 23.81	149
Figura 112. Clase de Humedad en suelo	151
Figura 113. Árbol de clasificación de Humedad en Suelo	185
Figura 114. Regresión Mes-PH	186
Figura 115. Regresión Temperatura de suelo - PH	186
Figura 113. Regresión Radiación global – Humedad suelo	187
Figura 114. Regresión Mes – Humedad suelo	188
Figura 115. Serie Polinómica – Humedad Ambiente	188
Figura 116 . Serie Polinómica – Temperatura Ambiente.....	189
Figura 117 . Serie Polinómica – PH.....	189
Figura 118. Serie Polinómica – Humedad Suelo	189
Figura 119. Serie Polinómica – Humedad Ambiente	190
Figura 120. Serie Polinómica – Temperatura Ambiente	190
Figura 121. Serie Polinómica – PH	191
Figura 122. Serie Polinómica – Humedad Suelo	191

Índice de Tablas

Tabla I. Producción Mundial de arroz.....	21
Tabla II. Definición de parámetros de funcionamiento de un patrón.....	34
Tabla III. Reglas de Inferencia ES para riesgo hídrico.....	39
Tabla IV. Valores de configuración inicial de patrones.....	39
Tabla V. Ejemplo de patrón.....	43
Tabla VI. Componentes de electrónica para módulo de adquisición de datos.....	45
Tabla VII. Distribución humedad en suelo.....	62
Tabla VIII. Distribución humedad en suelo.....	64
Tabla IX. Reglas resultantes.....	67
Tabla X. Reglas de inferencia para el FHS.....	92
Tabla XI. Patrón 1 nivel de humedad.....	93
Tabla XII. Patrón 2 nivel de humedad.....	93
Tabla XIII. Patrón 3 nivel de humedad.....	94
Tabla XIV. Patrón 4 nivel de humedad.....	95
Tabla XV. Patrón 5 nivel de humedad.....	95
Tabla XVI. Patrón 6 nivel de humedad.....	96
Tabla XVII. Patrón 7 nivel de humedad.....	97
Tabla XVIII. Patrón 8 nivel de humedad.....	97
Tabla XIX. Predicciones esperadas.....	98
Tabla XX. Concordancia de Kappa.....	98
Tabla XXI. Función de pertenencia temperatura ambiente reducida.....	99
Tabla XXII. Función de pertenencia humedad.....	100
Tabla XXIII. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes.....	103
Tabla XXIV. Prueba F para igualdad de varianzas.....	104
Tabla XXV. Prueba de senderos.....	104
Tabla XXVI. Coeficientes de correlación risk level 2.00.....	105
Tabla XXVII. Coeficientes de correlación risk level 3.00.....	105
Tabla XXVIII. Medidas resumen.....	106
Tabla XXIX. Resultado de kruskal Wallis hours (Source: Weka).....	144
Tabla XXX. Resultado de kruskal Wallis minute (Source: Weka).....	144
Tabla XXXI. Resultado de kruskal Wallis humid environment (Source: Weka).....	145
Tabla XXXII. Resultado de kruskal Wallis room temperature (Source: Weka).....	145
Tabla XXXIII. Resultado de kruskal Wallis soil moisture (Source: Weka).....	145
Tabla XXXIV. Resultado de kruskal Wallis ground temperature (Source: Weka).....	145
Tabla XXXV. Resultado de kruskal Wallis radiation UV (Source: Weka).....	145
Tabla XXXVI. Resultado de kruskal Wallis anemometer (Source: Weka).....	146
Tabla XXXVII. Distribución de variable originales y relaciones.....	146
Tabla XXXVIII. Relaciones de variables colapsadas.....	147

Nomenclatura

A

AI: Artificial Intelligence

ATUS: Accidentes de Tránsito terrestre en zonas Urbanas y Suburbanas

D

DM: Data Mining (Minería de Datos)

DSS: Decision Support System (Sistema de soporte de decisiones)

E

ECM: Error Cuadrático Medio

ES: Expert System (Sistema Experto)

F

FHS: Fuzzy Harmonic Systems

FHS Core: Núcleo de Sistemas Armónicos Difusos FL: Fuzzy Logic

FS: Fuzzy Systems

H

ha: Hectáreas

HA: Humedad Ambiente

HS: Harmonic Systems

HS: Humedad Suelo

HSCH: Humedad Suelo Chino

I

IDC: International Data Corporation (Corporación Internacional de Datos)

K

Kappa Statistics: Coeficiente Kappa de Cohen KDD: Knowledge Discovery in Databases

M

MF: Membership Function

μ M: Micro Moles

R

RECM: Raíz del Error Cuadrático Medio

S

SSAM: Surrogate Safety Assessment Model (Modelo de Evaluación de Seguridad)

SVM: Support Vector Machine (Máquinas de Vectores de Soporte)

SLL: Sensor LLuvia

SPH: Sensor PH

T

TM: Time Mining (Minería de Tiempo)

TS: Time Series (Series de Tiempo)

U

UML: Unified Modeling Language (Modelado de Lenguaje Unificado)

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

I.1. Presentación de la Propuesta

La agricultura de precisión en la actualidad tiene un lugar relevante en lo económico, productivo y ecológico. (Ehsan Afshar. Mehrdad Yarnia. Ali. Springer- 2016.). Es cada vez más requerida en el ámbito agropecuario debido a la búsqueda de generar mayor producción (Blanco Alibés Lleida. 2014) , (M. Dannenmann . S. Lin . G. Saiz – China 2015).

En este contexto las nuevas tecnologías hacen posible compilar información sobre el comportamiento de los cultivos sensibles y su entorno.

Esa información es apta para la toma de decisiones en base a los datos recolectados. Cuando los volúmenes de datos almacenados son importantes, el proceso es conocido como Big Data.

Los sistemas Inteligentes han motivado al estudio de diferentes técnicas que permiten procesar y realizar análisis especializados en ámbitos determinados.

Entre las propuestas basadas en técnicas de Lógica Difusa aplicadas al ámbito agropecuario (Fahim Jawad, Tawsif Ur Rahman Choudhury, S M Asif Sazed, Shamima Yasmin , Kanaz Iffat Rishva, Fouzia .2016 IEEE ICIS 2016, June 26-29, 2016, Okayama, Japan) y modelos aplicados al campo forestal (Joss & R. J. Hall & D. M. Sidders & T. J. Keddy.).

Las Redes Neuronales también son aplicables para realizar predicciones en el ámbito de recursos hídricos como lo presenta (Ehsan Afshar. Mehrdad Yarnia- Ali -.Springer International Publishing Switzerland 2016). Si bien estos autores trabajan con Minería Temporal y Big Data, a diferencia de la propuesta de este trabajo, no realizan el sensado en tiempo real ni modelan el comportamiento del cultivo como combinación de las variables extendidas que aquí se presentan (Fuzzy Harmonic Systems for Traffic Risk. Bel W., López de Luise D).

La búsqueda de optimización de agua en cultivos de arroz es de vital importancia por ser cultivos de precisión, donde el estrés hídrico es un factor fundamental para lograr mejores rindes (International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines.2002).

Por ello las diferentes tecnologías de optimización de recursos hídricos, se centran en un plano primordial para lograr altos porcentajes de rendimiento y ahorro de agua. (Fondo Francisco José de Caldas, Colciencias-SENA, SENAGROTIC, Centro Agropecuario “La Granja”, SENA.).

La propuesta de este trabajo está basada en el análisis de Minería Temporal sobre datos cuando se requiere tomar decisiones en Tiempo Real sobre recursos hídricos en cultivos de arroz, ya sea por mangas o por sistemas convencionales.

El trabajo propone la aplicación diferenciada del modelo de Sistemas Armónicos Difusos(FHS)(Bel W, López de Luise D, Universidad Autónoma de Entre Ríos – 2014 - 2105), por implementarse con un algoritmo de estructura simple y ligera. Dicho modelo

está enfocado en la temporalidad de eventos y no a ciertas características del evento en sí, como se aplica en otras técnicas predictivas en el tiempo.

A diferencia de otros trabajos en el área, FHS es capaz de detectar y predecir anomalías en los comportamientos o eventos específicos enfocándose principalmente en el comportamiento a través del tiempo. Así, en vez de evaluar variables del problema de carácter diverso, se evalúa únicamente el tiempo como variable a la vez que se contempla al resto de los atributos como datos o características conocidas que condicionan la aparición o no de cierto evento. Al conjunto de condiciones se lo denomina patrón.

EL modelo KRONOS, trabaja sobre una versión difusa de los patrones, permitiendo otorgarle flexibilidad y robustez donde los datos tienen representación semántica ambigua. Cuando el modelo detecta la aparición de uno patrones predefinidos, entra en un estado denominado “resonancia”, en el que puede activar un mecanismo de ajuste de sensibilidad para futuros casos positivos.

El uso de filtros adaptativos (Lopez De Luise - 2013) reduce el tiempo de procesamiento puesto que la cantidad de registros a procesar son mucho menores. La complejidad computacional también es mejor puesto que es del $O(c) < 1$, lo que logra una reducción considerable en los tiempos de respuesta y un tratamiento de datos en tiempo real, ideal para poder predecir eventos de riesgo.

I.1.i. Distribución Geográfica de Cultivos de Arroz

Para el cultivo de arroz se utilizan en el mundo alrededor de 158 millones de hectáreas, siendo 55% bajo riego y el resto en seco; la productividad media en el primer caso es de 5 Mg ha y tan solo 1,5 Mg ha para la segunda situación.

Esta mayor productividad se logra con el uso de agua “dulce” (de relativamente baja salinidad y denominada agua azul, según la FAO). La eficiencia de riego (relación entre m^3 consumido por el cultivo y m^3 aplicado con el riego) son variables entre 20% y 60%, con posibilidades de alcanzar hasta el 80% si el manejo del agua es adecuado.

En la Figura 1 se observa cómo se distribuyen en Argentina las mayores zonas de cultivo de arroz.

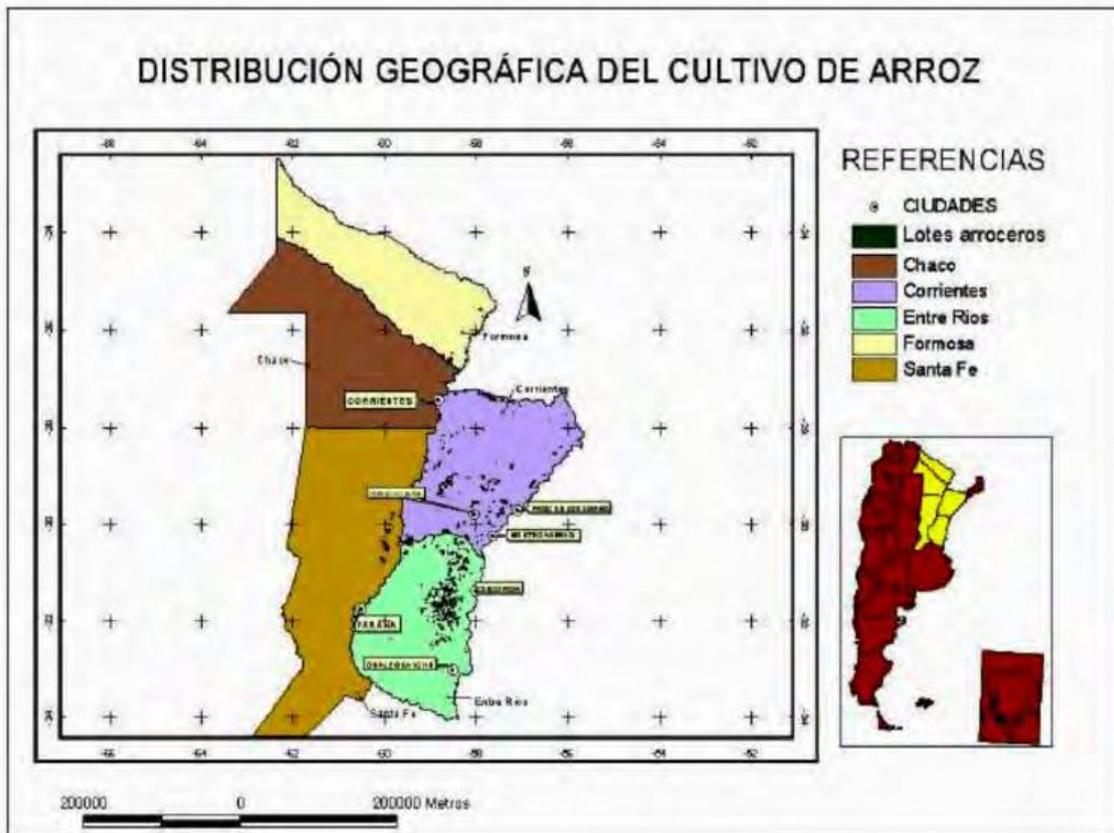


Figura 1. Provincias productoras de arroz en la República Argentina y ubicación de los campos de producción comercial. (Fuente: Carñel, inédito. Quinteros 2009)

La producción de arroz en Argentina se concentra principalmente en las provincias de Corrientes y Entre Ríos, siguiendo en orden de importancia Santa Fe, Formosa y Chaco.

El informe de SIBER (Sistema Integrado de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos) 2018-2019 (figura 2) muestra la superficie sembrada en Entre Ríos y la variación interanual de la siembra.

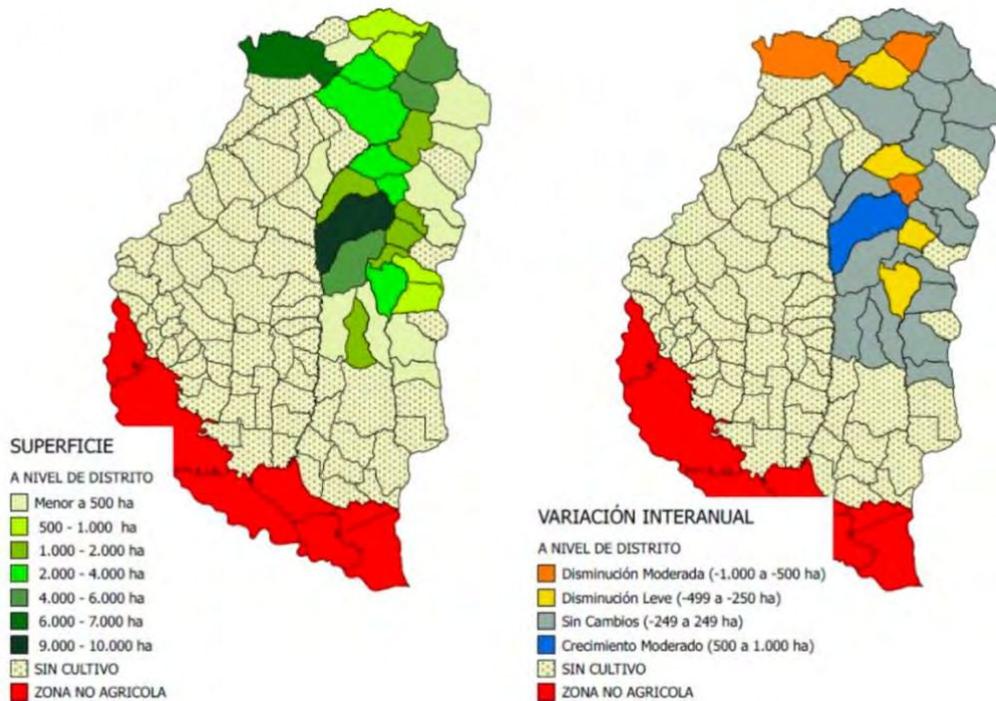


Figura 2. Informe SIBER 2018-2019

I.1.ii. Fuentes y Modos de Captación del Agua

En la zona centro este de Entre Ríos, el agua de riego se extrae del acuífero subterráneo "Puelche-Ituzaingó", las perforaciones varían entre los 60 y 90 metros de profundidad y en general se logra extraer entre $350 m^3 h^{-1}$ y $500 m^3 h^{-1}$.

La dotación promedio utilizada es de $1,5 L s^{-1} ha$, regando entre 60 y 100 ha con cada perforación. La energía que se utiliza en su mayoría es gas-oil, teniendo un consumo para el ciclo de cultivo, en años normales, de alrededor de $600 L ha$.

I.1.iii. Manejo del riego

En los sistemas de inundación (J. Gutiérrez, vF. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay and M. Á. Porta- Gándara, , 2014) (V. Ramya B. Palaniappan and B. George, 2012.) (S. R. Nandurkar V. R. Thool and R. C. Thool, 2014.) ya sean intermitentes o continuos, el riego comienza en inicio de macollaje, cuando la planta tiene cuatro hojas (25-30 días después de emergencia).

Dado que al comienzo del riego se aplican tanto el fertilizante nitrogenado como el herbicida selectivo, es importante que en un período de tiempo no mayor a cinco días se inunde toda la parcela. De lo contrario disminuye la eficiencia de aplicación del fertilizante y la efectividad del herbicida.

Para lograr este propósito, se debe dimensionar el tamaño de las parcelas de acuerdo al caudal disponible y a la velocidad de avance del agua, estando esta

última variable relacionada al contenido de humedad del suelo y a la pendiente del terreno.

De manera general, lotes con escasa pendiente no deben tener una extensión longitudinal muy elevada respecto al canal de riego, de lo contrario exigen caudales muy elevados para cumplir con aquella exigencia de duración del riego.

Es posible reducir el consumo total de agua de 6 a 14% (considerando lluvias y riego de manera conjunta) y de 15% a 18% sobre el agua de riego utilizando el método intermitente frente al tradicional, trabajando en tierras bajas dedicadas a la producción de arroz (Arguissain G.G, Pirchi H.J, Garcías L. 2009.). A pesar de ello en Tuanlin, China, los investigadores no hallaron diferencias significativas en el rendimiento de ambos tratamientos.

I.2. El caso específico de cultivos de arroz

El arroz es un alimento básico a nivel mundial (Kato Y. Katsura K. Plant Production Sc. 2014.), el segundo cereal con mayor área de cosecha (Barona E. 2010) y un cultivo que ejerce una importante presión sobre el consumo del recurso hídrico.

La producción mundial de arroz paddy ronda los 685 millones de toneladas, con una superficie total de 158,3 millones de hectáreas. Los países Asiáticos realizan el 90% de la producción de arroz mundial, seguido por América como el segundo productor mundial.

Tabla I. Producción mundial de arroz

Continente	Producción (millones de toneladas)	Participación (%)
Asia	618,24	90,22
América	38,10	5,56
África	24,51	3,58
Europa	4,10	0,60
Oceania	0,29	0,04
Total	685,24	100,00

Fuente: elaborado por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) con información de FAOSTAT.

I.3. Sistemas de riego

I.3.i. Métodos de impacto

En el estudio (Belder P.; B.A.M. Boumana; R. Cabangon; Lu Guoanc; E.J.P. Quilang; Li Yuanhua; J.H.J. Spiertz; T.P. Tuong. 2004) se determina a través de métodos de impactos del riego y el drenaje controlados sobre el rendimiento y los atributos fisiológicos del arroz por medio de bombas que se estancan en diferentes sectores de los lotes de cultivos, determinando diferentes controles de niveles en las napas.

I.3.ii Tratamientos

En los tratamientos, el riego comienza cuando el cultivo presenta 4 hojas (25 días después de emergencia). En IC se aplican láminas hasta saturar el suelo y luego se mantiene una altura de agua constante (3-4 cm primero y 6-8 cm después), hasta cosecha, mientras que en IN después de cada inundación se deja que la lámina de agua desaparezca de la superficie del suelo y luego se comienza un nuevo riego hasta volver a la altura de agua inicial, igual que en IC.(Arguissain, G.G.; H.J. Pirchi; L. Garcías. 2009).

I.3.iii. Eficiencia de riego

Para aumentar la eficiencia de riego se han llevado a cabo investigaciones que modifican aquel tradicional método de inundación por otros que utilizan aplicación de agua intermitente, riego por goteo o aspersión.(Beecher HG; BW Dunn, JA Thompson, E Humphreys, SK Mathews e J Timsina. 2006.)

I.3.iv. Tratamiento de riego alternativos

En la estación experimental INTA Concepción del Uruguay, se desarrolló en la campaña 2015-2016 diferentes ensayos de riego tendientes a reducir la dotación de agua para el cultivo (Arguissain, G.G.; H.J. Pirchi; L. Garcías. 2009) (Stone, LF & PM Silveira. 2004.). Para diferentes manejos de agua alternativos.

I.4. Determinación del contenido hídrico del suelo

El agua en el suelo se halla alojada en los macro y micro poros y es adsorbida por las partículas de suelo. Para un determinado momento, la cantidad de agua contenida por el terreno podrá determinarse según las condiciones que se detallan en las subsecciones a continuación.

I.4.i. Humedad de Saturación (HSat)

Es el contenido de agua en suelo cuando todos sus poros están llenos de agua. Esta situación puede observarse inmediatamente después de una lluvia o riego abundante.

I.4.ii. Capacidad de Campo (CC)

También conocido como límite máximo. Es el contenido de agua presente en un suelo luego de drenarle libremente durante los 2 o 3 días posteriores a una lluvia o riego intenso.

Corresponde al agua retenida a un potencial métrico que puede variar entre 0.1 bar (para suelos arenosos) hasta 0.5 bares (para suelos arcillosos). Se puede tomar como valor medio 0.3 bar.

La estimación de la CC en condiciones naturales puede lograrse provocando la saturación del suelo y cubriéndolo con plástico para evitar la evaporación. Se espera entre 24 y 72 horas (más tiempo en los suelos arcillosos) y se toma una muestra para determinar su contenido de humedad.

I.4.iii. Punto de Marchitez Permanente (PMP)

También conocido como límite mínimo, es el contenido de agua de un suelo retenida tan firmemente que las plantas no pueden extraerla causándoles una marchitez irreversible. En este estado se admite, en general, que el agua está retenida con potenciales menores a 15 bares.

I.4.iii. Agua Útil (AU) o disponible

Es la diferencia entre los contenidos de agua a CC y PMP. Es la que se considera como agua utilizable o potencialmente extractable por las plantas en la zona de crecimiento radical. Esta es la fracción del agua del suelo que puede perderse por evaporación o variar por el consumo de las plantas.

I.5. Variables de condiciones climáticas

En esta sección se detallan las variables significativas del clima en la que en el cultivo son relevantes para su análisis.

I.5.i Radiación solar

La radiación solar es la fuente de energía para el proceso fotosintético y la evapotranspiración. Es fundamental para obtener buenos rendimientos en los cultivos. La sombra durante las etapas vegetativas afecta sólo ligeramente al rendimiento y sus componentes. Para maximizar el rendimiento bajo un régimen de manejo óptimo, la época de siembra debe ser seleccionada de modo que el cultivo reciba altos niveles de radiación solar en las etapas reproductivas y de maduración [Marano, R.P. 2011].

I.5.ii. Temperaturas y esterilidad

Las temperaturas muy altas o muy bajas pueden causar lo que se denomina "esterilidad" en el arroz, reduciendo el rendimiento de la planta. Las altas temperaturas, pueden dañar el polen cuando se superan los 35°C" (Morano 2011).

El frío provoca daños en el grano lo que lleva a la esterilidad de las hojas. La sensibilidad es máxima cuando la panoja está en crecimiento, diez días antes de la floración. Se puede dar alta esterilidad con temperaturas debajo de 15 °C en los materiales tolerantes y debajo de 20 °C en los cultivares sensibles (Quintero C. 2009).

I.5.iv. Precipitaciones

El total de precipitaciones se registran en el ciclo del cultivo de manera in-situ, [Quintero, C. 2009]los valores se utilizan como serie histórica para la toma de decisiones de riego.

I.5.v. Humedad Relativa

La humedad relativa para el ciclo del cultivo puede variar entre 59-67%. El valor promedio de humedad relativa para el mes de noviembre, e de la campaña coincide con el registrado en la campaña 2009-2010, para la misma región. Sin embargo, para los meses restantes del ciclo del cultivo fueron inferiores, a consecuencia de las bajas precipitaciones.

I.5.vi. Nivel Hídrico en Suelo

El nivel de la constante hídrica sobre la superficie debe estar en el rango constante entre mayor o igual a 10 cm. Es importante mantener este nivel para lograr tener la planta siempre bajo anaerobiosis (Olmos, S. --2006).

I.6. Estado de arte sobre otros Sistemas de Riego

En este apartado se detallan algunos sistemas de riego basado en Lógica Difusa y sistemas de monitoreo.

Existen estudios y prototipos de lo que se denominan Smart Irrigation Decision Support(SISD) (Hamouda E. M.. 2017). Basado en redes de sensores, consiste en diferentes nodos de sensores de energía limitada que están equipados para detectar capacidades de comunicación y procesamiento inalámbrico.

Estas lecturas se utiliza como entrada de parámetros para los controladores para producir la cantidad de tiempo de riego como parámetro de salida.

Otro sistema utiliza nodos de sensores colaboran (F. Zhao, J. Liu, J. Liu, L. Guibas and J. Reich, August 2003.) que detectan, calculan y transmiten la información en entornos físicos hostiles a una estación base o varias estaciones o nodo receptor que es responsable de reenviar la información de la WSN a la sede central.

Un sistema de riego se desarrolla en (Nandurkar, V. R. Thool and R. C. Thool, 2014) para monitorear los cultivos y regar según sea necesario. La humedad del suelo, la temperatura del suelo, la temperatura del aire, la humedad del aire, la velocidad del viento y el nivel de luz son medidos para ahorrar el uso y el costo del agua.

En el sistema planteado por (Yousef E. M. Hamouda - 2017) el tiempo de riego del agua se considera con lógica difusa en. En otras investigaciones anteriores, cuando las mediciones exceden valores de umbral predefinidos, las bombas / válvulas son automáticamente activados para el riego por aspersión.

Para cultivos en viñedos se implementa lógica difusa (Viani, Member, IEEE, Michael Bertolli, Marco Salucci,at , IEEE. 2016) donde un sistema aplica de forma inteligente y autónomo.

La validación numérica y los experimentos realizados en un viñedo en el norte de Italia indican un considerable ahorro de agua con respecto a otros métodos modernos basados en la parametrización de umbrales y una mejor explotación del agua de riego gracias a la reducción de el fenómeno de percolación sin afectar la calidad de los cultivos.

I.7. Minería de Datos

El avance informático y el constante almacenamiento de grandes volúmenes de información, conocido como “minería de datos” surge por la aparición de nuevas necesidades y, especialmente, de la gran cantidad de datos almacenados informáticamente en los sistemas de instituciones, empresas, gobiernos y particulares (J.H.Orallo. 2004).

En la década de los 90 se comienza a implementar el Proceso de Extracción de Conocimiento (Knowledge Discovery in Databases ó KDD) a partir de publicaciones de (Fayyad U. et al., 1996).

Comprenden y combinan distintos métodos y técnicas, que se encargan de la preparación de los datos, manipulación y la interpretación de los resultados obtenidos. Se puede observar un ciclo típico en la Figura 3.

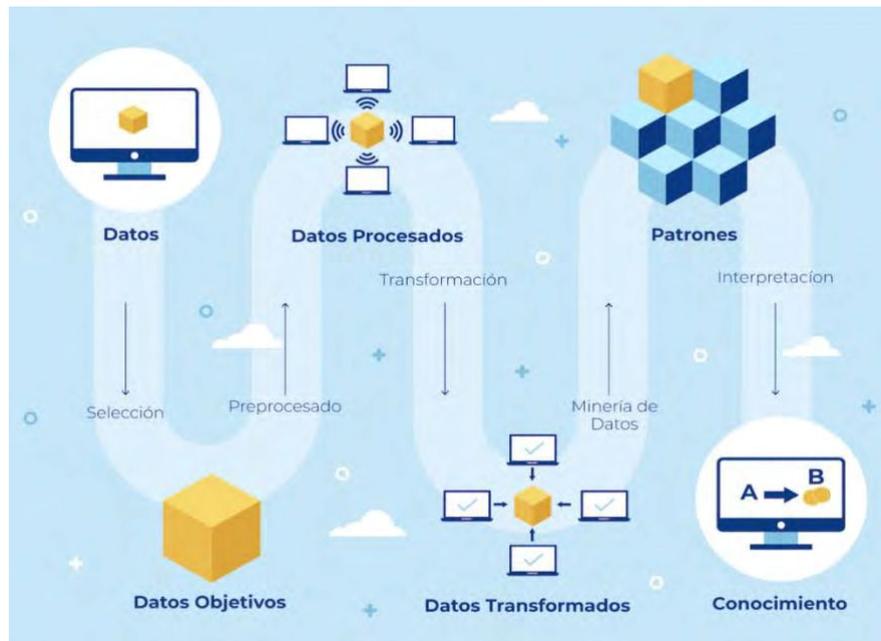


Figura 3. Proceso KDD 1

El proceso KDD suele implicar el uso de bases de datos junto con cualquier selección, preprocesamiento, submuestreo y transformaciones requeridas. Aplicando métodos de minería de datos (algoritmos) se puede derivar una serie de patrones al y evaluar dichos datos para identificar el subconjunto de los patrones enumerados que se consideran conocimiento (Fayyad U. et al., 1996).

El componente de minería de datos del proceso KDD puede implicar la aplicación iterativa repetida de métodos particulares de minería de datos.

La recopilación de datos puede requerir el uso de hardware especializado, como una red de sensores, mano de obra, como la recopilación de encuestas de usuarios, o herramientas de software (Char Aggarwal. 2015).

Es importante hacer buenas elecciones en la etapa de recopilación, ya que puede afectar significativamente el proceso de minería de datos. Después de la fase de recopilación, los datos a menudo se almacenan en una base de datos para su procesamiento (Char Aggarwal. 2015).

Para el procesamiento analítico y la implementación de algoritmos, en la parte final del proceso de minería se deben diseñar métodos efectivos a partir de los datos procesados.

Los modelos de regresión lineal capturan una o más variables que pueden variar con uno o más de sus atributos. Éstas se pueden usar para predecir los valores de las variables de destino utilizando los valores de las variables del atributo (Nong Ye 2014).

Los objetivos del análisis de los datos, los algoritmos de descubrimiento utilizados se clasifican en supervisados y no supervisados (Weiss S.M. and Indurkha N., 1998). En

la Figura 4 (Pérez López C. and Santín González D. 2008) se observa detalladamente esta clasificación.

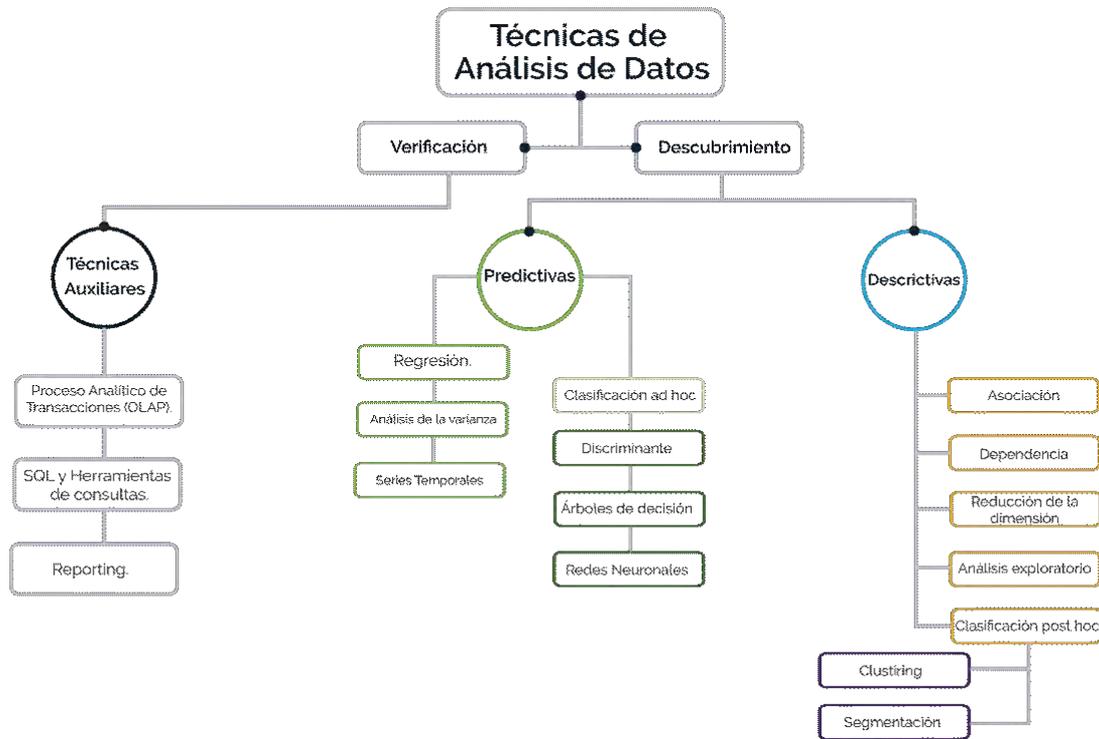


Figura 4. Técnicas de DM

I.7.i. Minería de datos temporales

Existen grandes volúmenes de datos formados por series con características de carácter cronológico que normalmente se realizan de forma repetida y con la misma frecuencia (Javier Orallo). Este tipo de series se denominan series temporales.

Normalmente se descomponen en cuatro elementos o movimientos principales (Han & Kamber 2001) (Javier Orallo):

- **Tendencias:** indican el comportamiento general de la serie en un período largo de tiempo. Identifica cuál es la tendencia que sigue o ha seguido la serie.
- **Variaciones cíclicas:** representan ciclos que presentan las series. Estas variaciones cíclicas pueden o no ser periódicas. Es decir, los ciclos pueden no ser completamente iguales después de períodos de tiempos idénticos.
- **Movimientos estacionales:** estos movimientos se deben a eventos que ocurren con una frecuencia establecida y constante. Por ejemplo, el número de artículos vendidos se incrementa considerablemente en el período de navidad, o el número de ingresos en urgencias es siempre más alto las noches de los fines de semana que las noches entre semana.
- **Movimientos aleatorios o irregulares:** estos movimientos representan el comportamiento de la serie debido a eventos aleatorios o cuasialeatorios. Por

ejemplo, tormentas fuertes, atentados terroristas, irrupción de un virus desconocido, etc.

A su vez, la predicción de series temporales multivariadas ha atraído recientemente una gran atención de investigación debido a sus amplias aplicaciones en el área de inversión financiera, consumo de energía, contaminación ambiental, etc (Yunxiao Wang, 2019).

CAPÍTULO II – ANÁLISIS DE LA PROPUESTA

En este capítulo se realiza un análisis de los objetivos específico de la propuesta escrita en la sección II.1. Los aportes de la misma se tratan en la sección II.2 con una descripción del modelo de sistemas armónicos difuso (FHS o Fuzzy Harmonic System).

II.1 Objetivos Específicos

En esta sección se analiza y justifican los objetivos específicos e hipótesis de esta propuesta y las actividades que comprende.

II.1.i Análisis preliminar y métodos de validación

Esta subsección analiza las tecnologías y técnicas que fundamentan la propuesta. Las líneas se encuentran en capítulo I sección 1.6, sobre Minería de Datos, (sección 1.6), Lógica Difusa (sección II.1.ii), Sistemas Armónicos (sección II.1.iii.b)

El modelo propuesto es apto para diferentes ámbitos y problemas. Entre otros, el estudio de predicción de riesgo de tránsito vehicular y peatonal , proyecto denominado Kronos.Tránsito) (López de Luise D., Bel W. et al. 2014) (Lopez de Luise D.,Bel W. et.al 2016).

Los métodos de validación usados para la evaluación del modelo son los siguientes:

1. El coeficiente kappa de Cohen (Kappa Statistics) es una estadística que mide la concordancia entre observaciones/evaluaciones para elementos cualitativos (categóricos). Normalmente se considera que es una medida más robusta que el simple cálculo del porcentaje de concordancia, ya que k toma en cuenta la posibilidad de que la concordancia ocurra por casualidad (Cohen J., 1960).

El Kappa Statistics mide la concordancia entre dos observaciones en sus correspondientes clasificaciones de N elementos en M categorías mutuamente excluyentes, para calcular k se utiliza la ecuación (i):

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (\text{ec. i})$$

donde P_o es la concordancia observada relativa entre los observaciones, y P_e es la probabilidad hipotética de concordancia por azar.

2. Error cuadrático medio (ECM) o la desviación cuadrática media de un estimador (que es un procedimiento para estimar el desvío producido por una cantidad no observada de datos) mide el promedio de los cuadrados de los errores o desviaciones. (Lehmann E.L. and Casella G., 1998) (González M.P., 199).
3. La raíz del error cuadrático medio (RECM) es usada frecuentemente para medir diferencias entre los valores (valores muestrales y poblacionales) predichos por un modelo o estimador y los valores realmente observados. La RECM representa la desviación estándar de las diferencias entre los valores predichos y los valores observados (Hyndman R.J. and Koehler A.B., 2006).

II.1.ii. Definición de detección de patrones, estadísticas, testing y dataset

En este capítulo se presentan y describen las técnicas, tecnologías y áreas temáticas de base relacionadas con la propuesta, se realiza una breve referencia a los antecedentes tecnológicos y sistemas inteligentes usados para prevención y predicción de riesgos de accidentes en el contexto de tránsito vehicular y peatonal, como también algunas experiencias del sector.

II.1.ii.a. Lógica Difusa

El concepto de lógica difusa (Fuzzy Logic ó FL) o lógica borrosa, fue introducido por L. Zadeh en el año 1965 (Zadeh L.A., 1965). Básicamente la FL es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento.

Las personas poseen una gran habilidad para poder comunicar su experiencia usando ciertas reglas lingüísticas. Por ejemplo se puede decir que un objeto se encuentra cerca o lejos, un objeto se desplaza lento o rápido, de un lugar a otro. Estos términos lingüísticos pueden ser comprendidos e interpretados con sentencias.

Considérense, por ejemplo las siguientes reglas:

1. Si el automóvil está muy cerca, tomarlo.
2. Si el automóvil está lejos, acercarse.
3. Si el automóvil se desplaza rápido recorrerá antes la distancia.

Estas reglas se concideran descriptivas y pueden ser entendidas por un humano sin mayor problema, pero difícilmente traducibles en un idioma que pueda ser entendido por una computadora.

Los términos como —lejos, —cerca, —rápido no tienen fronteras bien definidas, y cuando se quieren pasar a código pueden resultar descripciones artificiales.

El término velocidad se podría codificar de la siguiente manera:

1. lento: si la velocidad está entre 0 – 20 km/h.
2. medio: si la velocidad está entre 20 – 60 km/h.
3. rápido: si la velocidad es mayor a 60 km/h.

Si se representa un objeto que se desplaza a 59.5 km/h, empleando estos intervalos, la computadora lo ubicará decididamente en el intervalo —medio. Y si la velocidad incrementa en 1, lo interpretará como —rápido. Estos términos lingüísticos se deben corresponder con fronteras vagas, donde 59.5 km/h se asocia al término —rápido y no al —medio (Zadeh L.A., 1975).

II.1.iii.b Sistemas Armónicos HS

Los Sistemas Armónicos (Harmonic Systems ó HS) fueron introducidos en el 2013 por López de Luise (López De Luise D., 2013a) (López De Luise D., 2013b), como una novedosa propuesta de Minería Temporal (Time Mining ó TM).

El enfoque principal de los HS se centra en el momento en que ocurren los eventos y no en los eventos de por sí.

Desde el punto de vista de la minería, los HS estudian la temporalidad de los procesos principalmente para poder realizar predicciones (de tiempo, eventos y características) y descripciones (tipo de información, perfiles de usuarios, perfil de negocios, etc.) (López De Luise D., 2013a) (Tak-chung F., 2011) (Han J. and Kamber M., 2011).

Un aspecto interesante surge cuando lo que se examina no es la información generada durante la ejecución de un proceso, sino la temporalidad del mismo. (López De Luise D., 2013b). Ésto hace posible el análisis de un proceso en tiempo real y en el momento en que ocurren los eventos, sabiendo que hay un punto de partida con cierto conocimiento a priori.

Como objetivo los HS es la producción de metadatos a partir de información generada en una secuencia de datos a lo largo de tiempo o en un cierto rango temporal. Estos metadatos cambian con el tiempo (a diferencia de los modelos de minería tradicional) y componen un modelo con enfoque dinámico, que típicamente evoluciona en el tiempo, manteniendo su patrón de identidad (López De Luise D., 2013a) (Bel Walter 2018).

Por otra parte, con la aplicación de filtros, se puede hacer una selección de una determinada sub-secuencia temporal dentro de dicha variación (Bel W., López de Luise D. et al., 2015) lo que permite preprocesar los datos permitiendo mejorar el tiempo de respuesta.

Los HS son descritos de forma general en el capítulo I, sección II.1.c donde se menciona el procedimiento para definir patrones y el algoritmo básico de funcionamiento. Pero aquí se dan detalles de funcionamiento del modelo de detección de patrones.

Una vez detectado un armónico (se cumplen las propiedades definidas en el sello del patrón) y verificada su probabilidad de resonancia contra un umbral de resonancia, el modelo de patrón es modificado (López De Luise D., 2013a). El umbral se actualiza con

la información de la nueva instancia, usando un aprendizaje del tipo Hebbiano (Clifford L., 1991), como se observa en la ecuación (ii):

$$\begin{aligned}
 U &= U + \eta_u (P_0(t_1 | patron_1) \cdot P_0(t_2 | patron_2) \cdot P_0(t_3 | patron_3)) \\
 \lambda_1 &= \lambda_1 + \eta (t_1 - \lambda_1) \\
 \lambda_2 &= \lambda_2 + \eta (t_2 - \lambda_2) \\
 \lambda_3 &= \lambda_3 + \eta (t_3 - \lambda_3)
 \end{aligned}
 \tag{ec. ii}$$

donde η es el coeficiente de aprendizaje, un factor de ponderación para el patrón. El nuevo valor del umbral reflejara variaciones en la sensibilidad dado por η_u (López De Luise D., 2013a).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el funcionamiento de un patrón se puede definir en función de sus características, se observa en la Tabla II el sello del patrón que se describió en la sección II.1.iii.b.

Tabla II. Definición de parámetros de funcionamiento de un patrón

Símbolo	Parámetro
U	Umbral
n_+	Casos de Resonancia del sistema
n_t	Casos totales tratados por el patrón
η_u	Coeficiente de inercia del umbral de usuario
η	Coeficiente de aprendizaje
n_c	Umbral de distribución
λ_i	Tiempo promedio del sello i del patrón
t_i	Tiempo de última activación del patrón

Si bien el modelo es apto para procesar en tiempo real, a fin de simplificar el prototipo y reducir los riesgos de posibles fallas técnicas, los métodos de testing que se utilizan para probar el rendimiento del modelo consisten en el procesamiento de distintos logs sobre las pruebas de campo que se realizaron sobre diferentes lotes de cultivos en el capítulo III y V.

A fin de validar los resultados, se guardan los resultados obtenidos de la predicción del sistema. Luego se compara dicho valor con el del log para constatar la cantidad de resultados correctos e incorrectos del sistema y poder obtener datos estadísticos de la eficiencia del modelo (López de Luise D., Ledesma E., Bel W. et al., 2019 - 2020).

Se utilizan dos dataset para KRONOS.Agro, los mismos contienen las muestras de las campañas 2018-2019 y 2019-2020, compuesta por variables climáticas y datos de sensores específicos para el cultivo.

Como se observa en el diagrama de la Figura 5, este modelo se encarga de la predicción de riesgo, con procesamiento en tiempo real. En el caso de este trabajo, especializado en la predicción de situaciones de riesgo de hídrico en cultivos de arroz.

La actividad comprende no sólo el estudio estadístico, sino también cálculos de riesgos para hacer Minería de Datos y obtener patrones que se usarán en el prototipo KRONOS.Agro.

Se trabaja con las siguientes entidades principales: NodoMonitor, sensores, y estado del tiempo. Éstas se componen a su vez por un conjunto de variables, de las que se extraen los patrones para realizar las predicciones de riesgo (López de Luise D., Ledesma E., Bel W. et al., 2019)

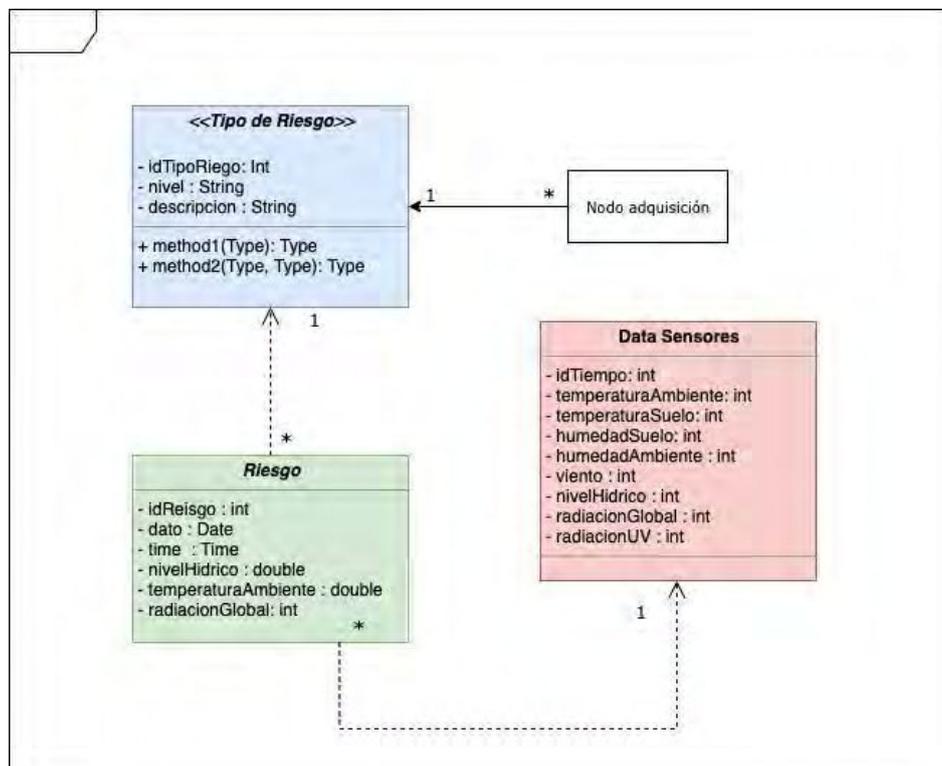


Figura 5. Modelo de datos de KRONOS.Agro

II.1.iii. Alcances de sistemas armónicos difusos

El objetivo de la presente investigación es proponer un modelo de sistema predictivo para riesgos en cultivos de arroz basado en sistemas armónicos difusos que permita predecir situaciones de estrés hídrico, trabajando con equipos de bajo costo y confiables.

En el capítulo III sección III.1 se presenta el prototipo en detalle, mientras que en los capítulos IV y V se describen ciertas de acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes campañas de cultivo. A su vez, se desarrolla un sistema monitor para visualizar las alertas que predice el core del modelo propuesto en el capítulo VI.

El modelo de sistemas armónicos difusos hereda del modelo de sistemas armónicos su funcionamiento, utilizando reglas difusas y funciones de pertenencia para reemplazar las reglas clásicas de comparación, permitiendo contextualizar los datos y encontrar información oculta en ellos (López de Luise D., Bel W. et al., 2015) (Bel W., López de Luise D. et al., 2015).

II.1.iv. Divulgación de los avances

Durante el desarrollo de esta investigación se realizaron diversas publicaciones de resultados parciales obtenidos:

Daniela López De Luise, Ernesto Ledesma, Walter Bel, Eduardo Velazquez, and Javier Pirchi. (2019) -- Analysis and Identification of Relevant Variables for Precision Farming Using Harmonic Systems. Second International Conference, FTNCT 2019, India, November 22–23, 2019 - - Revised Selected Papers Springer.

Daniela López De Luise, Ernesto Ledesma, Walter Bel, Eduardo Velazquez, and Javier Pirchi.(2020).--Minería Para Cultivos de Precisión de Arroz: Modelo y Parametrización del Riesgo. JAII049 (enviado y en proceso de evaluación).

Daniela López De Luise, Ernesto Ledesma, Walter Bel, Eduardo Velazquez, and Javier Pirchi.(2020).--"Rice and Mining for Precision Crops". FTNCT 2020 (enviado y en proceso de evaluación).

Dichas publicaciones representan una validación por parte de la comunidad científica y son el respaldo de esta propuesta.

II.1.v. Procesamiento inicial y uso de parser

Como primer objetivo de la etapa de desarrollo, es utilizar un parser, un módulo capaz de transformar el modelo de datos con el que se está trabajando a vectores temporales según (López De Luise D., 2013a).

{timestamp} + {características de interés} + {resto de los datos}

El parser es paramétrico, capaz de adaptarse a cualquier modelo de datos con el que se desee trabajar. Dicho modelo registra el timestamp que refleja la temporalidad de la sucesión de eventos.

Este módulo permite al usuario seleccionar las propiedades de interés, para luego tomar todos los datos correspondientes a un evento (ya sea desde un log, desde una base de datos, desde una interfaz de usuario, o a través de los patrones definidos para sistemas armónicos y/o sistemas armónicos difusos).

Sólo es necesario conocer los parámetros del modelo de datos es decir su header, pudiendo éstos tomarse desde un simple archivo de texto.

La implementación del parser se basa en el lenguaje de programación Java, ya que es código transportable a PC y web. Se dispone también de una versión de escritorio para facilitar ciertas pruebas durante el proceso de depuración del módulo.

II.1.vi. Implementación del sistema experto

Como modelo de referencia se realizó un Sistema Experto (Expert System ó ES) cuyas reglas son del estilo:

SI (condición) ENTONCES (acción)

Dichas reglas fueron obtenidas haciendo minería de datos tradicional sobre las bases de datos de los distintos logs de pruebas de campo sobre los lotes que se mencionan en la capítulo IV y V.3.

Para la implementación del ES, se consideran las siguientes reglas de inferencia, que se observan en la Tabla III (para riesgo de estrés hídrico).

Reglas - Lote 1	THEN ALERT
IF TIME <=8 AND Ambient_Temperature >25.9 AND Water_Level <=9.63 AND UV_Radiation <= 0.11 AND Anemometer >13	Low_Water_Level
IF TIME <=8 AND Ambient_Temperature >25.9 AND Water_Level <=9.63 AND UV_Radiation <= 0.11 AND Anemometer >13	Low_Water_Level
IF TIME <=10 AND Ambient_Temperature <=90.9 AND Water_Level >0.23 AND Soil_Temperature <=28.25	Low_Water_Level
IF TIME >11 AND Ambient_Humidity >98.6 AND Ambient_Temperature >28 AND Soil_Temperature > 25.5 AND Anemometer >8	Low_Water_Level
IF TIME >=16 AND Ambient_Humidity >81.2 AND Ambient_Temperature >27.2 AND Water_Level <=0.0 AND Soil_Temperature >26.25 AND UV_Radiation > 4.66 AND Anemometer >9	Low_Water_Level
IF TIME >16 AND Ambient_Humidity > 60.8 AND Ambient_Temperature <=22.3 AND Water_Level >9.2 AND Soil_Temperature <=28.94 AND Anemometer <=20 THEN	Low_Water_Level
IF TIME >16 AND Ambient_Temperature >34 AND Water_Level >21.39	Medium_Water_Level
IF TIME >18 AND Low_Water_Level >97.6 AND Ambient_Temperature <= 32.9 AND Water_Level >21.82 AND Soil_Temperature >26.18	Low_Water_Level
IF TIME >=21 AND Soil_Temperature >19.88	Medium_Water_Level

Tabla III. Reglas de inferencia ES para riesgo de estrés hídrico sobre los lotes

Para los niveles de riesgo resultante de las reglas de inferencia de las pruebas de campo 1 se define la siguiente clasificación:

- Risk High (riesgo alto): La probabilidad de riesgo hídrico mayor al 50%; existe la presencia de factores tales como estado del clima, humedad en suelo, viento, humedad ambiente y hora del día.
- Risk Medium (riesgo medio): la probabilidad de riesgo hídrico está aproximadamente entre un 25% y 35%; existe la presencia de factores (antes mencionados) que alteran parcialmente las condiciones óptimas de sobre el riego en el lote.

- c. Risk Low (riesgo bajo): la probabilidad de riesgo hídrico un 10%, existe la presencia de factores (antes mencionados) que no alteran ligeramente las condiciones óptimas sobre el control de riesgo.

Para ver más detalles del desarrollo de este módulo, el lector puede referirse capítulo III y capítulo IV.

II.1.vii. Implementación del sistema armónico

El prototipo que implementa el núcleo de HS, está desarrollado en Java y se implementó en (Bel, Lopez de Luies, 2018) y consta de los siguientes módulos:

1. Administración de patrones
2. Administración de sensores
3. Administración de datos
4. Administración de reglas
5. Cálculo de nivel de riesgo con HS

Para poder implementar el modelo HS, se definieron 8 patrones con las mismas reglas que se usaron para el ES, definidas previamente en sección II.1. Además, cada uno de los patrones se configuró con los siguientes valores iniciales, como se observa en la Tabla IV.

Tabla IV. Valores de configuración inicial de patrones

Parámetro	Valor Inicial
U	0.03
n ₊	0
n _t	0
η _u	0.3
η	0.05
n _c	80
λ ₁	0
t _i	0

El procesamiento inicial, al igual que con la implementación del ES, se basan en los logs de las muestras de campo sobre los lotes resultantes para poder comparar los resultados con los obtenidos por el ES.

Para ver más detalles del desarrollo de este módulo, puede recurrir al capítulo V sección V.1.

En las subsecciones siguientes se presentan y estudian las hipótesis sobre las que se basa este trabajo de investigación.

II.2.i. Evaluación estadística hipótesis 1 (h1)

h1: Se puede reducir significativamente la demanda de agua con la implementación FHS tomando como variables el tiempo, la humedad en suelo y el nivel hídrico en lotes.

En el capítulo IV sección **VI.2.i.** y capítulo V sección **V.3.ii** se presenta detalladamente el análisis estadístico del cual se obtienen estos valores.

II.2.ii. Evaluación estadística hipótesis 2 (h2)

h2: Existe un conjunto limitado de variables críticas para el control en tiempo real, que las mismas impactan directamente en la productividad del lote, los niveles hídricos y variables ambientales.

Las variables críticas durante el proceso de cultivo de arroz son:

- Temperatura ambiente
- Humedad en suelo
- Precipitaciones in-situ
- Balance hídrico en suelo
- Radiación solar global
- Viento

En el capítulo IV sección IV sección **VI.2.i.** y capítulo V sección **V.3.ii** se presenta detalladamente el análisis estadístico del cual se obtienen estos valores.

II.2.iii. Evaluación estadística hipótesis 3 (h3)

h3: El modelo de FHS es una buena estrategia para la predicción temprana de riesgo de eventos en tiempo real.

A continuación se detalla la cantidad de casos detectados por el modelo FHS en cuanto a la cantidad de predicciones de riesgo, ambos modelos detectaron una mayor cantidad que el ES, debido a la robustez y confiabilidad de los modelos:

- a. El modelo FHS detecta del log 1.724 casos de nivel riesgo alto (nivel hídrico bajo) sobre un total de 4383 muestras.
- b. El modelo FHS detecta del log 119 caso de nivel riesgos medio (nivel hídrico medio) sobre un total de 4383 muestras.

En el capítulo IV, sección **IV.2.i.** y capítulo V, sección **V.3.ii.** se presenta detalladamente el análisis estadístico del cual se obtienen estos valores.

II.2.iv. Validación técnica del modelo por medio de prototipo

Para poder realizar la validación técnica preliminar del modelo se emplea un modelo de prototipo de adquisición de datos funcional con tecnologías Arduino®, NodeJS®, MQTT®, Firebase® y ReactJS®.

KRONOS.Agro web 1.0. Dicho prototipo web se presenta en el capítulo V sección V.2, se analiza en profundidad cada uno de los módulos en las distintas secciones de dicho capítulo.

En cuanto a su validación, en el capítulo III se describe detalladamente el protocolo de testing y los distintos casos de estudio, con sus correspondientes especificaciones técnicas así como también los distintos datos estadísticos resultantes de dicho proceso.

II.2.v. Evaluación estadística de los resultados obtenidos del modelo

El prototipo implementa el modelo de Sistemas Armónicos Difusos (FHS). Esta actividad se describe detalladamente en los capítulos IV y V.

II.2.vi. Validación estadística de los resultados obtenidos del modelo

Como ya se mencionó, en la sección anterior (II.1.i) se presenta una evaluación estadística de los modelos FHS. La validación de dichos resultados fueron divulgado en diversas publicaciones científicas (López de Luise D., Ledesma Ernesto., Bel W. et al., 2019) (López de Luise D., Ledesma Ernesto., Bel W. et al., 2020), como medio de evaluación y aprobación de pares en la comunidad científica.

II.2.vii. Modelo Sistemas Armónicos Difusos (Fuzzy Harmonic Systems ó FHS)

Esta sección presenta y describe el modelo de sistemas armónicos y la definición de patrones difusos del modelo de datos (Bel Walter., 2018), del cual se implementa en esta propuesta.

II.2.viii. FHS

El modelo FHS extiende al modelo HS que se describe a continuación. La única diferencia es que aplica predicciones difusas aplicadas sólo a la concepción semántica de las variables que centran el comportamiento del predictor. En lugar de reconocer patrones de configuración de ciertos parámetros de manera determinista, exacta o por intervalos .

De esta manera FHS da un paso en la capacidad inferencial, y aumenta el sesgo de dicho modelo. En consecuencia, el modelo solo cambia el sello del patrón de parámetros de resonancia incorporando la configuración difusa.

Los FHS, compensan la complejidad y pesadez de los patrones difusos y sus reglas de inferencia difusas, por medio de los filtros HS que se explicarán a continuación que toman base al teorema Occam's Razor (o Navaja de Ockham) (Gauch H.G., 2003) (Hoffmann R. et al., 1997).

II.2.ix. Funcionamiento HS

El modelo HS basa su funcionamiento en los conceptos de resonancia y detección de patrones (Bel W., López De Luise D. 2018)

La principal característica que se añade a este modelo es el uso de patrones y reglas difusas a su motor de inferencia como se puede observar en la Figura 6. Esto le proporciona al sistema la capacidad de contextualizar variables, incorporando conocimiento comúnmente implícito del contexto en forma de funciones de pertenencias.

A través de un conjunto de operadores específicamente diseñados en el HS, es posible manipular conceptos lógicos y subjetivos del problema a través de números. El resultado final de todo el proceso es la ponderación de parámetros no numéricos, enriquecidos con el aporte de información no detectable por otros medios. (Bel W., López De Luise D—2018).

En la figura 6 se observa el modelo de FHS donde U_k representa el umbral de aceptación de las funciones de pertenencia.

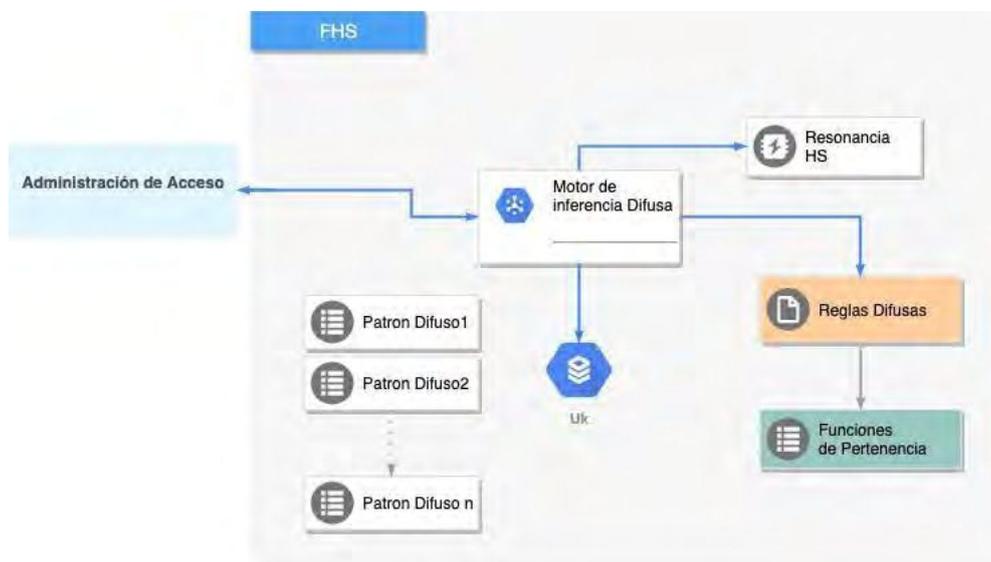


Figura 6. Modelo FHS

II.2.x. Objetivos FHS

El modelo FHS pueden aplicarse a casos donde el problema a tratar tiene dos características esenciales:

1. Requerimientos de respuesta en tiempo real.
2. Cuando los datos no son discretos, requiriendo además lograr una contextualizar de dichos datos.

Mediante el uso de patrones difusos es posible detectar conocimiento implícito en las variables definiendo funciones de pertenencias (por ejemplo Humedad de suelo baja, temperatura ambiente alta, humedad ambiente alta, etc.).

El objetivo de los FHS es el mismo que los HS: La producción de metadatos a partir de información generada en una secuencia de datos a lo largo de tiempo o en un cierto rango temporal. Estos metadatos cambian con el tiempo (a diferencia de los modelos

de minería tradicional) y componen un modelo con enfoque dinámico, que típicamente evoluciona en el tiempo, manteniendo su patrón de identidad (López De Luise D., 2013a).

Por otra parte, con la aplicación de filtros, los mismos que se definen en los HS, se puede hacer una selección de una determinada sub-secuencia temporal dentro de dicha variación (Bel W., López de Luise D. et al., 2015) lo que permite preprocesar los datos permitiendo ganar tiempo de respuesta.

En el contexto de los HS, un armónico es una combinación de propiedades que son definidas con un cierto interés. Dicha combinación se denomina —patrón. Es posible representar una o más secuencias (López De Luise D., Bel W. et al., 2014).

A continuación en la Tabla V, se observa un ejemplo de un patrón. El mismo se puede definir de la siguiente forma para un identificador Id_Patron = 1, con umbral de resonancia $U = 0.3$.

Tabla V. Ejemplo de patrón

T	Propiedad-1	Propiedad-2
$t_1 = \lambda_1$	proc = R	usr = id-19
$t_2 = \lambda_2$	proc = S	usr = id-21
$t_3 = \lambda_3$	proc = R	usr = id-21

Como se observa, para los HS, el patrón es una secuencia de tres momentos t_1 , t_2 , t_3 , que deben suceder uno detrás del otro para considerarse completo.

Cuando los eventos coinciden con el patrón (un armónico) hay una resonancia, y el modelo puede aprender cualquier variación en los parámetros críticos. Cuando un armónico comienza a resonar, se desencadena una serie de procesos, siendo el seguimiento y actualización del proceso los más importante para el modelo (López De Luise D., 2013a) (Bel W., López de Luise D. et al., 2015).

CAPÍTULO III – PROTOTIPO Y ARQUITECTURA I

En este capítulo se describe y se desarrolla un nuevo prototipo basado en dos pruebas de campo que se realizaron en distintas campañas, en función de diferentes hallazgos encontrados se mejora el modelo que se presenta en el capítulo V, de esta forma se logra una mayor aproximación de implementación de FHS.

III.2. Materiales y métodos. Prueba de campo I

En la siguiente sección se desarrolla el prototipo planteado para realizar el monitoreo y recolección de datos.

III.2.i. Módulo de adquisición de datos

El módulo de adquisición de datos para la primera etapa de muestreo de campo se desarrolla con tecnología Arduino Uno®, según se menciona en la sección. Se incorporan diferentes sensores para realizar las mediciones en suelo y ambiente.

Si bien existen diferentes placas electrónicas con microcontroladores similares, la tecnología Arduino, una de sus ventajas es su aporte de documentación y de un bajo costo, teniendo presente que en este trabajo se busca optimizar los recursos.

Las variables a medir son: humedad ambiente, temperatura ambiente, velocidad del viento, radiación ultravioleta, lluvias, nivel hídrico, humedad en suelo, temperatura en suelo.

En la figura 7 se observa el modelo planteado para esta primera prueba de campo.

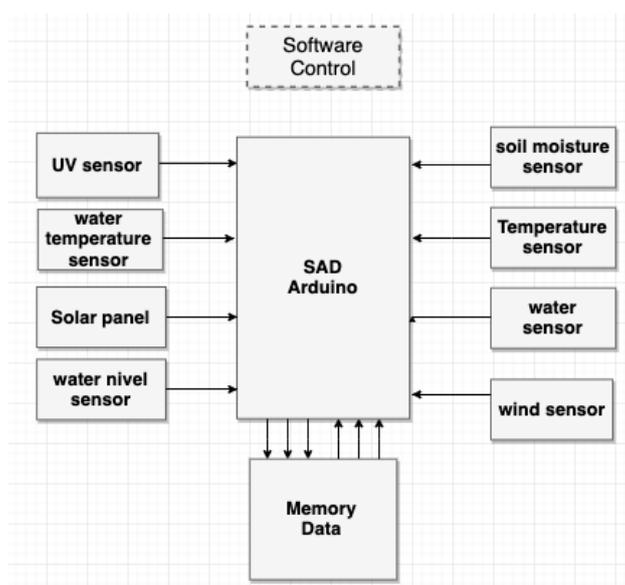


Figura 7. Arquitectura del circuito aplicado

En la Figura 8 se puede observar el diseño de la placa para el ensamble de los componentes.

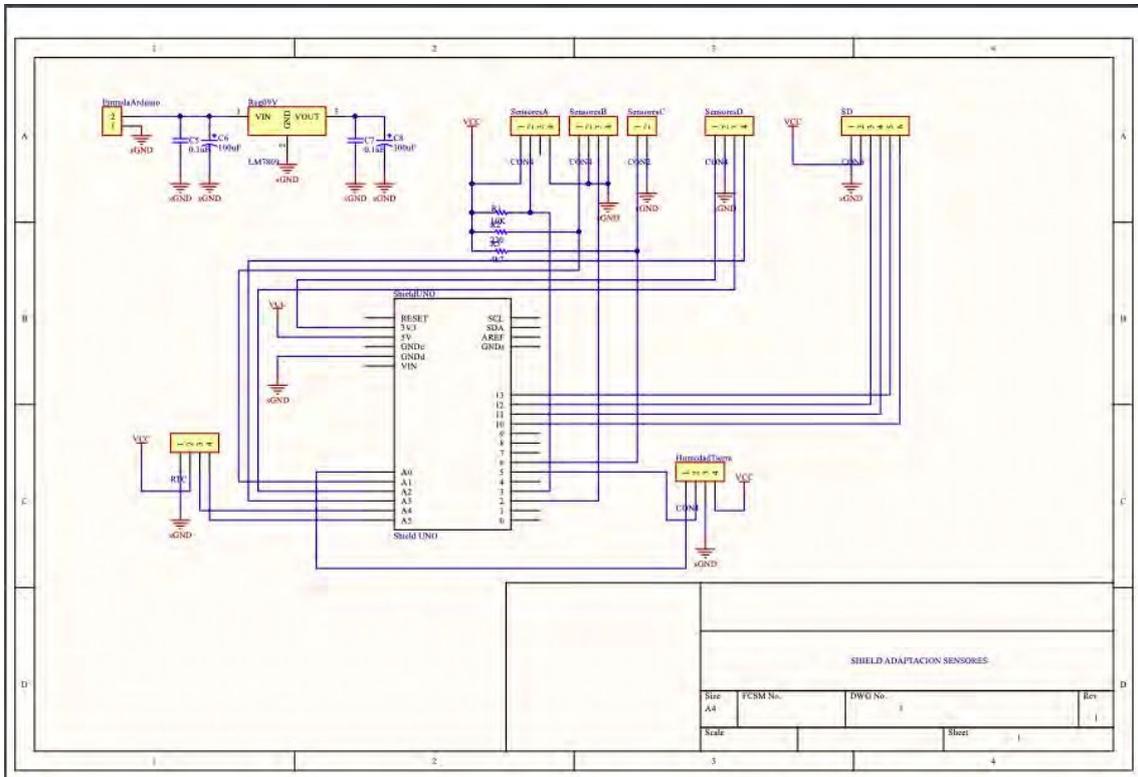


Figura 8. Diseño de circuito impreso del módulo de adquisición de datos

III.2.ii. Componentes

En la tabla VI se detallan los componentes a utilizar en el prototipo.

Tabla VI. Componentes de electrónica para módulo de adquisición de datos

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
0.1uF	Capacitor	C5, C7	CAP200	CAP	2
100uF	Capacitor Polarizado	C6, C8	CAPPOL200	CAPPOL	2
CON2	Conector 2	Entrada Arduino	BORNERA2 - T	CON2	1
CON4	Conector 4	HumedadTierra	CON4	CON4	1
10K	Resistencia	R1	RES300	RES	1
220	Resistencia	R2	RES300	RES	1
4k7	Resistencia	R3	RES300	RES	1
LM7809	Regulador de Tension - Voltajes Positivos	Reg09V	TO220P	LM78XX	1
RTC	Conector 4	RTC	CON4	CON4	1
CON6	Conector 6	SD	CON6	CON6	1
CON4	Conector 4	SensoresA, SensoresB, SensoresD	BORNERA4	CON4	3
CON2	Conector 2	SensoresC	BORNERA2	CON2	1
Shield UNO		ShieldUNO	Shield UNO	Shield UNO	1

III.2.v. Estructura de Montaje

La estructura de montaje para el sistema de adquisición de datos se muestra en la figura 6, consta de una base de hierro de 4 patas para dar mejor estabilidad en suelo; una base superior para el módulo de adquisición de datos; soporte base para el panel solar con un sistema telescopio para dar movilidad en diferentes ángulos de posicionamiento para una mejor captación de radiación solar.

En la base inferior se diseñan puntas de 15cm de largo para dar mejor estabilidad en la superficie del campo teniendo en cuenta las posibles irregularidades de la superficies y las situaciones extremas de clima a las que se enfrentará.



Figura 9. Estructura de soporte para módulo de adquisición de datos

III.2.vi. Pruebas de ajuste

Las pruebas de campo se realizan durante los cinco primeros días luego del primer riego, donde se calibran los sensores, se ajusta de forma visual el sensor de nivel hídrico mostrado en las figuras 10, 11 y 12, el sensor se encuentra sobre un base móvil que puede desplazarse de manera vertical sobre el eje y en una de las bases permitiendo ajustar la altura del mismo a nivel del suelo.

Durante los días de test se verifica una falla en la carga de la batería, lo que se registra que, aproximadamente a partir de las 23:00 PM hasta las 6:00 AM no existen registros según las muestras de datos.

En la figura 10 se observa como queda colocado el sensor del nivel de agua, el mismo es calibrado por el experto en campo.



Figura 10. Calibración de sensor de nivel hídrico

En la figura 11 se puede observar la electrónica del módulo de adquisición de datos de la primera prueba de campo.



Figura 11. SAD en prueba de campo

En la figura 12, se observa el equipo instalado sobre el lote de prueba de campo en la zona de San Salvador, Entre Ríos.



Figura 12. Módulo sobre campo de arroz

III.3. Sensores

En esta sección se introduce y se detallan los tipos de sensores que se utilizan para el primer prototipo de adquisición de datos.

III.3.i. Sensor de radiación UV. modelo ML8511

Este tipo de sensor emite una señal analógica en relación con la cantidad de luz UV detectada. El rango de detección de luz es de $280\mu\text{m}$ a $390\mu\text{m}$ según especificación del fabricante. Esto se categoriza como parte del espectro UVB (rayos ardientes) y la mayor parte del espectro UVA (rayos curtiertes). Proporciona una tensión analógica que está linealmente relacionada con la intensidad UV medida (mW / cm^2).

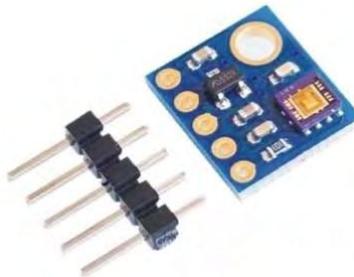


Figura 13. Sensor UV

III.3.ii. Sensor de temperatura DS18B20 impermeabilizado

Apto hasta los 125 °C, el cable tiene una cubierta de PVC por lo que se sugiere mantenerlo debajo de 100°C. Como es digital, no hay degradación de la señal incluso a largas distancias.

El DS18B20 proporciona lecturas de la temperatura de 9 a 12 bits (configurable) sobre una interfaz "1-Wire", con sólo un cable de señal (y tierra) estando conectado a un microprocesador central. Utilizable con voltajes de 3.0-5.5V.

Como cada DS18B20 contiene un número de serie único, pueden existir varios DS18B20s en el mismo bus 1-Wire.

Esto permite colocar sensores de temperatura en diferentes lugares. Entre las aplicaciones donde esta característica es útil, se incluyen controles ambientales de HVAC, sensor de temperatura interior de edificios, equipo o maquinaria, monitoreo de procesos y control.

Especificación

- Rango de tensiones de alimentación: 3.0V a 5.5V
- ± 0.5 °C exactitud entre -10 °C a + 85 °C
- Rango de temperatura: -55 a 125 °C
- Resolución: seleccionable de 9 a 12 bits
- Interfaz 1-Wire. Requiere sólo un pin digital para la comunicación
- Identificador único de 64 bits grabado en el chip. Múltiples sensores pueden compartir el mismo bus
- Tiempo de consulta menor a 750ms
- Conexionado con 3 hilos: Cable rojo VCC, Cable negro GND, Cable amarillo Datos
- Diámetro: 6 mm, tubo de acero inoxidable de 35 mm de largo
- Diámetro del cable: 4 mm
- Longitud total con cable: 2 metros.



Figura 14. Sensor temperatura DS18B20

III.3.iii. Sensor de humedad en suelo

Sensor de humedad de suelo, realizado en laminado epoxi FR4 doble faz PTH, bañado en oro para mayor duración. Produce una tensión de salida analógica cuyo valor aumenta con la conductividad del suelo.

Características:

- Tensión de operación: 3.3 a 5.5 VDC @35mA típico.
- Tensión de salida: aproximadamente 4.2VDC al alimentarlo con 5VDC
- Conexión: Rojo VCC, Negro GND, Azul salida



Figura 15. Sensor humedad en suelo FR4

III.3.iv. Anemómetro

Anemómetro de cazoletas en formato de mano Modelo WH/WS1081. Este modelo aporta un sensible sistema de cazoletas que responde ante mínimas velocidades de corriente de aire.

Características:

- Logger de datos de 100 puntos -
- Sistema de cazoletas sensible -
- Unidad: km/h.



Figura 16. Anemómetro

III.4. Componentes

En esta sección se describen los componentes electrónicos para el módulo de adquisición de datos, los mismo en primera instancia se busca seleccionar un modelo de bajo costo.

III.4.i. Arduino Uno

En la figura 17 se observa el modelo de Arduino que se implementa en la primera etapa en prueba de campo, esta placa es muy utilizada por tener una arquitectura sencilla y de fácil programación. En cuanto a sus ventajas:

- **Software Multiplataforma:** Puede trabajar en todas las plataformas (Mac, Windows, Linux).
- **Bajo Costo.**
- **Entorno de programación simple y directo.**
- **Flexible:** Se pueden añadir shields (módulos) en función del uso que se le vaya a requerir (conexión a Internet, control de motores, etc.)
- **Software ampliable** y de código abierto, bajo licencia Creative Commons.
- **Conexiones de Entrada:** A través de sensores conectados en los pines de entrada, Arduino recibe datos del exterior (entorno)
- **Microcontrolador.**

- **Conexiones de Salida:** Arduino puede conectarse con diversos actuadores (relés, pantallas, motores), y sistemas lógicos como otras placas, ordenadores para obtener respuesta de lo que se necesita.
- **Comunicaciones:** Puertos de comunicación del microcontrolador para conectar con elementos externos.

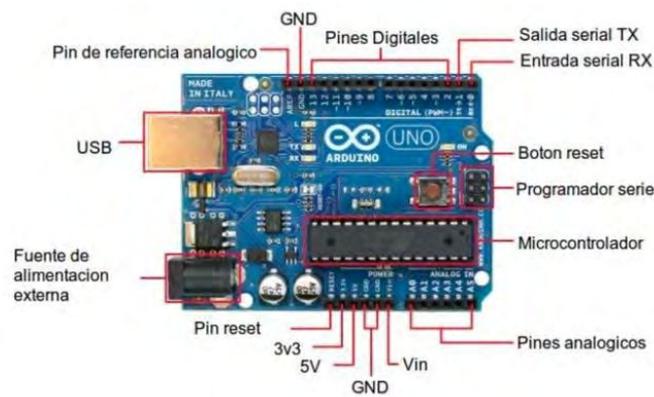


Figura 17. Placa Arduino UNO

III.4.ii. Características técnicas

- | | |
|------------------------------------|---|
| ● Microcontrolador | ATmega328P |
| ● Tensión de funcionamiento | 5V |
| ● Voltaje de entrada (recomendado) | 7-12V |
| ● Voltaje de entrada (limite) | 6-20V |
| ● Digital pines I/O | 14 (de los cuales 6 proporcionan una salida PWM) |
| ● PWM digital pines I/O | 6 |
| ● Pines de entrada analógica | 6 |
| ● Corriente DC por Pin I/O | 20mA |
| ● Corriente DC para Pin 3.3V | 60mA |
| ● Memoria flash | 32KB ATmega328P de los que 0,5 KB son utilizados por el gestor de arranque. |
| ● SRAM | 2KB ATmega328P |
| ● EEPROM | 1KB ATmega328P |
| ● Velocidad de reloj | 16 MHz |
| ● Longitud | 68,6 mm |
| ● Anchura | 53,4 mm |
| ● Peso | 25 g |

III.4.iii. Batería

En la figura 18 se observa el tipo de batería que se utiliza para alimentar el módulo de adquisición de datos, el modelo Vision de 12V y 7 amperes, nos permite tener un rendimiento de 2 días aproximadamente sin que sea recargada, esto nos evita en los casos de días continuos de lluvias no perder el sensado del lote.



Figura 18. Batería CP1270

III.4.iv. Panel solar de 50w

El panel solar está formado por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía lumínica produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

En la figura 19 se observa el panel el panel de 50W el mismo tiene un regulador de tensión que permite generar 15 Amp(Amper) aproximadamente un día soleado completo. Estos tipos de paneles son muy resistentes en condiciones extremas y a su vez de bajo costo.



Figura 19. Panel solar

III.4.v. Pluviómetro lineal

En la figura 20 se puede observar el pluviómetro seleccionado, el mecanismo interior está compuesto de dos tolvas puestas sobre un eje central que a cada gota (1mm) de agua sube y baja.

A raíz de eso tiene un sensor magnético (imán) que cuando pasa por una contacto, genera un pulso (o el cierre del circuito). El pulso pasa a través del cable tipo teléfono con dos polos hasta la ficha RJ11 que se conecta a la central a la place de adquisición



Figura 20. Pluviómetro

III.4.vi. Sensor de nivel hídrico

En la figura 8 se implementa un sensor de nivel hídrico modelo S3, largo del sensor: 300mm. La resistencia máxima es de 240 ohm con el flotante en la parte inferior y su resistencia mínima de 30 ohm si el flotante está en el extremo superior.

En el mercado existen diferentes sensores de niveles de fluidos, pero para este caso en particular se optó por el tipo de medición vertical yo que nos puede dar mejor lectura sobre el lote. En la figura 21 se muestre dicho sensor.



Figura 21. Sensor de nivel de agua

III.5. Arquitectura del nodo de adquisición de datos

El siguiente modelo representa el sistema de adquisición de datos. El Módulo de Arduino Uno (1), se conecta a los sensores (2), el modelo de las funciones las podemos observar en la imagen 12.

Esta arquitectura se basa en un modelo inicial para la toma y recopilación de datos, posee un esquema sencillo y de bajo costo. Las funciones en Arduino Uno están programadas para que se tome una muestra cada 10 minutos y los datos se almacenen en una memoria.

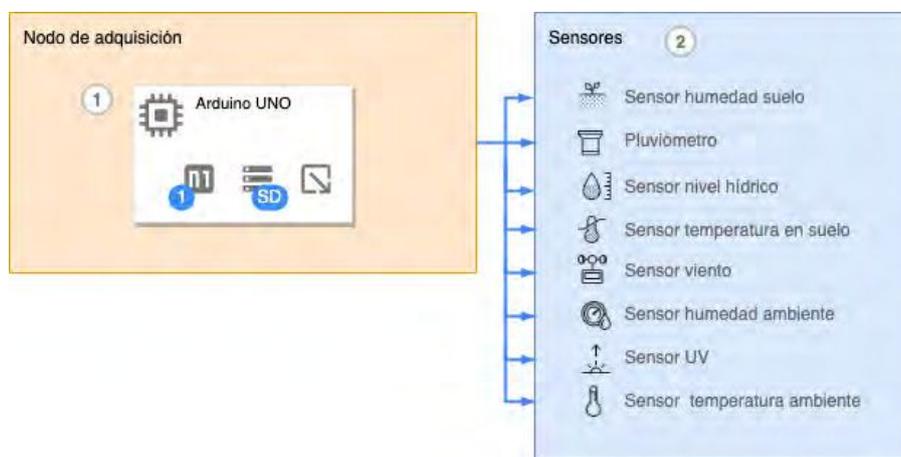


Figura 22. Esquema del modelo implementado para la adquisición de datos

III.5.i Funciones del módulo de adquisición de datos

En este apartado se detallan algunas funciones implementadas en el módulo de adquisición planteado en la primera prueba de campo.

En la figura 23 y 24 se observa las funciones principales de **CentralASD.ino**. Este archivo incluye todas las librerías de implementación de los distintos sensores de módulo de adquisición y la definición de los pines de conexión de los sensores.

```

#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>

#include <EEPROM.h>
#include <TimerOne.h>

#include "ManejoSD.h"
#include "ManejoClock.h"
#include "ManejoSensorTemperatura.h"
// Definimos el pin digital donde se conecta el sensor
#define DHTPIN 4
// Dependiendo del tipo de sensor
#define DHTTYPE DHT22

#define Anemometro 3
#define Pluviometro 2

float fSensorLluvia;
int cViento;
char strSeteado;

```

Figura 23. Librerías de implementación

```

void loop() {

    TiempoUnix = TiempoActualInt(rtc);

    if (TiempoUnix >= (TiempoUnixBase + 600 )) {
        /*Toma de datos temperatura y reloj
        Armado de registro para guardar en SD*/
        TiempoUnixBase = TiempoUnix;
        Dato.dataString = TiempoActual(rtc);

        Dato.sHumedadAmbiente = dht.readHumidity();
        Dato.sTemperaturaAmbiente = dht.readTemperature();;
        Dato.sHumedadSuelo = analogRead(A0);
        Dato.sTemperaturaDS = sensorTemperatura1.getTemperatura().toFloat();
        Dato.sRadiacion= mapfloat(analogRead(A2),200,593,0.0,15.0);
        Dato.sSensorHidricoU = "0.0";
        Dato.sSensorHidricoB = mapfloat(analogRead(A1),496,122,0.0,80.0);
        // Dato.sSensorViento = "";
        Dato.sSensorLluvia = fSensorLluvia;
        EscribirRegistro(Dato);
        Serial.println(Dato.Cadena());
    }
}

float mapfloat( float x, float int_min, float int_max, float out_min, float out_max ) {
    return(x - int_min)*(out_max - out_min) / (int_max - int_min) + out_min;
}

void Tic(){
    // fSensorViento=cViento;
    Dato.sSensorViento=cViento;
    cViento=0;
};

```

Figura 24. Control del Time de los datos

En la función de **TiempoUnix** se define la trama para que se guardada en la SD (memoria externa) de todos los datos recabados de los distintos sensores.

III.5.ii. Clase de la función de Temperatura

En esta sección se detalla la implementación del control de la temperatura, en la figura 25 se observa la clase **SensorDS18B20** de **ManejoSensorTemperatura.h** y se define los tipos de datos de los distintos sensores.

```
#include <OneWire.h> //Se importan las librerías
#include <DallasTemperature.h>

class SensorDS18B20{
public:
    SensorDS18B20(OneWire *oneWire);
    String getTemperatura();
    void InicioDS18B20();
private:
    DallasTemperature sensors;
    OneWire *OneWireBus;
};
```

Figura 25. Función de Temperatura

En la figura 26 se observa la implementación de la clase, donde se establece la comunicación **OneWire** y se inicializa, en este caso el sensor de temperatura para que luego retorne un valor de la medición.

```
#include "ManejoSensorTemperatura.h"

SensorDS18B20::SensorDS18B20(OneWire *oneWire){
    OneWireBus=oneWire;
}

void SensorDS18B20::InicioDS18B20(void){
    //OneWire ourWire(Pin); //Se establece el pin declarado como bus para la comunicación OneWire
    sensors.setOneWire(OneWireBus);
    sensors.begin(); //Se inician los sensores de temperatura
    Serial.println(F("Iniciando oneWire!"));
};

String SensorDS18B20::getTemperatura(){
    String Valor;
    //sensors.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura
    sensors.requestTemperaturesByIndex(0);
    Valor=sensors.getTempCByIndex(0);
    return Valor;
};
```

Figura 26. Clase de Comunicación

CAPÍTULO IV - TESTING Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta apartado se describen y se detallan las pruebas de campo de la primera etapa donde se describen las técnicas de análisis de resultados sobre dichas pruebas.

IV.1. Test case

El equipo se instala en un lote de cultivo de arroz en la región de Ubajay, enmarcada en el polígono con latitud $31^{\circ} 43'58.4''S$, longitud $58^{\circ}23'55.9''W$, lote cedido por INTA seccional Concepción del Uruguay a través de un productor de la zona.

Las muestras se toman desde los día 26/12/2018 al 14/02/2019. En la figura 27 se observa el polígono donde se coloca el módulo de adquisición de datos para la toma de muestras.



Figura 27. Polígono del área de Ubajay

IV.2 Análisis de distribución natural de datos

En esta sección se presenta el análisis se aplica EM (Empeption Maximization) con todas los variables, en estado numérico. Los detalles de este análisis se encuentran en el Apéndice A. El dataset se denomina DATALOG-Cluster-2.arff.

IV.2.i. Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos en la primera prueba de campo, se realiza el análisis estadístico de los mismo utilizando la herramienta Weka©.

En primera instancia se realiza un EM con todos los campos, en estado numérico. Utilizando la siguiente configuración "weka.clusterers.EM -I 100 -N -1 -X 10 -max -1 -ll-cv 1.0E-6 -ll-iter 1.0E-6 -M 1.0E-6 -K 10 -num-slots 1 -S 100" y se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

IV.2.ii. Variables

En esta primera prueba estadística no se descarta ninguna variable de las recolectadas por el sistema. En total son 12 variables: Mes, Día, Hora, Minuto, Humedad Ambiente, Temperatura Ambiente, Humedad Suelo, Temperatura de suelo, Radiación UV, Sensor nivel hídrico, Anemómetro, Pluviómetro. No se descarta ningún valor del dataset.

IV.2.iii. Agrupaciones

De la aplicación de EM se obtienen dos agrupaciones naturales de datos, a saber:

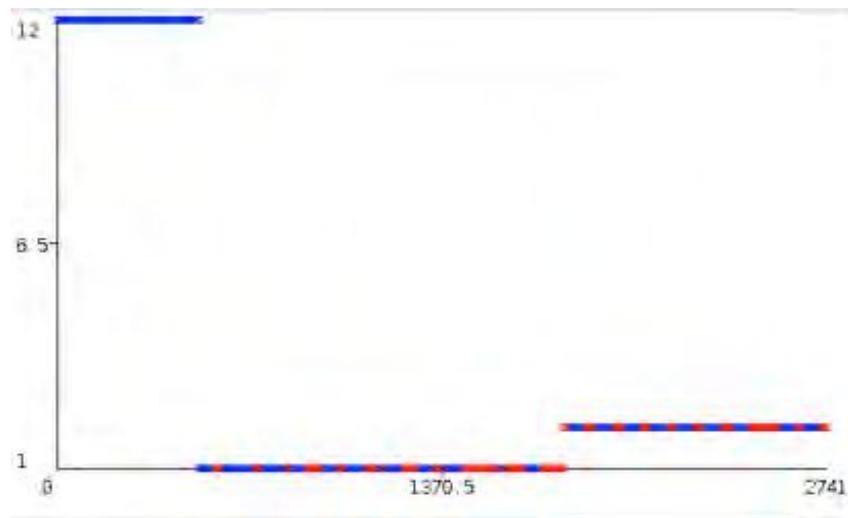


Figura 28. Cluster 0 (Fuente: Weka – Clustering)

En la figura 28 se observa perfectamente la asignación completa de cluster 0 (azul) al mes 12, y el cluster 1 (rojo) intermitentemente al mes 1 y 2. Esto indica que el comportamiento de diciembre tiene ciertas características especiales.

En la figura 29 la distribución de meses se confirma el mismo hallazgo y en la de horas se evidencia el tipo de característica:

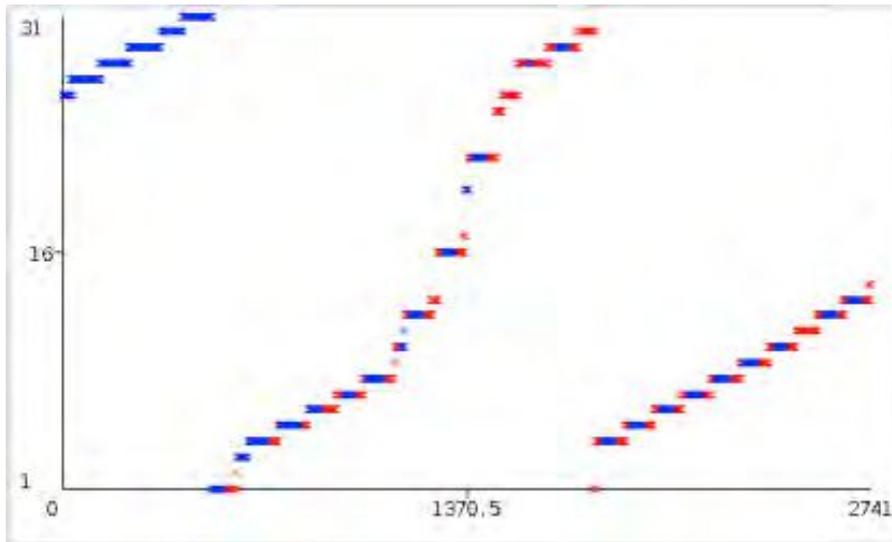


Figura 29. Distribución de meses (Source: Weka)

Hay días enteros donde el cluster 0 están en azul, pero no es tan típico ver un día completo en rojo. Los que existen pertenecen a febrero. La distribución sugiere un equilibrio distinto de humedad/clima para cluster 0 que para cluster 1. Para evidenciar el tipo de equilibrio de cada cluster se estudia el eigenvector de cada uno:

IV.2.iv. Confirmación empírica

Se confirma el juego de desequilibrio en la distribución de humedad ambiente por día.

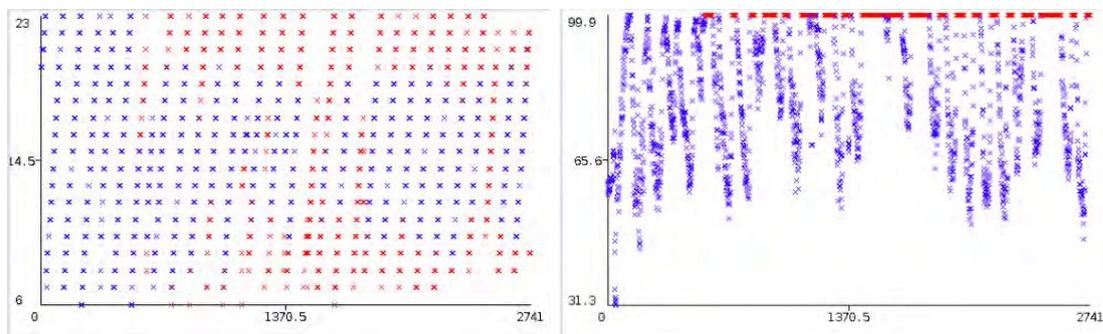


Figura 30. Desequilibrio de humedad ambiente (Source: Weka)

se observa distribución de clusters rojos (momentos de exceso de agua) solo después de los registros de diciembre.

Los indicadores de humedad caen hasta niveles muy bajos en los clusters azules. Típicamente los clusters rojos (cluster 1) aparecen siempre con niveles cercanos al 100% de humedad (probablemente lluvia).

Adicionalmente se puede ver en la figura 31 al cluster en la gráfica de distribución de temperatura por día:

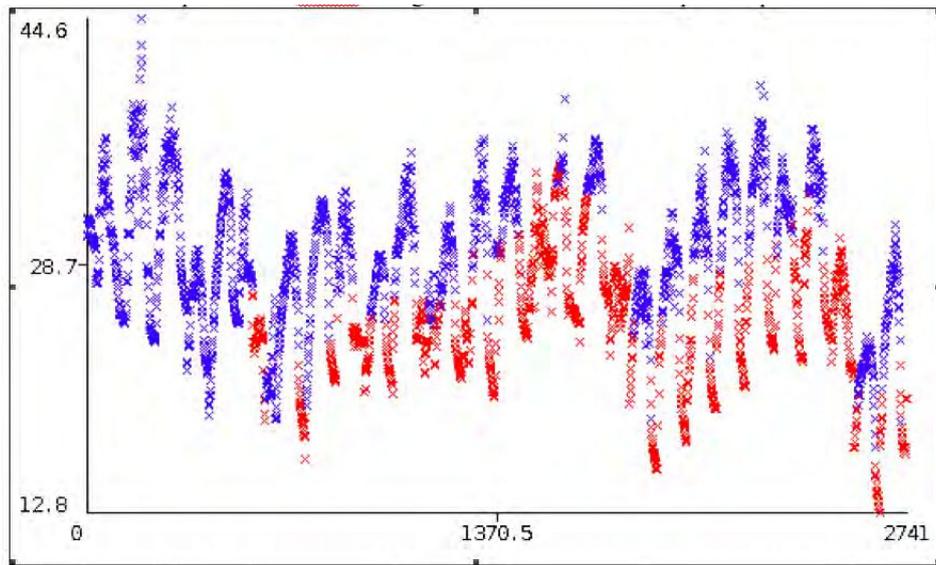


Figura 31. Desequilibrio de temperatura ambiente (Source: Weka)

indicando que el cluster rojo no corresponde siquiera a los momentos de mayor temperatura sino aquellos días que suceden a gran temperatura y humedad.

En la relación siguiente se puede apreciar que existe una ligera correlación entre Temp. Suelo (Y) con la del ambiente (X):

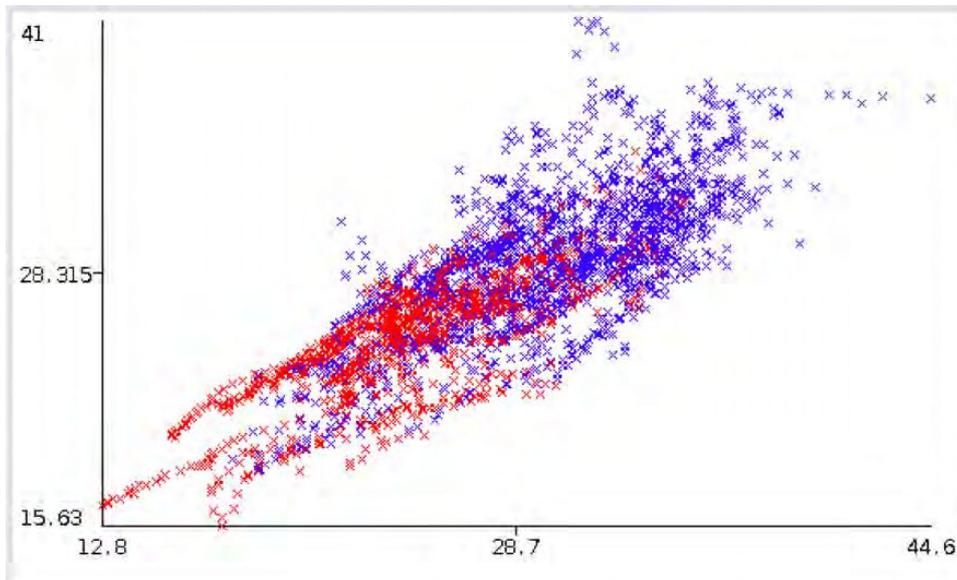


Figura 32. Correlación entre Temp. Suelo y ambiente (Source: Weka)

Pero los clusters están mezclados en la nube, por lo que no están indicando esta relación sino otra que sí es atribuible a la relación de humedad con nivel de temperatura.

IV.3. Análisis del resultado

En esta sección se detalla los resultados de los análisis de las observaciones.

Observando las gráficas parecería que:

- La distribución de clusters no indica relación de T° ambiente y T° suelo
- La distribución discrimina días posteriores a altas temperaturas con gran humedad
- La distribución no relaciona humedad ambiente y humedad suelo
- La distribución no relaciona T° con humedad
- La distribución de clusters muestra una clara distinción entre exceso / no exceso de agua:

- El cluster rojo distingue horarios lejanos a los de máxima radiación, con mucha humedad ambiente, típica con las temperaturas más bajas.

Observando las medias y SD de las variables parecería que en los clusters:

- No incide el nivel de pluviómetro (ver confirmación en gráfica)
- No incide el nivel de Anemómetro
- No incide la temperatura ambiente
- Sí incide el nivel hídrico (mínimo en cluster rojo)
- Sí incide el nivel de radiación (mínimo en cluster rojo)
- Sí incide el nivel de temperatura en suelo (mínimo en cluster rojo)
- Temperatura ambiente (menor en cluster rojo)
- Humedad ambiente (es más alta en cluster rojo)
- Los horarios del cluster rojo son más tarde
- Las fechas corresponden más hacia febrero

Se puede notar que la distribución de humedad en rangos de humedad alta son similares pero distingue al cluster rojo la notable inferioridad en la cantidad de registros con nivel de humedad en suelo bajos.

Por lo anterior, el EM ha detectado un comportamiento de equilibrio hídrico entre nivel de humedad entorno respecto a cantidad de agua en suelo, siendo los cluster rojo los que representan momentos de mayor humedad del entorno pero no en suelo. Pareciera estar confirmando que la lectura de nivel hídrico no alcanza a establecer la necesidad de riego a tiempo.

Finalmente si se observa la gráfica de distribuciones de Humedad Suelo:

Tabla VII. Distribución humedad en suelo

rango-inf	cota-sup	promedio	etiqueta
-----------	----------	----------	----------

'(-inf-291.75]'	685.5019	391.4981	azul
'(291.75-535.5]'	816.0633	483.9367	rojo
'(535.5-779.25]'	147.8226	161.1774	turquesa
'(779.25-inf)'	54	10	verde
[total]	1703.3877	1046.6123	

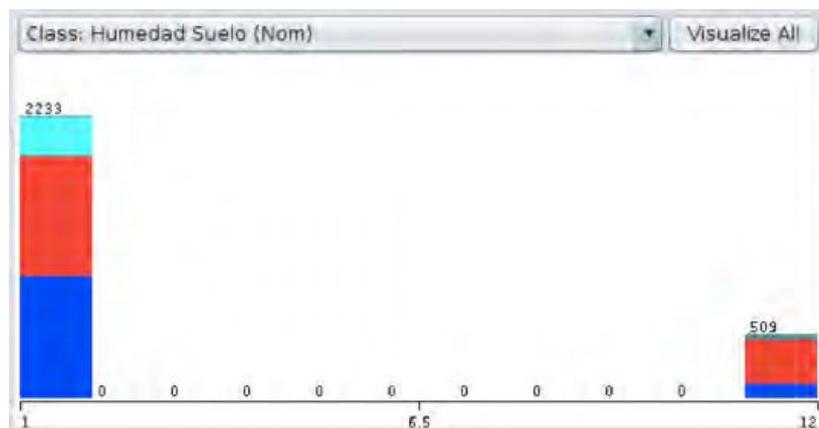


Figura 33. Clase de humedad en suelo (Source: Weka)

(x=humedad en suelo , colores= nivel hídrico).

La gráfica que muestra claramente que el sensor de nivel hídrico no alcanza a discriminar si el nivel de humedad está bajo a tiempo (ver que hay días plenos en azul y rojo donde se necesita más riego).

Esto se puede deber a que la reacción a los cambios de relación entre los distintos factores climáticos en el suelo sea demasiado lenta.

A partir de las gráficas de variación de humedad por minutos, se confirma que la velocidad de reacción ideal está afectando al nivel de sequedad, (X=humedad suelo, Y= horas) .

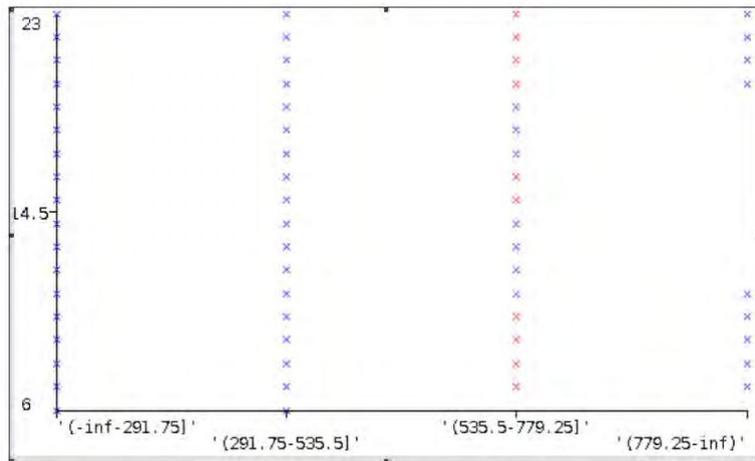


Figura 34. Variación de humedad por minutos (Source: Weka)

para saber que estaría rondando los 15 minutos, se evalúan las horas y minutos,

Tabla VIII. Distribución humedad en suelo

Hora			Minuto		
mean	14.5428	16.1289	mean	30.1595	30.467
std. dev.	3.7303	5.5624	std. dev.	17.2321	17.4

donde la diferencia entre clusters no es significativa indicando horario promedio entre ambos clusters es 15 hs 34 min. (el horario de mayor exigencia de humedad), y en la cantidad de minutos de ambos tampoco da diferencia significativa con un promedio de 30.31 min con desvío de aprox 17.3 minutos cada una.

De lo anterior podría decirse que la reacción mínimamente obedecerá al orden de los 13h 1' para que se ajuste a las variaciones más rápidas.

Durante el experimento los cambios se realizaban cada (10min) vcon un total de 1539 horas, teniendo en cuenta el fallo de la batería que tomaba datos hasta las 23hs y retoma el sensado a las 6 hs, aproximadamente, lo que podría estar provocando reacciones tardías, reflejadas en la aparición de estos clusters.

IV.3.ii. Calidad del resultado

El Log likelihood: -32.42881 valor que se toma como referencia para analizar el comportamiento de los modelos obtenidos con los avances posteriores.

IV.4. Estudio estadístico de los clusters

En esta sección se describen y detallan los análisis y conclusiones sobre el dataset de datos de la primera campaña del cultivo.

IV.4.i Análisis de Krustall Wallis del dataset original

Se toman las distribuciones originales y se hace una prueba de análisis de varianza no paramétrica suponiendo dos muestras, con variable dependiente en nivel de humedad en suelo y se obtiene que 'Humedad Suelo' , 'Sensor nivel hídrico', 'Pluviómetro' son significativos (ver apéndice B)

NOTA: se descarta mes y día, para que se evalúe sólo el comportamiento de los parámetros relacionados con sensores en función de hora y minuto.

IV.4.ii. Análisis de Krustall Wallis del dataset en base a los clusters

Se repite con variable de clasificación en el cluster (0 o 1) (ver detalles en apéndice C) y se obtiene un resultado similar en el cual los clusters son vistos como diferentes por 'Hora', 'Humedad Suelo' y 'Pluviómetro'.

En el proceso de discriminación de ambos clusters, estadísticamente el modelo de prueba de regresión no paramétrico no alcanzó a detectar que las diferencias sean significativas en nivel hídrico pero sí en la Hora en que se está midiendo.

IV.4.iii. Conclusiones del análisis estadístico

Se ha mostrado estadísticamente que ambos clusters representan comportamientos diferentes en cuanto a la relación entre sensores relacionados con humedad/ agua en suelo y lluvia.

De los resultados detallados de los apéndices A se puede determinar que: en el cluster 0 el nivel de pluviómetro y de humedad en suelo son típicamente inferiores.

Los resultados estadísticos parecen no alcanzar a determinar las otras características detectadas por el modelo EM con mayor sesgo de inferencia, por lo que a priori se puede afirmar que los comportamientos son distintos pero deben ser confirmados algunas de sus características con mayor datos de testing que permitan confirmar los hallazgos preliminares.

IV.4.iv. Reglas j48

En el siguiente apartado obtenemos los resultados de la regla j48, obtenida por Weka.

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2

Relatlog:DATALOG-Ubajay-completo_con_coma-

weka.filters.unsupervised.attribute.Discretize-B4-M-1.0-R4-precision6-

weka.filters.unsupervised.attribute.Remove-R10

Instances: 2742

Attributes: 11

- Mes
- Días
- Hora
- Minuto
- Humedad Ambiente
- Temperatura Ambiente
- Humedad Suelo
- Temperatura de suelo
- Radiación UV
- Anemómetro
- Pluviómetro

Test mode: evaluate on training data

IV.4.vi. Reglas basadas en horas y minutos

Debido a la falta de información histórica sobre las condiciones climáticas en la región, no fue posible validar la información con referencias externas.

Por lo tanto, el modelo se toma como información previa. Afecta principalmente el procesamiento de la radiación ultravioleta y sus efectos sobre las condiciones, transmitiendo así el modelo en las variables más sesgadas Hora y Minuto.

En el apéndice B, sección B.II se pueden observar las tablas y los árboles de resultados. Donde se muestra los rangos de variables originales y las relaciones donde cada entrada representa una rama en el árbol J48 y, por lo tanto, una regla y un patrón potencial para el sistema armónico predictivo (HS).

IV.5. Reglas resultante

En el siguiente apartado se obtiene las siguientes reglas resultantes utilizadas por el HS como se puede apreciar en la tabla IX:

Tabla IX. Reglas resultantes

Reglas - Lote 1	THEN ALERT
IF TIME <=8 AND Ambient_Temperature >25.9 AND Water_Level <=9.63 AND UV_Radiation <= 0.11 AND Anemometer >13	Low_Water_Level
IF TIME <=8 AND Ambient_Temperature >25.9 AND Water_Level <=9.63 AND UV_Radiation <= 0.11 AND Anemometer >13	Low_Water_Level
IF TIME <=10 AND Ambient_Temperature <=90.9 AND Water_Level >0.23 AND Soil_Temperature <=28.25	Low_Water_Level
IF TIME >11 AND Ambient_Humidity >98.6 AND Ambient_Temperature >28 AND Soil_Temperature > 25.5 AND Anemometer >8	Low_Water_Level
IF TIME >=16 AND Ambient_Humidity >81.2 AND Ambient_Temperature >27.2 AND Water_Level <=0.0 AND Soil_Temperature >26.25 AND UV_Radiation > 4.66 AND Anemometer >9	Low_Water_Level
IF TIME >16 AND Ambient_Humidity > 60.8 AND Ambient_Temperature <=22.3 AND Water_Level >9.2 AND Soil_Temperature <=28.94 AND Anemometer <=20 THEN	Low_Water_Level
IF TIME >16 AND Ambient_Temperature >34 AND Water_Level >21.39	Medium_Water_Level
IF TIME >18 AND Low_Water_Level >97.6 AND Ambient_Temperature <= 32.9 AND Water_Level >21.82 AND Soil_Temperature >26.19	Low_Water_Level
IF TIME >=21 AND Soil_Temperature >19.88	Medium_Water_Level

IV.6. Análisis preliminar

En esta primera muestra presenta una prueba de campo preliminar con la primera estación meteorológica como un módulo de adquisición de Kronos Agro para cultivos de arroz.

Se obtiene un conjunto de datos inicial y se analiza estadísticamente.

Las primeras reglas para HS se derivan luego de la determinación de las variables relevantes de la prueba.

Estas variables se procesan con un árbol de inducción J48 para predecir el estrés hídrico basado en un conjunto de variables reducido y simplificado.

IV.6.i. Hallazgos

Los primeros hallazgos indican que:

- la tasa de muestreo debe reducirse drásticamente de forma diaria a 15 minutos.
- que la radiación se puede tomar con UV dando resultados similares a los de los documentos clásicos del campo donde se considera la radiación global.
- que existe una simple combinación de suelo / temperatura ambiente que puede usarse para predecir el estrés hídrico (las reglas detalladas de predicción se encuentran en la Tabla 10).

V.6.ii. Mejoras

Hay ciertas mejoras electrónicas pendientes, como la batería que en la primera campaña se detectaron fallos, a futuro se considera un cambio de la misma para obtener una compilación de datos completa durante todo el día.

A su vez, el sensor UV debe compararse en rendimiento para el modelo con otros sensores de radiación, un módulo de comunicación GPRS / 3G para enviar datos en tiempo real y un sensor PH para completar los parámetros para la segunda campaña de cultivo.

IV.6.iii Análisis de reglas

Desde el primer conjunto de reglas, los patrones obtenidos deben ser probados contra los mismos conjuntos de datos. Además, las variables se fuzzifican para incluirlas en los patrones difusos y podrán procesarse también con Fuzzy Harmonic Systems (FHS).

CAPÍTULO V – PROTOTIPO Y ARQUITECTURA II

V.1 Materiales y Métodos

En es siguiente capítulo se aborda la segunda prueba de campo. En el prototipo, se realizan ciertos cambios para obtener mayor precisión en ciertas variables a medir, como ser, la humedad en suelo, siendo que, en la versión anterior del modelo se utiliza un sensor de bajo costo, eso deja como resultado tener menor resolución en las mediciones.

Se incorpora también, un sensor de PH y un sensor de radiación global, en el caso del sensor de PH, se busca obtener datos que puedan ser relevantes para el riego, en el caso del sensor de radiación global, es una medición que se utiliza para obtener todos los espectros de radiación en el cultivo.

V.1.i. Sensor ECH2O de humedad de suelo

En la figura 35 se observa el nuevo sensor que se incorporó al prototipo, el mismo es un sensor de alta precisión que es muy utilizado por los expertos, ya sea en pruebas de laboratorio como en campo.

Marca: DECAgon,

Modelo: EC-5.



Figura 35. Sensor de humedad en suelo

V.1.ii Sensor de PH

En la figura 36 se observa el sensor de PH que también fue incorporado en esta segunda etapa para obtener datos que puedan ser relevantes para el modelo planteado.

Se detalla los datos del sensor:

- Marca: Atlas Scientific
- Especificaciones de fabricante
- **Plata / silver chloride**
 - **Lectura: ph**

- **Rango:** 0 – 14
- **Respuesta de tiempo:** 95% in 1s
- **Max pressure:** 100 PSI
- **Rango de temperatura:** 1 – 99 °C
- **Tiempo de recalibración:** ~1 Year



Figura 36. Sensor de PH

El sensor de PH se calibra en el laboratorio de química, perteneciente a la Facultad de Ciencia y Tecnología, se utilizaron los reactivos de PH1, PH2 y PH3 como recomienda el fabricante.

V.1.iii - Placa Arduino Mega 2360

En la figura 37, se observa el modelo de Arduino Mega 2360, esta placa reemplaza al modelo Arduino Uno utilizado en la prueba de campo I, este tipo de placa permite tener más entradas y salidas para poder incorporar nuevos sensores como así también un shield de comunicaciones GPRS para la transmisión de datos.

Se detalla los datos de la placa:

- Procesador: ATmega2560
- Voltaje de operación: 7V-12V
- Entradas/Salidas Digitales: 54 (14 programables como salidas PWM)
- Entradas Analógicas: 16
- Capacidad de corriente por pin: 40mA
- Memoria Flash: 256kB (4kB son empleados por el bootloader arduino)
- Memoria RAM: 8kB
- Memoria EEPROM: 4kB
- Velocidad de Clock: 16Mhz

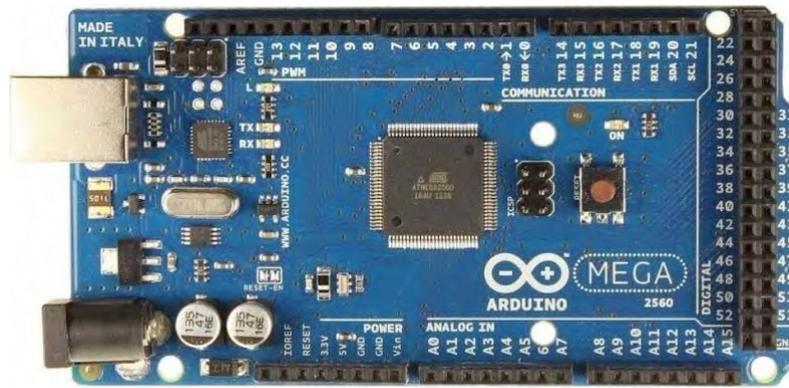


Figura 37. Placa de Arduino Mega 2560

V.1.iv. Shield de comunicaciones GPRS SIM 900

En la figura 38 se puede observar el módulo de comunicación SIM900, este módulo permite la conexión y transmisión de datos. Éste, se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz serial y comandos AT.

El SIM900 tiene un stack TCP/IP incluido, por lo que realizar aplicaciones que involucran comunicaciones a través de internet es más sencillo y todas las operaciones con sockets se realizan mediante comandos AT dedicados, el módulo también soporta las 4 bandas de frecuencias internacionales de GSM, lo que garantiza la compatibilidad del dispositivo con la mayoría de los operadores de telefonía a nivel global.



Figura 38. SIM900

V.1.v. Placa doble de diseño de circuito impreso

En la figura 39 se observa el diseño de la placa para el montaje de los componentes y la placa de Arduino Mega, de esta forma se trata de aislar la electrónica del shield.

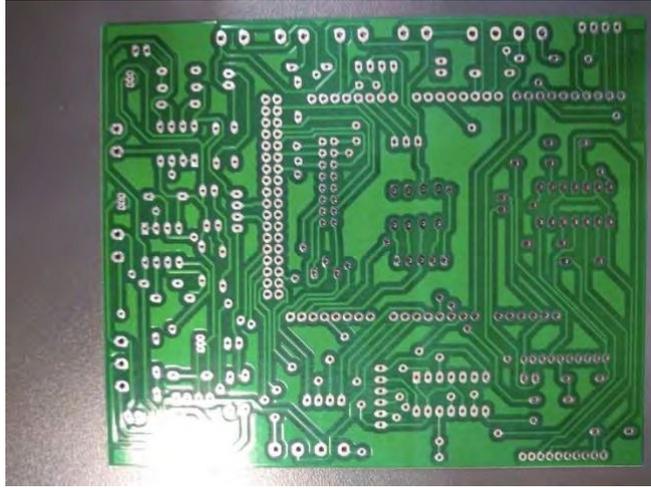


Figura 39. Placa doble faz para el montaje del Arduino y el SIM 900

En la figura 40, se observa el equipo finalizado con todos sus componentes montados



Figura 40. Pruebas de laboratorio del sistema de adquisición de datos. (IDTILAB FCyT)

V.2. Área de prueba de campo para la etapa II

En la figura 41 se observa el mapa del lote a monitorear, el mismo se encuentra ubicado en la seccional experimental de INTA Concepción del Uruguay.

Su tamaño es de 1 Ha, ubicado en las coordenadas $32^{\circ}30'17.55''$ S , $58^{\circ}22'24,50''$ O.



Figura 41. Lote experimental INTA Concepción del Uruguay

V.2.i Esquema de adquisición de datos y microservicios

En la esquema del prototipo de la etapa I, se desarrolla un modelo para poder adquirir datos y luego poder procesar esos datos para detectar ciertos patrones.

En el siguiente esquema, se presenta el modelo de adquisición de datos y los microservicios para generar los endpoint y la persistencia de los datos.

En (1) el nodo de adquisición del modelo prototipo con las modificaciones anteriormente mencionadas.

En (2) el nodo tiene una comunicación GPRS con la plataforma MQTT® para el broker de mensajes del sistema de adquisición de datos.

En (3) corre un microservicio de endpoint basados en NODEJS®, cada 15 minutos se ejecuta un request al broker de MQTT®.

En (4) la trama es persistida en Google Cloud Firestore.

En (5) se puede monitorear y extraer la data en el el sistema monitor de KRONOS.Agro.

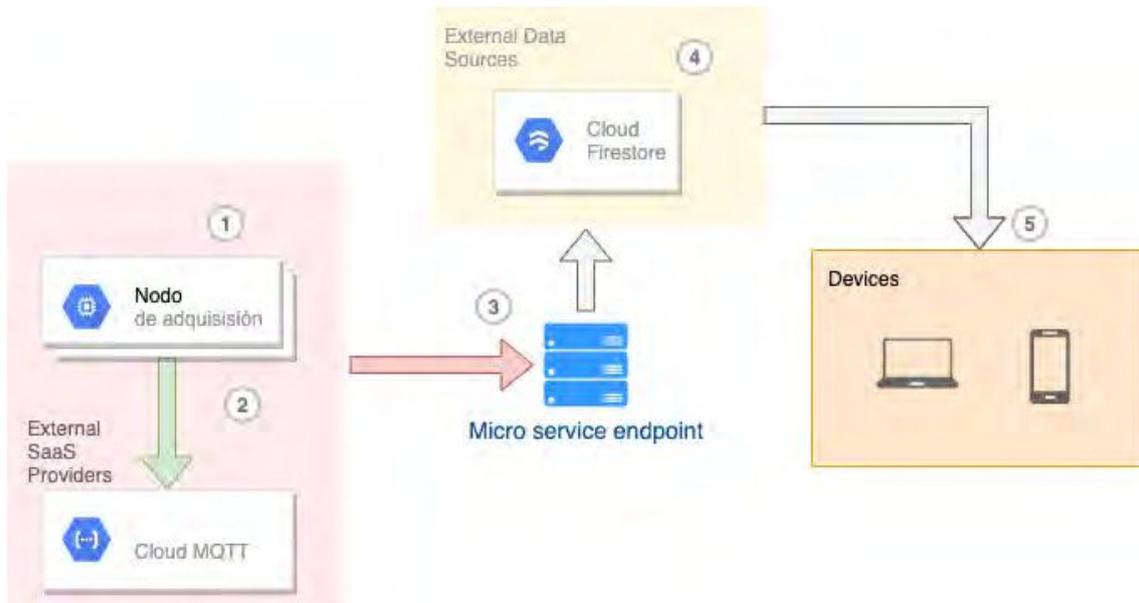


Figura 42. Arquitectura del modelo D1

V.2.ii. Sistema de conexión y servicios

Para la conexión inalámbrica se emplea MQTT, protocolo de conectividad máquina a máquina (M2M). Se focaliza en el transporte de mensajes de publicación y suscripciones.

Su utilidad diferencial radica en su capacidad para mantener conexiones con ubicaciones remotas bajo condiciones extremas de conectividad. En el caso de las campañas, se requiere un ancho de banda en situación de bajas tasas de transferencia de datos.

En la Figura 43 se observa una pantalla de consola que monitorea el servicio. Se aprecia el detalle de un tramo donde se conecta el log de comunicaciones durante uno de los intercambios con el módulo de adquisición de datos, las peticiones del endpoint (punto remoto) se realizan cada 20 minutos.

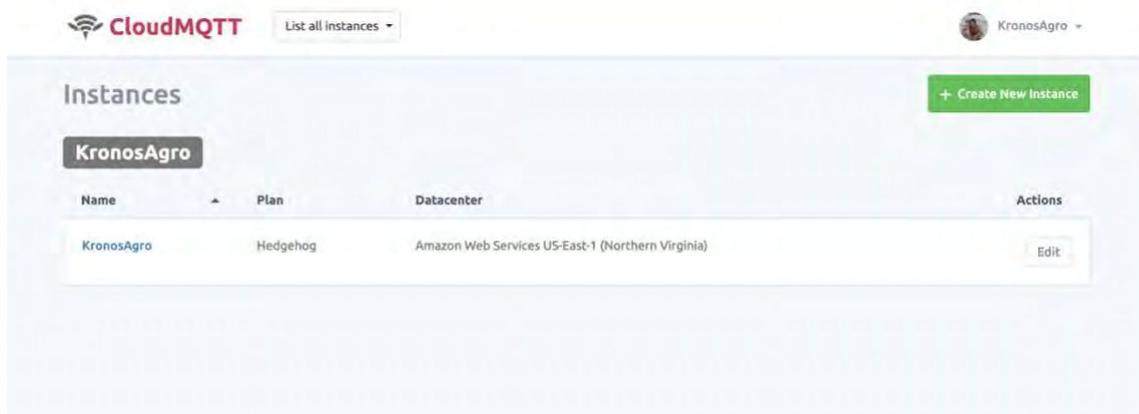


Figura 43. Dashboard cuenta MQTT

En la figura 44 se puede observar el log de comunicaciones transmitiendo con el módulo de adquisición de datos.

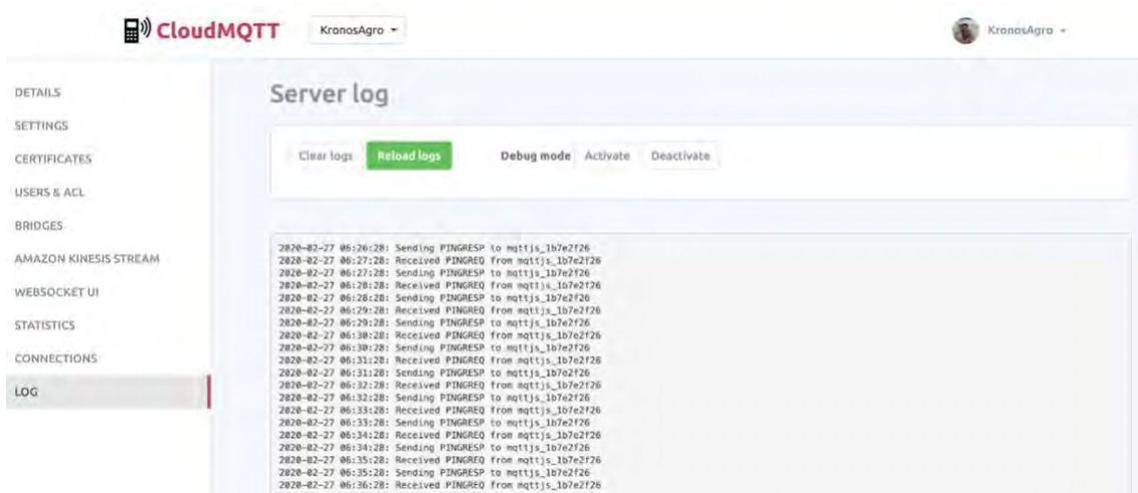


Figura 44. Dashboard cuenta MQTT LOG de comunicaciones

V 2.iii. Funcionamiento del Microservicio del Punto Remoto

Un microservicio (unidad funcional concreta e independiente que trabaja para ofrecer una operación extendida a alguna aplicación) se ocupa de hacer la conexión con el módulo de adquisición de datos.

El código emplea tecnología NODEJS®, librería para protocolos http, con Express® (plataforma minimalista que facilita su uso) y MQTT para la conexión al broker (software intermediario de usuario y recursos, ya sea físicos o virtuales). Las librerías usadas son Express, MQTT, y Firebase-admin que provee conexión a la Base de Datos.

Se inicializa *admin* y se les pasan las credenciales para Firestore.

El prototipo emplea los siguientes métodos:

- *process.env.CLOUDMQTT_URL*, para enrutar al local host
- *process.env.CLOUDMQTT_TOPIC*, para procesar el tópic de la transferencia
- *MQTT.connect*, para controlar el objeto “options”

Además, se emplean funciones de *port*, *username*, *password* y del *host*, donde se encuentra el broker del tópic en MQTT. Los datos son tomados cada 15 minutos desde el módulo de adquisición, con la función del temporizador o *timer*.

El método *client.subscribe* contiene una función *client.on*, que se pasa por parámetro a *msg*. Ésta recibe una estructura de objetos JSON® (acrónimo de JavaScript Object Notation, o Notación de objeto de JavaScript), con todos los valores de las variables a sensor por el módulo de adquisición de datos.

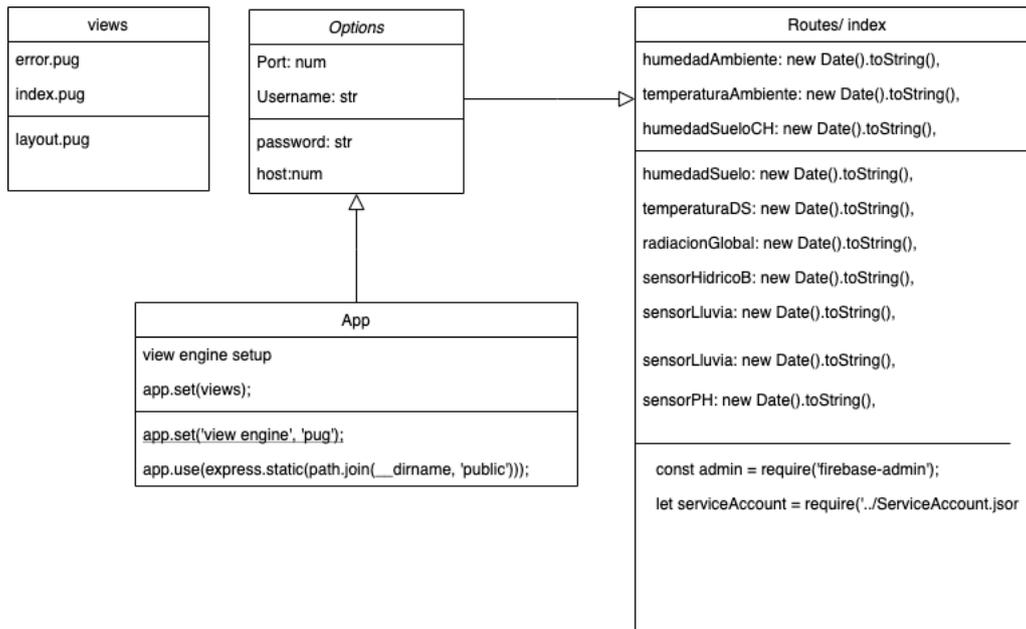


Figura 45. Modelo microservicios

```

const express = require('express');
const mqtt = require('mqtt');
const router = express.Router();
const url = require('url');

// Firestore
const admin = require('firebase-admin');
let serviceAccount = require("../ServiceAccount.json");

admin.initializeApp({
  credential: admin.credential.cert(serviceAccount)
});

let options = {
  port: 18034,
  username: 'aeipsxwh',
  password: 'VMjFpHVU8CJp',
  host: 'tailor.cloudmqtt.com'
}

const mqtt_url = process.env.CLOUDMQTT_URL || 'mqtt://localhost:18034';
const topic = process.env.CLOUDMQTT_TOPIC || '/nodoCentral/Trama';
const client = mqtt.connect(options);
  
```

Figura 46. Importación de las librerías de conexión

V.2.iv. Función para la toma de datos

Los datos son tomados cada 20 minutos desde el módulo de adquisición, la función que se ocupa de las peticiones lo podemos ver en la figura 47, la función del timer.

```

71 // Timer para traer la data cada 20 seg
72 var timer = setInterval(function() {
73     res.write('event: ping' + '\n\n');
74 }, 20000);
75
76
77 client.subscribe(topic, function() {
78     client.on('message', function(topic, msg, pkt) {
79
80         let json = JSON.parse( msg);
81         //res.write("data: " + json.dataString + " - " + json.humedadAmbiente + "; " + json.msg + "\n\n");
82         res.write("data: " + json.dataString + " - Humedad Ambiente: "
83 + json.humedadAmbiente + " - Temperatura ambiente: "
84 + json.temperaturaAmbiente + " - Humedad suelo CH "
85 + json.humedadSueloCH + " Humedad suelo C3: "
86 + json.humedadSuelo + " - Temperatura suelo: "
87 + json.temperaturaDS + " - Radiacion UV: "
88 + json.radiacionV + " - Radiacion global: "
89 + json.radiacionGlobal + " - Sensor hidrico: "
90 + json.sensorHidricoB + " - Sensor viento: "
91 + json.sensorViento + " - Sensor lluvia: "
92 + json.sensorLluvia + " - Sensor PH: "
93 + json.sensorPH + " - " + json.msg + "\n\n");
94         console.log(json);
95     });
96 });

```

Figura 47. Timer de tiempo y funciones de lectura

El método **client.subscribe** contiene una función **client.on**, a la cual se pasa por parámetros a **msg**, que recibe una estructura de objetos JSON con todos los valores de las variables a sensor por el módulo de adquisición de datos.

V.2.v. Persistencia de datos

La persistencia de datos se realiza en Cloud Firestore[®], servicio SAAS (Software as a service). Firestore es una Base de Datos del tipo NSQL, flexible, escalable, la cual permite sincronizar datos del lado del cliente como también del lado del servidor.

La conexión se realiza con el microservicio *Kenobi-MQTT-see* y la persistencia de los datos en Firestore bajo el nombre del proyecto como **poligonolnta**.

La colección se determina bajo el nombre de **polygonDataModule**, la misma contiene todos los documentos de las muestras recolectadas desde el módulo hacia el broker MQTT y de ahí hacia la Base de Datos.

Los documentos tienen una clave única generada por Firestore de manera automática, y cada documento contiene la data con la referencia **msg**.

En la figura 48 podemos observar la conexión del microservicio *Kenobi-mqtt-see* y la persistencia de los datos en Firestore bajo el nombre del proyecto como **poligonolnta**.

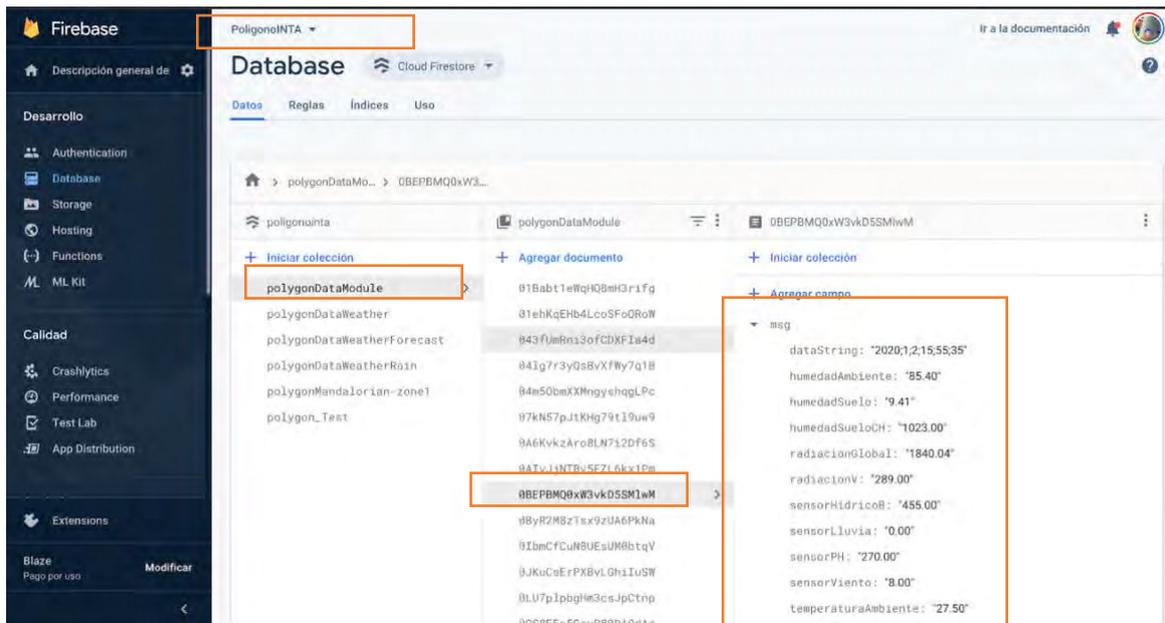


Figura 48. Dashboard de la plataforma de Firestore

V.2.vi. Funciones del módulo de adquisición

En esta sección se detallan las funciones que implementan las modificaciones para la segunda prueba de campo, con sus variaciones y cambios en sensores. En la figura 49 podemos observar la función *manejoSensores.h* para la implementación del control de datos.

```
C manejoSensores.h
5  #include <DallasTemperature.h>
6  #include <OneWire.h>
7
8  #include <EEPROM.h>
9  #include <TimerOne.h>
10 #include <SoftwareSerial.h>
11 #include "ManejoSD.h"
12 #include "ManejoClock.h"
13 #include "ManejoSensorTemperatura.h"
14
15
16 #ifndef _MANEJOSENSORES
17 #define _MANEJOSENSORES
18 // Definimos el pin digital donde se conecta el sensor
19 #define DHTPIN 6
20 // Dependiendo del tipo de sensor
21 #define DHTTYPE DHT22
22
23 #define Anemometro 18
24 #define Pluviometro 19
25 #define CS_SD 53
26 #define RFM95_CS 49
27 #define SensorHumedadCH A4 |
28 #define SensorRadiacionGlobal A1
29 #define SensorPH A2
30 #define ActivacionSensorH 23
31 #define SensorHumedad A3
32 #define SensorHidrico A0
33 #define SensorRadiacionV A6
34
35 boolean tiempoMedicion(uint16_t Ts);
36 void inicioSensores();
37 String medicionSensores();
38 float mapfloat( float x, float int_min, float int_max, float out_min, float out_max );
39 void Tic();
40 void MedirViento();
41 void MedirLluvia();
```

Figura 49. Definiciones de los distintos sensores para implementación

En la figura 50 se observa la importación y se inicializan los distintos sensores.

```
G+ manejoSensores.cpp
1  #include "manejoSensores.h"
2  SoftwareSerial MySerial(8, 9); // RX, TX
3
4  float fHumedadAmbiente=20.0;
5  float fHumedadSuelo=20.0;
6  float fHumedadSueloCH=20.0;
7  float fTemperaturaAmbiente=25.0;
8  float fTemperaturaDS=25.0;
9  float fRadiacionV=0.0;
10 float fRadiacionGlobal=0.0;
11 float fSensorHidricoB=0.0;;
12 float fSensorViento=0.0;
13 float fSensorLluvia=0.0;
14 float fSensorPH=7.0;
15 int cViento;
16 uint32_t TiempoUnixBase =0;
17 uint32_t TiempoUnix=0;
18 Registro Dato;
19
20 // Inicializamos el sensor DHT11
21 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
22 RTC_DS3231 rtc;
23 OneWire ourWire1(5);
24 SensorDS18B20 sensorTemperatura1(8ourWire1);
25 void inicioSensores(){
26     pinMode(CS_SD, OUTPUT);
27     digitalWrite(CS_SD, HIGH);
28     pinMode(RFM95_CS, OUTPUT);
29     digitalWrite(RFM95_CS, HIGH);
30     pinMode(ActivacionSensorH, OUTPUT);
31     digitalWrite(ActivacionSensorH, LOW);
32     Serial.begin(9600);
33     Timer1.initialize(1000000);
34     Timer1.attachInterrupt(Tic) ;
35     pinMode(Anemometro, INPUT_PULLUP);
36     pinMode(Pluviometro, INPUT_PULLUP);
37     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Anemometro), MedirViento, FALLING);
38     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(Pluviometro), MedirLluvia, FALLING);
39     dht.begin();
40 }
```

Figura 50. Importación e inicialización de sensores

Puede un mayor detalle, la implementación completa del módulo se encuentra en el repositorio de GitHub® en el siguiente link: <https://github.com/erneledesma/EstacionTTMega> como se observa en la Figura 51.

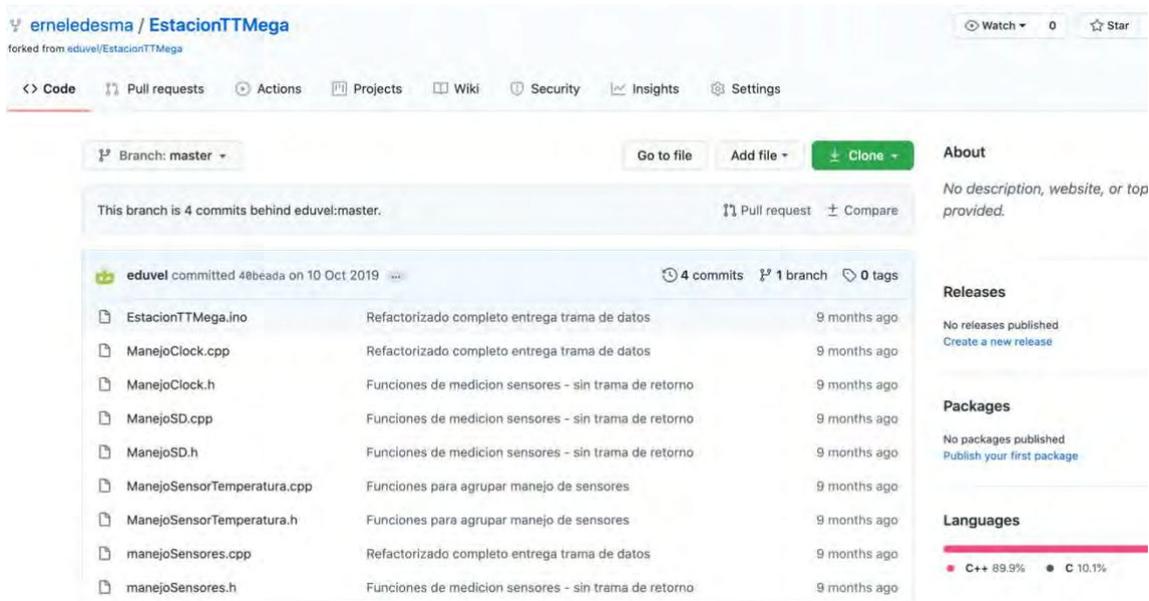


Figura 51. Repositorio estación TTMega

V.3. Resultados campaña II

En esta sección se describe y se detalla los resultados de la segunda campaña en donde se describen los análisis y métodos aplicados.

V.3.i. Análisis de distribución natural de datos

En este apartado se analizan los datos obtenidos de la segunda prueba de campo. EM con todos los tipos de datos en nominal. Los detalles de este análisis se encuentran en el Apéndice C. El dataset se denomina DATALOG-Cluster-INTA.csv

V.3.ii. Análisis estadístico

Se realiza el análisis estadístico de los mismo utilizando la herramienta Weka@[68]. En primera instancia se realiza un Expectation Maximization con los campos, en estado numérico. Utilizando la siguiente configuración en Weka®, se implementan dos cluster a saber y se obtienen los resultados que se presentan a continuación.

V.3.iii. Variables

En esta segunda prueba estadística se descarta la variable de Radiación ultravioleta y se reemplaza por radiación global, debido a que se busca mejorar la precisión en el sentido.

Las muestras recolectadas por el sistema suman 14 variables. Mes, Días, Hora, Minuto, Humedad Ambiente, Temperatura Ambiente, Humedad Suelo, Temperatura de suelo, Radiación Global, Sensor nivel hídrico, Anemómetro, Pluviómetro, y PH.

V.3.iv. Clusters

En la figura 52 la distribución de meses se confirma que la mayor concentración de riego se da en el período de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero.

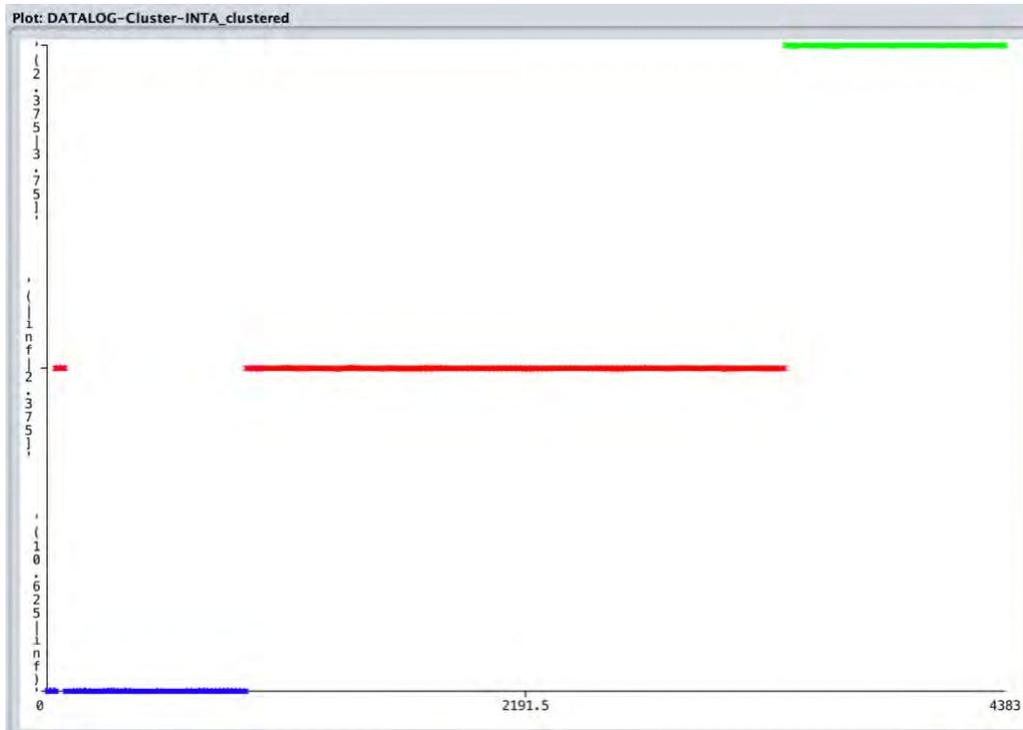


Figura 52. Distribución de meses (Source: Weka)

Hay días enteros de las muestras donde el cluster Rojo y Verde concentran una humedad en suelo dentro de los parámetros más altos, los que pertenecen a los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo.

La distribución sugiere un equilibrio de humedad/meses para cluster rojo y para cluster verde.

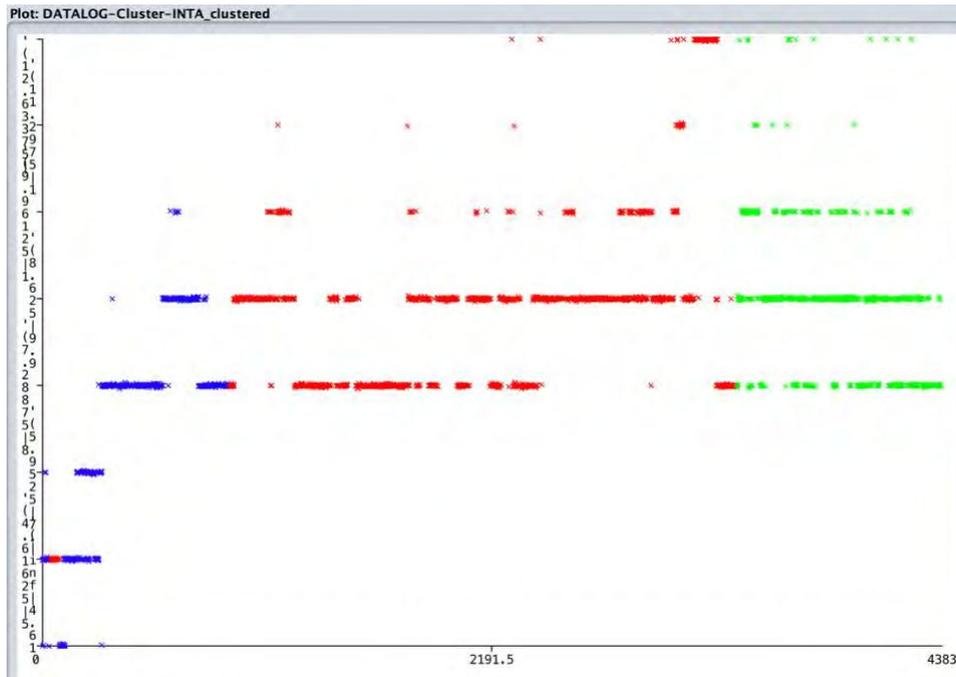


Figura 53. Distribución de humedad (Source: Weka)

V.3.v. Confirmación empírica

Se confirma el juego de desequilibrio en la distribución de temperatura ambiente por día en las muestras.

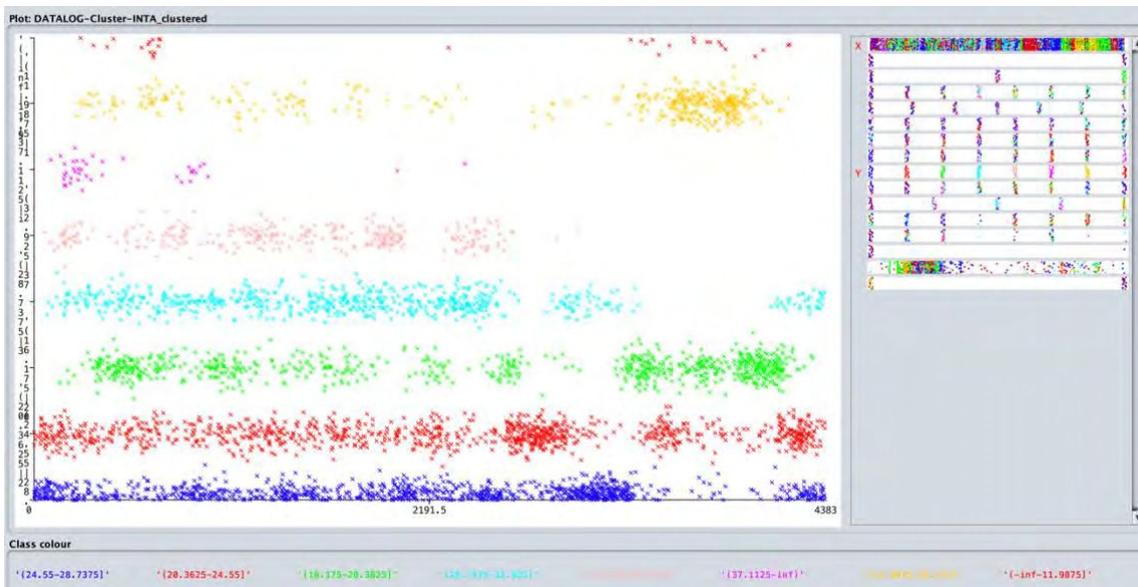


Figura 54. Desequilibrio de temperatura ambiente (Source: Weka)

Los colores azul, rojo, verde y turquesa muestran la mayor población de la temperatura promedio entre 24°C y 35°C.

En la figura 54 los indicadores de humedad en suelo permanecen en niveles altos en el rango de los 890Mv a los 990Mv.

Típicamente los clusters aparecen siempre con niveles cercanos al 100% de humedad en suelo (probablemente el riego se controló de manera efectiva)

Adicionalmente se puede ver en la figura 55 la gráfica de distribución de temperatura dependiente de las humedad en suelo registrada:

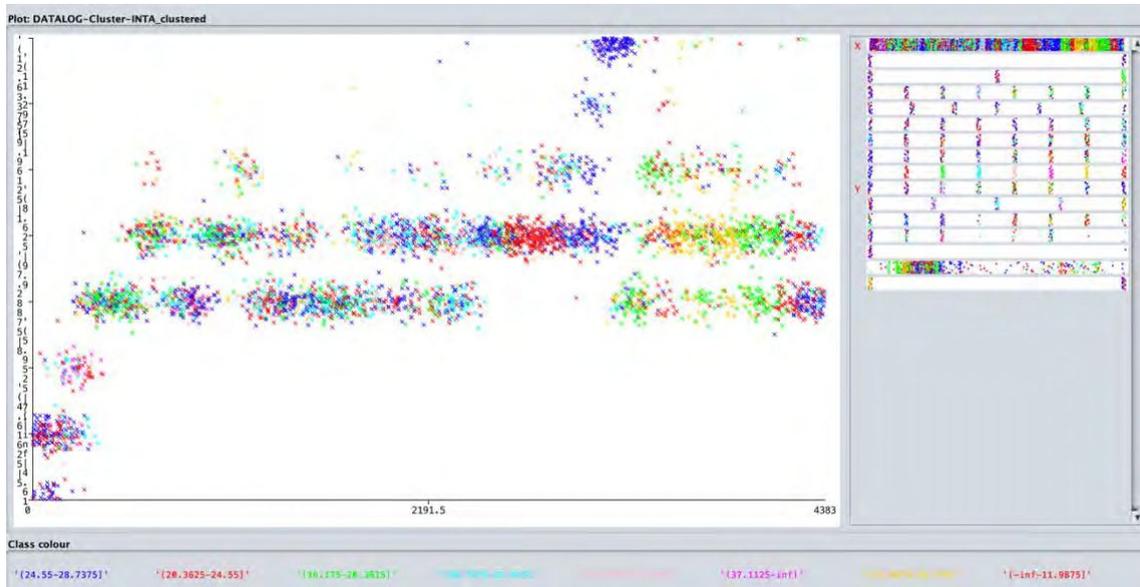


Figura 55. Desequilibrio de temperatura ambiente con respecto a la humedad en suelo (Source: Weka)

En la figura 56 la relación siguiente se puede apreciar que no existe una correlación entre Humedad en suelo (Y) con el PH (X):

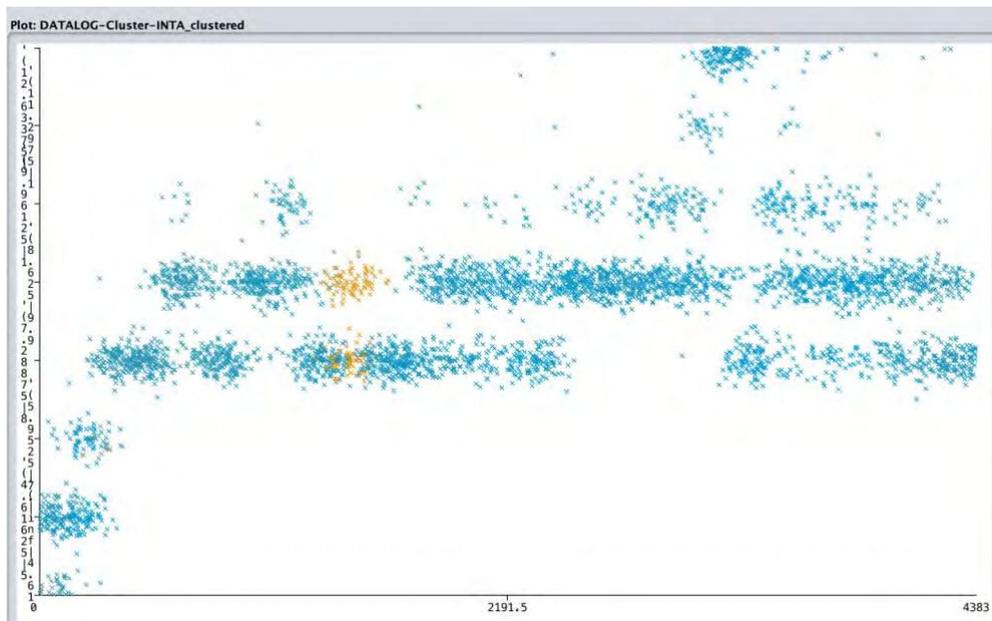


Figura 56. Distribución empírica entre Humedad en suelo y PH (Source: Weka)

Los clusters identifican algunas variaciones mezclados en la nube, por lo que no están indicando sino otra que no es atribuible a la relación de humedad con nivel de PH.

En la figura 57 la distribución del índice de radiación global no presenta influencia sobre la humedad en suelo, esto indica que el riego fue permanente. La población del cluster azul y verde son los de mayor índice de radiación global.

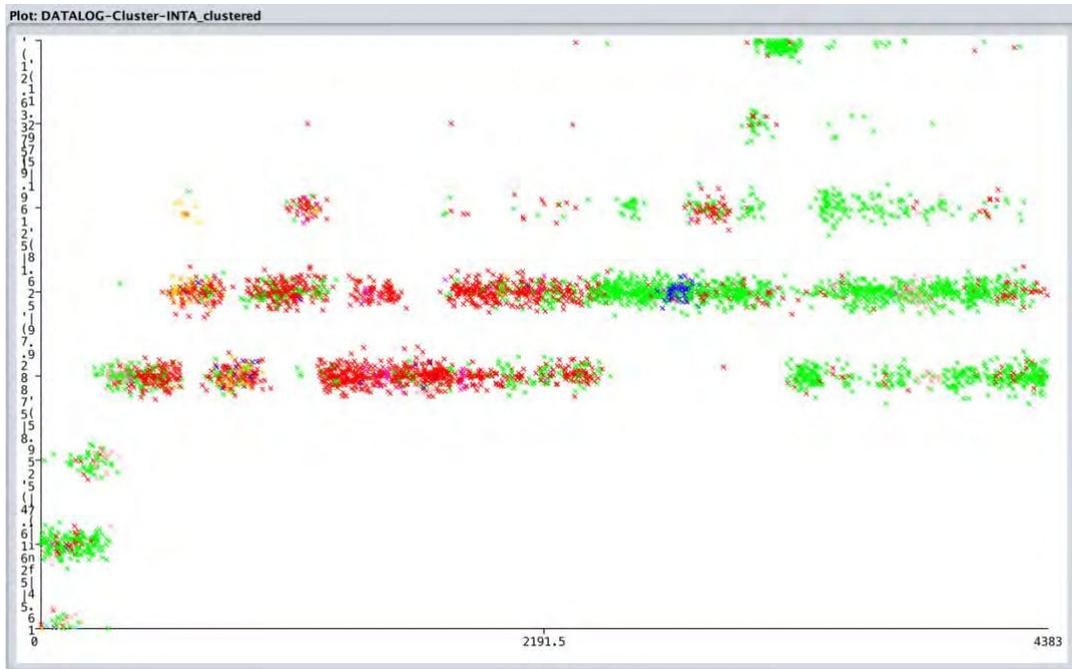


Figura 57. Correlación entre Humedad en suelo y Radiación global (Source: Weka)

V.3.vi. Análisis del resultado

Observando las gráficas se puede analizar preliminarmente que:

- La distribución de clusters muestra una clara distinción de humedad en suelo, lo que identifica una continuidad de riego.

El cluster rojo distingue horarios lejanos a los de máxima radiación, con mucha humedad ambiente, típica con las temperaturas más bajas

Observando las medias y SD de las variables se puede establecer que en los clusters:

- No incide el nivel de pluviómetro
- No incide el nivel de Anemómetro
- No incide la temperatura ambiente, posiblemente por el control de riego
- Sí incide el nivel de radiación (mínimo en cluster rojo)
- Sí incide el nivel de temperatura en suelo (mínimo en cluster rojo)
- Temperatura ambiente (menor en cluster rojo)
- Humedad ambiente (es más alta en cluster rojo)
- Los horarios del cluster rojo son más tarde
- Las fechas corresponden más hacia Diciembre, Enero, Febrero, Marzo

Se puede notar que la distribución de humedad en rangos desde 890 a 1200 se distingue una alta población de estos valores durante los meses del cultivo.

Por lo anterior, el EM ha detectado un comportamiento de equilibrio hídrico entre nivel de humedad respecto a cantidad de agua en suelo, siendo los cluster celestes los que representan momentos de mayor humedad del entorno en suelo.

Se puede confirmar que la lectura de nivel hídrico alcanza a establecer la necesidad de riego a tiempo.

Finalmente si se observa la gráfica de distribuciones de Humedad Suelo, donde donde el rango de mayor concentración se da entre los 7.2 a 9.96, que es donde el cultivo obtuvo su mayor concentración de riego.

Selected attribute

Name: HS
Missing: 0 (0%)
Distinct: 8
Type: Nominal
Unique: 0 (0%)

No.	Label	Count	Weight
1	'(-inf-4.61625]'	32	32.0
2	'(4.61625-5.9525]'	186	186.0
3	'(5.9525-7.28875]'	73	73.0
4	'(7.28875-8.625]'	1572	1572.0
5	'(8.625-9.96125]'	2025	2025.0
6	'(9.96125-11.2975]'	332	332.0
7	'(11.2975-12.63375]'	39	39.0
8	'(12.63375-inf)'	125	125.0

Figura 58. Distribución humedad en suelo

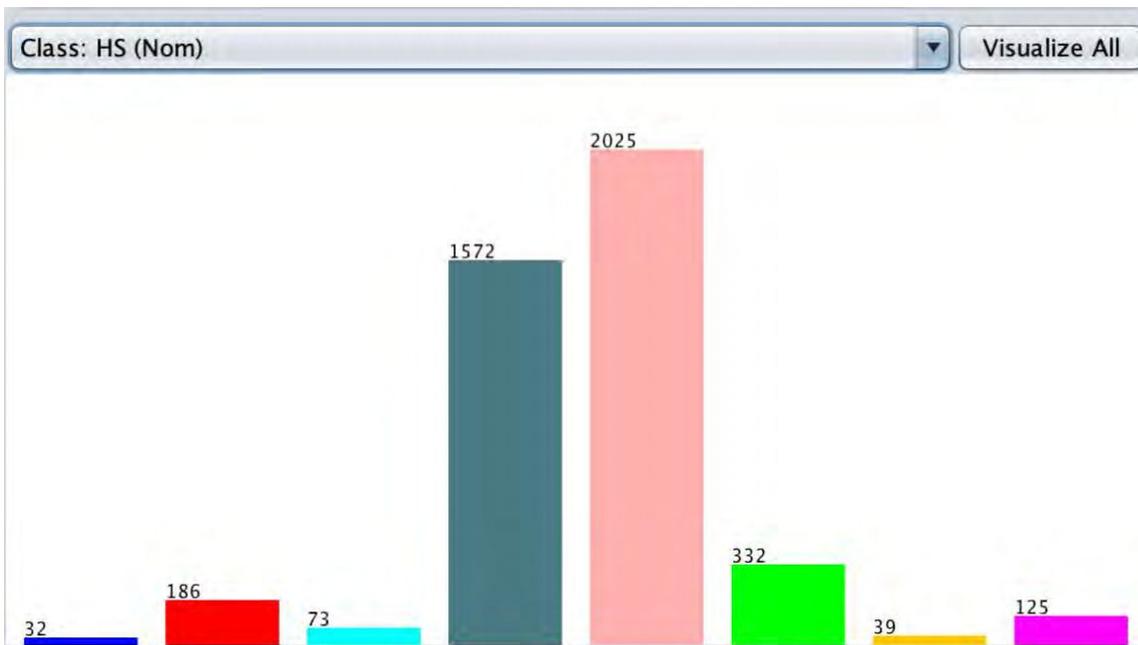


Figura 59. Clase de humedad en suelo (Source: Weka)

V.3.vii. Calidad del resultado

El Log likelihood: -18.95744 valor que se ha disminuido notablemente con respecto a la muestra de campo anterior (ver sección IV.3.ii), lo que indica una mejora en los resultados debido a la calidad de los sensores que se modificaron y al control del riego.

V.3.viii. Conclusiones del análisis estadístico

Se ha analizado estadística y gráficamente los resultados para ambas campañas. Estos representan comportamientos similares en cuanto a la relación entre sensores relacionados con humedad /agua en suelo y temperatura.

Los resultados estadísticos parecen determinar las características detectadas por el modelo EM con mayor sesgo de inferencia, por lo que a priori se puede afirmar que los comportamientos similares se atribuyen al control del riego.

V.3.ix. Reglas j48

En el siguiente apartado podemos observar en la figura 60 los resultados de la regla j48, obtenida por Weka, donde se ejecutan 4384 muestras y no se descarta ninguna variable, en el apéndice B se puede ver el detalle completo del resultado.

```
=== Run information ===  
  
Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2  
Relation:    DATALOG-Cluster-INTA  
Instances:   4384  
Attributes:  14  
             anio  
             mes  
             dia  
             seg  
             min  
             hora  
             HA  
             TA  
             HS  
             TDS  
             RUVG  
             SVO  
             SLL  
             SPH  
Test mode:   10-fold cross-validation  
  
=== Classifier model (full training set) ===
```

Figura 60. Rj48 (Source: Weka)

V.4. Modificaciones del dataset sobre el sensor de PH

V.4.i Unificación de bins

En este apartado se realizan modificaciones sobre la clasificación de la clase del sensor de PH, se busca ajustar y mejorar los resultados de los cluster.

En la figura 61 se observa el nuevo resultado de los bins.

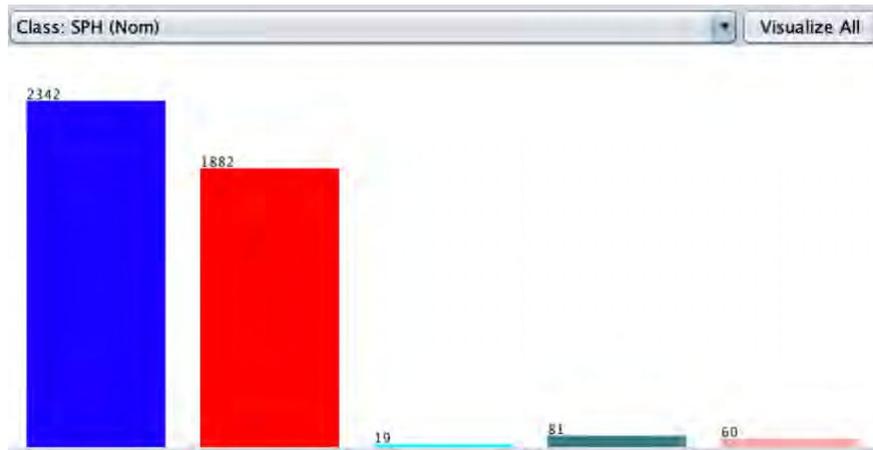


Figura 61. Clase del sensor de PH (Source: Weka)

En la figura 62 se observa la distribución de los atributos donde la mayor cantidad de muestras 1 y 2 quedan representado sobre la estabilidad neutra del PH.

Selected attribute			
Name: SPH		Type: Nominal	
Missing: 0 (0%)		Distinct: 5	
		Unique: 0 (0%)	
No.	Label	Count	Weight
1	'(261.2-299.4]'	2342	2342.0
2	'(-inf-261.2]'	1882	1882.0
3	'(299.4-337.6]'	19	19.0
4	'(337.6-375.8]'	81	81.0
5	'(375.8-inf)'	60	60.0

Figura 62. Distribución del sensor de PH (Source: Weka)

En la figura 63 se observan los cluster0 y cluster1 , donde los índices de un PH estable se da en los valores 261mw a ls 299mw, que se traduce a un PH entre 6.5 y 7.

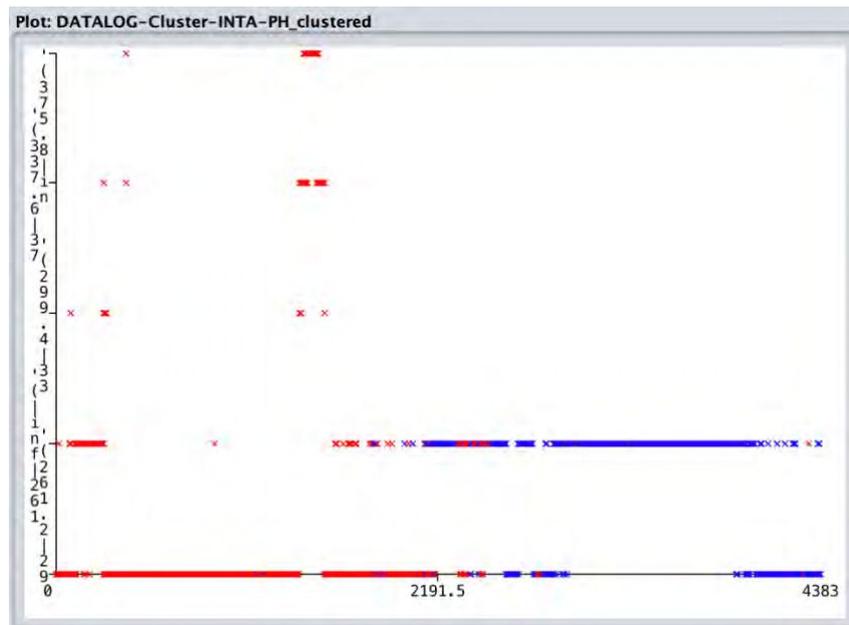


Figura 63. Distribución de cluster del sensor de PH (Source: Weka)

En la figura 64 se puede observar la distribución entre el sensor de PH y el sensor de humedad en suelo, donde teniendo un PH estable la humedad en suelo no presenta variaciones extremas.

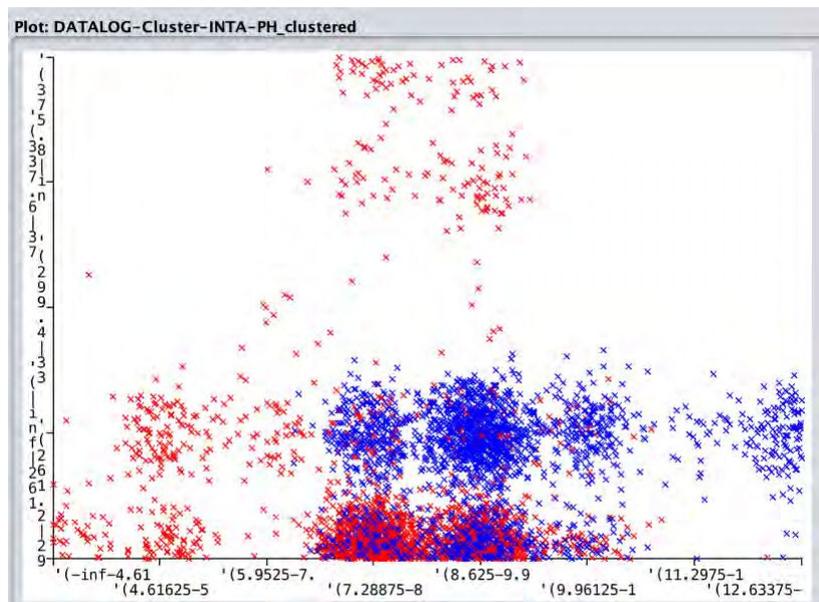


Figura 64. Distribución de cluster del sensor de PH y sensor de humedad en suelo (Source: Weka)

V.4.ii. Calidad del resultado

El Log likelihood: -15.6345 valor que ha disminuido con respecto a la muestra anterior, lo que indica una mejora en la unificación de bins.

V.4.iii Análisis de regresiones

En esta sección se evalúan las regresiones sobre los diferentes parámetros de las variables de Humedad en suelo, PH en suelo , para ello se utiliza R Studio®.

Para el análisis de log sobre el sensor de PH y la humedad en suelo se implementa la siguiente función:

plot(log2\$SPH, log2\$HS, xlab='SPH', ylab='HS') abline(regresion)

En la figura 65 se puede observar el mayor equilibrio entre el PH y la humedad en suelo se centra entre los valores de alta humedad en suelo.

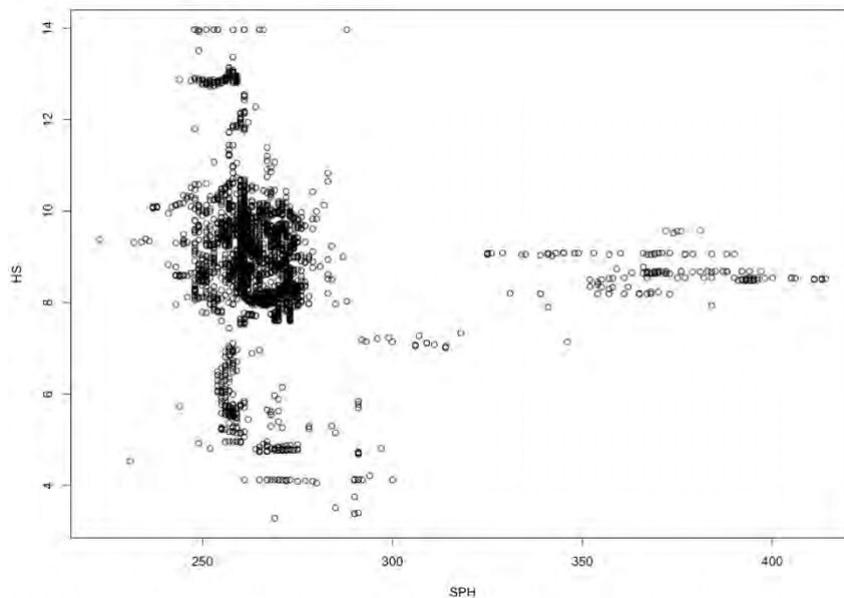


Figura 65. Distribución de regresión del sensor de PH y sensor de humedad en suelo (Source: Rstudio®)

Para el análisis entre la temperatura ambiente y el PH en suelo se ejecuta la función de regresión:

plot(log2\$TA, log2\$SPH, xlab='TA', ylab='SPH')abline(regresion)

En la figura 66 se puede observar el equilibrio entre el PH y temperatura ambiente los valores de estabilidad del PH no varía según la temperatura ambiente, puede ser por la constante de riego sobre el suelo.

Los valores con los id de PH entre 300 a 400 se debe al inicio de la campaña por la falta de agua, también algunas poblaciones de dispersión en desequilibrio en la humedad en suelo pueden ser por falta de riego.

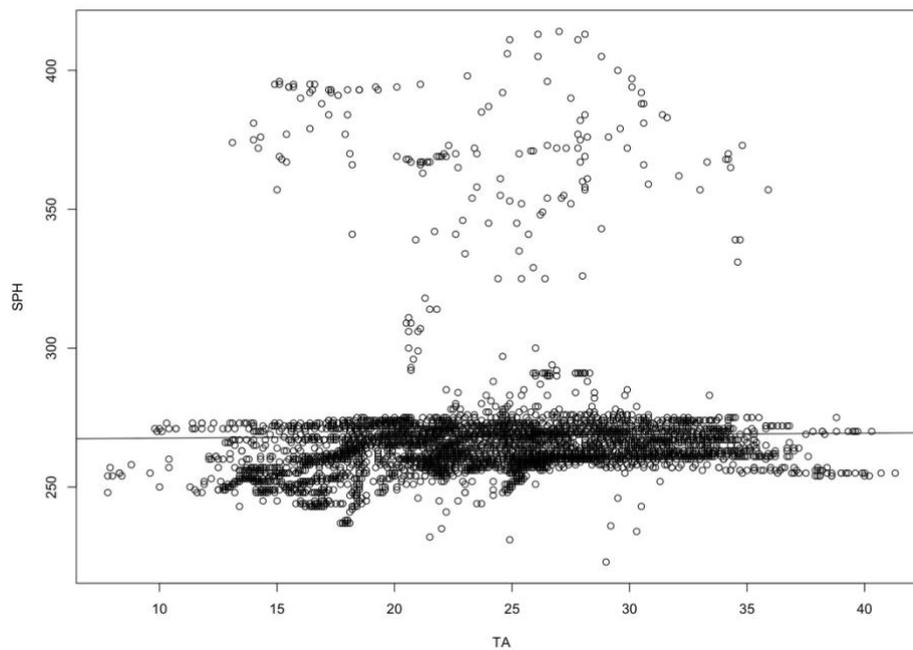


Figura 66. Distribución de regresión del sensor de PH y temperatura ambiente (Source: Rstudio®)

V.4.iv. Reglas j48

En el siguiente apartado podemos observar en la figura 67 los resultados del árbol sobre regla j48, obtenida por Weka.

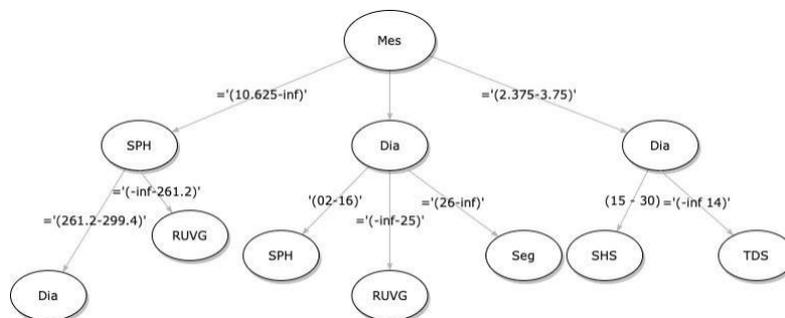


Figura 67. Árbol J48 del para humedad en suelo

En la figura 67 se observa la gran entropía que consume la medición de PH por lo que es un predictor poderoso para el riesgo. Las reglas de inferencias derivables del J48 para riesgo, utilizadas por el FHS se muestran en Tabla X.

Tabla X. Reglas de inferencia para el FHS

ID	IF	THEN
1	TIME <= 8 & Ambient_Temperature >25.9 & RadiationGlobal <= 789 & Anemometer > 11	Low_Water_Level
2	TIME >8 & Ambient_Temperature >29.9 & RadiationGlobal <= 560	Low_Water_Level
3	TIME <=10 & Ambient_Temperature <= 30.9 & PHSensor >132 & Soil_Temperature <= 29	Low_Water_Level
4	TIME >11 & Ambient_Humidity >96 & Ambient_Temperature > 29.3 & Soil_Temperature > 28.42	Low_Water_Level
5	TIME >=16 & Ambient_Humidity >91.45 & Ambient_Temperature >29.3 & Soil_Temperature >26.25 & RadiationGlobal > 689 & Anemometer > 4	Low_Water_Level
6	TIME >16 & Ambient_Humidity > 60.8 & Ambient_Temperature <= 22.3 & PHSensor > 230 & Soil_Temperature <= 28.94 & Anemometer <= 23	Low_Water_Level
7	TIME >16 & Ambient_Temperature > 24 & PHSensor > 260	Medium_Water_Level
8	TIME >18 & Ambient_Temperature <= 32.9 & PHSensor > 216 & Soil_Temperature > 25	Low_Water_Level

V.4.v. Sistemas armónicos y patrones

A partir de las reglas obtenidas se generan los patrones del modelo FHS, y se aplica el prototipo KRONOS.Agro actualizado de esta manera sobre el log de datos obteniendo la siguiente salida de configuraciones de 8 patrones.

V.4.v.a. Patrón 1

Como se puede observar en la tabla XI, este patrón verifica de 79 casos positivos de un total de 4384 muestras, con un nivel de estrés hídrico bajo por lo cual se define el sello correspondiente detectado. Como se detalló en la funciones de regresión existen poblaciones enmarcadas sobre las variables detectadas por el sello del patrón.

Tabla XI. Patrón 1 nivel de humedad

Patrón	pname1
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	1.7394468998486402E-14
Casos positivos	79
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1816811.1798373489
Tiempo de última activación	11752000
Sellos	TIME <= 8 & Ambient_Temperature >25.9 & RadiationGlobal <= 789 & Anemometer > 11

V.4.iv.b. Patrón 2

Como se puede observar en la tabla XII, este patrón detecta 638 casos positivos sobre un total de 4384 casos totales, aquí se presentan mayor cantidad de riesgo hídrico con las variables de Tº Ambiente y Radiación Global como lo indica el sello.

Tabla XII. Patrón 2 nivel de humedad

Patrón	pname2
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	4.463451127308709E-101
Casos positivos	638
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1.098618155475216E7
Tiempo de última activación	183551000
Sellos	TIME >8 & Ambient_Temperature >29.9 & RadiationGlobal <= 560

V.4.iv.c. Patrón 3

En la tabla XIII se verifica 70 casos de nivel hídrico bajo, en lo particular de este sello es la concordancia del sensor de PH donde en el estudio de las funciones de regresión, en la sección V.4.iii. donde existe una población que se identifica variaciones de bajo PH en el suelo.

Tabla XIII. Patrón 3 nivel de humedad

Patrón	pname3
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	1.5394468998486402E-12
Casos positivos	70
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1500811.1398373489
Tiempo de última activación	12453090
Sellos	TIME <=10 & Ambient_Temperature <= 30.9 & PHSensor >132 & Soil_Temperature <= 29

V.4.iv.d. Patrón 4

En la tabla XIV se observa una población de casos positivos donde el sello verifica que en función de alta Humedad Ambiente y alta Tº y Tº en suelo, el sello verifica un alerta de riesgo hídrico.

Tabla XIV. Patrón 4 nivel de humedad

Patrón	pname4
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	9.659717267439546E-7
Casos positivos	29
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	5.219478190861122E7
Tiempo de última activación	183471000
Sellos	TIME > 11 & Ambient_Humidity > 96 & Ambient_Temperature > 29.3 & Soil_Temperature > 28.42

V.4.iv.e. Patrón 5

En la tabla XV se observa las variaciones sobre el horario pico de altas temperaturas como lo verifica el sello detectado.

Tabla XV. Patrón 5 nivel de humedad

Patrón	pname5
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	2.0194468998486402E-16
Casos positivos	101
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1956811.1798373489
Tiempo de última activación	19202350
Sellos	TIME >= 16 & Ambient_Humidity > 91.45 & Ambient_Temperature > 29.3 & Soil_Temperature > 26.25 & RadiationGlobal > 689 & Anemometer > 4

V.4.iv.f. Patrón 6

En la tabla XVI se verifica una cantidad de 593 casos positivos de riesgo hídrico, una vez más se observa que el sello del patrón detecta variaciones con respecto al PH del suelo como se observa en las gráficas de análisis de regresión.

Tabla XVI. Patrón 6 nivel de humedad

Patrón	pname6
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	4.163451127308709E-90
Casos positivos	593
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1.158618155475216E5
Tiempo de última activación	173543500
Sellos	TIME >16 & Ambient_Humidity > 60.8 & Ambient_Temperature <= 22.3 & PHSensor > 230 & Soil_Temperature <= 28.94 & Anemometer <= 23

V.4.iv.g. Patrón 7

En la tabla XVII se detecta un nivel de riesgo Hídrico Medio, es decir que existen condiciones que el sello verifica según las variables demostradas. Este sello se caracteriza por ser el único de riesgo medio detectado por el patrón.

Tabla XVII. Patrón 7 nivel de humedad

Patrón	pname7
Nivel de humedad	2 - Medium
Umbral	3.959717267439546E-10
Casos positivos	119
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	4.919478190861122E6
Tiempo de última activación	1564710067
Sellos	TIME >16 & Ambient_Temperature > 24 & PHSensor > 260

V.4.iv.h. Patrón 8

En la tabla XVIII se observan 150 casos positivos de riesgo hídrico, donde conciben que las altas temperaturas afectan y el descenso del nivel Humedad en suelo producen variaciones en el PH.

Tabla XVIII. Patrón 8 nivel de humedad

Patrón	pname8
Nivel de humedad	1 - Low
Umbral	5.0394468998486402E-21
Casos positivos	150
Casos totales	4384
Coefficiente de inercia del umbral de usuario	0.3
Coefficiente de aprendizaje	0.05
Umbral de distribución	80
Tiempo de sello del patrón	1916835110.17983734
Tiempo de última activación	19952000
Sellos	TIME >18 & Ambient_Temperature <= 32,9 & PHSensor > 216 & Soil_Temperature > 25

V.5. Validación del modelo predictivo

Para validar el modelo como se detalló anteriormente en el capítulo IV, se utilizan las métricas el coeficiente de Kappa, el ECM y el RECM.

En la siguiente tabla se presenta la matriz de confusión del desempeño del modelo ASD, a partir de la cual se calculan los indicadores de sensibilidad, especificidad y coeficiente de Kappa calcula sobre una muestra de 500 registros, en la tabla XIX podemos observar los resultados predictivos.

Tabla XIX. Predicciones esperadas

		Esperado	
Predicho		V (riesgo)	F (no riesgo)
V (riesgo)		95 (VP)	18 (FP)
F (no riesgo)		11 (FN)	376 (VN)

Tabla XX. Concordancia de Kappa

Kappa	Sensibilidad	Espicificidad
0.8194113995140571	0.8296391404243817	0.9703266384981961

A partir de la tabla anterior se analiza la concordancia del predictor sistemas armónicos, según el coeficiente de kappa obtenido (0.8194), lo que indica una “Muy Buena” concordancia de acuerdo a la escalas propuestas en (Altman D.G., 1991) (Fleiss J.L. et al., 1969) dado que su valor está por encima de 0.81. como se puede observar en la tabla XX.

Este valor del índice kappa obtenido para el modelo sistemas armónicos en conjunto con sus índices de sensibilidad (0.829) y especificidad (0.97) validan la precisión de este sistema predictor.

V.5.i. Funciones de pertenencia para modelo armónico difuso

A partir de los resultados obtenidos de aplicar los FHS (sistemas armónicos) se realizan las funciones de pertenencia difusas hipotéticas de las variables más significativas sobre la de los patrones 2 y 6 (temperatura ambiente, PH, viento, radiación global y temperatura de suelo).

V.5.ii. Temperatura ambiente

En el capítulo I sección 5 se describen los factores de temperatura que afectan a los cultivos de arroz, en función de ello se determinan los valores que se observan en la tabla XXI y la gráfica 68.

Tabla XXI. Función de pertenencia temperatura ambiente reducida

Baja		Normal		Alta	
0.5	1	15	0	27	0
10	1	20	1	34	1
12	0	25	1	38	1
		27	0		

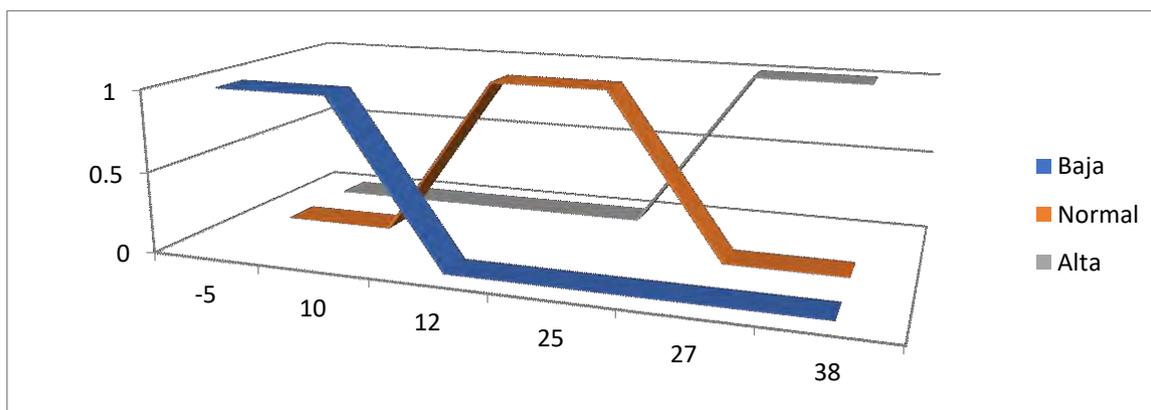


Figura 68. Gráfica función de pertenencia temperatura

V.5.iii. Humedad

La concentración de humedad en un suelo de cultivo de arroz, representa variables considerables por la presión continua de agua. En el aire se presenta vapor de agua y se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad.

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura (Sendiña I. and Pérez V., 2006).

La escala de valores propuesta para la función de pertenencia de esta propiedad (humedad relativa) se presenta en la siguiente Tabla XXII, cuya unidad de medida es el

porcentaje (%). En la Figura 69 se puede observar la gráfica de dicha función de pertenencia.

Baja		Normal		Alta	
0	1	50	0	80	0
50	1	60	1	90	1
60	0	80	1	100	1
		90	0		

Tabla XXII. Función de pertenencia humedad

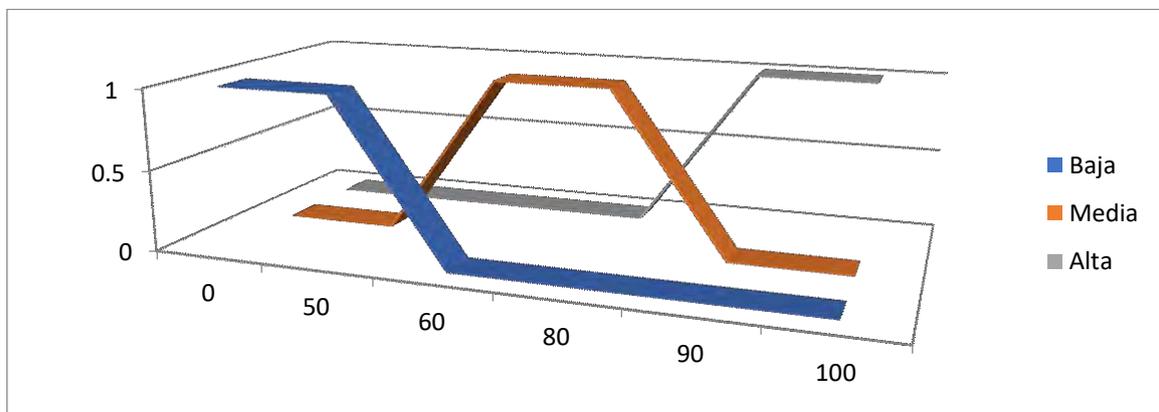


Figura 69. Gráfica función de pertenencia humedad

V.5.iv. Viento

Tanto la velocidad del viento (V_v) como el número de días con viento ($N^{\circ}v$), son variables a analizar para una región cuando se pretende plantear sistemas de riego por aspersión, en los casos de riego por mangas las variaciones pueden cambiar.

Para lograr altos valores de uniformidad, se considera adecuada una velocidad menor a 2 m s^{-1} , valores mayores a 4 m s^{-1} no son recomendables para regar, mientras que valores intermedios permiten realizar aplicaciones pero es necesario aumentar la superposición entre aspersores. FAO (2001)-(Rougier - 2013).

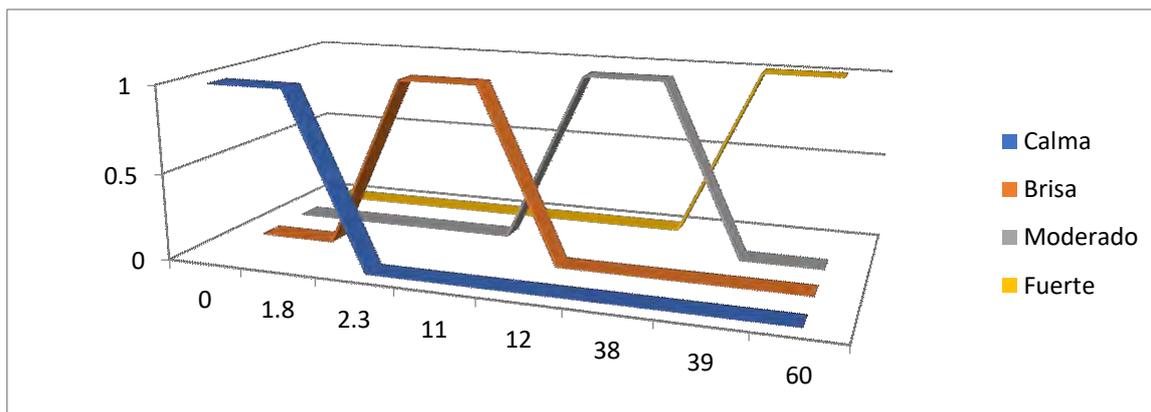


Figura 70. Gráfica función de pertenencia viento

V.5.v. PH

Los valores de reducción del PH en suelo es proporcional la riego, en los casos de bajo nivel hídrico el PH desciende en rangos de mayor consideración. En la figura 71 observamos la función resultante.

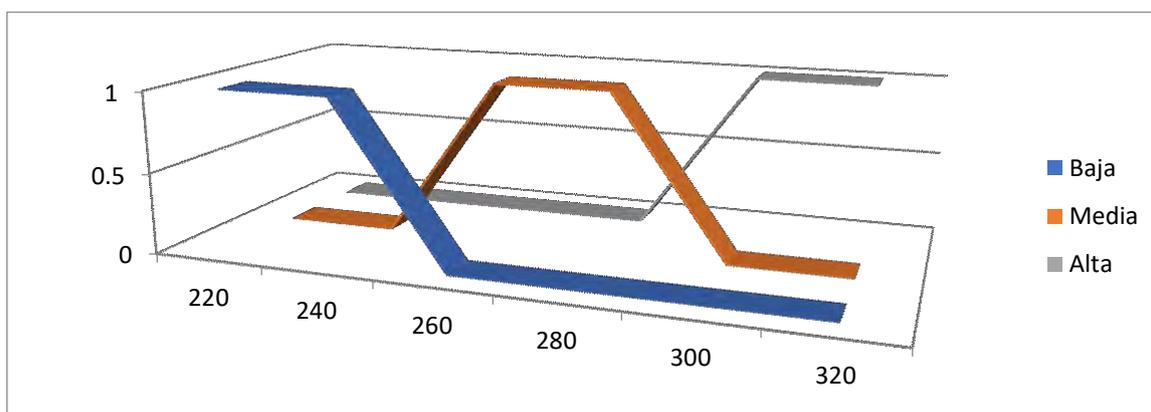


Figura 71. Gráfica función de pertenencia PH

V.5.vi. Temperatura de suelo

Las temperaturas muy altas o bajas pueden causar esterilidad en el arroz reduciendo el rendimiento. Las altas temperaturas pueden dañar el polen cuando se superan los 35°C. (Quinteros & Carñel - 2010)

El frío provoca un daño en el grano de polen, puede ocurrir alta esterilidad con temperaturas debajo de 15 °C en los materiales tolerantes y debajo de 20 °C en los cultivares sensibles(Steinmetz, 2004. citado por Quinteros & Carñel, 2010.) En la figura 72. se observa la función de pertenencia

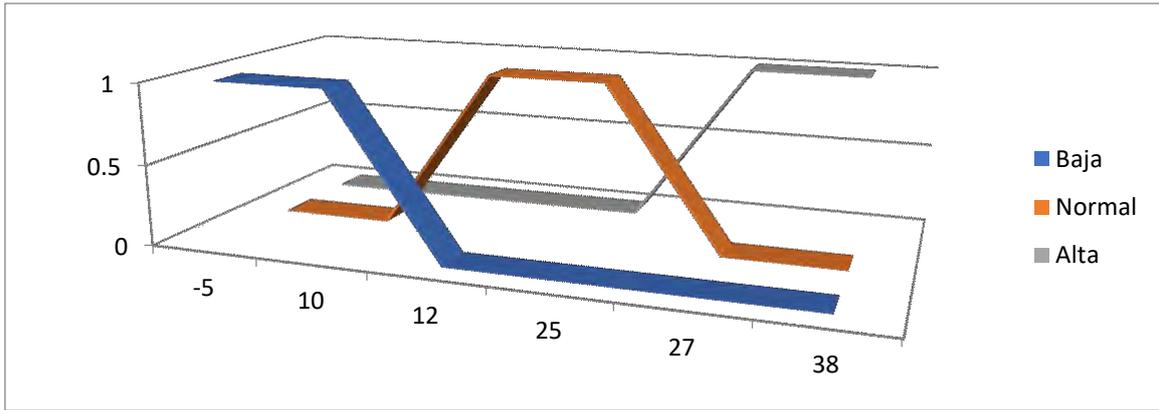


Figura 72. Gráfica función de pertenencia temperatura suelo

V.5.vii. Radiación Global

En la Figura 73 se observa los distintos niveles de radiación, normalmente la media se da en Diciembre, seguido por Enero, y en menor medida Febrero y Marzo. La evolución de la radiación coincide con regiones de latitud de la provincia de Entre Ríos, donde la máxima radiación se da en verano durante los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero. Ver sección v.4.iii.

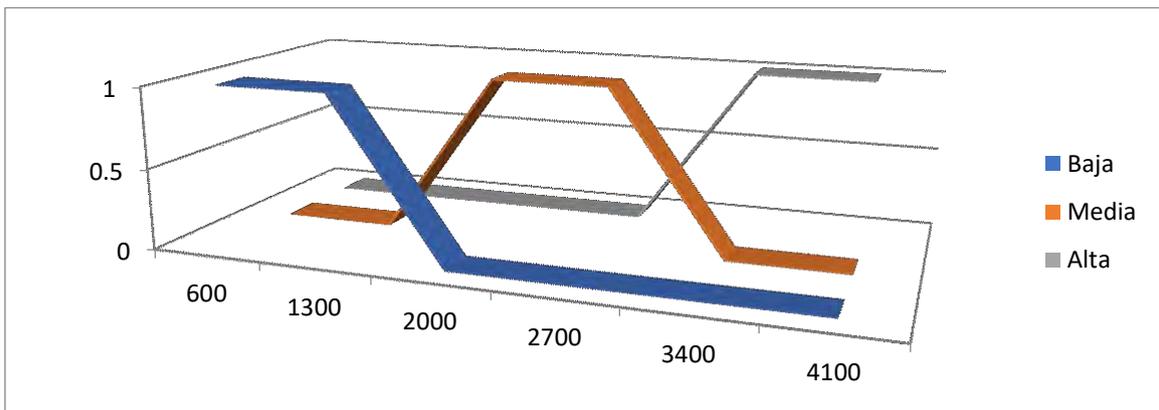


Figura 73. Gráfica función de pertenencia radiación global

V.6. Distribuciones empíricas de variables significativas

En el presente apartado se detallan los gráficos resultantes de las distribuciones variables significativas de Temperatura ambiente, Humedad en suelo, Temperatura en suelo y PH. Para lograr de esta manera una mejor aproximación de las funciones de pertenencia, utilizando funciones polinómicas.

V.6.i. Descriptivas generales

En la figura 74 Figura puede observar que las descriptivas consolidadas tienen una característica donde los desvíos con bastante altos para HA y HS. Un poco mejores para TA y bastante mejores en SPH.

Medidas resumen

Variable	n	Media	D.E.	Var(n)	Mín	Máx
HA	4384	89.42	16.57	274.58	32.30	99.90
TA	4384	24.08	5.92	35.08	7.80	41.30
HS	4384	8.85	1.39	1.92	3.28	13.97
SPH	4384	267.25	21.57	465.17	223.00	414.00

Figura 74. Medidas descriptivas consolidadas

Dado que el patrón detectado por el J48 y EM es bastante distintivo, es posible evaluar el desempeño de las muestras para determinar la potencia de los patrones: si son suficientes para predecir el comportamiento poblacional o bien es necesario agregar más patrones.

Dado que el interés específico del modelo se halla en la detección de patrones que prevengan el pasaje desde nivel de riesgo 2 al 3, se descarta el resto de los casos. Quedan para el siguiente estudio: 1546 casos que se analizan con Infostat.

V.6.ii. Comparación de condiciones entre riesgo mediano y alto (riesgo 2 y 3)

En esta sección se evalúan diferentes comparaciones de condiciones según los diferentes niveles de riesgo.

V.6.iii. Prueba de wilcoxon

Para la siguiente prueba se evalúa con $\alpha=0.05$ (nivel de significación), en la tabla XXIII se observa los resultados. Las variables que se comportan diferente son (sensor de PH), SPH, (sensor de humedad en suelo) HSCH, SV0 (sensor de viento), SLL (sensor lluvia) y HA (humedad ambiente).

En cambio es llamativo que ni la temperatura ambiente (TA) ni la humedad del suelo (HS) ni la radiación (RUV) son clave para diferenciar ambos estadíos.

Tabla XXIII. Prueba de Wilcoxon para muestras independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	W	p(2 colas)
risk_level	SPH	2,00	3,00	178	1368	261,85	261,44	9,26	10,15	148775,00	0,0475
risk_level	HSCH	2,00	3,00	178	1368	1023,00	1005,24	0,00	109,64	140887,00	0,0286
risk_level	TDS	2,00	3,00	178	1368	22,35	19,93	3,39	10,56	192495,00	<0,0001
risk_level	RUV	2,00	3,00	178	1368	371,06	370,70	70,83	44,42	113873,50	<0,0001
risk_level	RUVG	2,00	3,00	178	1368	371,06	370,70	70,83	44,42	113873,50	<0,0001
risk_level	SHB	2,00	3,00	178	1368	205,99	502,40	107,36	86,33	25258,50	<0,0001
risk_level	SVO	2,00	3,00	178	1368	2,65	3,53	6,24	8,02	133748,00	0,3707
risk_level	SLL	2,00	3,00	178	1368	0,01	0,11	0,08	3,34	137831,00	0,8203
risk_level	HA	2,00	3,00	178	1368	97,33	91,43	7,12	17,53	137839,50	0,9716
risk_level	TA	2,00	3,00	178	1368	24,79	21,28	4,30	6,22	187119,00	<0,0001
risk_level	HS	2,00	3,00	178	1368	9,48	8,56	1,28	1,44	186142,00	<0,0001

V.6.iv. Prueba F de igualdad de varianza

Continuando con el análisis de las variables significativas, las varianzas de las mismas parece ser la misma salvo para el caso SPH (valores de PH) como se observa en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Prueba F para igualdad de varianzas

Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	Var(1)	Var(2)	F	p	prueba
SPH	{2,00}	{3,00}	178	1368	85,70	103,12	0,83	0,1166	Bilateral
HSCH	{2,00}	{3,00}	178	1368	0,00	12020,67	0,00	<0,0001	Bilateral
SVO	{2,00}	{3,00}	178	1368	38,91	64,32	0,60	<0,0001	Bilateral
SLL	{2,00}	{3,00}	178	1368	0,01	11,14	6,3E-04	<0,0001	Bilateral
HA	{2,00}	{3,00}	178	1368	50,66	307,40	0,16	<0,0001	Bilateral

Con lo que se puede inferir que el valor de PH tiene una variabilidad estadísticamente significativa que permite y podría ser la clave para el análisis diferenciado entre uno y otro caso.

El resto de los valores, si bien presenta comportamiento particular para niveles 2 y 3 no tienen varianza estadísticamente diferente.

V.6.v. Prueba de Sendero (Path Analysis)

Dado que se observa una relación entre el nivel de riesgo y las variables en estudio. Se evalúa la cantidad de información que provee cada una.

Tabla XXV. Prueba de senderos

Variable dependiente: risk_level; n=1546

Efecto	Via	Coeficientes	p-valor
SPH	Directa	-0,09	
SPH	SLL	1,5E-04	
SPH	SVO	0,01	
SPH	HS	0,06	
SPH	HA	-3,5E-03	
SPH	HSCH	1,5E-03	
r total		-0,01	0,6111
SLL	Directa	0,01	
SLL	SPH	-2,5E-03	
SLL	SVO	1,8E-03	
SLL	HS	0,01	
SLL	HA	-3,5E-03	
SLL	HSCH	-4,7E-03	
r total		0,01	0,6856
SVO	Directa	0,05	
SVO	SPH	-0,02	
SVO	SLL	1,9E-04	
SVO	HS	0,02	
SVO	HA	-0,02	
SVO	HSCH	-4,3E-04	
r total		0,04	0,1574
HS	Directa	-0,26	
HS	SPH	0,02	
HS	SLL	-2,8E-04	
HS	SVO	-3,7E-03	
HS	HA	0,03	

HS	HSCH	0,01
r total		-0,20 <0,0001
HA	Directa	0,05
HA	SPH	0,01
HA	SLL	-3,7E-04
HA	SVO	-0,02
HA	HS	-0,16
HA	HSCH	0,01
r total		-0,11 <0,0001
HSCH	Directa	0,03
HSCH	SPH	-4,6E-03
HSCH	SLL	-8,8E-04
HSCH	SVO	-7,6E-04
HSCH	HS	-0,09
HSCH	HA	0,01
r total		-0,05 0,0309

Dado que se observa que efectivamente las variables HSCH, SVO, SLL, y SPH son significativas y guardan relación lineal con la aparición.
HSCH es significativa y determinada por HS.

SVO, SLL y SPH son significativas y determinan directamente el nivel de riesgo.
De lo anterior, se deriva que la relación es lineal con HSCH (determinada por HS), SVO, SLL, y SPH.
Lo que permite inferir comportamientos de manera sencilla a partir de los mismos.

V.6.vi. Coeficientes de correlación entre variables estratificadas por riesgo

En este apartado se determina las características distintivas de las variables entre sí y establecer el sello se realiza una matriz de correlación entre las variables significativas.

En las tablas 26 y 27 se observa los valores obtenidos al aplicar la correlación de Pearson:

Tabla XXVI. Coeficientes de correlación risk level 2.00

risk_level = 2,00
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	HS	SVO	HA	SLL	SPH	HSCH	
HS	1,00	0,36	8,8E-07	0,22	9,4E-06		sd
SVO	-0,07	1,00	2,0E-04	0,95	0,96	1,00	
HA	0,36	-0,28	1,00	0,72	1,4E-03		sd
SLL	-0,09	4,3E-03	0,03	1,00	0,00		sd
SPH	-0,33	-4,2E-03	-0,24	0,64	1,00	1,00	
HSCH	sd	0,00	sd	sd	0,00	1,00	

Tabla XXVII. Coeficientes de correlación risk level 3.00

risk_level = 3,00
Correlación de Pearson: Coeficientes\probabilidades

	HS	SVO	HA	SLL	SPH	HSCH
HS	1,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00
SVO	-0,07	1,00	0,00	0,17	0,00	0,62
HA	0,63	-0,32	1,00	0,01	0,02	0,00
SLL	-0,05	0,04	-0,07	1,00	0,29	9,5E-10
SPH	-0,25	0,23	-0,06	0,03	1,00	0,04

HSCH 0,36 -0,01 0,25 -0,16 0,06 1,00

En rojo se puede observar la diferente configuración de la relación entre variables. Dado que SPH es la variable de mayor peculiaridad es interesante observar que su comportamiento es más marcadamente lineal en la subpoblación de riesgo 2, respecto a SLL, SPH, HSCH.

En contraposición cuando el nivel de riesgo es 3 su aporte es menos lineal. En cambio toma relevancia HA y SVO.

Estas consideraciones determina un patrón decisivo para poder predecir el pasaje de un nivel a otro.

V.6.vii. Medidas resumen discriminadas

Para comparar las subpoblaciones en estudio se presentan las estadísticas descriptivas de riesgo 2 y 3 como se puede observar en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Medidas resumen

risk_level	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3	Asimetría	Kurtosis
2,00	HSCH	178	1023,00	0,00	1023,00	1023,00	1023,00	1023,00	1023,00	sd	sd
2,00	HA	178	97,33	7,12	50,50	99,90	99,90	98,90	99,90	-4,19	18,95
2,00	HS	178	9,48	1,28	3,38	12,92	9,52	8,78	9,78	0,15	5,09
2,00	SPH	178	261,85	9,26	243,00	341,00	260,00	259,00	264,00	3,83	29,52
2,00	TA	178	24,79	4,30	12,70	35,00	25,25	22,00	26,80	-0,04	0,18
3,00	HSCH	1368	1005,24	109,64	303,00	1023,00	1023,00	1023,00	1023,00	-6,02	34,15
3,00	HA	1368	91,43	17,53	32,30	99,90	99,90	97,80	99,90	-1,95	2,35
3,00	HS	1368	8,56	1,44	3,28	13,97	8,67	8,00	9,37	-0,31	2,00
3,00	SPH	1368	261,44	10,15	231,00	346,00	259,00	255,00	269,00	1,44	6,54
3,00	TA	1368	21,28	6,22	7,80	41,30	20,40	16,70	25,00	0,80	0,37

Se observa que cuando se tratan las subpoblaciones HA (Humedad Ambiente) presenta casi los mismos valores de media y desvío en riesgo 3 que en la población general (ver 0.Descriptivas). Sin embargo en riesgo 2 parecería ser ligeramente superior. Lo que más llama la atención es la Asimetría y Kurtosis diferenciada de una manera marcada.

En HS(Humedad Suelo) lo que se observa es que los valores de riesgo 3 son también semejantes a la de la población general, a diferencia de la 2 (pero no llega a ser significativa como en el caso anterior, lo que podría ser por la cantidad de muestreos). Pero la curva en riesgo 2 es mucho más simétrica con de menor kurtosis.

En TA (Temperatura Ambiente) el esquema se invierte y los valores parecen más a los generales en riesgo 2, y también se da una mayor simetría junto con reducida kurtosis en riesgo 2 respecto a 3.

El SPH las medias y desvíos son similares pero la asimetría y kurtosis en riesgo 2 duplica a la de riesgo 3.

De lo observado se deducen los patrones mejorados .

V.6.viii. Comportamiento de las empíricas por nivel de riesgo

Comparando visualmente las variables, se manifiesta lo hallado en las secciones anteriores:

a) Humedad Suelo HS

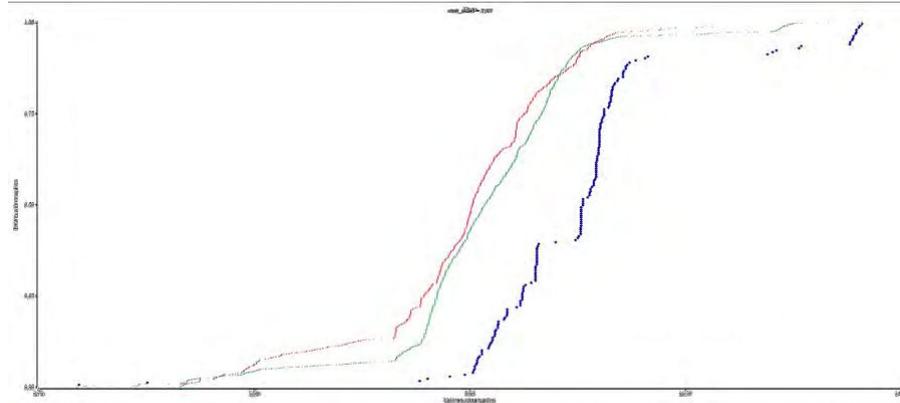


Figura 75. Comportamiento empírico variable HS

En las gráficas 76 y 77 podemos observar la distribución con función de aproximación de Humedad en suelo, las mismas conformadas con Grado 4, para el nivel de riesgo 2 y 3. Se ha preferido la simplicidad del polinomio a la precisión.

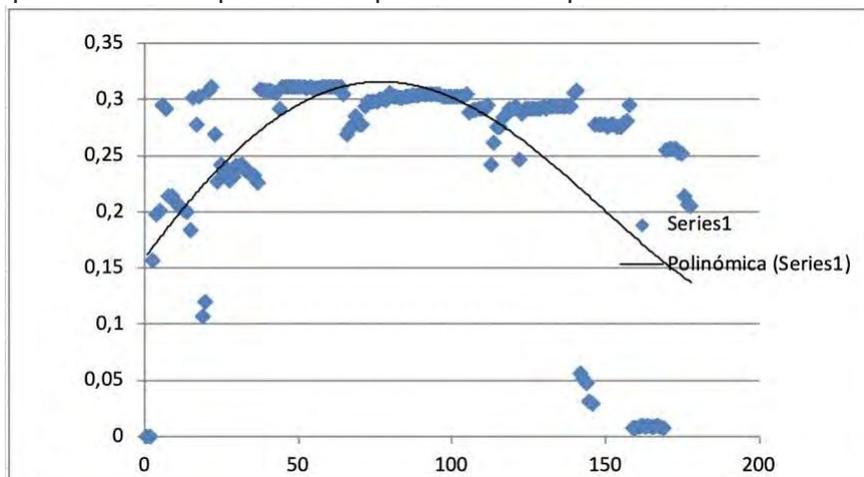


Figura 76. Función de aproximación polinómica de Humedad Suelo para el nivel de riesgo 2

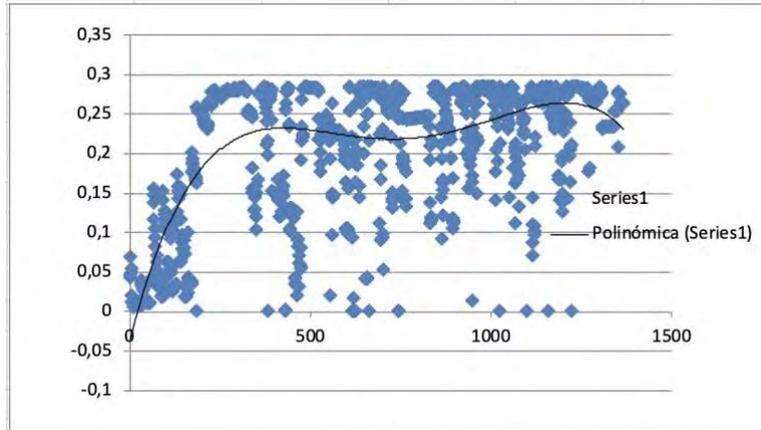


Figura 77. Función de aproximación de Humedad Suelo para el nivel de riesgo 3

b) Temperatura ambiente TA

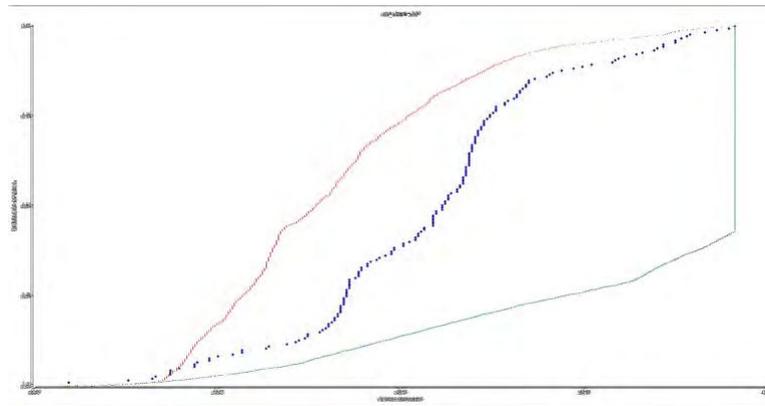


Figura 78. Comportamiento empírico variable TA

En las gráficas 78 y 79 se observa la distribución con función de aproximación de Temperatura Ambiente, las mismas conformadas con Grado 4, para el nivel de riesgo 2 y 3. Se ha preferido la simplicidad del polinomio a la precisión.

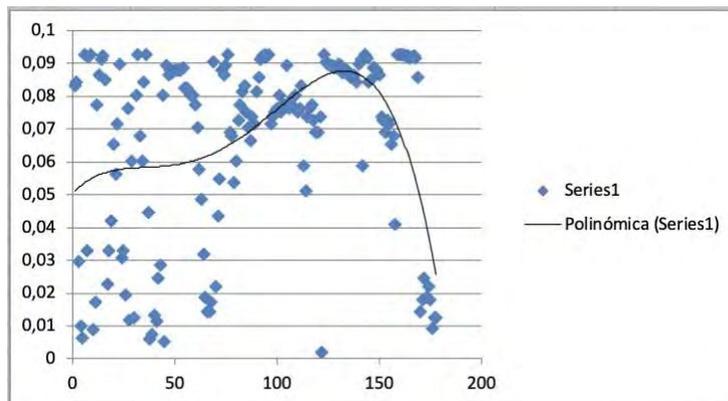


Figura 79. Función de aproximación de Temperatura Suelo para el nivel de riesgo 2

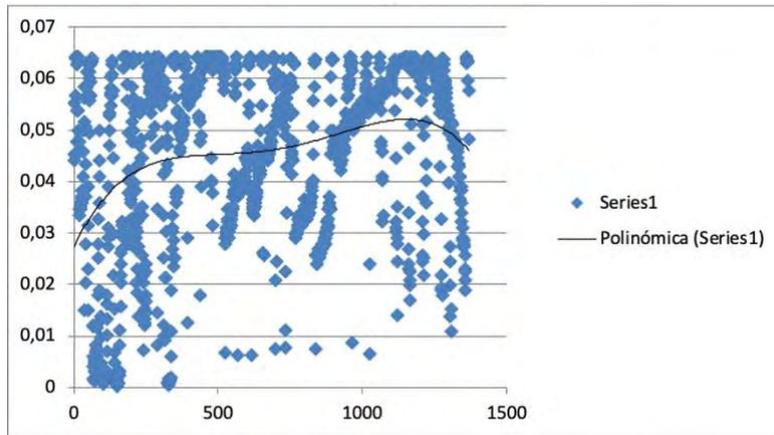


Figura 80. Función de aproximación de Temperatura Suelo para el nivel de riesgo 3

c) Sensor de PH

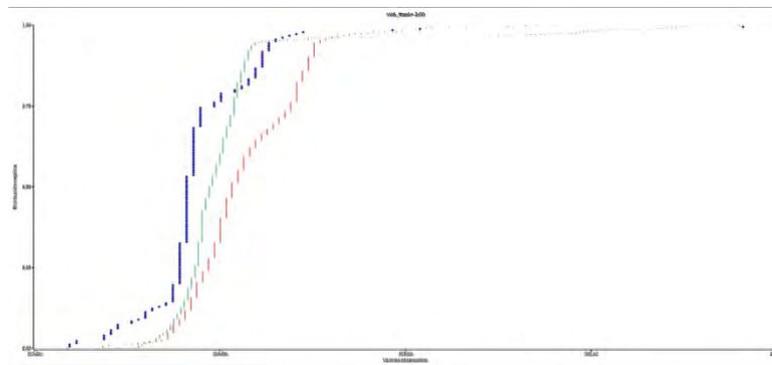


Figura 81. Comportamiento empírico variable PH

Los colores diferenciados permiten indicar que, realizando una aproximación de las curvas, es posible determinar su función de densidad y a partir de ellas una función de pertenencia como se puede ver en la sección **V.6.ix**, acorde a cada una de las situaciones de riesgo.

En las gráficas 82 y 83 se puede observar la distribución con función de aproximación de PH, las mismas conformadas con Grado 4, para el nivel de riesgo 2 y 3. Se ha preferido la simplicidad del polinomio a la precisión.

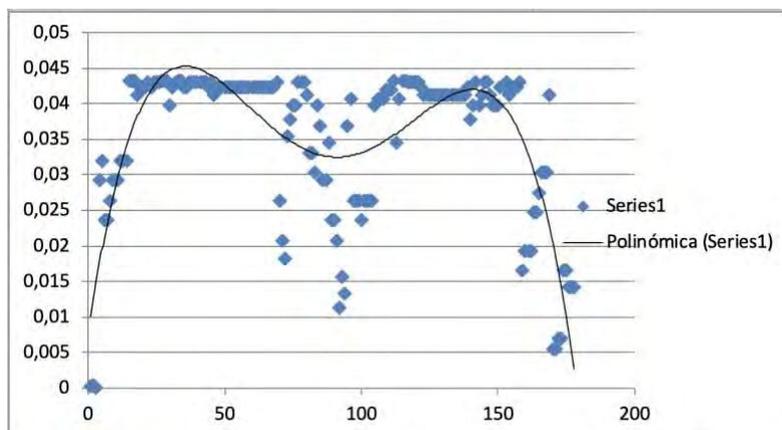


Figura 82. Función de aproximación de PH para el nivel de riesgo 2

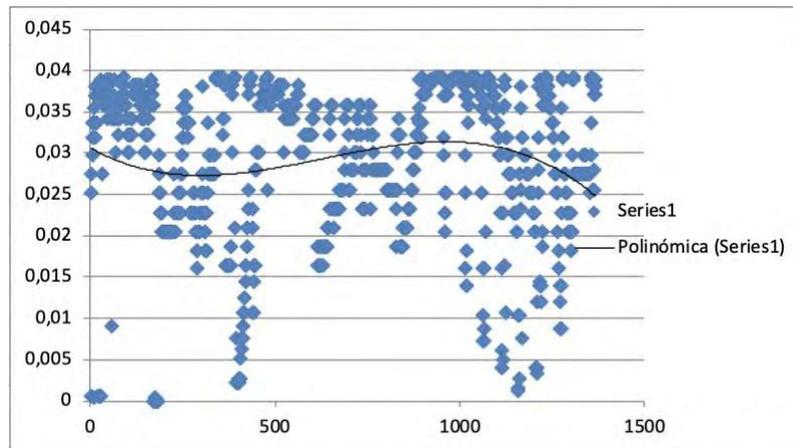


Figura 83. Función de aproximación de PH para el nivel de riesgo 3

V.6.viii. Módulo Funciones de pertenencia

Dentro del módulo de fuzificación se definen dos funciones esenciales. La primera **setMembershipFunction** (cargar función de pertenencia) es la que permite la carga de las distintas funciones de pertenencia. Cuando se agrega una nueva función se chequea primero si no está ya cargada dicha etiqueta (por ejemplo "temperature"). Si ya está, se procede a la carga del conjunto (por ejemplo "low"). Por último se cargan los valores de la función, si no está agregada se agrega primero la etiqueta. En la Figura 84 se observa la definición de la función de carga de funciones de pertenencia y en la Figura 85 la implementación de esta función. (Bel W. 20118).

```
public void setMembershipFunction(String parameter, String set, Object funcion){  
    if (!fuzzy_set.containsKey((Object) parameter)){  
        fuzzy_set.put(parameter, new HashMap<String, Object []>());  
        fuzzy_set.get(parameter).put(set, funcion);  
    }  
}
```

Figura 84. Definición carga de función de pertenencia

```
Double [] vec = new Double[]{1.0,10.0,14.0};  
setMembershipFunction("temperature", "low", vec);
```

Figura 85. Instancia de función de pertenencia

La función **Membership** (de pertenencia) recibe como parámetro la etiqueta de dicha función, el conjunto y el valor a evaluar su grado de pertenencia. Primero se evalúa si la etiqueta de la función está cargada, y luego si dicha función tiene el conjunto cargado.

Si ésto se cumple se obtienen los valores de la función de pertenencia y se evalúa el grado de pertenencia de dicho valor. Ésto se puede observar en la Figura 86.

Este módulo de fuzificación opera con un umbral de aceptación 0.7 de grado de pertenencia por defecto. Dicho valor puede ser configurado de acuerdo a lo requerido por el problema (Bel W. 2018).

```
public boolean Membership(String parameter, String set, double valor){
    if(fuzzy_set.containsKey(parameter)&&fuzzy_set.get(parameter).containsKey(set)){
        double[] vector = (double[])fuzzy_set.get(parameter).get(set);
        switch ((int)vector[0]){
            case 1 :{
                if(valor<vector[1]){return true;}
                else{
                    if ((valor>=vector[1])&&(valor<=vector[2])){
                        return (vector[2]-valor)/(vector[2]-vector[1])>=umbral;
                    }else{return false;}}
            case 2 :{
                if(valor<vector[1] || valor>vector[4]){return false;}
                else{
                    if(valor>=vector[2]&&valor<=vector[3]){return true;}
                    else{
                        if ((valor>=vector[1])&&(valor<=vector[2])){
                            return (vector[2]-valor)/(vector[2]-vector[1])>=umbral;}
                        else{
                            return (valor-vector[3])/(vector[4]-vector[3])>=umbral;}}}}
            case 3 :{
                if(valor>vector[2]){return true;}
                else{
                    if ((valor>=vector[1])&&(valor<=vector[2])){
                        return (valor-vector[1])/(vector[2]-vector[1])>=umbral;
                    }else{return false;}}
                default: return false;
            }
        }
    }else{return false;}
}
```

Figura 86. Definición función "Membership"

CAPÍTULO VI – SISTEMA MONITOR DE KRONOS AGRO

VI.1 Desarrollo

En este capítulo se presentan los detalles del sistema monitor en función de las resultantes de FHS. El mismo en la sección VI.1; y en la sección VI.1.i se describe de manera general la arquitectura del prototipo y se tratan en profundidad la implementación de los módulos del prototipo en la sección VI.2.b y en la sección VI.3 se presentan las justificaciones de las tecnologías utilizadas y finalmente el uso del prototipo.

VI.1.i Descripción, Implementación y Arquitectura del modelo

Se desarrolla un sistema de monitoreo con ReactJS [ref: Reactjs], una librería para realizar desarrollos de interfaces, la misma se basa en JavaScript y NextJS® [ref: NextJS] como servicio de renderizado del lado del servidor.

VI.1.ii Login de usuario

El usuario para ingresar a la plataforma deberá loguearse, el sistema de autenticación utiliza FirebaseUI (ref: Firebase®).

Proporciona una solución de autenticación directa que controla los flujos de la IU para los usuarios que acceden con direcciones de correo electrónico y contraseñas, números de teléfono y con proveedores de identidad externas, que incluyen el Acceso con Google, Facebook, Twitter y Github.

El componente de FirebaseUI Auth implementa recomendaciones para la autenticación en sitios web y dispositivos móviles, lo que puede maximizar la conversión de acceso y el registro de la app.

También proporciona el manejo de casos extremos, como recuperación y vinculación de cuentas, que pueden tener repercusiones en la seguridad y ser propensos a generar errores cuando se tratan de manejar correctamente.

FirebaseUI puede personalizarse fácilmente para adaptarse al resto del estilo visual de la app y es de código abierto.

VI.1.iii Autenticación basada en correo electrónico y contraseña

KRONOS.Agro autentica a los usuarios con sus direcciones de correo electrónico y contraseñas. El SDK de Firebase Authentication proporciona métodos a fin de crear y administrar usuarios que utilizan sus direcciones de correo electrónico y contraseñas para acceder.

Firestore Authentication también maneja el envío de correos electrónicos para restablecer la contraseña lo que facilita el entorno de implementación y desarrollo del backend.

VI.1.iv. Context API como patrón de implementación en Firebase

Context es un patrón de implementación basado en estados, provee una forma de pasar datos a través del árbol de componentes sin tener que pasar *props* manualmente en cada nivel.

Los context están disponibles desde la versión 16.3 de React®. (React 2020. Facebook.inc.Recuperado de <https://es.reactjs.org/docs/context.html#reactcreatecontext>)

Las función principal del uso de Context es pasar datos o funciones desde el componente principal hasta los hijos, sin necesidad de pasarlo por cada componente.

Proporciona una forma de compartir valores como estos entre componentes sin tener que pasar explícitamente un *prop* a través de cada nivel del árbol. En la figura 87 se observa la interfaz de inicio de sesión de KRONOS.Agro.

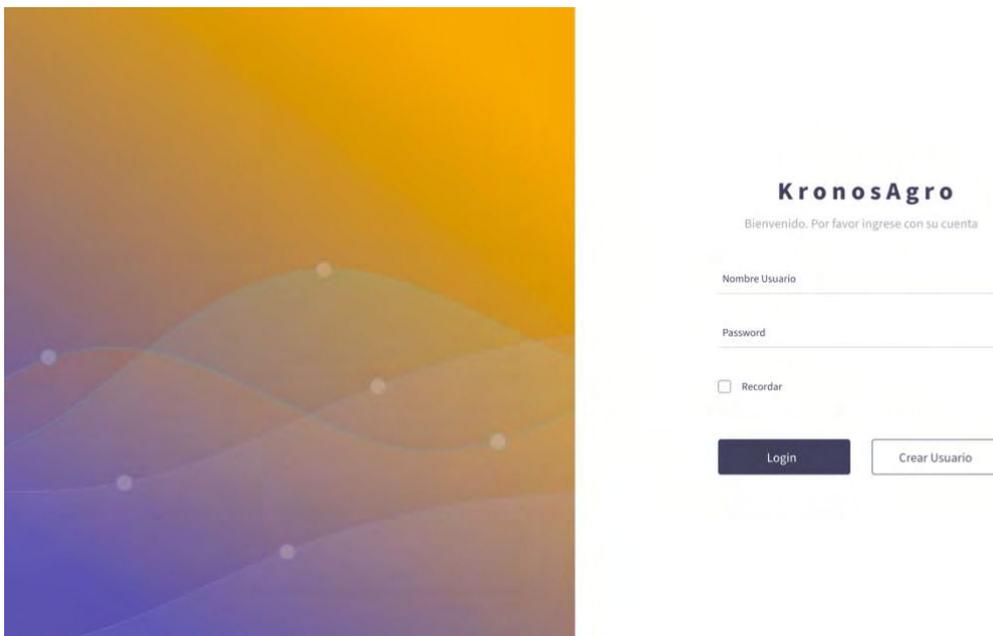


Figura 87. Interfaz de inicio de sesión

Como se menciona previamente Firebase brinda servicios esenciales para que este prototipo pueda funcionar en tiempo real y que la persistencia de los datos sea una tarea sencilla.

El servicio de autenticación de usuario como se puede observar en la Figura 88, se implementa con una clase Firebase, la misma utiliza un constructor para la creación de una cuenta, en la que el usuario cuando tiene que iniciar sesión previamente debe

crearla. Mediante una petición de una función asíncrona se pide registrar al usuario e iniciar sesión o cerrar sesión.

```
import firebaseConfig from './config';

class Firebase {

  constructor() {

    if(!app.apps.length) {
      app.initializeApp(firebaseConfig)
    }
    this.auth = app.auth(); // autenticamos un usuario y creamos una cuenta
    this.db = app.firestore();
  }

  // Registrar usuario
  async registrar(nombre, email, password) {
    const nuevoUsuario = await this.auth.createUserWithEmailAndPassword(email, password);

    return await nuevoUsuario.user.updateProfile({
      displayName: nombre
    })
  }

  // Inicia sesión del usuario
  async login(email, password) {
    return this.auth.signInWithEmailAndPassword(email, password);
  }

  // cierra la sesion del usuario
  async cerrarSesion() {
    await this.auth.signOut()
  }
}

const firebase = new Firebase();
export default firebase;
```

Figura 88. Autenticación de usuario en Firebase

VI.1.iv. Funciones de guardado de sesión

Una vez que los usuarios crean la cuenta y se valida en Firebase, se necesita guardar la sesión en el caso de que se pierda conexión. En la Figura 89 se muestran las funciones desarrolladas con los hooks **useState** para manejar el estado de la aplicación y **useEffect** para lanzar la petición de la subscripción a Firebase.

```
useAutenticacion.js — KronosAgro-next
useAutenticacion.js ×
hooks > JS useAutenticacion.js > useAutenticacion > useEffect() callback > unsubscribe > firebase.auth.onAuthStateCh
1 import React, { useState, useEffect } from 'react'; 8.4K (gzipped: 3.4K)
2 import firebase from '../firebase';
3
4
5 // guardamos la Sesión del usuario
6 function useAutenticacion() {
7   const [ usuarioAutenticado, guardarUsuarioAutenticado ] = useState(null);
8
9   useEffect(() => {
10    const unsubscribe = firebase.auth.onAuthStateChanged(usuario => {
11      if (usuario) {
12        guardarUsuarioAutenticado(usuario)
13      } else {
14        guardarUsuarioAutenticado(null)
15      }
16    });
17    return () => unsubscribe();
18  }, []);
19  return usuarioAutenticado;
20 }
21
22 export default useAutenticacion;
```

Figura 89. Funciones de guardado de sesión

VI.1.v. Interfaz de creación de cuenta

En la figura 90 se el usuario debe registrarse para el ingreso a la plataforma. Los campos tienen una función de validación, en el caso de que no estén completos no podrá crear su cuenta.

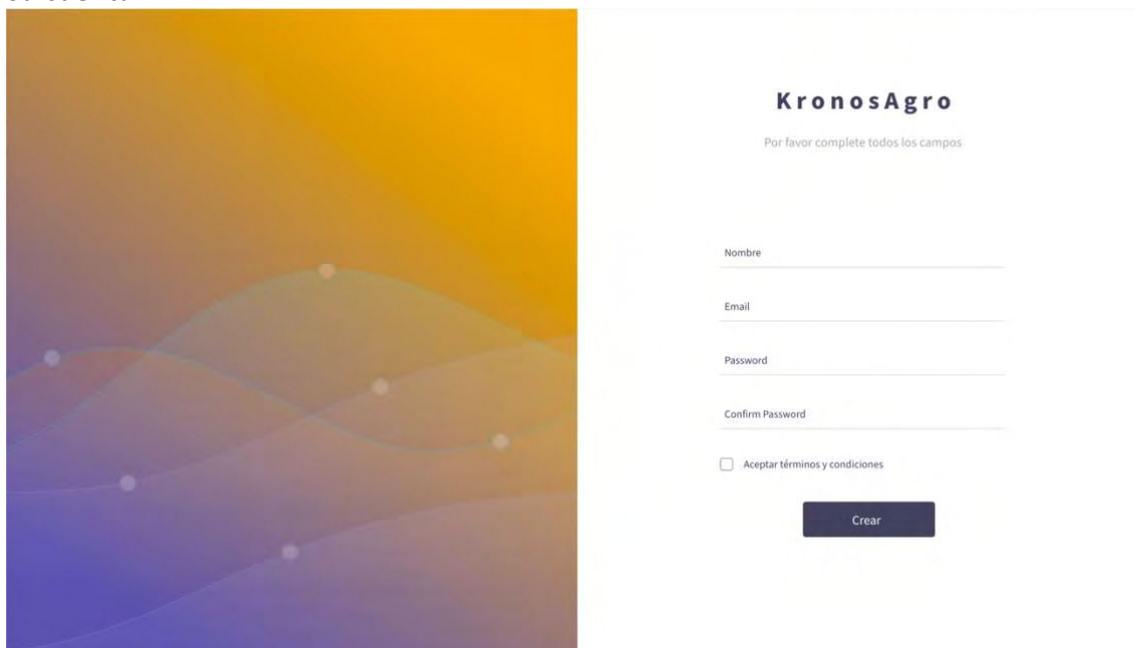


Figura 90. Interfaz de creación de cuenta

VI.1.vi. Funcion de validaciones

En esta sección se presenta la funcion de validacion **validarIniciarSesion**, en la que se desarrolla e implementa con expresiones regulares. Las expresiones regulares son patrones utilizados para encontrar una determinada combinación de caracteres dentro de una cadena de texto.

En JavaScript, las expresiones regulares también son objetos. Estos patrones se utilizan en los métodos **exec** y **test** de **RegExp**, (MDN Web Docs) en la figura 91 se observa la implementación de la misma.

```
JS validarIniciarSesion.js X
validacion > JS validarIniciarSesion.js > validarIniciarSesion
1  export default function validarIniciarSesion(valores) {
2
3      let errores = {};
4
5
6      // validao el email
7
8      if(!valores.email) {
9          errores.email = " El email es obligatorio";
10     }else if( /^[A-Z0-9._%+-]+@[A-Z0-9+-]+\.[A-Z]{2,}$/i.test(valores.email) ) {
11         errores.email = "Email no válido"
12
13     }
14     // validar password
15     if(!valores.password) {
16         errores.password = "El password es obligatorio";
17     }else if(valores.password.length < 6 ) {
18         errores.password = "El password debe ser de al menos 6 caracteres"
19     }
20     return errores;
21
22 }
```

Figura 91. Validación con expresiones regulares

VI.1.vii. Pantalla principal

Una vez que el usuario está registrado accede a la interfaz principal donde puede ver el panel de distribución de los distintos sensores, tomando el registro de los datos del equipo de adquisición en tiempo real. En la figura 92 se observa dicha interfaz.

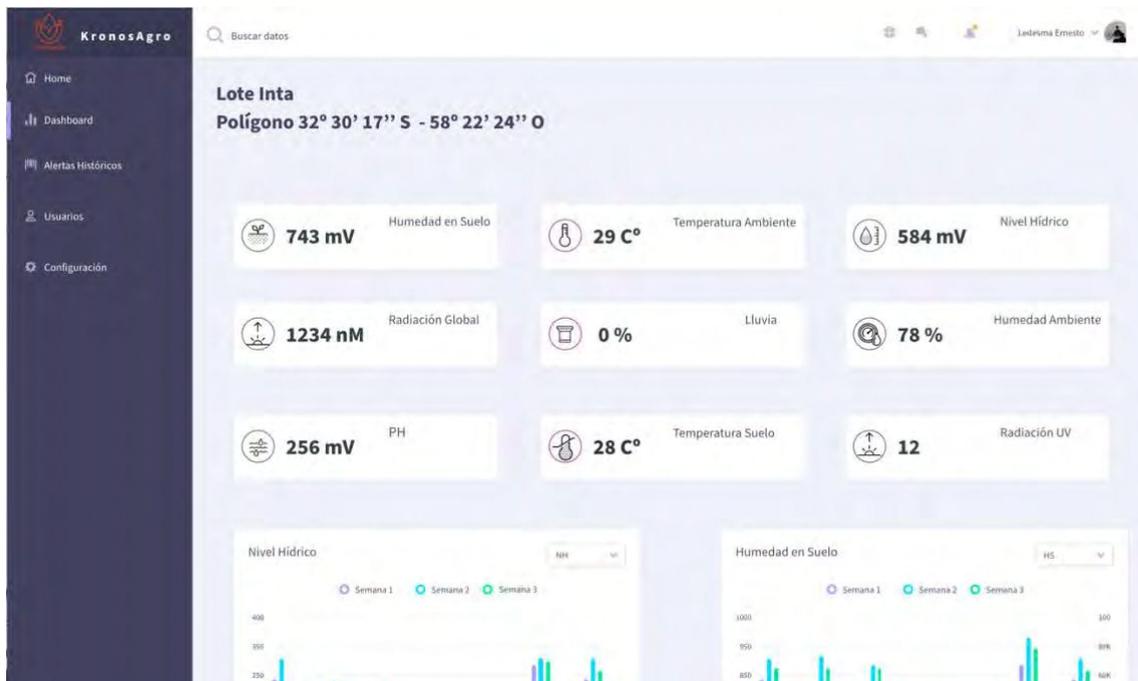


Figura 92. Interfaz principal del panel de sensores

Los datos son extraídos en tiempo real de la base de datos de Firestore® como observamos en la figura 93, en la función **DataPoligonoInta** implementa el Hook **useEffect** (función de ejecución de React® para controlar el state de la aplicación) permite cargar el componente y extraer la data de la colección de Firebase®.

```

data-poligono-inta.js
import React, { useEffect, useState, useContext } from 'react'; 8.5K (gzipped: 3.4K)
import Layout from '../components/layout/layout';
import { FirebaseContext } from '../firebase';
import DetalleDataInta from '../components/layout/DetalleDataInta';

import firebase from '../firebase';

const DataPoligonoInta = () => {

  const [ dataInta, guardarDataInta ] = useState([]);

  const { firebase } = useContext(FirebaseContext);

  // cargue el componente
  useEffect(() => {
    const obtenerData = () => {
      firebase.db.collection('polygonDataModule').orderBy('msg', 'desc').onSnapshot(manejarSnapshot)
    }

    obtenerData();
  }, [])

  function manejarSnapshot(snapshot) {
    const dataInta = snapshot.docs.map( doc => {
      return {
        id: doc.id,
        ... doc.data()
      }
    });
    //console.log(data);
    guardarDataInta(dataInta);
  }
}

```

Figura 93. Implementación del Hook para la data del polígono

VI.1.viii. Notificaciones de alertas en el sistema

Este apartado detalla la implementación del módulo de notificaciones por medio de FHS en el sistema de KRONOS.Agro, el mismo se implementa dentro de las funciones del módulo de adquisición del ArduinoMega®. Cabe recordar que el módulo de adquisición cuenta con un shield GSM/GPRS SIM900 que permite enviar mensajes, el cual se implementa en Cloud Message de Firebase, cuando se detecta un patrón difuso se realiza el disparo de la notificación.

VI.1.viii.a Notificaciones push

El servicio de Cloud Messaging de Firebase permite enviar mensajes al navegador en forma de *push notifications* sin ningún costo. Cuando se implementan notificaciones los usuarios deben aceptar que quieren recibir notificaciones en la aplicación.

Los mensajes se entregan cuando el usuario tiene la aplicación abierta o en forma de notificación nativa del sistema operativo cuando la aplicación esté inactiva. Dentro de las características se pueden enviar mensajes por Admin SDK, HTTP/HTTPS y XMPP Api (servicios básicos de mensajería).

VI.1.viii.b Service worker

Los Service Worker son utilizados en el desarrollo web, ya que una secuencia de comandos que el navegador puede ejecutar en segundo plano, separado de una página web, abriéndose la puerta a funciones que no necesitan una página web ni interacción del usuario.(Web Fundamentals -- (2020). Recuperado de <https://developers.google.com/web/fundamentals/primers/service-workers/>)

Algunas consideraciones importantes sobre los service workers:

- Un service worker es un proxy de red programable. Esto permite controlar la manera en que se procesan las solicitudes de red en la aplicación.
- Se detiene cuando no está en uso y se reinicia cuando se lo necesita nuevamente. En consecuencia los controladores **onfetch** y **onmessage** no son estables para un mismo servicio (service worker). Si hay información crítica, debe persistir para poder ser reutilizada entre reinicios. Para ello, los service workers tienen acceso a una API de IndexedDB.
- Los service workers se basan en el uso de las Promise (Promesas) de JavaScript®. Una **Promesa** es un proxy para un valor no necesariamente conocido en el momento que es creada la promesa.Las mismas permiten asociar manejadores que actúan asincrónicamente sobre un eventual valor en caso de éxito, o la razón de falla en caso de una falla.
- Esto permite que métodos asíncronos devuelvan valores como si fueran síncronos: en vez de inmediatamente retornar el valor final, el método asíncrono devuelve una *promesa* de suministrar el valor en algún momento en el futuro. (MDN Web Doc, 2020.

Recuperado de <https://developer.mozilla.org/>) de esta forma no pueden acceder al DOM (Document Object Model) directamente.

- Como alternativa, un service worker puede comunicarse con las páginas que controla, ya que responde a mensajes enviados a través de la interfaz de **postMessage**; estas páginas pueden manipular el DOM si es necesario.

En la figura 94, se observa la arquitectura de notificaciones de firebase.

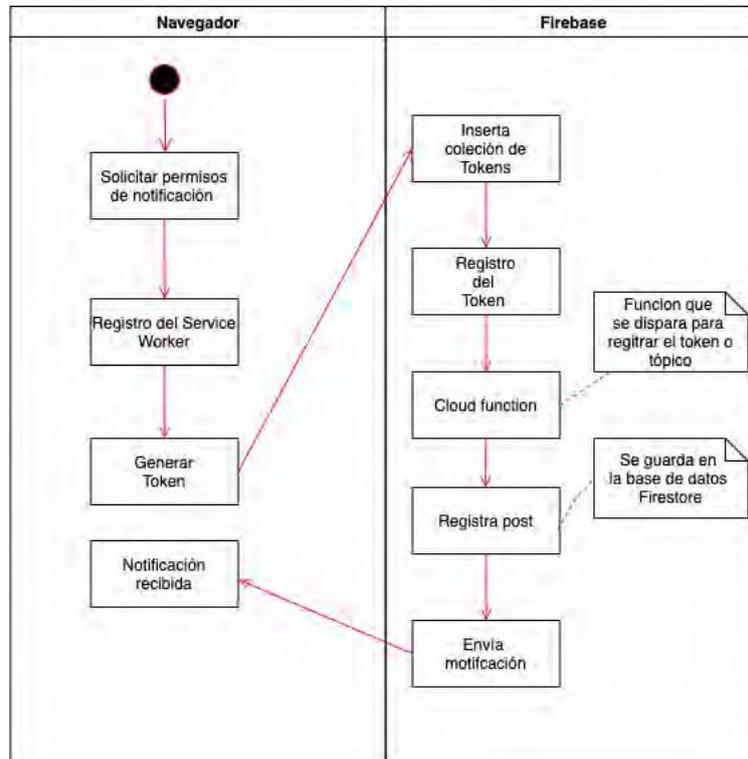


Figura 94. Arquitectura de notificaciones en Firebase

VI.1.viii.c. Implementación de notificaciones

En esta sección se detalla las funciones más relevantes para la implementación de las notificaciones dentro del proyecto *Kenobi-mqtt-see*, recordando que este servicio es el que conecta el módulo de adquisición de datos por medio del broker de MQTT.

En la figura 95 se puede observar que se debe colocar el script de *firebase-messaging* para poder implementarlo dentro del proyecto en el index.html.

```

222
223  #--- Firebase App is always required and must be first ---
224
225
226 <script src="https://www.gstatic.com/firebasejs/5.5.9/firebase-messaging.js"></script>
227
228
229 #--- Build:js js/main.min.js ---
230 <script type="text/javascript" src="js/config/ConfigFirebase.js"></script>
231 <script type="text/javascript" src="js/util/util.js"></script>
232 <script type="text/javascript" src="js/post/post.js"></script>
233 <script type="text/javascript" src="js/general.js"></script>
234 <script type="text/javascript" src="js/auth/autenticacion.js"></script>
235 <script type="text/javascript" src="js/auth/authController.js"></script>
236 <script type="text/javascript" src="js/post/postController.js"></script>
237
238
239 #--- #endbuild ---
240

```

Figura 95. Script de implementación de Firebase Messaging

VI.1.viii.d Configuración del Service Worker

En esta sección se detalla la implementación de lo que se definió anteriormente como el service worker para que las notificaciones puedan llegar en segundo plano. En la figura 96 se importan los script y en la figura 97 se implementa el servicio.

```

firebase: notificaciones-sw.js
public > importScripts('https://www.gstatic.com/firebasejs/5.5.8/firebase-app.js')
importScripts('https://www.gstatic.com/firebasejs/5.5.8/firebase-messaging.js')

```

Figura 96. Importación del Script de implementación de Firebase Messaging

```

navigator.serviceWorker
  .register('notificaciones-sw.js')
  .then(registro => {
    console.log('service worker registrado')
    firebase.messaging().useServiceWorker(registro)
  })
  .catch(error => {
    console.error(`Error al registrar el service worker => ${error}`)
  })

const messaging = firebase.messaging()

// Registrar credenciales web
messaging.usePublicVapidKey(
  'BNXFobbKFCs-uAVxoPSqtgm9GrVypZwx9n2PdS6GCqyn048xgPL0vUhX5hd9xgawFTRFzvfYy0tt8f_IcL_-w'
)

```

Figura 97. Importación de la función serviceWorker

Las notificaciones están basadas en Promise(Promesas), una vez que termina de registrarse se pasa a Firebase para que lo procese.

Las credenciales deben registrarse de Firebase para la implementación del token, en la figura 98, observamos el panel de generación del token del proyecto.



Figura 98. Generación de clave

La función para la notificación podemos verla en figura 99, donde se ejecuta el método ***setBackgroundMessageHandler*** dentro de la función ***payload*** para enviar la notificación en el caso de que exista un riesgo hídrico de nivel medio.

```
// Función que se ejecuta en background para recibir las notificaciones
messaging.setBackgroundMessageHandler(payload => {
  const tituloNotificacion = 'Alerta de Riesgo Hídrico Medio'
  const opcionesNotificacion = {
    body: payload.data.titulo,
    icon: 'icons/icon_new_post.png',
    click_action: 'https://poligonointa-4836b.firebaseio.com/'
  }

  return self.registration.showNotification(
    tituloNotificacion,
    opcionesNotificacion
  )
})
```

Figura 99. Función de ejecución en background

En las figuras 100 y 101 observamos una notificación de riesgo medio y alto disparado por los sellos de patrones identificados y enviados a las funciones de ***messaging***.



Figura 100. Notificación de riesgo medio



Figura 101. Notificación de alerta de riesgo alto

En la figura 102 se observa un listado de las notificaciones que quedan registradas en la interfaz principal en la que el usuario puede divisar las mismas.

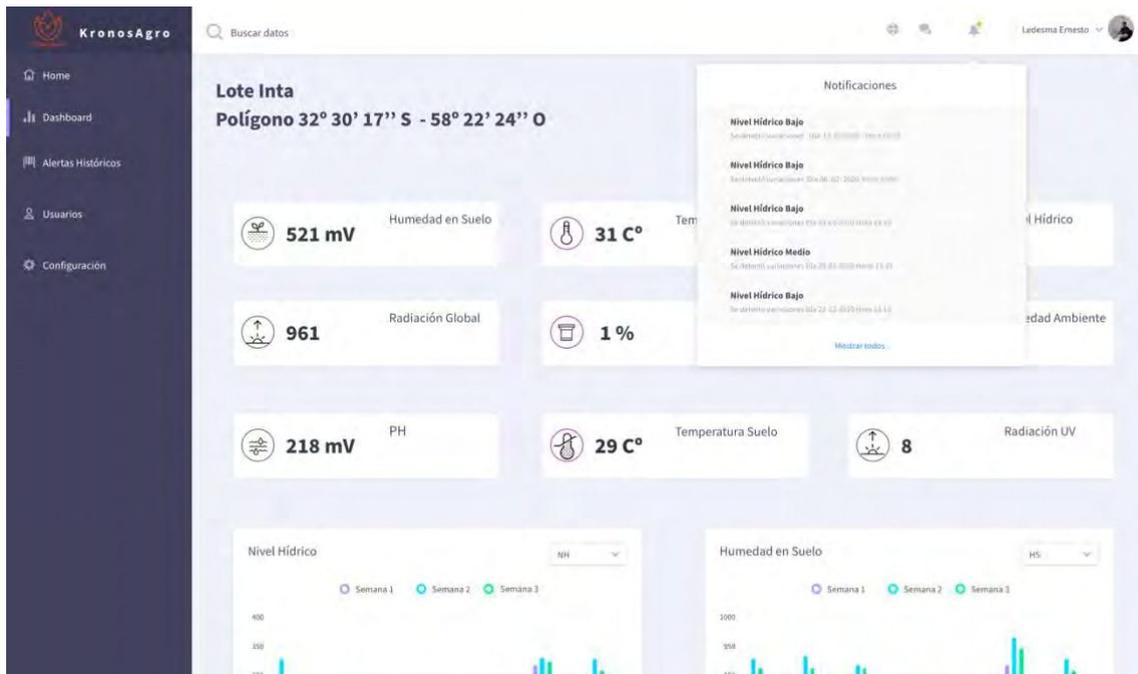


Figura 102. Listado de notificaciones

VI.2. Diagrama de Clases

Este diagrama nos permite definir el modelo de tipos de objetos, sus métodos y las interfaces por las que se relacionan las mismas. Asimismo es posible tener una idea general de comportamiento y estructura.

VI.2.i. Diagrama de Casos de Uso

Éste diagrama permite visualizar los distintos usuarios (o actores pueden ser personas o dispositivos) del sistema, y cuáles son las funciones que puede realizar cada uno de estos actores.

A fin de simplificar el este diagrama y mejor su visualización, se lo divide en tres partes, en la Figura 103 se observa los casos de usos del usuario referidos a la actividad de autenticación del mismo en el sistema KronosAgro.

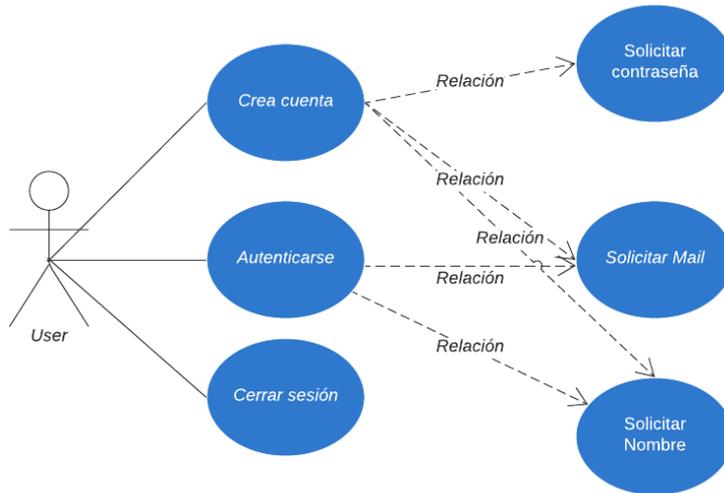


Figura 103. Diagrama de caso de uso ingresar Usuario

VI.2.ii. Diagrama de Actividades

Éste diagrama muestra la secuencia de actividades del proceso de autenticación de usuarios descrito en secciones previas de este capítulo. Cuando se inicia la aplicación, el usuario puede realizar dos actividades relacionadas con la autenticación:

1. Crear una cuenta
2. Iniciar sesión

En la Figura 104 se puede observar, además, el ciclo completo de actividades que debe realizar un nuevo usuario para poder ejecutar el prototipo KronosAgro

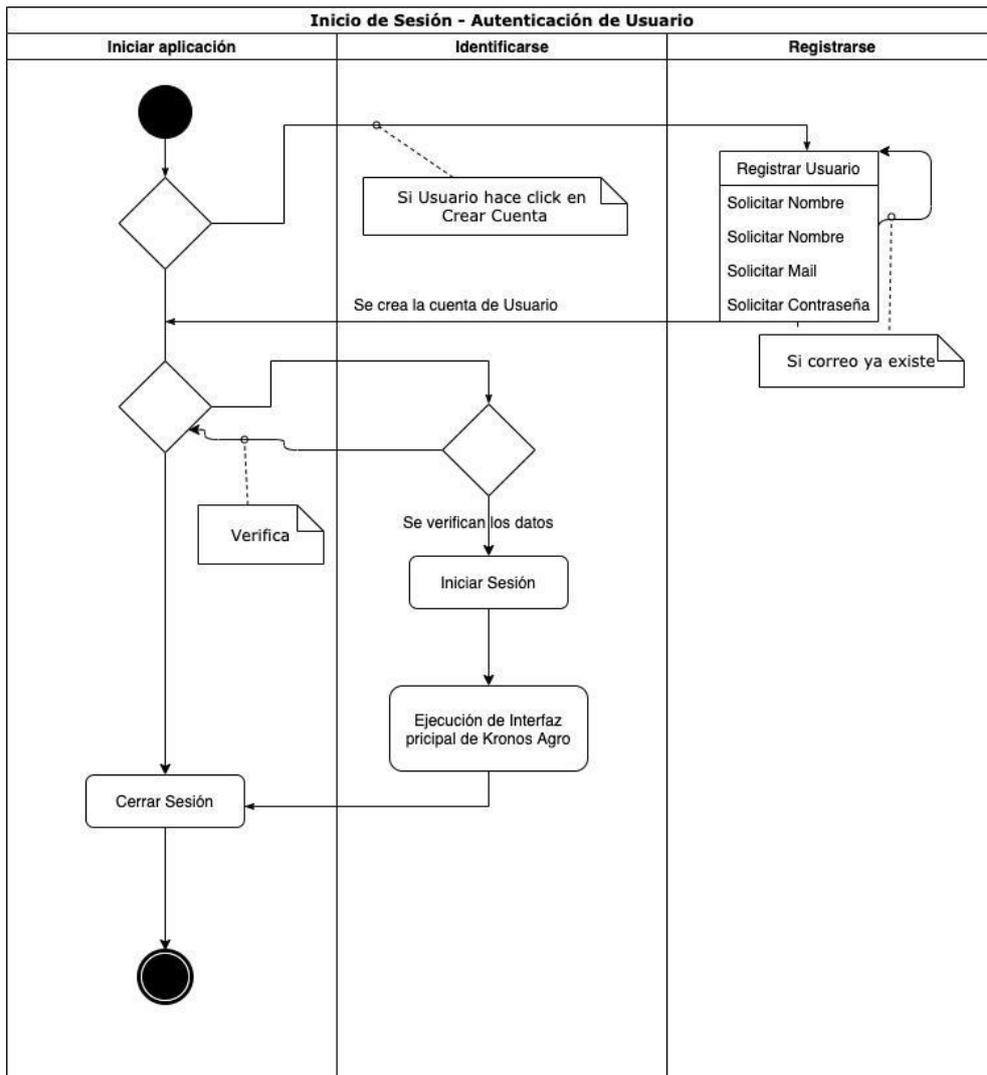


Figura 104. Diagrama de actividades autenticación de usuario

VI.2.iii. Diagrama de Estados

En el diagrama de estados de la Figura 105 se observa la dinámica del funcionamiento de núcleo del modelo FHS implementado en el prototipo, esta función es disparada por el módulo de adquisición KronosData.

Se observan en detalle las instancias por las que funciona KRONOS.Agro durante el cálculo del nivel de riesgo de las variables de los sensores.

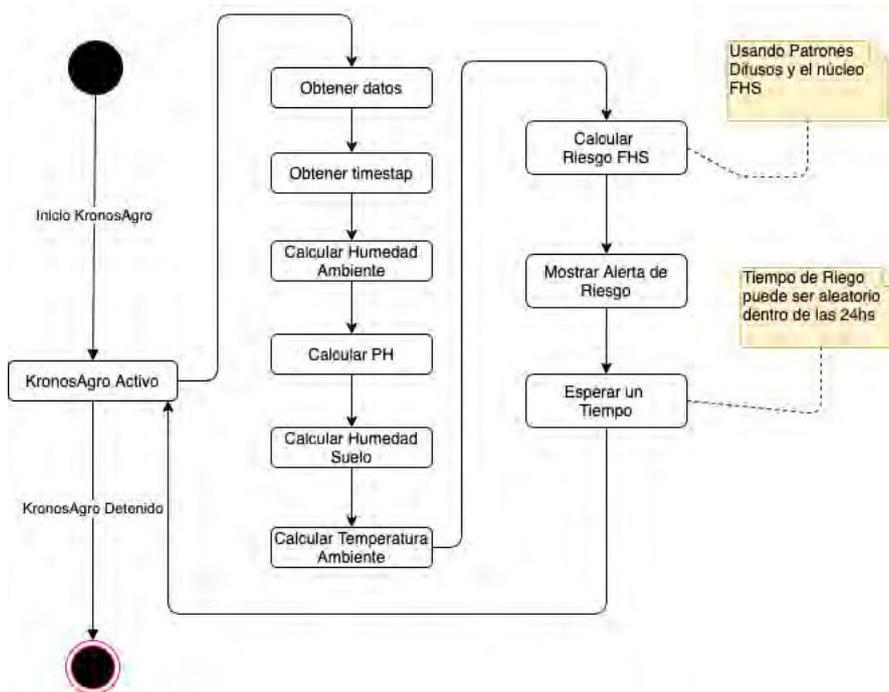


Figura 105. Diagrama de estados de ejecución de KronosAgro

VI.2.vi. Diagrama de Paquetes

Éste diagrama representa las dependencias entre los distintos paquetes que conforman el sistema. Indica cómo están agrupados los módulos del sistema y cuál es la dependencia de éste con los demás.

Se representan dos diagramas, uno para la aplicación KronosData que se observa en la Figura 106 y otro para KRONOS.Agro el cual se observa en la Figura 107. En ambos casos se excluyen de los diagramas el uso de librerías externas, las dependencias de los layouts de diseño de interfaz, paquetes y otros archivos de configuración de las aplicaciones para visualizar mejor estos diagramas de manera reducida.

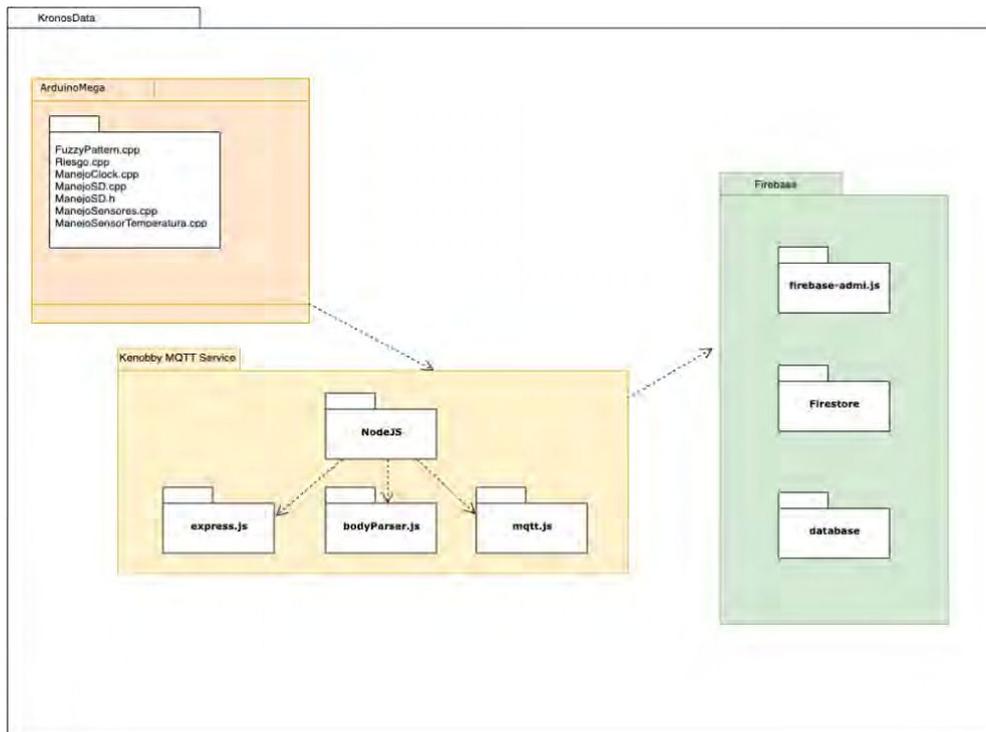


Figura 106. Diagrama de paquetes KronosData

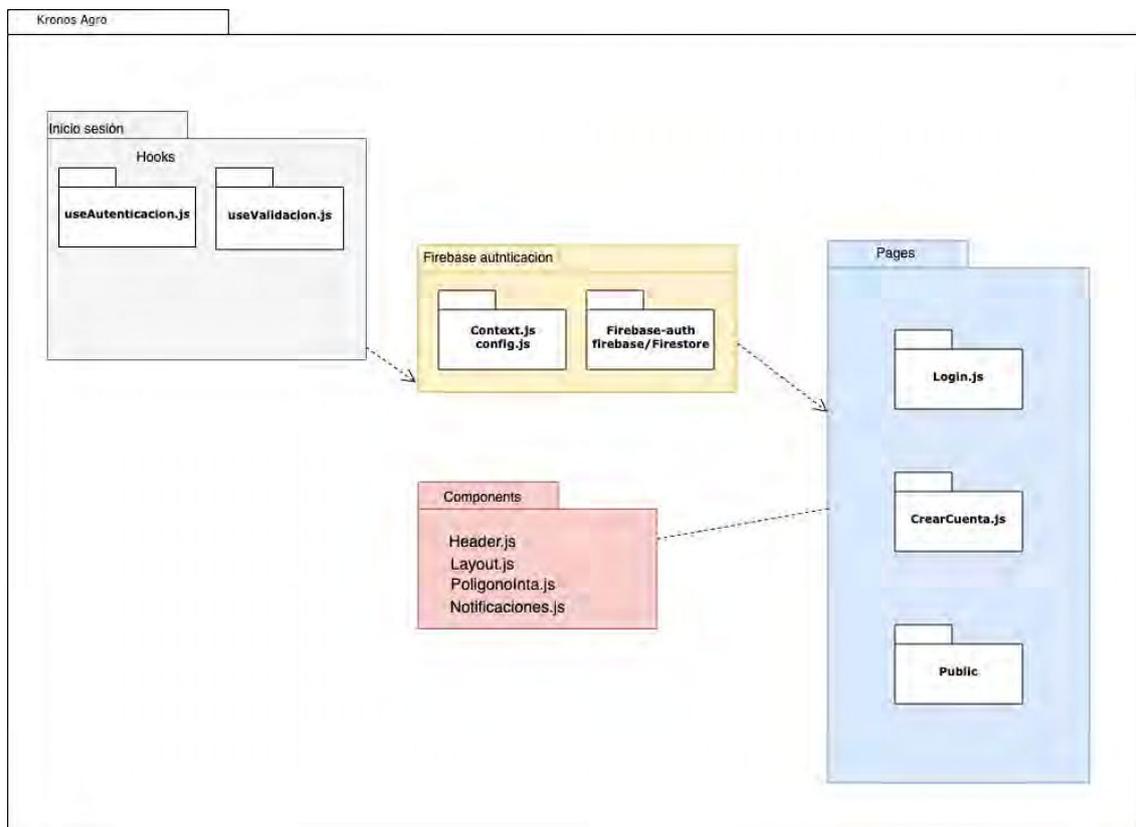


Figura 107. Diagrama de paquetes de KRONOS.Agro

VI.3. Justificación

En esta sección se presenta una breve justificación de las tecnologías de software más importantes elegidas para el desarrollo del prototipo KRONOS.Agro de esta propuesta.

VI.3.i. MQTT

Como se describe en los capítulos anteriores, MQTT es una plataforma de bajo costo para la implementación de envío de datos remotos (plan costo Us\$5 mensuales) sus librerías open source y la flexibilidad multiplataforma y de lenguajes son sus principales características.

VI.3.ii. Cloud Firebase

Firebase ofrece una gama de servicios, de los que este prototipo utiliza dos. Estos servicios son esenciales para el sistema: Autenticación y , Base de Datos en Tiempo Real. Estos servicios pueden ser utilizados para aplicaciones medianas y grandes, dado que permite hasta 100 conexiones simultáneas, 1 Gb de almacenamiento y 10 GB de descargas por mes. Es de destacar que el Firestore permite configuraciones rentadas de mayor potencia que no son consideradas. Dado que los datos almacenados están en formato JSON, estos volúmenes de almacenamiento son suficientes para un correcto funcionamiento.

En Firestore se almacenan Documentos (diccionarios de datos que se puede guardar y trabajar en forma de llaves) y Colecciones (conjunto de documentos).

Los documentos pueden ser sencillos o complejos, con llaves y modelos de datos más avanzados, listas y objetos con documentos en forma de llaves y valores o, incluso más listas de documentos.

También Firestore permite trabajar con referencias para acceder a documentos con “atajos” y realizar operaciones sobre ellos. Firestore tiene una gestión de índices como otras bases de datos para la realización de búsqueda y consultas. Ésto permite una eficiencia alta y escalable en el ahorro de tiempo al evitar la búsqueda dato por dato.

VI.3.iv. NodeJS

NodeJs es un entorno de ejecución para el desarrollo de aplicaciones robustas basado en Javascript, otra de las ventajas es que es Open Source. La implementación de los microservicios en esta propuesta, permite tener sistemas de asincronismo adaptable y de respuestas en tiempo de ejecución rápidas y eficientes.

VI.3.v. NextJS

El prototipo KRONOS.Agro se desarrolla con NextJS como se explica en los capítulos anteriores. NextJS está basado en lo que se denomina como SSR (service Side Render) estos tipos de servicios se ocupan de generar el HTML, a diferencia de los servicios Client Rendering es el Navegador el que ejecuta el HTML.

El sitio web o aplicación carga más rápido ya que los recursos de la computadora no son utilizados sino los del servidor.

CAPÍTULO VII - CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones, que responden a los objetivos e hipótesis propuestos para este trabajo de investigación y los hallazgos obtenidos como consecuencia del mismo. En la sección VII.1 se presenta un análisis de la solución a los objetivos e hipótesis, y en la sección VII.2 hallazgos del trabajo investigación.

VII.1. Análisis de soluciones a objetivos e hipótesis

En esta sección se describen brevemente los resultados obtenidos respecto a los principales objetivos e hipótesis planteados para este trabajo de investigación. A fin de no reiterar detalles, se referencia para cada ítem al capítulo y sección donde se estudia el tópico en cuestión.

VII.1.a. Validación del modelo

El objetivo específico planteado para este trabajo consiste en la validación apropiada del modelo propuesto. Para ello se emplearon el estadístico Kappa, ECM y RECM. Para los que se obtuvieron los siguientes resultados: Kappa 0.819 (lo que indica un predictor aceptable a los fines prácticos), ECM del 12% y RECM de 20% (margen de error relativamente bajo para la predicción de este tipo de eventos). Para más detalles remitirse al capítulo IV.

Por lo anterior, se puede decir que el método de detección de patrones es suficientemente flexible como para aplicarlo al contexto de detección de estrés hídrico en cultivos, su simplicidad permite realizar perfilado y reducción de la complejidad computacional.

El modelo ASD detecta de manera efectiva los patrones temporales difusos que le permiten al modelo analizar desde una perspectiva más flexible los datos. Para más detalles remitirse al capítulo IV.

VII.1.b. Validación técnica del modelo

El modelo FHS está implementado en el prototipo KronosData y KronosAgro a fin de realizar la validación técnica de su funcionamiento en entornos reales de cultivos de arroz. A priori, las pruebas realizadas indican que el funcionamiento del prototipo de adquisición de datos y web (en un entorno real de pruebas de campo controlado) se deduce que el comportamiento del modelo mantiene su eficiencia aún en un entorno real variable que requiere de procesamiento y respuesta inmediata. Para más detalles remitirse al capítulo III.

VII.1.c. Validación por parte de la comunidad científica

Durante todo el proceso de este trabajo de investigación se han realizado publicaciones de las distintas etapas del mismo, para someter dichas tareas a la evaluación, crítica y aprobación por parte de pares de la comunidad científica.

Estas publicaciones comprenden los distintos hallazgos sobre el desarrollo del módulo de adquisición de datos y las pruebas de campo al modelo ASD, análisis de datos e implementación del modelo ASD en un prototipo web. Para más detalles remitirse al capítulo IV y V.

VII.2. Hallazgos del trabajo de investigación

En esta sección se describen de manera breve los hallazgos obtenidos durante este trabajo de investigación, referenciando para cada uno de éstos el capítulo y la sección donde se fundamenta lo expresado.

VII.2.a. Variables del estado del clima y su impacto en el nivel de riesgo

A partir de las pruebas de campo realizadas con el prototipo se obtuvieron los primeros datos que relacionan las distintas variables de los sensores y su impacto en el nivel de riesgo hídrico.

Cuando las variaciones más críticas de humedad en suelo, las variables determinantes se reducen a temperatura ambiente y PH. Un hallazgo más significativo respecto a las variables se relaciona con el comportamiento del PH: Se ha detectado que cuando el PH se encuentra por debajo de los 230 mV y la humedad en suelo por debajo de los 450mV, la cantidad de situaciones de riesgo se incrementa significativamente. Este hallazgo será validado en futuros tests.

VII.2.b. Variables de Temperatura de suelo y viento

Durante la etapa inicial de pruebas de campo, se consideran reglas que incluyen la temperatura de suelo y viento. Estas variables se obtienen con los datos del estado del módulo de adquisición remoto.

Como consecuencia de las mejoras del prototipo y la aplicación de FHS, estas reglas cambian a otro conjunto con variables más significativas derivadas del análisis de minería y estadísticas de los datos tomados y analizados en las pruebas de campo.

VII.2.c. Reglas obtenidas de analizar los resultados del funcionamiento del modelo FHS

Durante el análisis de interdependencia probabilística, se obtiene un conjunto de reglas (del tipo IF condición THEN) derivadas de la minería con un árbol de inducción J48 sobre la variable fhs_predict, que serán incorporadas en futuras implementaciones en patrones opcionales. Dado que sólo se incluyen variables relevantes en el presente trabajo, no se consideran para el armado de las reglas y patrones utilizado por los predictores en el contexto de este trabajo. Para más detalles remitirse al capítulo IV y V.

CAPÍTULO VIII - TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo se presentan y describen los trabajos futuros que se derivan del trabajo de investigación o que quedaron fuera del alcance de la misma. Dichos trabajos están referidos a distintos aspectos tratados en esta investigación.

VIII.3. En Relación a la Determinación de nuevos Logs de Datos

Resta por verificar al modelo inferencias en distintas campañas de cultivos. También la evaluación de cómo afecta a los resultados (en tiempos de procesamiento y precisión) la incorporación de información adicionales: datos satelitales y información de polígonos, etc.

VIII.3.i. Muestreo de variables

Dado que el intervalo entre muestreos clásicamente establecido en la comunidad es muy amplio en relación con la velocidad de cambio del modelo, debe precisarse aún el impacto económico en rinde, cuando el riego se guía por las alertas tempranas y se previene completamente el estrés hídrico.

VIII.3.ii. Detección y predicción de bajos niveles de índice verde

Otra de las problemáticas interesantes a considerar durante el cultivo de arroz, es la detección temprana de falencias y escasez de clorofila. Asimismo, es posible estudiar el uso adecuado de nitrógeno en estos cultivos.

VIII.3.iii. Detección y predicción de plagas

A través de variables climáticas que el modelo trabaja, es posible desarrollar un conjunto de sellos para la detección de ciertas plagas en los cultivos.

VIII.3.iv. Detección y predicción basados en otros cultivos

Se planea incorporar en el core del modelo FHS datos, variables propias de otros cultivos de precisión. De esta manera es posible diseñar modelos predictivos especializados.

De las nuevas variables que se detecten, se deberán definir distintos patrones respecto al estado del nuevo tipo de cultivo, para que reaccione sobre las distintas alertas que le proporcione el sistema.

VIII.4. Relacionados al prototipo Kronos Agro

En esta sección se detallan las actividades pendientes, mejoras y nuevas líneas de investigación que surgen a partir del prototipo como pieza de software.

VIII.4.i. Implementación de un sistema móvil

El sistema propuesto abarca tecnología web cumple con “interfaces responsive” (aquellas con la capacidad de adaptarse a cualquier pantalla de dispositivos). Por lo tanto, se puede desarrollar una aplicación nativa para dispositivos móviles.

VIII.4.ii. Reportes de situaciones de riesgo hídrico

Si se extiende para poder utilizar distintas zonas de monitoreo en forma paralela, los usuarios podrían reportar incidentes de riesgo tomando las coordenadas (latitud y longitud) y las envía a Firebase para indicar los reportes de riesgo en dicha ubicación.

El uso de Functions de Firebase (funciones que disparan rutinas cuando ocurren eventos) permite ejecutar una función almacenada en la base de datos cada vez que se reporta un riesgo hídrico. Entre otras cosas se podrían extender las funciones no sólo a alarmas (uso actual) sino también a disparadores de control como válvulas de riego, mensajería WEB, etc.

VIII.4.iii. Determinar nuevos patrones a partir del análisis de los resultados de las pruebas de campo

Como se mencionó previamente en los capítulo V y VI el prototipo funciona actualmente con 8 patrones (definidos por riesgo hídrico), incrementar esta cantidad de patrones implica mejorar la eficiencia del prototipo y detectar mayor cantidad de situaciones (y de mayor diversidad).

Para definir estos nuevos patrones se parte de los hallazgos del análisis realizado en el capítulo IV y V, y de distintas reglas obtenidas a partir de los árboles J48 construidos en el capítulo IV y V, los cuales se describen en el capítulo VI.

REFERENCIAS

Acuña, E. García, D. López De Luise, C. Paredes, A. Celayeta, M. Sandillú, W. Bel. Traffic & Pedestrian risk inference using Harmonic Systems. SOFA. Romania. 2014.

AGRONOMÍA DEL CULTIVO DEL ARROZ EN RIEGO POR ASPERSIÓN: VARIEDADES, RIEGO, FERTILIZACIÓN Y CONTROL DE MALAS HIERBAS” -Universitat de Lleida Escola Tècnica Superior d’Enginyeria Agrària Departament de Producció Vegetal i Ciència Forestal - Olga Blanco Alibés Lleida, 2014 .

Altman D.G. (1991) - Practical statistics for medical research. New York: Chapman and Hall.

Analysis of Optimum Crop Cultivation Using Fuzzy System.Fahim Jawad, Tawsif Ur Rahman Choudhury, S M Asif Sazed, Shamima Yasmin , Kanaz Iffat Rishva, Fouzia Tamanna,Rashedur M Rahman. Department of Electrical and Computer EngineeringNorth South University. Dhaka, Bangladesh.2016 IEEE ICIS 2016, June 26-29, 2016, Okayama, Japan

Arguissain, G.G.; H.J. Pirchi; L. Garcías. 2009. Sistema de Riego alternativo para el cultivo Puitá INTA-CL.Evaluación en lotes de producción. Resultados experimentales, CD Compendio 1991-2011. PROARROZ. EEA INTA Concepción del Uruguay, Argentina. 18: 77-78

Barona E. Importancia de la semilla de arroz. Arroz. 2010.

Beecher HG; BW Dunn, JA Thompson, E Humphreys, SK Mathews e J Timsina. 2006. Effect of raised beds, irrigation and nitrógeno management on growth, water use and yield of rice in south-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture. 46: 1363-1372.

Bel Walter. Modelo de Sistemas Armónicos Difusos para Minería Temporal . 2018 - UNLP

Belder P.; B.A.M. Boumana; R. Cabangon; Lu Guoanc; E.J.P. Quilang; Li Yuanhua; J.H.J. Spiertz; T.P. Tuong. 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia. Agricultural Water Management 65: 193–210.

Brizuela, B. 2002. Proyecto: Estudio de los recursos naturales en la cuenca del río Uruguay utilizando sistemas de información geográfica. <http://www.cicyttp.org.ar/climatologiafca>.

Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems.R.J. Cabangon.Crop, Soil, and Water Sciences Division, International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines.2002

D. Alex Quistberg, J. Jaime Miranda, Beth Ebel. Reducing pedestrian deaths and injuries due to road traffic injuries in Peru. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. Peru. *Med Exp Salud Publica* vol.27 n.2 Lima Apr./Jun. 2010.

D. López De Luise. Harmonics Systems for Time Mining. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. Vol. 3, Issue. 6. 3 pp-2719-2727. ISSN: 2249-6645. 2013.

D. López De Luise, MLW and bilingualism. *Adv. Research and Trends in New Technologies, Software, Human-Computer Interaction, and Communicability*. IGI Global. USA. 2013.

D. Mansilla, M. Sandillú, D. López De Luise, W. Bel. Un Modelo con Conocimiento Experto y Sistemas Armónicos para Evaluación de Riesgos de Tráfico. *EnIDI Argentina*. 2015.

D. López De Luise, MLW and bilingualism. *Adv. Research and Trends in New Technologies, Software, Human-Computer Interaction, and Communicability*. IGI Global. USA. 2013.

Dopazo, M.N. 2013. Impacto de diferentes métodos de riego en la absorción de Nitrógeno en arroz cultivado en la zona de San Javier. Trabajo final de graduación. *Fac. de Cs. Agrarias, Univ. Nac. Del Litoral. Esperanza, Santa Fe, Argentina*.

Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., and Smyth P. (1996a) - The kdd process for extracting useful knowledge from volumes of data. *Commun. ACM*, 39 (11):27–34.

Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. B.A.M. Bouman*, T.P. Tuong. *Soil and Water Sciences Division, International Rice Research Institute, P.O. Box 3127, Makati Central Post Office, 1271 Makati City, Philippines*. Received 20 September 1999; received in revised form 4 July 2000; accepted 25 July 2000 .

Fuzzy Harmonic Systems for Traffic Risk. Walter Bel¹, Daniela López de Luise¹, *Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER), Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina*. 2014

Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. Rodrigo S. Sica^a, Emmanuel John M. Carranza^b, Uday Bhaskar Nidumolu. *National Economic and Development Authority (NEDA), Zamboanga City, Philippines*. 9 March 2004.

Fuzzy-logic modeling of land suitability for hybrid poplar across the Prairie Provinces of Canada. B. N. Joss & R. J. Hall & D. M. Sidders & T. J. Keddy.

F. Zhao, J. Liu, J. Liu, L. Guibas and J. Reich, "Collaborative Signal and Information Processing: An Information Directed Approach," *Proceedings of the IEEE*, pp. 1199-1209, 11 August 2003.

Gill, R.R. y Martelotto, E.E. (1993) El agua edáfica. Guía práctica para su determinación. EEA INTA Manfredi. 9pp.

Ground cover rice production systems increase soil carbon and nitrogen stocks at regional (scale.M. Liu , M. Dannenmann , S. Lin , G. Saiz)College of Resource and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China.2015.

<https://nodejs.org/es/>

<https://es.reactjs.org/>

<https://firebase.google.com/docs/firestore?hl=es-419>

<https://firebase.google.com/docs/auth?hl=es-419>

<http://mqtt.org/>

Irrigation Manual. Volume III. Module 8. Sprinkler Irrigation Systems Planning, Design, Operation and Maintenance.80pp. **FAO**.2001.

J. B Patel, C. B Bhatt, B. Patel, K. Parwani and C. Sohaliya, "Field Irrigation Management System Using Wireless Sensor Network," International Conference on Engineering, Nirma University, pp. 1–4, 2011.

J. E. Wieselthier, G. D. Nguyen and A. Ephremides, "Resource management in energy-limited, bandwidth-limited, transceiver-limited wireless networks for session based multicasting," Computer Networks, vol. 39, no. 2, pp. 113-131, 2002.

J. Haule, K. Michael, "Deployment of wireless sensor networks (WSN) in automated irrigation management and scheduling systems: a review," Pan African Conference on Science, Computing and Telecommunications (PACT), pp. 86–91, 2014.

J. Gutiérrez,vF. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay and M. Á. Porta- Gándara, "Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module," IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, vol. 63, no. 1, pp. 166-176, 2014.

Kato Y, Katsura K. Rice adaptation to aerobic soils: physiological considerations and implications for agronomy. Plant Production Sc. 2014.

Liu M, Lin S, Dannenmann M, Tao Y, Saiz G, Zuo, K, et al. Do water-saving ground cover rice production systems increase grainyields at regional scales. Field crops re. 2013 Jul; 150: 19-28.

Lin, and K. Butterbach-Bahl3.State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry.

López De Luise D. (2013a) - Introducción a los Sistemas armónicos. Advanced Research and Trends in New Technologies, Software, Human-Computer Interaction and Communicability.IGI Global.

López De Luise D. (2013b) - Harmonics systems for temporal mining. IEEE CIS Magazine.SFP.

López De Luise D. (2013c) - MLW and bilingualism. Adv. Research and Trends in New Technologies, Software, Human-Computer Interaction, and Communicability.IGIGlobal.USA.

López de Luise D. and Bel W. (2017) - Libro "Cálculo de Riesgo en Tráfico y Peatón usando Sistemas Armónicos", 978-3-639-53739-0. Editorial Académica Española.

López De Luise D., Agüero F., Bosio S., Londoño P., Aguirre F., Agüero M, Telechea R., Kurlat M.E., Musella J.P. and Milano F. (2010) - Sistema de Soporte de Decisiones para inversiones en transporte. Argentina. Córdoba. Congreso. IX CONGRESO ITS.

López de Luise D., Bel W., Malca la Rosa R. and Mansilla D. (2017) - Capítulo de libro: Risk PredictionBasedon Time and GPS Patterns. Information Technology and ComputationalPhysics, pag. (109-124) - Editorial Springer – ISBN 978-3-319-44259-4.

López de Luise D., Bel W., Mansilla D. and Malca la Rosa R. (2016) – Predicción de Riesgo basado en tiempo y patrones GPS. IEEE BiennialCongress of Argentina (ARGENCON) Buenos Aires, Argentina.

López de Luise D., Bel W., Mansilla D. and Sandillú M. (2015) – Un Modelo con Conocimientos Expertos y Sistemas Armónicos para Evaluación de Riesgos de Tráfico. VIII EnIDI Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería (ENIDI) Mendoza, Argentina.

López De Luise D., Bel W., Sandillú M. and Acuña I. (2014) - Risk Prediction using Harmonics System for Time Mining. 6th International Workshop on Soft Computing Applications (SOFA) Timisoara, Romania.

López De Luise D., Bel W., Sandillú M. and Paredes C. (2014) - Cálculo de Riesgo en tráfico y Peatón usando Sistemas Armónicos. IEEE BiennialCongress of Argentina (ARGENCON) Río Negro, Argentina.

López De Luise D., Bel W., Sandillú M. and Paredes C. (2016) – Capítulo de libro: Traffic and Pedestrian Risk InferenceUsing Harmonic Systems. Soft Computing Applications, pag. (103-112) - Editorial Springer - ISBN 978-3-319-18295-7.

Low-Cost Wireless Monitoring and Decision Support for Water Saving in Agriculture. Federico Viani, Member, IEEE, Michael Bertolli, Marco Salucci, Member, IEEE, and Alessandro Polo, Student Member, IEEE.

Marano, R.P. 2011. Arroz irrigado en Santa Fe. Programa de Doctorado en Irrigación y Drenaje. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP).

OECD.Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).<http://www.oecd.org>. 2014.

Olmos, S. 2006. Prácticas para el manejo de arroz. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Corrientes. Argentina. 21p.

P. B. Chikankar, D. Mehetre and S. Das, "An automatic irrigation system using ZigBee in wireless sensor network," International Conference on Pervasive Computing (ICPC), pp. 1–5, 2015.

P. H. Tarange, R. G. Mevekari and P. A. Shinde, "Web based automatic irrigation system using wireless sensor network and embedded Linux board," IEEE International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), pp. 1-5, 2015.

Pérez López C. and Santín González D. (2008) - Minería de datos. Técnicas y herramientas. ISBN: 9788497324922.

Predicción de Riesgo basado en tiempo y patrones GPS. Daniela López de Luise, Walter Bel, Diego Mansilla, Alberto Lobatos, Lucía Blanc, Rigoberto Malca la Rosa. Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER).Concepción del Uruguay, Argentina.

Producing more rice with less water from Irrigated Systems. 1998. LC Guerna
Quintero, C. 2009. Tesis doctoral: Factores Limitantes para el Crecimiento y Productividad del Arroz en Entre Ríos. Universidad Da Coruña. Argentina. 167p.

Ratanamahatana, J. Lin, D. Gunopulos, E. Keogh. Mining Time Series Data. In Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, pp 1049-1077. 2010.

Ramírez Quintana M.J. and Hernández Orallo J. (2003) - Extracción Automática de Conocimiento en Bases de Datos e Ingeniería del Software. España, 2003.

Risk prediction based on time and GPS patterns.Daniela López de Luise. CI2S Lab.Ciudad de Buenos Aires, Argentina .Walter Bel, Diego Mansilla, Alberto Lobatos, Lucia

Blanc. Universidad Autónoma de Entre Ríos (UADER) Concepción del Uruguay, Argentina. Rigoberto Malca la Rosa. CI2S Lab Ciudad de Buenos Aires, Argentina 2015.

Riego de arroz por mangas Donistar S. en C, Salto-R.O.U. Santiago Bandeira, Bernardo Böcking 2014.

Smart Irrigation Decision Support based on Fuzzy Logic using Wireless Sensor Network. Yousef E. M. Hamouda. Computer Department Al-Aqsa University Gaza, Palestine. (2017).

S. S. Wan, "Fundamentals of Soil Physics," National Institute for Compilation and Translation, pp. 136-145, 2001.

S. R. Nandurkar, V. R. Thool and R. C. Thool, "Design and Development of Precision Agriculture System Using Wireless Sensor Network," IEE First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES), pp. 1–6, 2014.

S. Khriji, D. E. Houssaini, M. W. Jmal, C. Viehweger, M. Abid and O. Kanoun, "Precision irrigation based on wireless sensor network," IET Science, Measurement and Technology, vol. 8, no. 3, pp. 98-106, 2004.

Stone, LF & PM Silveira. 2004. Arroz irrigado por aspersão. Informe Agropecuario, 25 (222): 70-76.

Tecnologías para ahorrar agua en el cultivo de arroz .Mauricio González B.1, Ana Milena Alonso2. Fondo Francisco José de Caldas, Colciencias-SENA, SENAGROTIC, Centro Agropecuario "La Granja", SENA.

The effects of cropping systems on soil erosion risks and crop productivity using ImpelERO model and GIS in northeast of Iran. Ehsan Afshar. Mehrdad Yarnia- Ali - Bagherzadeh Reza Sadrabadi Haghighi. Bahram Mirshekar. 6 September 2016. Springer International Publishing Switzerland 2016.

Traffic and Pedestrian risk evaluation with Harmonic Systems (Cálculo de Riesgo en tráfico y Peatón usando Sistemas Armónicos). A. Celayeta, C. Paredes, D. López De Luise, W. Bel. ARGENCON 2014.

V. Ramya, B. Palaniappan and B. George, "Embedded System for Automatic Irrigation of Cardamom Field using Xbee-PRO Technology," International Journal of Computer Applications, vol. 53, no. 14, pp. 36-43, 2012.

Water-saving ground cover rice production system reduces net greenhouse gas fluxes in an annual rice-based cropping system. Z. Yao , Y. Du , Y. Tao , X. Zheng , C. Liu , S.

Weiss S.M. and Indurkha N., (1998) - Predictive Data Mining – A Practical Guide, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, p. 1.

Wilcoxon F. (1945) - Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics 1, 80-83.

APÉNDICE A

En este apéndice se presentan en detalle los datos de las pruebas de campos utilizados para el análisis estadístico descriptivo introducido en el capítulo III (sección 3).

buffer de salida de EM con todas las variables en estado numérico

=== Run information ===

Scheme: weka.clusterers.EM -I 100 -N -1 -X 10 -max -1 -ll-cv 1.0E-6 -ll-iter 1.0E-6 -M 1.0E-6 -K 10 -num-slots 1 -S 100

Relation: DATALOG-Ubajay-completo_con_coma-weka.filters.unsupervised.attribute.Discretize-B4-M-1.0-R4-precision6

Instances: 2742

Attributes: 12

- Mes
- Dias
- Hora
- Minuto
- Humedad Ambiente
- Temperatura Ambiente
- Humedad Suelo
- Temperatura de suelo
- Radiacion UV
- Sensor nivel hidrico
- Anemometro
- Pluviometro

Test mode: evaluate on training data

=== Clustering model (full training set) ===

EM

==

Number of clusters selected by cross validation: 2

Number of iterations performed: 21

	Cluster	
Attribute	0	1
	(0.62)	(0.38)

=====

Mes

mean	4.5986	1.3995
std. dev.	4.8575	0.4898

Dias

mean	15.5479	13.5449
std. dev.	10.4869	9.0891

Hora

mean	14.5428	16.1289
std. dev.	3.7303	5.5624

Minuto

mean	30.1595	30.467
std. dev.	17.2321	17.4

Humedad Ambiente

mean	77.4327	99.8997
std. dev.	13.9931	0.0062

Temperatura Ambiente

mean	29.9243	24.3181
std. dev.	4.3302	3.8357

Humedad Suelo

'(-inf-291.75]'	685.5019	391.4981
'(291.75-535.5]'	816.0633	483.9367
'(535.5-779.25]'	147.8226	161.1774
'(779.25-inf)'	54	10
[total]	1703.3877	1046.6123

Temperatura de suelo

mean	29.0051	24.7988
std. dev.	3.6092	2.8881

Radiacion UV

mean	2.1496	1.0387
std. dev.	1.5604	1.1323

Sensor nivel hidrico

mean	21.8508	16.0751
std. dev.	16.2185	16.7492

Anemometro

mean	8.5249	5.5062
std. dev.	7.3406	7.5034

Pluviometro

mean	0.2142	1.4923
std. dev.	0.9288	4.8626

Time taken to build model (full training data) : 5.45 seconds

=== Model and evaluation on training set ===

Clustered Instances

0	1675 (61%)
1	1067 (39%)

Log likelihood: -32.42881

APÉNDICE B

I.B Prueba de Kruskal Wallis

Los resultados de las pruebas se pueden observar en las siguientes tablas.

Tabla XXIX. Resultado de kruskal Wallis hours (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	half	D.E.	D.E.	H	P
'Hour'	<u>cluster0</u>	1675	14,59	3,74	15,00	59,77	<0,0001
'Hour'	cluster1	1067	16,02	5,54	17,00		

Tabla XXX. Resultado de kruskal Wallis minute (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
'minute'	<u>cluster0</u>	1675	30,18	17,21	30,00	0,29	0,5951
'minute'	cluster1	1067	30,43	17,44	30,00		

Table XXXI. Resultado de kruskal Wallis humid environment (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
humid environment	<u>cluster0</u>	1675	77,11	13,83	76,60	1915,20	<0,0001
humid environment	cluster1	1067	99,90	1,6E-12	99,90		

Tabla XXXII. Resultado de kruskal Wallis room temperature (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Room temperature	<u>cluster0</u>	1675	29,88	4,35	30,00	778,40	<0,0001
Room temperature	cluster1	1067	24,52	4,01	24,40		

Tabla XXXIII. Resultado de kruskal Wallis soil moisture (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Soil Moisture	<u>cluster0</u>	1675	0,74	0,74	1,00	6,23	0,2657
Soil Moisture	cluster1	1067	0,80	0,72	1,00		

Tabla XXXIV. Resultado de kruskal Wallis ground temperature (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Ground temperature	<u>cluster0</u>	1675	28,99	3,63	770,18	29,00	<0,0001
Ground temperature	cluster1	1067	24,920	2,97	25,38		

Tabla XXXV. Resultado de kruskal Wallis radiation UV (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Radiation UV'	cluster0	1675	2,12	1,55	1,87	336,64	<0,0001
Radiation UV'	cluster1	1067	1,11	1,22	0,42		

Tabla XXXVI. Resultado de kruskal Wallis anemometer (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Water level sensor	cluster0	1675	21,83	16,21	21,60	46,11	<0,0001
Water level sensor	cluster1	1067	16,24	16,80	9,41		

Table XXXVI. Resultado de kruskal Wallis pluviometer (Source: Weka)

Variable	'cluster'	N	Half	D.E.	Medium	H	p
Pluviometer	cluster0	1675	0,22	0,94	0,00	5,95	0,5799
Pluviometer	cluster1	1067	1,46	4,81	0,00		

II.B

EN esta sección se detalla los resultados de los logs del dataset de la primera prueba de campo. En la tabla XXXVII se observa la distribución de las variables recolectadas.

Tabla XXXVII. Distribución de variable originales y relaciones

TIME	MINUTE	Amb. Humidity	Amb. Temperature	Hydric Level	Soil Temperature	UV Radiation Anemomet.	Pluviometer	W	Err	Low	Med.	High
> 6					<=26.31	<= 8		20.0	3.0	SI		
<=7				<=9.2	<=30.63	<= 0.61	<=0	13.0		SI		
>7						<= 0.61		3.0				SI
<=8			>25.9		<=18.06	> 0.11		52.0				SI
<=8			>25.9	<=9.63	>18.06	<= 0.11	<=13	62.0		SI		
<=8			>25.9	<=9.63		<= 0.11	>13	911.0	2.0	SI		
<=8	<= 18	> 90.9		<=21.82				8.0	1.0	SI		
<=8	> 18			<=21.82				6.0		SI		
<=8				>21.82				7.0	1.0	SI		
>8			<=25.9					10.0		SI		
>8			>28.8	>21.82		<= 4.16		65.0	1.0			SI
>8			>23.5	<=21.82				7.0				SI
> 8				>21.82				21.0	1.0	SI		SI
> 8			<=16.8		<=19.88		<=1	5.0	1.0			SI
> 8			>16.8				>1	12.0				SI
>8	> 48			>36.58	<=20.75			31.0	1.0			SI
<=9						>19		3.0				SI
<=9	>48	<=23.5		<=21.6	>21.19			5.0		SI		
<=9	>2		<=26.1			>3		6.0		SI		
<=9				>21.6				3.0		SI		
>9	<= 23			<=21.82				8.0		SI		
>9	>2		<=26.1					14.0	3.0			SI
<=10						<=1.64	>3	2.0		SI		
<=10						>1.64	<=19	22.0				SI
<=10		<=90.9		>0.23	<=28.25			7.0		SI		

La Tabla XXXVIII ha resaltado las entradas más triviales que se colapsaron a las condiciones de entrada más cercanas en otras ramas.

Tabla XXXVIII. Relaciones de variables colapsadas

TIME	MINUTE	Amb. Humidity	Amb. Temperature	Hydic Level	Soil Temperature	UV Radiation Anemomet.	Pluviometer	W	Err	Low	Med.	High
<=10		<=99.2			<=23.75	>3		2.0			SI	
<=10			>22.7					3.0		SI		
<=10					>23.75			7.0		SI		
<=10								3.0		SI		
>10	<=48		<=36.58	>19.69				103.0			SI	
>10	>99.2				>26.31	>4.96		16.0		SI		
<=11					>25.5	>8		53.0	1.0	SI		
>11			<=28	<=21.82	>25.5			6.0		SI		
>11	<=98.6					<=8		2.0	1.0	SI		
>11	>98.6		>28			>8		34.0		SI		
<=12							> 3.35	10.0	2.0	SI		
<=13	>1	> 63.1	>28.5					19.0		SI		
>12							> 3.35	10.0		SI		
<=13			>35.3					8.0			SI	
>13								15.0			SI	
>13	>1			>0.23	<= 27.5			3.0		SI		
>13								11.0		SI		
>13	<=69					>3.36		5.0		SI		
>13	>69							3.0		SI		
<=14				>21.82				2.0			SI	
<=14			>29.2					6.0		SI		
>14				>21.82				11.0		SI		
<=16				>21.82	> 27.56	<= 0.42		5.0		SI		
<=16				>21.82		> 0.42	<=2	4.0	2.0	SI		
<=16				>21.82	<= 27.56			6.0		SI		

La Tabla XXXIX tiene las relaciones finales entre las variables del modelo, allí cada entrada es un patrón en el HS.

Tabla XXXIX. Agregación de patrones en el HS

TIME	MINUTE	Amb. Humidity	Amb. Temperature	Hydic Level	Soil Temperature	UV Radiation Anemomet.	Pluviometer	W	Err	Low	Med.	High
<=16	0	<=85.7	<=29.1	<=0.23		>1.49	>0	64.0	6.0	SI		
<=16	0	>81.2	<=22.5					12.0		SI		
<=16	0			<=21.82				2.0			SI	
<=16	<=2	>81.2	>27.2	<=0.23	>26.25	>4.66	>0	244.0	11.0	SI		
>16		>78.1	>32.9		>28.94	>20		48.0		SI		
>16	<=2	>80.8	<=25.7	<=2	<=20.94	<=20		142.0	1.0	SI		
>16	<=37	<=85.4	<=22.7	>21.82	<=24.44			141.0	1.0	SI		
>16		>85.4		>21.82				17.0		SI		
>16			<=29.2		>23.25	<=0.57	>12	21.0	1.0		SI	
>16		<=86.1					> 0.28	29.0	1.0			SI
>16		>86.1		<=21.39			>3.91	99.0		SI		
>16			<=34	<=21.39		<=2.1	<=3	<= 0.56	5.0	SI		
>16			>36	>21.39		<=3.36		99.0	1.0			SI
>16			>29.2	<=0.23	>30.63			22.0		SI		
>16	<=1		<= 32.6	>9.63			<= 0.28	20.0		SI		
>16	>1		>26.9	<=21.82	<=29.31	<=0.84		23.0		SI		
>16	>1	<=79.2	<=28.5	<=21.82		>0.84		26.0	1.0		SI	
<=18			>32.7	>32.9	<=28.96			27.0	1.0	SI		
<=18			>26.6	<=0.23	<=28.56			31.0	3.0	SI		
>18			<=23.6	<=21.82	<=23.75	<=0.27		54.0	3.0	SI		
>18			>23.6	<=21.82		<=0.27		46.0	3.0	SI		
>18				<=21.82		>0.27		4.0		SI		
<=21		<=1.8	<= 32.6	>21.82	>20.76			299.0			SI	
>21				<=21.82	>19.88			11.0	1.0		SI	
>21								15.0			SI	

En la Figuras 108 se observa el gráfico de árbol del modelo J48.

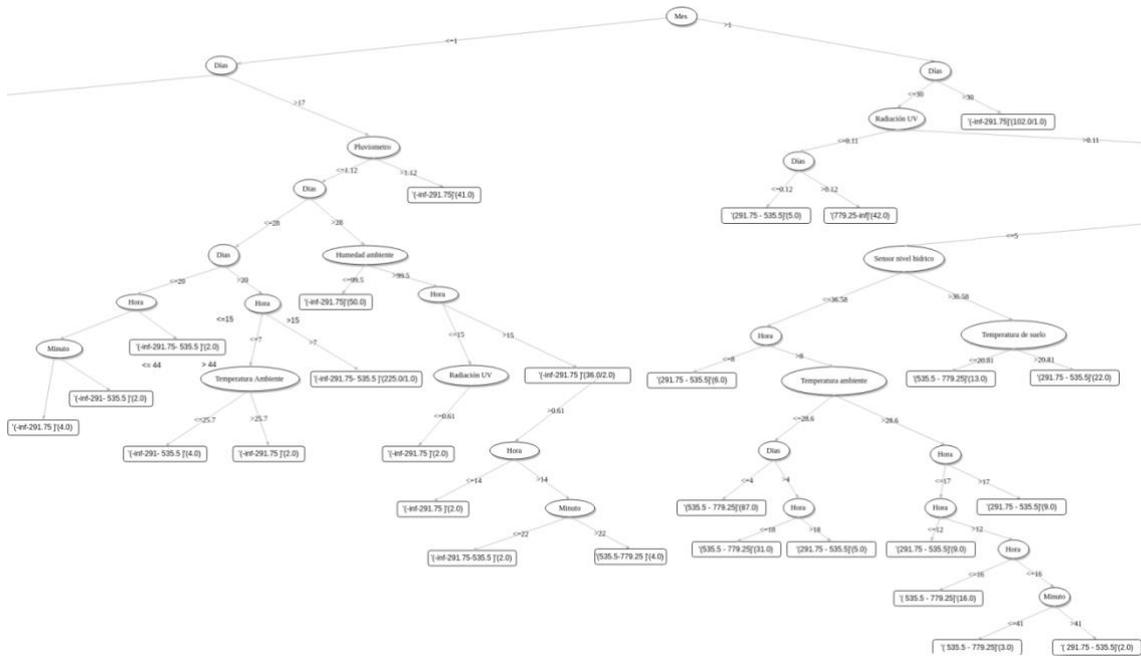


Figura 108. Raíz y nodos principales del modelo J48

En la figura 109 se observa una de las ramas para el mes 1

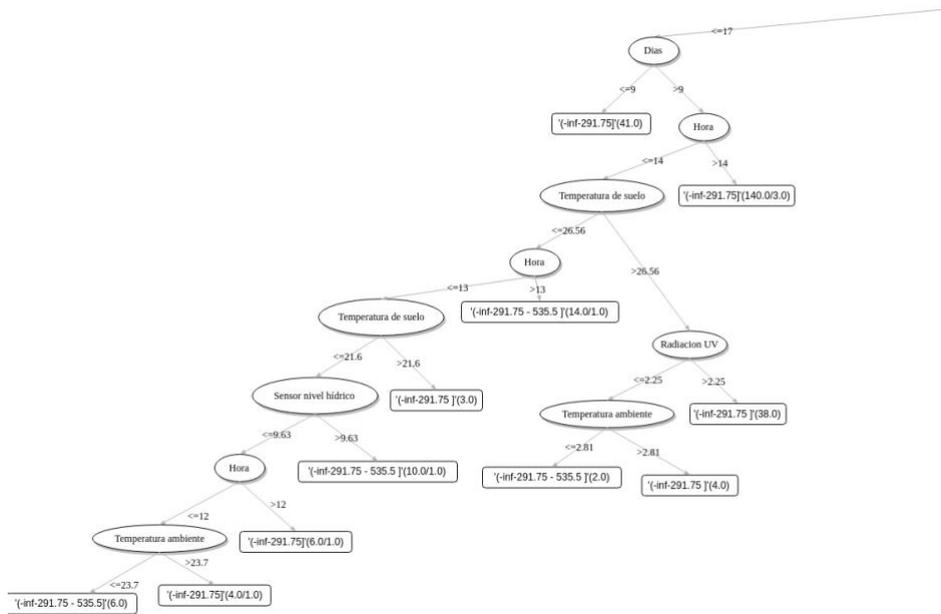


Figura 109. Rama para el Mes <=1 and Día <=17

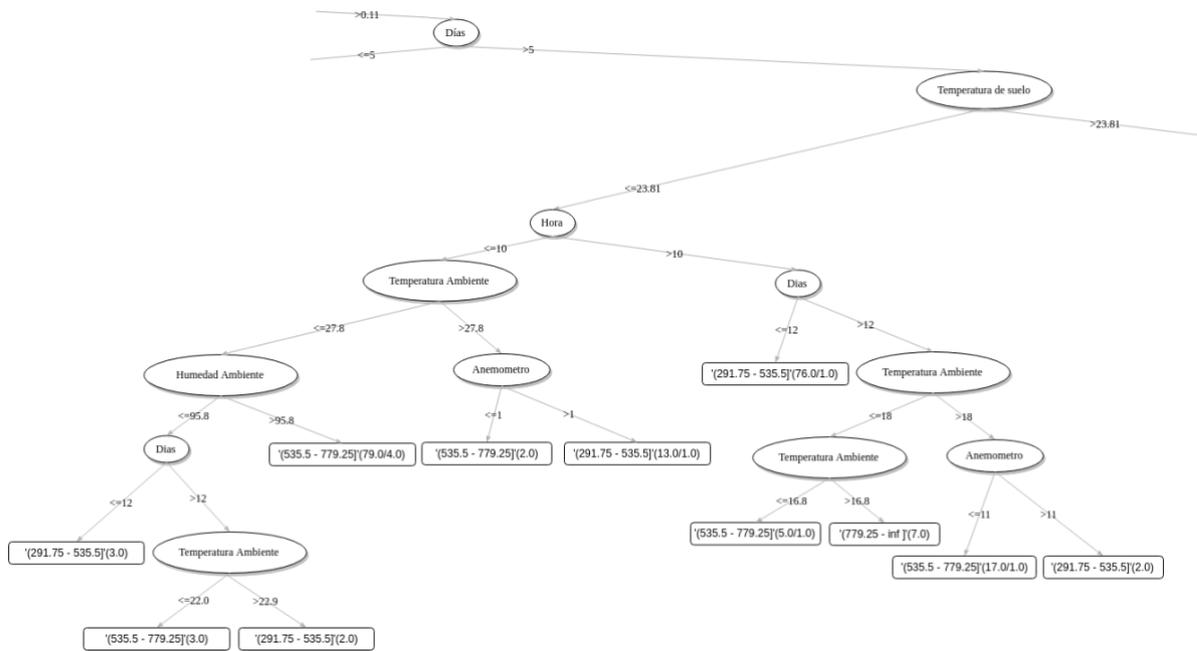


Figura 110. Rama para el Mes >1 and Día > 5 y Temperatura de Suelo <= 23.81

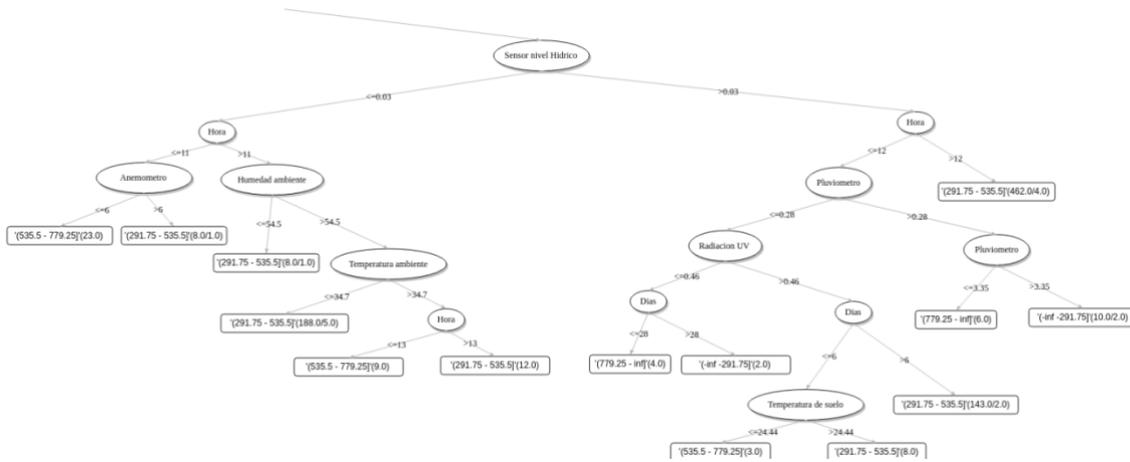


Figura 111. Rama para el Mes >1 y Temperatura de Suelo > 23.81

Apéndice C

En este apéndice se presentan en detalle los datos de las pruebas de campos utilizados para el análisis estadístico descriptivo introducido en el capítulo III (sección 3). En la sección A.I los datos de la ciudad de Concepción del Uruguay y en la sección A.II los datos de ciudad de Colón.

C.1. Datos de pruebas de campos INTA Concepción del Uruguay

En esta sección se presentan los datos detallados por variable, conforme las pruebas de campo realizadas en la ciudad de Concepción del Uruguay, en lote proporcionado por INTA. Base del análisis del capítulo V.

C.1.a. Clasificación de Humedad en Suelo

Selected attribute

Name: anio
Missing: 0 (0%)
Distinct: 2
Type: Nominal
Unique: 0 (0%)

No.	Label	Count	Weight
1	'(2017.5-inf)'	4341	4341.0
2	'(-inf-2002.5]'	43	43.0

Class: HS (Nom) Visualize All

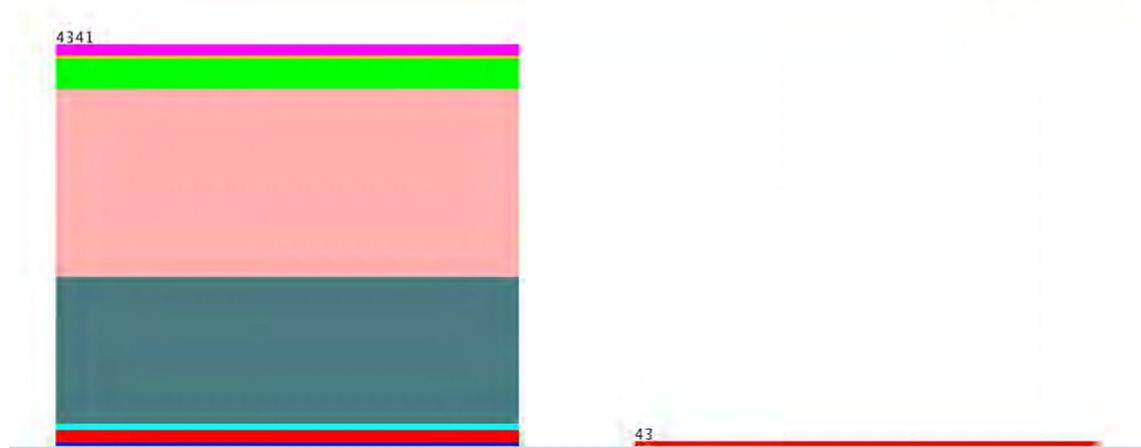


Figura 112. Clase de Humedad en suelo

C.1.b. J48 y salida output de Humedad en Suelo

=== Run information ===

Scheme: weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2

Relation: Datalog_INTA-IDTI

Instances: 4384

Attributes: 15

anio

mes

dia

seg

min

hora

HA

TA

HS

TDS

RUVG

SHB

SVO

SLL

SPH

Test mode: 10-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

J48 pruned tree

SHB = '(226.75-278.625]'

| dia = '(27.25-inf)'

| | mes = '(10.625-inf)': '(-inf-4.61625]' (5.0)

| | mes = '(-inf-2.375]': '(8.625-9.96125]' (44.0/8.0)

| | mes = '(2.375-3.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| dia = '(-inf-4.75]'

| | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | hora = '(-inf-7.375]'

| | | seg = '(9-18]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(-inf-9]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(36-45]': '(8.625-9.96125]' (5.0)

| | | seg = '(45-54]'

| | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(7.28875-8.625]' (11.0)

| | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(37.1125-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(63-inf)'

| | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(37.1125-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(54-63]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | hora = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | hora = '(29.5-36.875]': '(7.28875-8.625]' (10.0)

| | hora = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | hora = '(44.25-51.625]': '(8.625-9.96125]' (5.0)

| | hora = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | hora = '(22.125-29.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| dia = '(4.75-8.5]'

| | TDS = '(18.99-28.42]'

| | | seg = '(9-18]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(-inf-9]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(36-45]': '(7.28875-8.625]' (8.0)

| | | seg = '(45-54]'

| | | | HA = '(57.65-66.1]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | | | HA = '(49.2-57.65]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | HA = '(66.1-74.55]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | HA = '(40.75-49.2]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | HA = '(74.55-83]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | HA = '(91.45-inf)': '(7.28875-8.625]' (4.0/1.0)

| | | | HA = '(83-91.45]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | HA = '(-inf-40.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(63-inf)'

| | | | SVO = '(-inf-11.75]': '(8.625-9.96125]' (16.0/3.0)

| | | | SVO = '(23.5-35.25]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | | SVO = '(11.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (5.0/1.0)

| | | | SVO = '(70.5-82.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SVO = '(47-58.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SVO = '(35.25-47]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SVO = '(82.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SVO = '(58.75-70.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(54-63]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (12.0/1.0)

| | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | TDS = '(-inf-18.99]': '(7.28875-8.625]' (3.0)

| dia = '(8.5-12.25]'

| | mes = '(10.625-inf)': '(5.9525-7.28875]' (11.0/2.0)

| | mes = '(-inf-2.375]'

| | | TA = '(24.55-28.7375]'

| | | | SVO = '(-inf-11.75]': '(8.625-9.96125]' (7.0/4.0)

| | | | SVO = '(23.5-35.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | SVO = '(11.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (5.0)

| | | | SVO = '(70.5-82.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | SVO = '(47-58.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | SVO = '(35.25-47]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | SVO = '(82.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | SVO = '(58.75-70.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55]': '(7.28875-8.625]' (9.0/3.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (18.0/1.0)

| | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (8.0/1.0)

| | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | mes = '(2.375-3.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| dia = '(12.25-16]'

| | SVO = '(-inf-11.75]': '(8.625-9.96125]' (119.0/7.0)

| | SVO = '(23.5-35.25]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | SVO = '(11.75-23.5]'

| | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (8.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(28.7375-32.925]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | SVO = '(70.5-82.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | SVO = '(47-58.75]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | SVO = '(35.25-47]': '(9.96125-11.2975]' (3.0/1.0)

| | SVO = '(82.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | SVO = '(58.75-70.5]': '(9.96125-11.2975]' (1.0)

| dia = '(16-19.75]'

| | SPH <= 388: '(8.625-9.96125]' (63.0/11.0)

| | SPH > 388: '(7.28875-8.625]' (7.0/1.0)

| dia = '(19.75-23.5]'

| | TA = '(24.55-28.7375]': '(9.96125-11.2975]' (45.0/13.0)

| | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (39.0/5.0)

| | TA = '(16.175-20.3625]': '(9.96125-11.2975]' (5.0/1.0)

| | TA = '(28.7375-32.925]'

| | | SVO = '(-inf-11.75]'

| | | | HA = '(57.65-66.1]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | | | HA = '(49.2-57.65]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | HA = '(66.1-74.55]'

| | | | | hora = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | | | | hora = '(36.875-44.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(44.25-51.625]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | | | | hora = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | | hora = '(22.125-29.5)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | HA = '(40.75-49.2)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | HA = '(74.55-83)': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | HA = '(91.45-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | HA = '(83-91.45)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | HA = '(-inf-40.75)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | SVO = '(23.5-35.25)': '(9.96125-11.2975]' (3.0)

| | | SVO = '(11.75-23.5)': '(9.96125-11.2975]' (12.0/1.0)

| | | SVO = '(70.5-82.25)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | SVO = '(47-58.75)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | SVO = '(35.25-47)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | SVO = '(82.25-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | SVO = '(58.75-70.5)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | TA = '(32.925-37.1125)': '(9.96125-11.2975]' (1.0)

| | TA = '(37.1125-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | TA = '(11.9875-16.175)': '(9.96125-11.2975]' (5.0)

| | TA = '(-inf-11.9875)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| dia = '(23.5-27.25]'

| | seg = '(9-18)': '(7.28875-8.625]' (22.0/1.0)

| | seg = '(18-27]'

| | | RUVG = '(510.875-600.25)': '(7.28875-8.625]' (5.0)

| | | RUVG = '(242.75-332.125)': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | RUVG = '(332.125-421.5]'

| | | | min = '(22.125-29.5)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | min = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | min = '(-inf-7.375]': '(9.96125-11.2975]' (3.0/1.0)

| | | | min = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | min = '(36.875-44.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | min = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | min = '(44.25-51.625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | RUVG = '(689.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(421.5-510.875]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | RUVG = '(153.375-242.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(600.25-689.625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(-inf-153.375]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | seg = '(-inf-9]': '(7.28875-8.625]' (23.0)

| | seg = '(36-45]': '(11.2975-12.63375]' (7.0/1.0)

| | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (6.0/2.0)

| | seg = '(63-inf)': '(8.625-9.96125]' (73.0/27.0)

| | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

SHB = '(278.625-330.5]'

| mes = '(10.625-inf)'

| | TDS = '(18.99-28.42]': '(4.61625-5.9525]' (50.0/4.0)

| | TDS = '(37.85-47.28]'

| | | TA = '(24.55-28.7375]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TA = '(28.7375-32.925]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TA = '(32.925-37.1125]'

| | | | SPH <= 256: '(4.61625-5.9525]' (4.0/1.0)

| | | | SPH > 256: '(5.9525-7.28875]' (3.0)

| | | TA = '(37.1125-inf)': '(5.9525-7.28875]' (12.0/1.0)

| | | TA = '(11.9875-16.175]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TA = '(-inf-11.9875]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | TDS = '(28.42-37.85]'

| | | seg = '(9-18]': '(4.61625-5.9525]' (7.0/1.0)

| | | seg = '(18-27]': '(4.61625-5.9525]' (10.0/1.0)

| | | seg = '(-inf-9]': '(5.9525-7.28875]' (6.0)

| | | seg = '(36-45]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| | | seg = '(45-54]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| | | seg = '(63-inf)': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| | | seg = '(54-63]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| | TDS = '(75.57-inf)'

| | | SPH <= 254: '(5.9525-7.28875]' (2.0)

| | | SPH > 254: '(4.61625-5.9525]' (5.0/1.0)

| | TDS = '(-inf-18.99]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| mes = '(-inf-2.375]'

| | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (75.0/3.0)

| | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(4.75-8.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(8.5-12.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(12.25-16]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(16-19.75]'

| | | seg = '(9-18]': '(7.28875-8.625]' (16.0/2.0)

| | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (3.0)

| | | seg = '(-inf-9]': '(8.625-9.96125]' (4.0)

| | | seg = '(36-45]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(45-54]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(63-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | seg = '(54-63]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(19.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(23.5-27.25]'

| | | RUVG = '(510.875-600.25]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | RUVG = '(242.75-332.125]'

| | | | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (23.0)

| | | | hora = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (3.0)

| | | | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | | | hora = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(22.125-29.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(332.125-421.5]': '(12.63375-inf)' (103.0)

| | | RUVG = '(689.625-inf)': '(12.63375-inf)' (0.0)

| | | RUVG = '(421.5-510.875]': '(12.63375-inf)' (0.0)

| | | RUVG = '(153.375-242.75)': '(12.63375-inf)' (0.0)

| | | RUVG = '(600.25-689.625)': '(12.63375-inf)' (0.0)

| | | RUVG = '(-inf-153.375)': '(12.63375-inf)' (0.0)

| mes = '(2.375-3.75)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

SHB = '(382.375-434.25]'

| dia = '(27.25-inf)': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| dia = '(-inf-4.75]'

| | anio = '(2017.5-inf)': '(-inf-4.61625]' (26.0/2.0)

| | anio = '(-inf-2002.5)': '(4.61625-5.9525]' (43.0)

| dia = '(4.75-8.5]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| dia = '(8.5-12.25]'

| | TA = '(24.55-28.7375]': '(4.61625-5.9525]' (8.0/1.0)

| | TA = '(20.3625-24.55]': '(5.9525-7.28875]' (9.0/3.0)

| | TA = '(16.175-20.3625]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | TA = '(28.7375-32.925]'

| | | TDS = '(18.99-28.42]': '(4.61625-5.9525]' (3.0/1.0)

| | | TDS = '(37.85-47.28]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TDS = '(28.42-37.85]': '(5.9525-7.28875]' (7.0)

| | | TDS = '(75.57-inf)': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | | TDS = '(-inf-18.99]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | TA = '(32.925-37.1125]': '(4.61625-5.9525]' (5.0/1.0)

| | TA = '(37.1125-inf)': '(5.9525-7.28875]' (6.0)

| | TA = '(11.9875-16.175]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| | TA = '(-inf-11.9875]': '(5.9525-7.28875]' (0.0)

| dia = '(12.25-16]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| dia = '(16-19.75]': '(7.28875-8.625]' (8.0)

| dia = '(19.75-23.5]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

| dia = '(23.5-27.25]': '(4.61625-5.9525]' (0.0)

SHB = '(-inf-174.875]'

| dia = '(27.25-inf)'

| | hora = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | hora = '(-inf-7.375]'

| | | seg = '(9-18]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(18-27]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(-inf-9]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(36-45]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (6.0)

| | | seg = '(63-inf)'

| | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(7.28875-8.625]' (4.0)

| | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (11.0/2.0)

| | | | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TDS = '(-inf-18.99]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | hora = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (13.0)

| | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (31.0)

| | hora = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (5.0)

| | hora = '(44.25-51.625]'

| | | seg = '(9-18]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | seg = '(-inf-9]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | seg = '(36-45]': '(8.625-9.96125]' (8.0/3.0)
 | | | seg = '(45-54]': '(7.28875-8.625]' (12.0)
 | | | seg = '(63-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | seg = '(54-63]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | hora = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (21.0)
 | | hora = '(22.125-29.5]'
 | | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | min = '(29.5-36.875]': '(7.28875-8.625]' (8.0/1.0)
 | | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | min = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (8.0/1.0)
 | | | min = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (10.0/1.0)
 | | | min = '(36.875-44.25]': '(8.625-9.96125]' (10.0/1.0)
 | | | min = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | min = '(44.25-51.625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | dia = '(-inf-4.75]'
 | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (28.0)
 | | min = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (21.0/3.0)
 | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (26.0)
 | | min = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (20.0/3.0)
 | | min = '(7.375-14.75]'
 | | | seg = '(9-18]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | seg = '(18-27]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | seg = '(-inf-9]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | seg = '(36-45]': '(7.28875-8.625]' (3.0)
 | | | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (6.0/1.0)
 | | | seg = '(63-inf)': '(8.625-9.96125]' (3.0)
 | | | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | min = '(36.875-44.25]'
 | | | seg = '(9-18]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | seg = '(18-27]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | seg = '(-inf-9]': '(-inf-4.61625]' (1.0)
 | | | seg = '(36-45]': '(7.28875-8.625]' (4.0)
 | | | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (6.0/1.0)
 | | | seg = '(63-inf)': '(8.625-9.96125]' (3.0)
 | | | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | min = '(14.75-22.125]'
 | | | SPH <= 261: '(8.625-9.96125]' (4.0/1.0)
 | | | SPH > 261: '(7.28875-8.625]' (11.0/2.0)
 | | min = '(44.25-51.625]'
 | | | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | hora = '(-inf-7.375]'
 | | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(7.28875-8.625]' (5.0)
 | | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (2.0)
 | | | | TDS = '(75.57-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | TDS = '(-inf-18.99]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(29.5-36.875]': '(7.28875-8.625]' (6.0)

| | | hora = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| dia = '(4.75-8.5]'

| | SPH <= 260

| | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (24.0/1.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(7.28875-8.625]' (15.0/6.0)

| | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (6.0/3.0)

| | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(-inf-11.9875]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | SPH > 260: '(7.28875-8.625]' (91.0/19.0)

| dia = '(8.5-12.25]'

| | mes = '(10.625-inf)': '(5.9525-7.28875]' (15.0/1.0)

| | mes = '(-inf-2.375]': '(8.625-9.96125]' (145.0/14.0)

| | mes = '(2.375-3.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| dia = '(12.25-16]'

| | TDS = '(18.99-28.42]': '(8.625-9.96125]' (52.0)

| | TDS = '(37.85-47.28)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | TDS = '(28.42-37.85)': '(9.96125-11.2975]' (4.0/1.0)

| | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | TDS = '(-inf-18.99)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| dia = '(16-19.75]'

| | SPH <= 393

| | | TA = '(24.55-28.7375]'

| | | | RUVG = '(510.875-600.25)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(242.75-332.125]'

| | | | | HA = '(57.65-66.1)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | | HA = '(49.2-57.65)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | | HA = '(66.1-74.55)': '(9.96125-11.2975]' (5.0)

| | | | | HA = '(40.75-49.2)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | | HA = '(74.55-83)': '(9.96125-11.2975]' (3.0)

| | | | | HA = '(91.45-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | | HA = '(83-91.45)': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | | HA = '(-inf-40.75)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(332.125-421.5)': '(8.625-9.96125]' (5.0)

| | | | RUVG = '(689.625-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(421.5-510.875)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(153.375-242.75)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(600.25-689.625)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | RUVG = '(-inf-153.375)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55)': '(8.625-9.96125]' (91.0/7.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(9.96125-11.2975]' (1.0)
 | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (7.0)
 | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (2.0)
 | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | SPH > 393
 | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(7.28875-8.625]' (10.0)
 | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | TDS = '(28.42-37.85]'
 | | | | SPH <= 398: '(8.625-9.96125]' (2.0)
 | | | | SPH > 398: '(7.28875-8.625]' (5.0)
 | | | TDS = '(75.57-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | TDS = '(-inf-18.99]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (72.0/1.0)
 | dia = '(23.5-27.25]': '(7.28875-8.625]' (105.0/2.0)
 SHB = '(486.125-inf)'
 | mes = '(10.625-inf)'
 | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | dia = '(4.75-8.5]': '(4.61625-5.9525]' (54.0)
 | | dia = '(8.5-12.25]': '(7.28875-8.625]' (28.0/1.0)
 | | dia = '(12.25-16]': '(7.28875-8.625]' (109.0/1.0)
 | | dia = '(16-19.75]': '(7.28875-8.625]' (133.0)

| | dia = '(19.75-23.5]'
 | | | hora = '(51.625-inf)'
 | | | | seg = '(9-18]'
 | | | | | SPH <= 271: '(8.625-9.96125]' (7.0)
 | | | | | SPH > 271: '(7.28875-8.625]' (6.0)
 | | | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | seg = '(-inf-9]': '(7.28875-8.625]' (20.0)
 | | | | seg = '(36-45]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | seg = '(45-54]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | seg = '(63-inf]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | seg = '(54-63]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | hora = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | hora = '(36.875-44.25]': '(8.625-9.96125]' (41.0/9.0)
 | | | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | hora = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (24.0)
 | | | hora = '(44.25-51.625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | hora = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (27.0/1.0)
 | | | hora = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | dia = '(23.5-27.25]'
 | | | SPH <= 273
 | | | | RUVG = '(510.875-600.25]': '(8.625-9.96125]' (4.0)
 | | | | RUVG = '(242.75-332.125]'
 | | | | | seg = '(9-18]'
 | | | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (6.0)

| | | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | TA = '(28.7375-32.925]'
 | | | | | SVO = '(-inf-11.75]': '(7.28875-8.625]' (4.0)
 | | | | | SVO = '(23.5-35.25]': '(8.625-9.96125]' (3.0)
 | | | | | SVO = '(11.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (5.0/1.0)
 | | | | | SVO = '(70.5-82.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(47-58.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(35.25-47]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(82.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(58.75-70.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)
 | | | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | seg = '(18-27]': '(7.28875-8.625]' (7.0)
 | | | | | seg = '(-inf-9]': '(8.625-9.96125]' (12.0)
 | | | | | seg = '(36-45]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | seg = '(63-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | RUVG = '(332.125-421.5]'
 | | | | | SPH <= 272
 | | | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(7.28875-8.625]' (14.0/1.0)

| | | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TDS = '(75.57-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TDS = '(-inf-18.99]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | | SPH > 272: '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | RUVG = '(689.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | | RUVG = '(421.5-510.875]'

| | | | | SPH <= 272: '(7.28875-8.625]' (3.0/1.0)

| | | | | SPH > 272: '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | RUVG = '(153.375-242.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | RUVG = '(600.25-689.625]': '(8.625-9.96125]' (19.0)

| | | | RUVG = '(-inf-153.375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SPH > 273: '(8.625-9.96125]' (26.0)

| mes = '(-inf-2.375]': '(7.28875-8.625]' (66.0)

| mes = '(2.375-3.75]'

| | dia = '(27.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | dia = '(-inf-4.75]'

| | | TA = '(24.55-28.7375]'

| | | | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | hora = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (5.0/2.0)

| | | | hora = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | hora = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | hora = '(22.125-29.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | TA = '(20.3625-24.55]'

| | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(8.625-9.96125]' (13.0)

| | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TDS = '(-inf-18.99]'

| | | | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | min = '(29.5-36.875]': '(9.96125-11.2975]' (5.0/1.0)

| | | | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (17.0/7.0)

| | | | | min = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (8.0/3.0)

| | | | | min = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | | | | min = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (4.0/1.0)

| | | | | min = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | min = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (22.0/10.0)

| | | TA = '(16.175-20.3625]': '(9.96125-11.2975]' (49.0/5.0)

| | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (34.0/1.0)

| | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | dia = '(4.75-8.5]'

| | | TDS = '(18.99-28.42]': '(9.96125-11.2975]' (23.0/6.0)

| | | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(-inf-18.99]'

| | | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (7.0/1.0)

| | | | min = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (34.0/11.0)

| | | | min = '(-inf-7.375]'

| | | | | SPH <= 253: '(7.28875-8.625]' (3.0)

| | | | | SPH > 253: '(9.96125-11.2975]' (5.0/2.0)

| | | | min = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (6.0/2.0)

| | | | min = '(36.875-44.25]'

| | | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(7.28875-8.625]' (10.0/2.0)

| | | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (35.0/16.0)

| | | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | min = '(14.75-22.125]'

| | | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (2.0/1.0)

| | | | | TA = '(16.175-20.3625]'

| | | | | SPH <= 253: '(12.63375-inf)' (2.0)

| | | | | SPH > 253: '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(9.96125-11.2975]' (1.0)

| | | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | min = '(44.25-51.625]'

| | | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (1.0)

| | | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(7.28875-8.625]' (16.0/5.0)

| | | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(37.1125-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (35.0/4.0)

| | | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | dia = '(8.5-12.25]'

| | | SPH <= 250: '(7.28875-8.625]' (22.0/7.0)

| | | SPH > 250

| | | | SVO = '(-inf-11.75]'

| | | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | TDS = '(-inf-18.99)': '(8.625-9.96125]' (147.0/15.0)
 | | | | | SVO = '(23.5-35.25]'
 | | | | | HA = '(57.65-66.1)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
 | | | | | HA = '(49.2-57.65)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
 | | | | | HA = '(66.1-74.55)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
 | | | | | HA = '(40.75-49.2)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
 | | | | | HA = '(74.55-83)': '(9.96125-11.2975]' (1.0)
 | | | | | HA = '(91.45-inf)': '(9.96125-11.2975]' (3.0)
 | | | | | HA = '(83-91.45)': '(8.625-9.96125]' (2.0)
 | | | | | HA = '(-inf-40.75)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(11.75-23.5]'
 | | | | | SPH <= 267: '(8.625-9.96125]' (8.0/2.0)
 | | | | | SPH > 267: '(9.96125-11.2975]' (3.0)
 | | | | | SVO = '(70.5-82.25)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(47-58.75)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(35.25-47]'
 | | | | | SPH <= 254: '(8.625-9.96125]' (2.0)
 | | | | | SPH > 254: '(9.96125-11.2975]' (2.0)
 | | | | | SVO = '(82.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | SVO = '(58.75-70.5)': '(8.625-9.96125]' (0.0)
 | | | | | dia = '(12.25-16]'
 | | | | | TDS = '(18.99-28.42]'
 | | | | | TA = '(24.55-28.7375]'
 | | | | | hora = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | | hora = '(36.875-44.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(29.5-36.875]': '(9.96125-11.2975]' (3.0/1.0)

| | | | | hora = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | hora = '(44.25-51.625]': '(8.625-9.96125]' (3.0)

| | | | | hora = '(7.375-14.75]': '(9.96125-11.2975]' (4.0)

| | | | | hora = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(8.625-9.96125]' (4.0/2.0)

| | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(9.96125-11.2975]' (3.0)

| | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | TA = '(37.1125-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | TDS = '(37.85-47.28]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(28.42-37.85]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(75.57-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | TDS = '(-inf-18.99]'

| | | | SPH <= 260

| | | | | TA = '(24.55-28.7375]': '(7.28875-8.625]' (1.0)

| | | | | TA = '(20.3625-24.55]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TA = '(16.175-20.3625]': '(7.28875-8.625]' (24.0/1.0)

| | | | | TA = '(28.7375-32.925]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TA = '(32.925-37.1125]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TA = '(37.1125-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | TA = '(11.9875-16.175]': '(8.625-9.96125]' (5.0/1.0)

| | | | | TA = '(-inf-11.9875]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | | | | SPH > 260

| | | | | SPH <= 267: '(8.625-9.96125]' (105.0/27.0)

| | | | | SPH > 267

| | | | | | min = '(22.125-29.5]': '(7.28875-8.625]' (2.0/1.0)

| | | | | | min = '(29.5-36.875]': '(7.28875-8.625]' (4.0)

| | | | | | min = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (2.0/1.0)

| | | | | | min = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (9.0/2.0)

| | | | | | min = '(7.375-14.75]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | | | min = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | | min = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (2.0/1.0)

| | | | | | min = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (13.0/1.0)

| | dia = '(16-19.75]'

| | | SPH <= 270

| | | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | min = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (4.0)

| | | | min = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (22.0/1.0)

| | | | min = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (20.0/7.0)

| | | | min = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (13.0/1.0)

| | | | min = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | min = '(14.75-22.125]': '(8.625-9.96125]' (12.0/1.0)

| | | | min = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (2.0/1.0)

| | | SPH > 270: '(8.625-9.96125]' (69.0/22.0)

| | dia = '(19.75-23.5]'

| | | RUVG = '(510.875-600.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(242.75-332.125]'

| | | | seg = '(9-18]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | seg = '(18-27]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | seg = '(-inf-9]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | seg = '(36-45]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | seg = '(45-54]': '(8.625-9.96125]' (4.0)

| | | | seg = '(63-inf)'

| | | | | min = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (3.0/1.0)

| | | | | min = '(29.5-36.875]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | min = '(51.625-inf)': '(8.625-9.96125]' (2.0)

| | | | | min = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | min = '(7.375-14.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | min = '(36.875-44.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | | min = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | | min = '(44.25-51.625]': '(7.28875-8.625]' (4.0/1.0)

| | | | seg = '(54-63]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | RUVG = '(332.125-421.5]': '(7.28875-8.625]' (75.0/1.0)

| | | RUVG = '(689.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(421.5-510.875]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(153.375-242.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(600.25-689.625]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | RUVG = '(-inf-153.375]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

SHB = '(434.25-486.125]'

| mes = '(10.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (111.0)

| mes = '(-inf-2.375]'

| | SPH <= 267

| | | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (4.0)

| | | hora = '(-inf-7.375]': '(7.28875-8.625]' (3.0)

| | | hora = '(36.875-44.25]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(8.625-9.96125]' (12.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | hora = '(29.5-36.875]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (3.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(9.96125-11.2975]' (3.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(7.28875-8.625]' (30.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(14.75-22.125]': '(7.28875-8.625]' (106.0/1.0)

| | | hora = '(44.25-51.625]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (4.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (5.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(9.96125-11.2975]' (14.0/1.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

| | | hora = '(7.375-14.75]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (4.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]'

| | | | | SVO = '(-inf-11.75]': '(8.625-9.96125]' (15.0/4.0)

| | | | | SVO = '(23.5-35.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | SVO = '(11.75-23.5]': '(9.96125-11.2975]' (2.0)

| | | | | SVO = '(70.5-82.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | SVO = '(47-58.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | SVO = '(35.25-47]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | | SVO = '(82.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | SVO = '(58.75-70.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | hora = '(22.125-29.5]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (2.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (23.0/3.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | SPH > 267

| | | hora = '(51.625-inf)': '(7.28875-8.625]' (6.0)

| | | hora = '(-inf-7.375]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | hora = '(36.875-44.25]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(8.625-9.96125]' (31.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(7.28875-8.625]' (9.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | hora = '(29.5-36.875]': '(8.625-9.96125]' (95.0/2.0)

| | | hora = '(14.75-22.125]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (13.0/1.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(7.28875-8.625]' (16.0/3.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(7.28875-8.625]' (19.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(7.28875-8.625]' (0.0)

| | | hora = '(44.25-51.625]'

| | | | dia = '(27.25-inf)': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(-inf-4.75]': '(7.28875-8.625]' (21.0)

| | | | dia = '(4.75-8.5]': '(8.625-9.96125]' (28.0/4.0)

| | | | dia = '(8.5-12.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(12.25-16]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(16-19.75]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(19.75-23.5]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | | dia = '(23.5-27.25]': '(8.625-9.96125]' (0.0)

| | | hora = '(7.375-14.75]'

| | | | TDS = '(18.99-28.42]': '(8.625-9.96125]' (11.0/2.0)

| | | | TDS = '(37.85-47.28]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)

```

| | | | TDS = '(28.42-37.85]': '(9.96125-11.2975]' (15.0/1.0)
| | | | TDS = '(75.57-inf)': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
| | | | TDS = '(-inf-18.99]': '(9.96125-11.2975]' (0.0)
| | | hora = '(22.125-29.5]': '(8.625-9.96125]' (65.0)
| mes = '(2.375-3.75]': '(8.625-9.96125]' (26.0/8.0)

```

Number of Leaves : 611

Size of the tree : 728

Time taken to build model: 0.12 seconds

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances	3751	85.5611 %
Incorrectly Classified Instances	633	14.4389 %
Kappa statistic	0.7727	
Mean absolute error	0.048	
Root mean squared error	0.1707	
Relative absolute error	29.5454 %	
Root relative squared error	59.9218 %	
Total Number of Instances	4384	

=== Detailed Accuracy By Class ===

Class	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area
'(-inf-4.61625]'	0,906	0,001	0,906	0,906	0,906	0,906	0,952	0,775
'(4.61625-5.9525]'	0,919	0,003	0,924	0,919	0,922	0,918	0,992	0,907
'(5.9525-7.28875]'	0,849	0,003	0,816	0,849	0,832	0,829	0,949	0,752
'(7.28875-8.625]'	0,890	0,064	0,885	0,890	0,888	0,825	0,959	0,915
'(8.625-9.96125]'	0,895	0,152	0,835	0,895	0,864	0,741	0,925	0,894
'(9.96125-11.2975]'	0,506	0,014	0,747	0,506	0,603	0,590	0,899	0,556
'(11.2975-12.63375]'	0,154	0,000	0,750	0,154	0,255	0,337	0,897	0,317
'(12.63375-inf)'	0,824	0,001	0,972	0,824	0,892	0,892	0,949	0,858
Weighted Avg.	0,856	0,095	0,853	0,856	0,850	0,770	0,939	0,867

=== Confusion Matrix ===

```

a  b  c  d  e  f  g  h  <-- classified as
29  1  0  1  1  0  0  0  |  a = '(-inf-4.61625]
2 171 13  0  0  0  0  0  |  b = '(4.61625-5.9525]
0 11 62  0  0  0  0  0  |  c = '(5.9525-7.28875]

```

1 0 1 1399 165 5 0 1 | d = '(7.28875-8.625]'

0 2 0 156 1813 50 2 2 | e = '(8.625-9.96125]'

0 0 0 12 152 168 0 0 | f = '(9.96125-11.2975]'

0 0 0 5 27 1 6 0 | g = '(11.2975-12.63375]'

0 0 0 7 14 1 0 103 | h = '(12.63375-inf)'

C.1.s Árbol de calificación de Humedad en Suelo

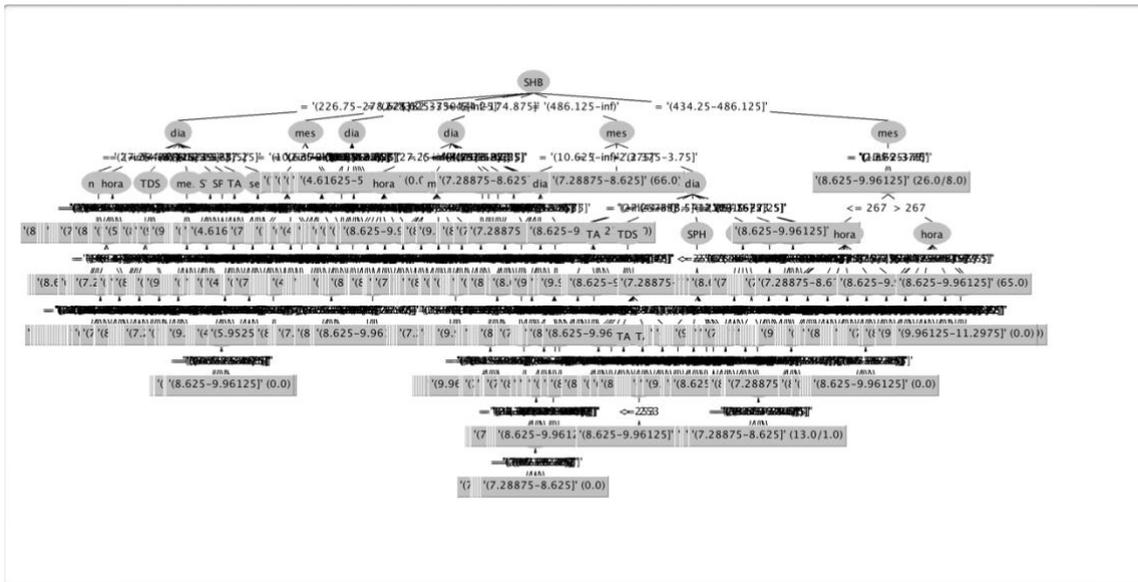


Figura 113. Árbol de clasificación de Humedad en Suelo

C.2 Pruebas de Regresión

En este apartado se presentan las siguientes pruebas de regresión.

Comando : `plot(log2$mes, log2$SPH, xlab='Mes', ylab='SPH')`

`abline(regresión)`

Humedad Ambiente – Riesgo 2

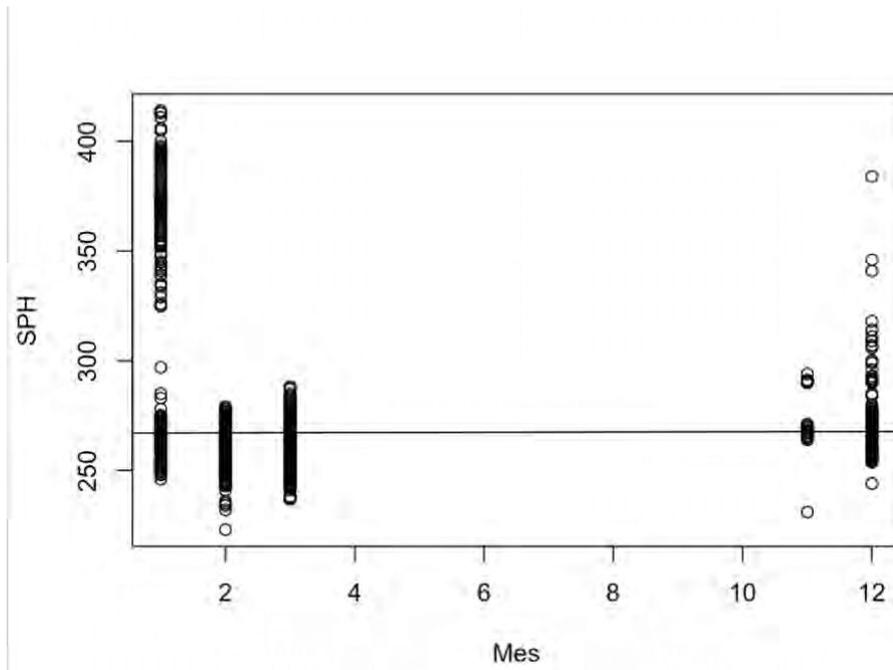


Figura 114. Regresión Mes-PH

Comando: `plot(log2$TDS, log2$SPH, xlab='TS', ylab='SPH') abline(regresion)`

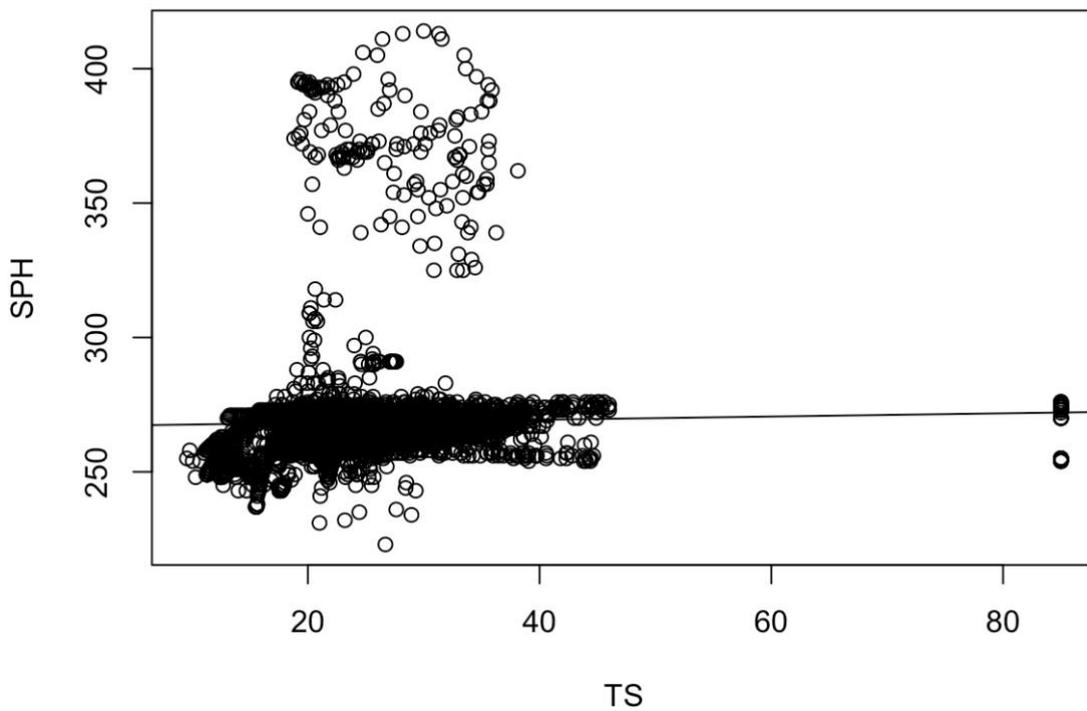


Figura 115. Regresión Temperatura de suelo - PH

Comando: `plot(log2$RUVG, log2$HS, xlab='HS', ylab='RUVG', col="blue")`

abline(regresion)

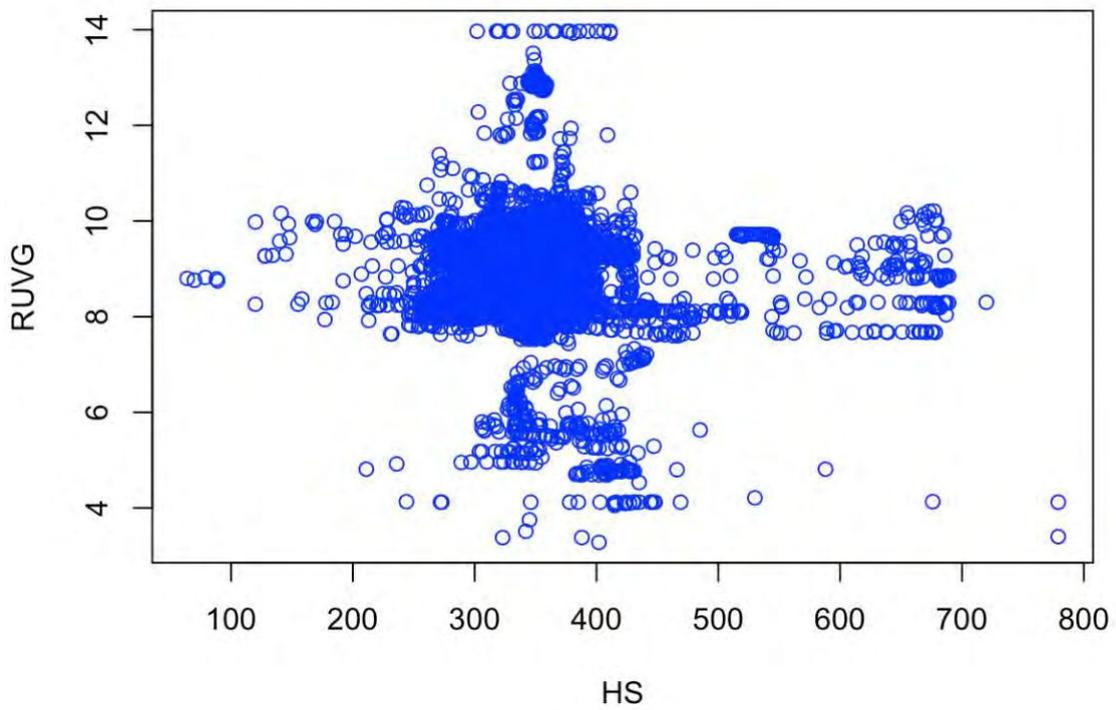


Figura 113. Regresión Radiación global – Humedad suelo

Comando: `plot(log2$HS, log2$mes, xlab='HS', ylab='MES', col="blue") abline(regresion)`

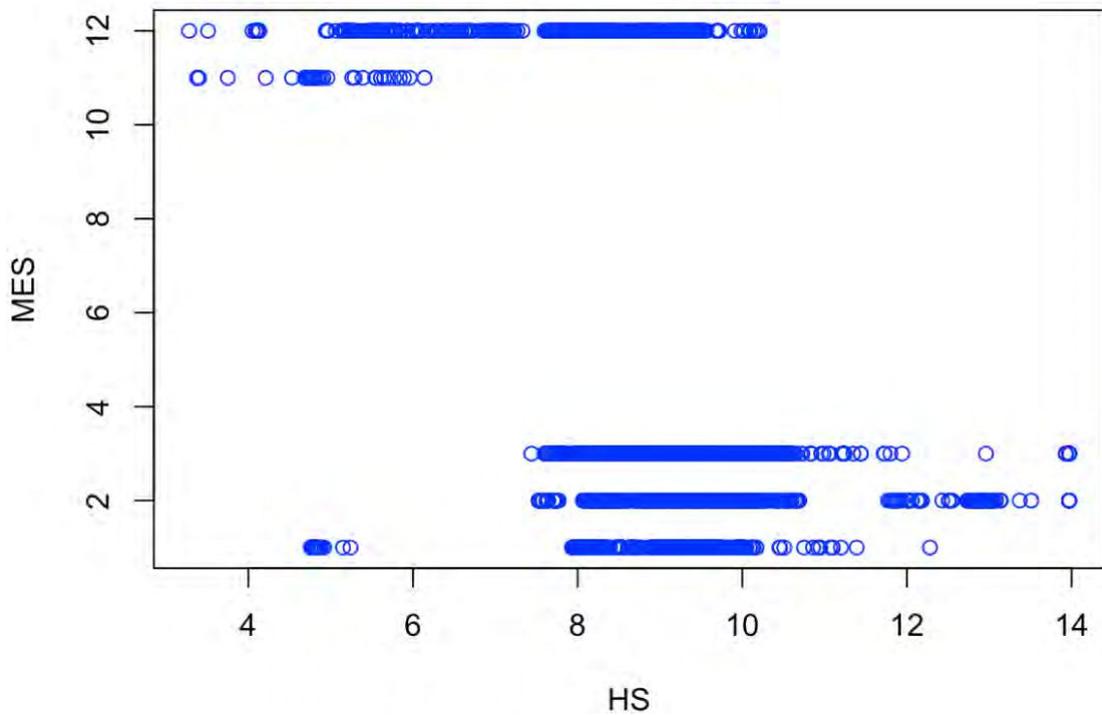


Figura 114. Regresión Mes– Humedad suelo

Apéndice D

Gráficas de series polinómicas, resultados de todas las muestras.

Humedad Ambiente – Riesgo 2

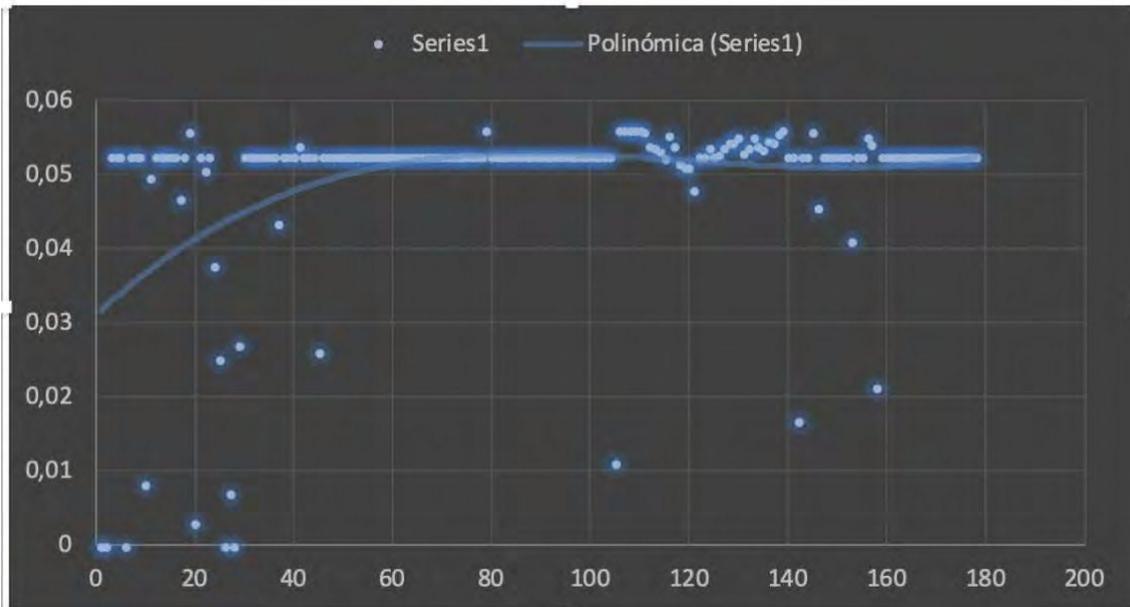


Figura 115. Serie Polinómica – Humedad Ambiente

Temperatura Ambiente – Riesgo 2

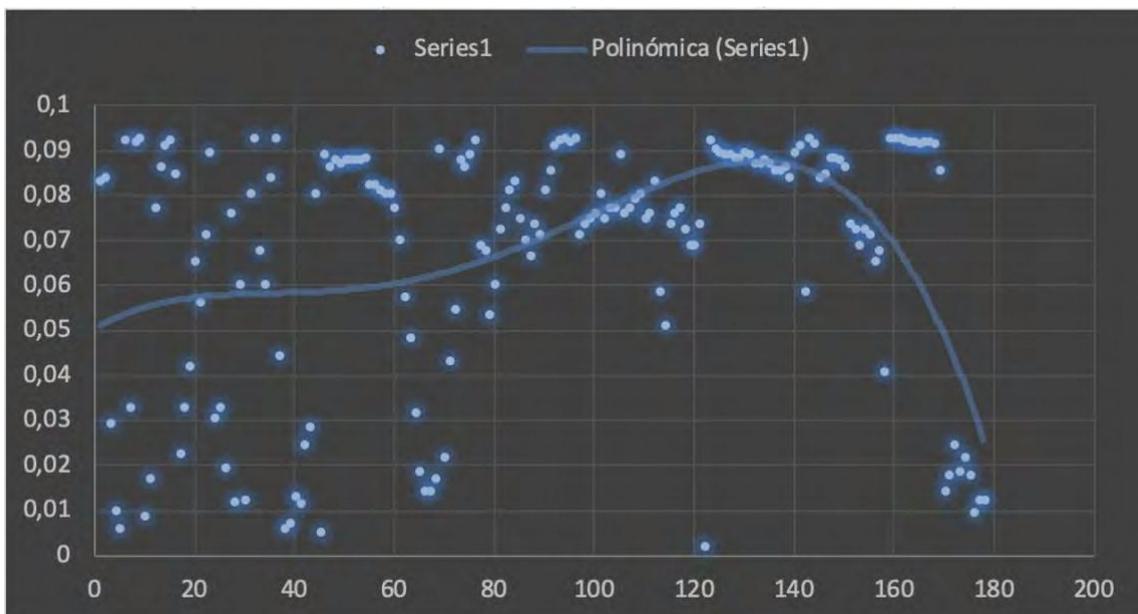


Figura 116 . Serie Polinómica – Temperatura Ambiente

PH – Riesgo 2

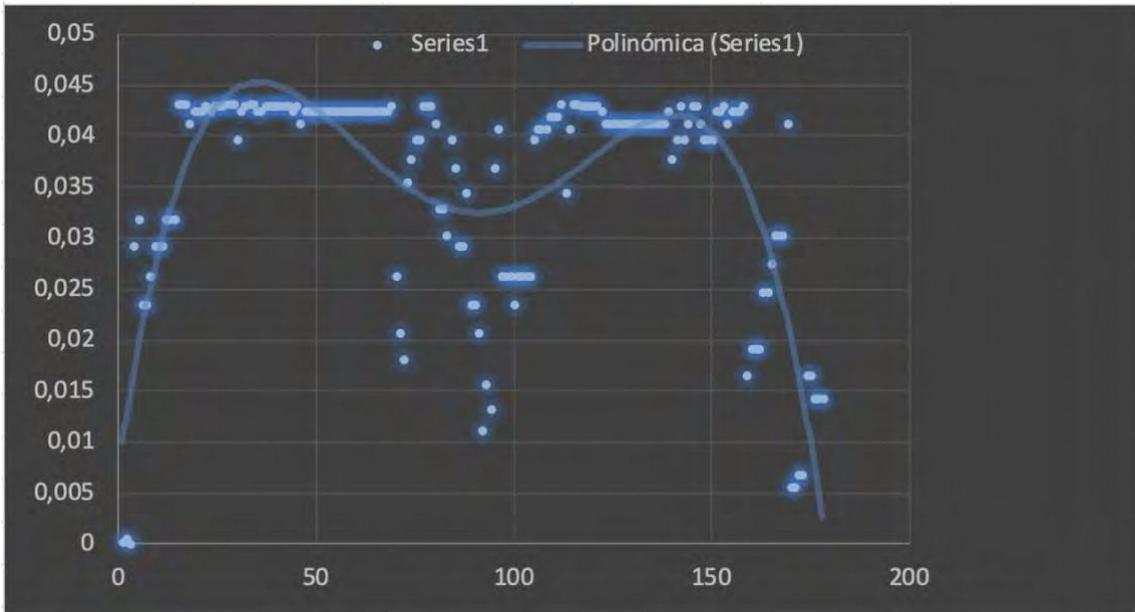


Figura 117 . Serie Polinómica – PH

Humedad Suelo – Riesgo 2

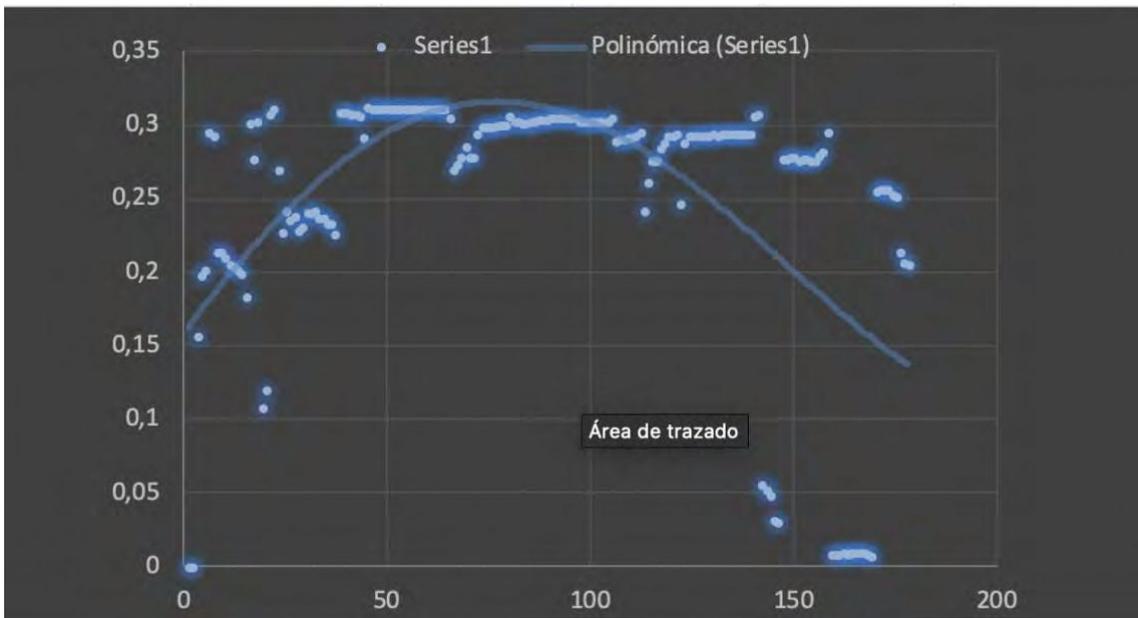


Figura 118. Serie Polinómica – Humedad Suelo

Humedad Ambiente – Riesgo 3

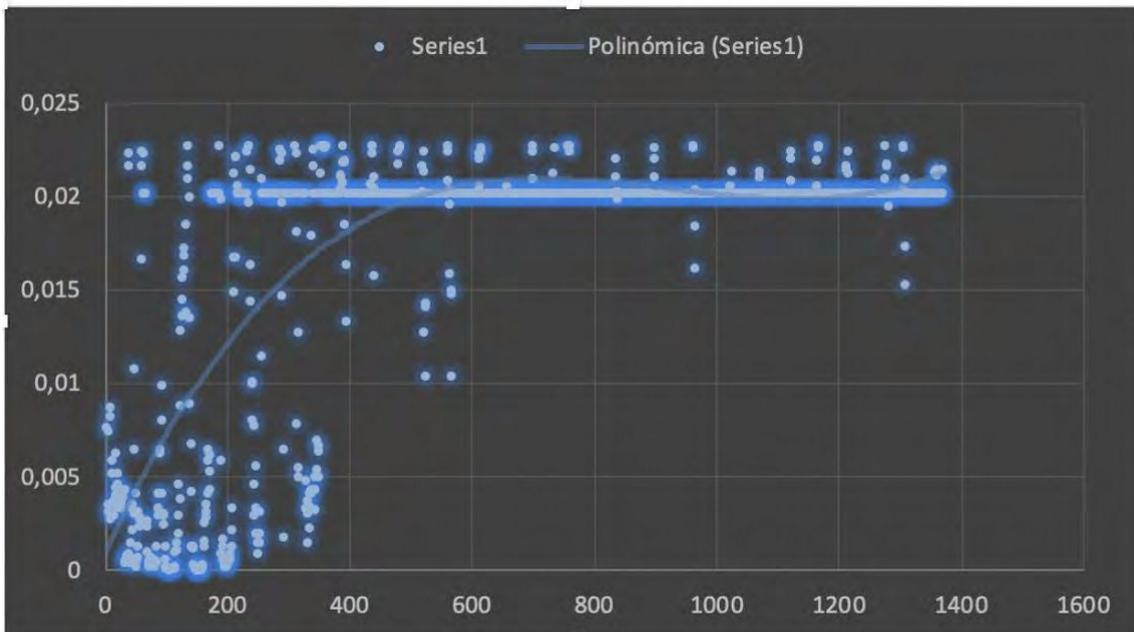


Figura 119. Serie Polinómica – Humedad Ambiente

Temperatura Ambiente – Riesgo 3

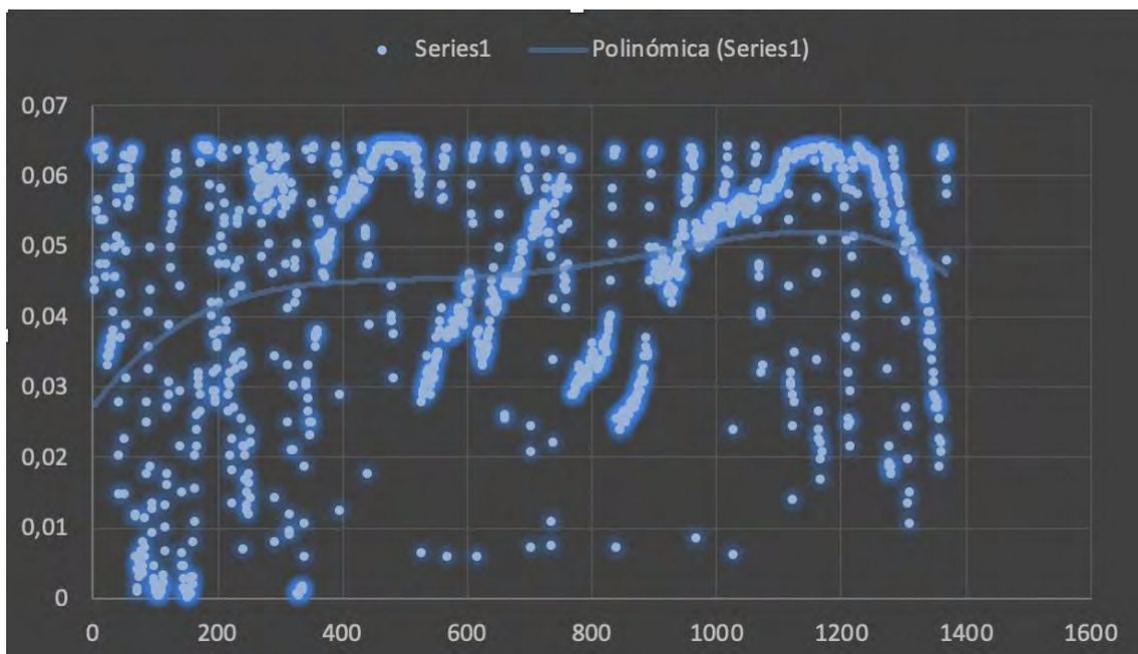


Figura 120. Serie Polinómica – Temperatura Ambiente

PH – Riesgo 3

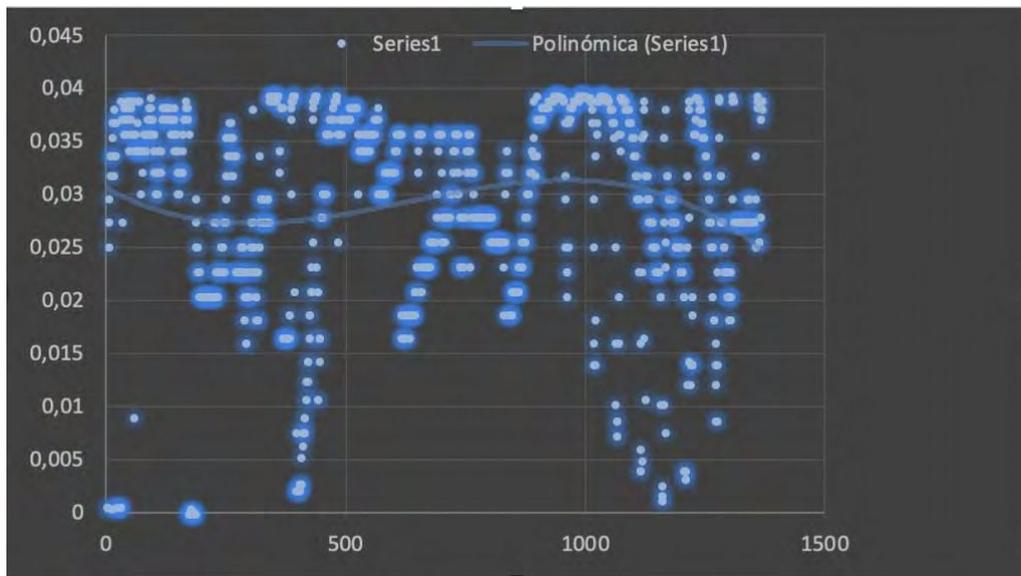


Figura 121. Serie Polinómica – PH

Humedad Suelo – Riesgo 3

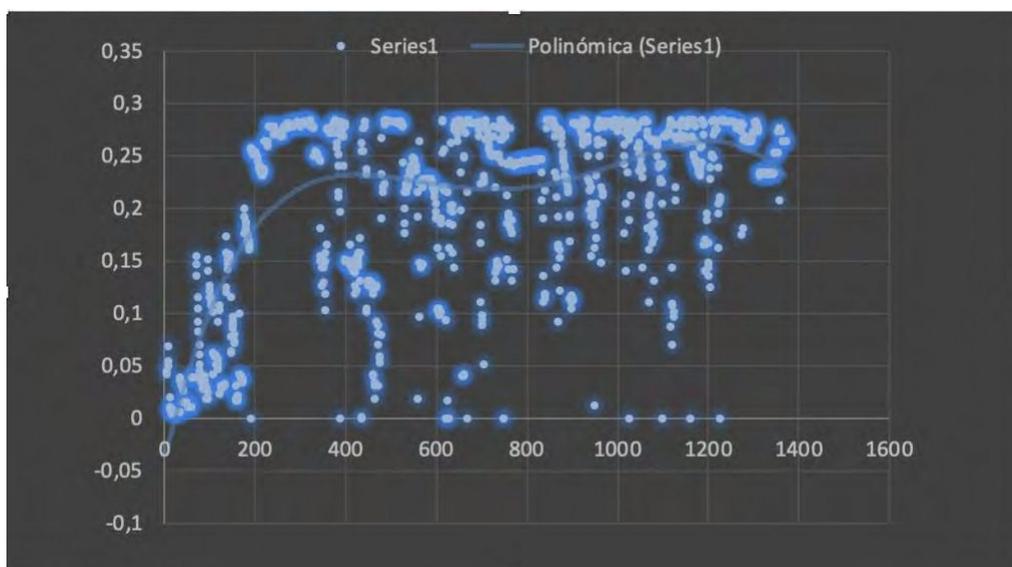


Figura 122. Serie Polinómica – Humedad Suelo