



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

TEMA:

***“SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E
INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA
PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO PERTENECIENTE AL CANTÓN
SUCUMBIOS PROVINCIA SUCUMBIOS.”***

AUTOR: DÍAZ LUNA JOHN WILMAN

DIRECTOR: MSC. FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRIGUEZ

ASESOR: MSC. SUAREZ ZAMBRANO LUIS EDILBERTO

ASESOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO	
Cédula de Identidad	040150303-2
Apellidos y Nombres	Díaz Luna John Wilman
Dirección	El Carmelo, Calle Carchi y García Moreno
E-mail	jwdiaz@utn.edu.ec
Teléfono móvil	0985176054
DATOS DE LA OBRA	
Título	Sistema de monitoreo inteligente basado en tecnología IoT e inteligencia artificial aplicado a la crianza de alevines, en la Provincia Sucumbíos, Cantón Sucumbíos, Parroquia Playón de San Francisco.
Autor	Díaz Luna John Wilman
Fecha	12/09/2022
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez. MSc.



CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 12 días del mes de septiembre de 2022

Díaz Luna John Wilman

CI: 040150303-2

AUTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN

MAGISTER FABIAN CUZME, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación "*SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PROVINCIA SUCUMBÍOS, CANTÓN SUCUMBÍOS, PARROQUIA PLAYÓN DE SAN FRANCISCO.*" Ha sido desarrollado por el Sr. Díaz Luna John Wilman bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

Ing. Fabián Geovanny Cuzme Rodríguez, MsC.

CI: 1311527012

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios y a mi familia por el apoyo constante que me brindan, soporte para cada día querer superarme.

A mis padres, hermanos, sobrino y mi novia que siempre me han apoyado incondicionalmente para salir adelante.

A mi director de mi trabajo de titulación MSc. Fabián Cuzme, por su tiempo y buena disposición por brindarme sus conocimientos y guiarme en transcurso del desarrollo del proyecto.

A mis amigos y compañeros de aula.

John Wilman Díaz Luna

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios y a mis padres Wilo Díaz y Mariela Luna por haberme dado la vida y sabiduría para cumplir las metas que me he propuesto.

Agradezco a mis hermanos Diego, Mónica y Alejandro, quienes me han acompañado en momentos difíciles y han sido un pilar fundamental en esta etapa de mi vida.

A mi novia Yaquira Lagos, quien con sus consejos, motivación y apoyo constante me impulsó a cumplir esta meta en mi vida.

Agradecimiento especial a los trabajadores de la empresa Guerra Piscis en especial a la MSc. Estefanía Guerra por toda la información brindada en el proceso del desarrollo del sistema de monitoreo.

Un agradecimiento especial a mi director de tesis MSc. Fabián Cuzme que con sus conocimientos supo guiarme a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Y finalmente quiero expresar mis agradecimientos a mis asesores MSc. Luis Suárez y MSc. Jaime Michilena, por brindarme su conocimiento, aportaciones y su asesoramiento en el desarrollo de mi trabajo de titulación.

John Wilman Díaz Luna

ÍNDICE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	I
CONSTANCIAS.....	II
CERTIFICACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
RESUMEN.....	XX
ABSTRACT	XXII
Capítulo I: Antecedentes.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4. Alcance	4
1.5. Justificación	7
Capítulo II: Fundamentación Teórica.....	9
2.1. Trabajos Relacionados	9
2.2. Piscicultura.....	11
2.2.1. <i>Trucha Arcoíris</i>	11
2.3. El Agua.....	13

VI

2.3.1. <i>Calidad del Agua</i>	13
2.4. Internet de las Cosas IoT.....	16
2.4.1. <i>Definición del Internet de las Cosas IoT</i>	17
2.4.2. <i>Arquitectura IoT</i>	18
2.4.3. <i>Protocolos de IoT</i>	21
2.4.4. <i>Seguridad en Entornos IoT</i>	23
2.5. Redes Inalámbricas.....	25
2.5.1. <i>Ventajas y desventajas de Redes Inalámbricas</i>	26
2.5.2. <i>Clasificación de Redes Inalámbricas</i>	27
2.5.3. <i>Principales Tecnologías Inalámbricas</i>	27
2.5.4. <i>Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)</i>	33
2.6. Componentes de Hardware.....	36
2.6.1. <i>Sensores</i>	36
2.6.2. <i>Microcontroladores</i>	37
2.7. Componentes de Software.....	38
2.7.1. <i>Lenguajes de Programación</i>	39
2.7.2. <i>Hosting</i>	41
2.7.3. <i>Servidores Web</i>	41
2.8. Aprendizaje Automático (Machine Learning).....	42
2.8.1. <i>Técnicas de Inteligencia Artificial</i>	42
2.8.2. <i>Lógica Difusa</i>	42
2.9. Estándar ISO IEC IEEE 29148:2018.....	51
2.10. Metodologías de Investigación.....	51
2.10.1. <i>PMBOX</i>	52
2.10.2. <i>Metodología en Cascada</i>	53
Capítulo III. Desarrollo de la Propuesta.....	55
3.1. Análisis del Proyecto.....	55

3.1.1. Beneficiarios del proyecto.....	55
3.1.2. Localización.....	56
3.1.3. Situación Actual.....	56
3.2. Metodología.....	61
3.2.1. Modelo en cascada.....	61
3.3. Requerimientos del Sistema.....	62
3.3.1. Listado de Stakeholders.....	63
3.3.2. Requerimientos Operacionales y de Usuario StSR.....	64
3.3.3. Requerimientos del Sistema SySR.....	66
3.3.4. Requerimientos de Arquitectura.....	68
3.4. Elección de Hardware y Software.....	70
3.4.1. Hardware.....	70
3.4.2. Software.....	87
3.5. Diseño del Sistema.....	96
3.5.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Monitoreo.....	96
3.5.2. Diagrama de Flujo del Sistema.....	99
3.5.3. Implementación de Hardware.....	102
3.5.4. Diseño del Software.....	113
3.5.5. Diseño de la Red Inalámbrica.....	120
3.5.6. Diseño del Controlador Difuso.....	133

CAPITULO IV. Implementación del Sistema de Monitoreo y Pruebas de Funcionamiento

147

4.1. Pruebas Individuales del Sistema de Monitoreo.....	147
4.1.1. Pruebas de Consumo Eléctrico Nodos Remotos.....	147
4.1.2. Pruebas de Consumo Eléctrico Nodo Coordinador.....	150
4.1.3. Costo del Consumo Eléctrico Mensual.....	151
4.1.4. Pruebas de Funcionamiento NrA.....	152

VIII

4.1.5. Pruebas de Funcionamiento NrB.....	152
4.2. Implementación del Hardware.....	153
4.2.1. Armado del CASE.....	154
4.3. Instalación del Sistema de Monitoreo	156
4.3.1. Instalación del Nodo Coordinador	156
4.3.2. Instalación del NrA.....	158
4.3.3. Instalación del NrB.....	159
4.4. Pruebas en Conjunto del Sistema de Monitoreo	160
4.4.1. Pruebas del Bloque de Comunicación.	160
4.4.2. Pruebas de Funcionamiento del Bloque de Procesamiento.....	166
4.5. Evaluación Reglas Difusas.....	171
4.5.1. Escenario A.....	173
4.5.2. Escenario B.....	175
4.5.3. Escenario C.....	177
4.5.4. Escenario D	179
4.5.5. Escenario E.....	181
4.5.6. Escenario F.....	183
4.6. Eficiencia del Sistema.....	185
4.6.1. Matriz de Confusión.	185
4.7. Índice de Mortalidad.....	189
4.7.1. Pérdidas Económicas sin IoT Fish	190
4.7.2. Pérdidas Económicas con IoT Fish	191
4.8. Costo del Sistema	192
4.8.1. Costo de Hardware.....	192
4.8.2. Costo de Software.....	194
4.8.3. Costos de Ingeniería.....	195
4.8.4. Costos de Mantenimiento.....	196

4.8.5. <i>Costo Beneficio</i>	196
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	201
Conclusiones.....	201
Recomendaciones.....	203
REFERENCIAS.....	204
ANEXOS.....	214
ANEXO A	214
<i>Encuesta de Requerimiento</i>	214
<i>Tabulación de Encuesta</i>	227
ANEXO B	234
<i>Comparativa de Redes Inalámbricas.</i>	234
ANEXO C	235
<i>Datasheet Sensor de Temperatura DS18B20</i>	235
<i>Datasheet Sensor de pH Scientific</i>	236
<i>Datasheet Sensor de OD Scientific Atlas Scientific</i>	238
<i>Datasheet Módulo XBee S2C</i>	240
ANEXO D	242
<i>Resultados de Simulación Radio Mobile</i>	242
ANEXO E	246
<i>Configuración Módulos XBee</i>	246
ANEXO F.....	250
<i>Diseño del Plano en SolidWorks</i>	250
<i>Diseño del Circuito en Proteus</i>	252
ANEXO G.....	254
<i>Código del Sistema - Arduino</i>	254
<i>Código de la Pagina Web – Proyecto PHP</i>	254

ANEXO H.....	255
<i>Carta de Propiedad Intelectual</i>	255
<i>Carta de Conformidad</i>	256
ANEXO I.....	257
<i>Fotografías Encuesta</i>	257
<i>Fotografías Toma de Datos</i>	258
<i>Fotografías Instalación de Sensores</i>	259
<i>Fotografías Entrega de Sistema</i>	260
ANEXO J	261
<i>Manual de Usuario – Administrador</i>	261

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trucha arcoíris <i>Oncorhynchus Mykiss</i>	12
Figura 2. Componente de construcción de Proyecto IoT	18
Figura 3. Arquitectura IoT; a) 3 capas; b) basado en middleware; c) basado en SOA; d) 5 capas.....	19
Figura 4. Requerimientos de seguridad en IoT.....	24
Figura 5. Tecnologías de comunicación inalámbrica	26
Figura 6. Arquitectura protocolo IEEE 802.15.4.....	30
Figura 7. Elementos de una WSN	33
Figura 8. Topología Estrella.....	35
Figura 9. Topología árbol	35
Figura 10. Topología tipo malla.	36
Figura 11. Arduino Leonardo.....	37
Figura 12. Raspberry Pi 4 Modelo B.....	38
Figura 13. Ejemplo de subconjuntos borrosos.....	44
Figura 14. Función de pertenencia triangular	45
Figura 15. Función de pertenencia Sigmoidal	45
Figura 16. Función de pertenencia trapezoidal	46
Figura 17. Función de pertenencia gaussiana.	46
Figura 18. Función conjunto unión de conjuntos difusos.....	47
Figura 19. Función conjunto intersección de conjuntos difusos.	48
Figura 20. Función conjunto complemento de conjuntos difusos.....	48
Figura 21. Procesos de PMBOX	52
Figura 22. Modelo en cascada.....	54
Figura 23. Instalaciones del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Piscis Guerra.....	57
Figura 24. Tanque de captación y filtrado de agua	58
Figura 25. Área de eclosión de ovas – huevos.....	59

Figura 26. Eclosión de las ovas a larvas	59
Figura 27. Tanques para la producción de alevines	60
Figura 28. Etapa de producción de alives.....	61
Figura 29. Diagrama de bloques nodos remoto.....	84
Figura 30. Diagrama de bloques nodo coordinador	86
Figura 31. Diagrama de bloques del sistema de monitoreo	97
Figura 32. Diagrama de funcionamiento del sistema de monitoreo	100
Figura 33. Diagrama de flujo del proceso general del sistema	101
Figura 34. Diagrama eléctrico de conexión entre sensor pH y Arduino.....	103
Figura 35. Soluciones de Calibración	104
Figura 36. Voltaje de la solución pH 4.00.....	104
Figura 37. Voltaje de la solución pH 7.00.....	105
Figura 38. Voltaje de la solución pH 10.00.....	105
Figura 39. Diagrama eléctrico de conexión entre sensor DO y Arduino.....	107
Figura 40. Medición de voltaje del sensor de saturación de oxígeno.....	108
Figura 41. Diagrama eléctrico de conexión sensor DS18B20	109
Figura 42. Diagrama de conexión bloque de recolección de datos o nodo remoto	110
Figura 43. Circuito PCB del bloque de recolección de información.....	111
Figura 44. Placa 3D sistema de monitoreo.....	112
Figura 45. Diagrama de conexión bloque de procesamiento o nodo coordinador.....	113
Figura 46. Software XCTU, Parámetros de configuración.....	114
Figura 47. Comunicación serial con nodo coordinador.....	116
Figura 48. Comunicación Node-Red con Hosting	116
Figura 49. Función http con método GET.....	117
Figura 50. Base de datos identidad relación MySQL.....	118
Figura 51. Diagrama de flujos pagina Web.....	119
Figura 52. Escenario de red, fotografía del laboratorio.	120

Figura 53. Topología de red; nodo coordinador y nodos remotos	121
Figura 54. Ubicación geográfica de los nodos.....	129
Figura 55. Resultado de simulación nodo coordinador y nodo remoto A	130
Figura 56. Resultado de simulación nodo coordinador y nodo remoto B.....	131
Figura 57. Perfil geográfico en transmisión nodo coordinador y nodo remoto B.	132
Figura 58. Perfil geográfico en transmisión nodo coordinador y nodo remoto B.	132
Figura 59. Diagrama de bloques del sistema difuso	134
Figura 60. Flujograma de diseño del controlador difuso.....	134
Figura 61. Distribución borrosa del sistema de monitoreo.....	137
Figura 62. Distribución borrosa conjunto temperatura.....	139
Figura 63. Gráfica de la función de pertenencia temperatura	140
Figura 64. Distribución borrosa conjunto pH del agua	140
Figura 65. Gráfica de la función de pertenencia pH	141
Figura 66. Distribución borrosa conjunto del oxígeno disuelto en el agua.....	141
Figura 67. Gráfica de la función de pertenencia oxígeno disuelto	142
Figura 68. Distribución borrosa conjunto del.....	142
Figura 69. Gráfica de la función de pertenencia.....	143
Figura 70. Consumo de corriente Sensor de pH Atlas Scientific	148
Figura 71. Resultados de lecturas bloque sensores NrA	152
Figura 72. Resultados de lecturas bloque sensores NrB.....	153
Figura 73. Plano de implementación de los nodos remotos A y B.....	153
Figura 74. Ensamble de los dispositivos electrónicos nodos remotos A y B.....	154
Figura 75. Implementación de sistema de monitoreo en caja dexson.....	155
Figura 76. Nodos remotos A y B.....	155
Figura 77. Instalación de Nodo Coordinador	157
Figura 78. Instalación de nodo coordinador.....	158
Figura 79. Instalación de Nodo Remoto A.....	159

Figura 80. Instalación de Nodos Remoto B	159
Figura 81. Nodo coordinador agreafos a la red PAN ID 2021.....	161
Figura 82. Test de la red nodo coordinador y nodo remoto A	162
Figura 83. Test de la red nodo coordinador y nodo remoto B	163
Figura 84. Analisis del radio espectro	164
Figura 85. Recepción de mensaje en plataforma XCTU.....	165
Figura 86. Rección de paquetes en modo AT.....	165
Figura 87. Visualización de datos en Node-Red.....	166
Figura 88. Base de datos.....	167
Figura 89. Base de datos tabla tipo_usuario.....	167
Figura 90. Base de datos tabla usuario.....	168
Figura 91. Base de datos tabla sensor.....	168
Figura 92. Base de datos Tabla Historial	169
Figura 93. Panel de monitoreo de los Nodos Remotos	170
Figura 94. Plataforma de Notificación-Alerta Sensor.....	171
Figura 95. Gráfica de valores de sensores escanario A.....	173
Figura 96. Evaluación de reglas difusas escanario A.....	174
Figura 97. Gráfica de valores de sensores escanario B	175
Figura 98. Evaluación de reglas difusas escenario B.....	176
Figura 99. Gráfica de valores de sensores escanario C	177
Figura 100. Evaluación de reglas difusas escanario C.....	178
Figura 101. Gráfica de valores de sensores escanario D.....	179
Figura 102. Evaluación de reglas difusas escanario D.....	180
Figura 103. Gráfica de valores de sensores escanario E.....	181
Figura 104. Evaluación de reglas difusas escanario E	182
Figura 105. Gráfica de valores de sensores escanario F.....	183
Figura 106. Evaluación de reglas difusas escanario F.....	184

Figura 107. Topología de red RadioMobile	242
Figura 108. Simulación de radio mobile coordinador y NrA	243
Figura 109. Umbral de recepción NrA	243
Figura 110. Umbral del receptor con margen de 34.02 [dBm]	244
Figura 111. Simulación de radio mobile coordinador y NrB.....	244
Figura 112. Umbral de recepción NrA.....	245
Figura 113. Umbral del receptor con margen de 33.90 [dBm]	245
Figura 114. Ventana de búsqueda de dispositivos XBee.....	247
Figura 115. Configuración de Parámetros comunicación serial XCTU	247
Figura 116. Elección del dispositivo XBee	248
Figura 117. Configuración en los módulos XBee.....	248
Figura 118. Recepción de mensajes por medio de XCTU.....	249
Figura 119. Plano del PCB en SolidWorks vista superior.....	250
Figura . Plano del PCB en SolidWorks vista lateral frente.....	251
Figura . Plano del PCB en SolidWorks vista izquierda.....	251
Figura 122. Circuito PCB en Proteus	252
Figura 123. Circuito PCB para impresión	253
Figura 124. Placa PCB en 3D.	253

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comportamiento de la Temperatura	14
Tabla 2. Comportamiento de la trucha en función del oxígeno en el agua.....	15
Tabla 3. Comportamiento de la trucha en función del pH.....	16
Tabla 4. Ventajas y Desventajas de las Redes Inalambricas.....	26
Tabla 5. Clasificación de las Redes Inalambricas	27
Tabla 6. Tabla de canales protocolo IEEE 802.15.4.....	32
Tabla 7. Características del módulo de comunicación XBee.....	32
Tabla 8. Acrónimos del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018.....	62
Tabla 9. Lista de Stakeholders	63
Tabla 10. Priorización de requerimientos del sistema.....	64
Tabla 11. Requerimientos de los Stakeholders.....	65
Tabla 12. Requerimientos iniciales el sistema SySR	66
Tabla 13. Requerimientos de arquitectura SRSR	68
Tabla 14. Cuadro Comparativo de Sensores de pH	71
Tabla 15. Análisis de los sensores de pH.....	72
Tabla 16. Cuadro Comparativo de Sensores de Temperatura.....	73
Tabla 17. Análisis de los sensores de temperatura.....	73
Tabla 18. Cuadro comprativo de sensor de saturación de oxígeno	74
Tabla 19. Análisis de los sensores de oxígeno disueltos.	75
Tabla 20. Cuadro Comparativo de Microcontroladores Arduino.....	76
Tabla 21. Análisis comparativo de los microprocesadores.....	76
Tabla 22. Cuadro Comparativo Modulos Inalambricos	78
Tabla 23. Análisis comparativo de los módulos para la red WSN.....	78
Tabla 24. Cuadro Comparativo Raspberry Pi.....	80
Tabla 25. Análisis de dispositivos para el procesamiento	81
Tabla 26. Valores de corrientes y voltajes	83

Tabla 27. Selección de alimentación nodo remoto	84
Tabla 28. Detalles de voltaje en nodo coordinador.....	85
Tabla 29. Selección de alimentación nodo coordinador.....	86
Tabla 30. Elección del software de programación bloque de recolección de información ..	87
Tabla 31. Cuadro comparativo de plataformas de procesamietno	88
Tabla 32. Elección del Software de Programación.	89
Tabla 33. Cuadro comparativo de Hosting.....	90
Tabla 34. Elección del Hosting	91
Tabla 35. Cuadro comparativo de servidores	92
Tabla 36. Elección del Servidor Web	92
Tabla 37. Cuadro comparativo de base de datos	93
Tabla 38. Elección del gestor de base de datos.....	94
Tabla 39. Cuadro comparativo de plataformas de mensajería	95
Tabla 40. Elección de plataforma de notificación.....	95
Tabla 41. Conexiones sensores, módulos al microcontrolador.	110
Tabla 42. Configuración de parámetros XBee en software XCTU	114
Tabla 43. Ubicación geométrica de cada nodo.....	120
Tabla 44. Comparativa de resultados simulados y calculados.....	133
Tabla 45. Variables del universo discurso.....	135
Tabla 46. Conjuntos de funciones de pertenencia del sistema de monitoreo	138
Tabla 47. Base de datos de reglas difusas	144
Tabla 48. Tabla de consumo eléctrico nodo remoto	149
Tabla 49. Camparativa de resultados de voltajes y potencia total.....	150
Tabla 50. Tabla de consumo eléctrico nodo coordindor	151
Tabla 51. Diferentes Escenarios durante el monitoreo.....	172
Tabla 52. Escenario para evaluación de reglas difusas	172
Tabla 53. Modelo de representación Matriz de Confusión.....	185

Tabla 54. Matriz de confusión	186
Tabla 55. Exactitud y precisión del controlador difuso.....	189
Tabla 56. Pérdidas económicas sin sistema de monitoreo.....	191
Tabla 57. Pérdidas económicas con sistema de monitoreo.....	192
Tabla 58. Costo de hardware nodos remotos.....	193
Tabla 59. Costo de hardware nodo coordinador	193
Tabla 60. Costos por utilización de softwares	194
Tabla 61. Costos de Ingeniería.....	195
Tabla 62. Costo de Mantenimiento.....	196
Tabla 63. Inversión de sistema de moniotero Iot Fish	197
Tabla 64. Pérdidas económicas aplicado a dos piletas	198
Tabla 65. Pérdidas económicas con proyección a todo el sistema.	198
Tabla 66. Plazo de recuperación Payback.....	199
Tabla 67. Tecnologías inalámbricas.	234
Tabla 68. Parámetros de configuraciones XBee S2C	246

RESUMEN

El presente trabajo plantea sobre un sistema de monitoreo inteligente basado en tecnología IoT e Inteligencia Artificial con el algoritmo de lógica difusa aplicado a la piscicultura para monitorear la calidad del agua en las piletas de producción de la especie *Oncorhynchus mykiss* o conocidas como truchas arcoíris, este estudio se llevó en el Laboratorio de Eclosión Guerra Piscis, ubicado en la Provincia de Sucumbíos, Cantón Sucumbíos, Parroquia Playón de San Francisco, obteniendo resultados satisfactorios

En el desarrollo del sistema se empleó tres sensores que permiten monitorear la calidad del agua en base a un estudio sobre los parámetros que afectan la producción de esta especie, como: los niveles de concentración de pH, la temperatura y niveles de saturación de oxígeno en el agua. Todos estos datos fueron recopilados por dos nodos sensores y transmitidos a un nodo coordinador por medio de una red de sensores haciendo uso del protocolo de comunicación IEEE 802.15.4; todos estos datos son visualizados en una plataforma web para que el administrador tenga conocimiento de la calidad del agua en los estques y sea notificado mediante una alerta sobre algún evento adverso.

Para que este sistema notifique se utiliza el algoritmo de lógica difusa empleando 27 reglas difusas en base a los conocimientos de los especialistas del laboratorio, este algoritmo presenta una exactitud del 94.4% y una precisión del 100% mediante la matriz de confusión.

Si los parámetros de la calidad del agua están en condiciones críticas el sistema notificará al usuario mediante la plataforma web y un mensaje sobre las condiciones en las que se encuentra mediante la aplicación de Telegram.

ABSTRACT

The present work proposes about an intelligent monitoring system based on IoT technology and Artificial Intelligence with the fuzzy logic algorithm applied to fish farming to monitor the quality of water in the production pools of the species *Oncorhynchus mykiss* or known as rainbow trout, this The study was carried out in the Guerra Piscis Eclasion Laboratory, located in the Province of Sucumbios, Canton Sucumbios, Playon de San Francisco Parish, obtaining satisfactory results.

In the development of the system, three sensors were used to monitor water quality based on a study of the parameters that decrease the production of this species, such as: pH concentration levels, temperature, and oxygen saturation levels in Water. All these data were collected by two sensor nodes and transmitted to a coordinating node through a sensor network using the IEEE 802.15.4 communication protocol; All this data is displayed on a web platform so that the administrator is aware of the quality of the water in the ponds and is notified by means of an alert about any adverse event.

For this system to notify, the fuzzy logic algorithm is used using 27 fuzzy rules based on the knowledge of the laboratory specialists, this algorithm has an accuracy of 94.4% and a precision of 100% through the confusion matrix.

If the water quality parameters are in critical conditions, the system will notify the user through the web platform and a message about the conditions in which it is found through the Telegram application.

Capítulo I: Antecedentes

En este capítulo de antecedentes menciona sobre el desarrollo del proyecto de titulación, en la que se presenta el tema, problema, objetivos, alcance y justificación; interviniendo en el desarrollo y sustentación del *Sistema de Monitoreo Inteligente basado en Tecnología IoT* mediante la aplicación del algoritmo de *Lógica Difusa* aplicado a la crianza de alevines en el Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis, ubicado en la Parroquia El Playón de San Francisco.

1.1. Tema

Sistema de monitoreo inteligente basado en tecnología IoT e inteligencia artificial aplicado a la crianza de alevines, en la Provincia Sucumbíos, Cantón Sucumbíos, Parroquia El Playón de San Francisco.”

1.2. Problema

La producción y crianza de truchas arcoíris en el Ecuador es la más empleada con fines piscícolas en aguas frías con los recursos hídricos como los ríos y lagunas. (Jacinto Ricardo Echeverría Barahona; Ing. Carlos Merizalde, 2012) Estas actividades productivas se las realiza en región Sierra y Amazonía, debido a que es posible utilizar las numerosas vertientes, ya que favorecen sus condiciones geográficas e hídricas. Se considera que la trucha arcoíris o su nombre científico (*Oncorhynchus mykiss*), son las más apropiadas para

el cultivo industrial y la producción para el consumo humano, debido a su fácil adaptación, resistentes a enfermedades y su rápido desarrollo. (Quimbiamba Eddy, 2019)

Pero existen problemas relacionados con la crianza de alevines arcoíris en este ambiente de producción, se obtiene información del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje “Guerra Piscis”, donde mencionan tasas de mortalidad que comprenden del 15% y 20% de un estimado de 2 millones de alevines. Este problema se relaciona con diferentes parámetros que intervienen en la crianza, ya sea por enfermedades, exceso de alimentación y la calidad del agua en los estanques. La calidad del agua para el cultivo de alevines se basa en los parámetros más importantes como la temperatura, los niveles del pH indicando la acidez o la alcalinidad, y los niveles de oxígeno disuelto en el agua. (Rohit et al., 2019) La temperatura afecta directamente la tasa metabólica de los alevines, si las temperaturas son bajas pueden conllevar a la falta de crecimiento y contraer diversas enfermedades.(Gallegos, 2017) Los valores bajos del pH o acidez pueden influir en el crecimiento, si el pH es alto puede ocasionar diversos daños como la destrucción de las córneas y las branquias. Los bajos niveles de oxígeno disueltos en el agua afectan negativamente a la respiración ocasionando un alto índice de mortalidad o también puede incidir en la aparición de enfermedades. (Santos Paola Graciela; Jurado Marco Antonio, n.d.)(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014)

Por ello se propone un Sistema Inteligente de monitoreo basado en Tecnologías IoT e Inteligencia Artificial que permita al piscicultor obtener datos relevantes que intervienen

en la piscicultura para determinar el comportamiento y las condiciones ambientales de los estanques de crianza de alevines. Los datos se obtendrán a partir del sensor de temperatura, sensor de pH y el sensor de niveles de saturación del oxígeno en el agua. Para la transmisión de estos datos se realiza el diseño de una red, mediante el uso del estándar de comunicación inalámbrico IEEE 802.15.4 que permite la interconexión entre el nodo coordinador al nodo transmisor. Este nodo transmisor contiene un Arduino nano que procesa los datos de los sensores y mediante un módulo XBee transmite la información al nodo coordinador. (Desai et al., 2020) Los datos receptados serán procesados por un Raspberry Pi para crear una base de datos local MySQL y de la misma forma se almacenará los datos en un servidor en la nube. A dichos datos se aplicará el algoritmo de lógica difusa para predecir las condiciones ambientales sobre los sucesos en los estanques de crianza de alevines arcoíris. Finalmente, los resultados obtenidos se podrán visualizar de forma gráfica por medio de una plataforma WEB para realizar acciones correctivas frente a situaciones emergentes en los estanques de alevines.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una red de sensores inalámbricos con tecnología IoT e implementar un mecanismo de inteligencia artificial que permita monitorear la crianza de alevines, para minimizar la tasa de mortalidad en la Parroquia El Playón de San Francisco.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Fundamentar la base teórica sobre las tecnologías IoT, el estándar de comunicación IEEE 802.15.4, algoritmos de aprendizaje automático y las características del ambiente a tratar para definir los parámetros que intervienen en la crianza de alevines arcoíris.
- Establecer requerimientos de hardware y software para el diseño del sistema inteligente de monitoreo para la crianza de alevines.
- Diseñar una red inalámbrica de sensores mediante el estándar IEEE 802.15.4 para la transmisión de información entre los nodos y el controlador principal.
- Implementar el algoritmo de lógica difusa para predecir las condiciones ambientales en la crianza de alevines.
- Comprobar el funcionamiento del sistema a través de pruebas de hardware y software

1.4. Alcance

Para el desarrollo del diseño de este trabajo de titulación de pregrado se plantea aplicar el método investigativo PMBOX que describe 5 procesos principales; se clasifica en tres niveles, el primer nivel describe los procesos de Iniciación y Planificación donde se determina que se va a hacer; cuando se va a hacer y con qué recursos; el segundo nivel describe los procesos de ejecución y monitoreo del proyecto planeado y el tercer nivel es la finalización del proyecto cumpliendo con los objetivos trazados. (Westland Jason, 2017) (Pmi Pmbox, 2020)

En la ejecución del presente proyecto se investigará fuentes bibliográficas de los temas referentes sobre la crianza de alevines y parámetros que interviene en el desarrollo de la piscicultura. La tecnología de comunicación inalámbrica utilizando el estándar IEEE 802.15.4 en el que se detallarán las variables para el cálculo de la tasa de transmisión de datos, las pérdidas de potencia en el espacio libre, cálculo de la distancia entre los nodos y el controlador principal, ángulos de azimut y elevación, las atenuaciones que presentan en el espacio libre.(Salas Villareal, 2020) También, se definirán los mecanismos de inteligencia artificial para determinar comportamientos, aplicando el algoritmo de aprendizaje automático basado en lógica difusa. (Terrones-Benicio et al., 2017)

Se establecerá la norma ISO/IEC/IEEE 29148 para el levantamiento de requerimientos de hardware implicados en el desarrollo del sistema inteligente para el monitoreo de alevines. En la elección del software se basa en dicha norma y establece la correcta elección de plataformas, se utiliza software de código abierto Arduino basado en el lenguaje de programación C++, el uso de Raspberry Pi basado en el lenguaje de programación Python. Se realiza una investigación entre dos plataformas cloud para el almacenamiento y definir la que ofrezca una cuenta estándar sin ningún costo inicial para las pruebas que satisfaga las necesidades del sistema, pero en caso de que la empresa desee utilizar la propuesta de forma permanente se definirán los costos por uso, mensuales o anuales que se deban cancelar para su utilización permanente.

En la fase de diseño se establecerán cada uno de los componentes levantados en la fase de requerimientos, la red inalámbrica de sensores permite el envío de información de datos entre los nodos y el controlador principal, se tiene dos nodos, cada nodo cuenta con tres tipos de sensores, sensor de temperatura, sensor de niveles del pH y sensor de saturación de niveles de oxígeno en el agua, cada uno de estos sensores estará conectado a un microcontrolador Arduino, los datos obtenidos por cada uno de los sensores serán transmitidos al nodo principal mediante la red bajo estándar IEEE 802.15.4 utilizando módulos XBee. (Quiñonez Ibarra Edison Giovanni, 2017) El nodo principal o nodo coordinador recibe los datos y estos son procesados por el microcontrolador Raspberry PI en la que se crea una base de datos local. (Rodríguez et al., 2017) Obteniendo los datos de cada uno de los sensores, serán evaluados por el algoritmo de lógica difusa para determinar el comportamiento y predecir las variables ambientales en las que se encuentran las piscinas de alevines. (Gómez Santander, 2021) Los resultados obtenidos serán visibles en la cloud en la que muestra cada uno de los valores de los sensores permitiendo una lectura clara y concisa para que el piscicultor tome decisiones ante alguna situación presentada en los estanques de alevines.

En la etapa de pruebas de funcionamiento de hardware se evaluará el desempeño de cada uno de los sensores implicados en el sistema inteligente de monitoreo para realizar una lectura precisa de datos. El funcionamiento de la red inalámbrica se basará en la tasa de transmisión de datos en un determinado tiempo. El procesamiento de la información

dependerá del microprocesador Raspberry Pi. En la parte de pruebas del software se verificará la creación de la base de datos. Se realiza la prueba del algoritmo de lógica difusa mediante la herramienta de matriz de confusión para visualizar el desempeño del algoritmo y determinar la exactitud de predicción (Gómez Santander, 2021). Las pruebas de funcionamiento de la plataforma cloud en la que permite la visualización de la información en tiempo real.

1.5. Justificación

El desarrollo de este Sistema de monitoreo Inteligente basado en IoT e Inteligencia artificial permite predecir condiciones ambientales de la piscicultura ante situaciones críticas, contribuyendo con El Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 – Toda una Vida, Objetivo 6: Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr una soberanía alimentaria y el Buen Vivir Rural que demanda consolidación de logros alcanzados en la última década mediante políticas que fomentan impulsar el desarrollo sostenible y las capacidades productivas para potenciar la soberanía alimentaria. (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida, 2017)

La Organización de las Naciones Unidas para la alimentación de la Agricultura FAO, define la calidad del agua como un aspecto importante para la producción piscícola, se debe tener en cuenta la temperatura del agua que interviene en el crecimiento de los peces, el nivel del pH debe de ser neutro para evitar la proliferación de enfermedades y el nivel de turbidez puede disminuir la cantidad de oxígeno disuelto en el agua para una adecuada respiración del

pez. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014)
(Santos Paola Graciela; Jurado Marco Antonio, 2017)

La falta de desarrollo de sistemas inteligentes para el monitoreo constante de parámetros de la calidad del agua en la actividad de la piscicultura es escasa, por ello los piscicultores optan por técnicas convencionales conllevándoles un arduo trabajo y difícil predicción de los estados de los estanques de alevines, otro de los factores importantes es que no pueden estar pendientes las 24 horas del día del estado de las piscinas de alevines. Por lo cual, se propone desarrollar un sistema inteligente basado en Tecnologías IoT e Inteligencia Artificial para el monitoreo constante de las condiciones ambientales en la crianza de alevines.(Santos, 2019)

El presente proyecto de investigación está auspiciado económicamente por el Sr Díaz Luna John Wilman, que cubrirá los costos de hardware como software y otros gastos que se detallan en el apartado 4.8. Se tiene la carta de aceptación del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje “Guerra Piscis” a cargo del Ing. Estuardo Guerra para proceder a implementar el sistema en sus instalaciones para la crianza de alevines. Los conocimientos adquiridos durante toda la carrera de estudio son fundamentales para poder dar viabilidad al proyecto de investigación.

Capítulo II: Fundamentación Teórica

En el desarrollo de este capítulo se establecerán sustentos teóricos que permiten esclarecer los diferentes temas relacionados con el proyecto, definiendo los conceptos que intervienen en la piscicultura, la calidad del agua y sus propiedades idóneas para la producción de esta especie. Así mismo, es conveniente analizar sobre la arquitectura y funcionamiento del *Internet de las Cosas IoT* esclareciendo diversas tecnologías de redes inalámbricas y tipos de redes de sensores *WSN* con sus respectivos protocolos de comunicación.

Se da a conocer las diversas placas de los sistemas embebidos, los lenguajes de programación y base de datos. Hay que mencionar, sobre el sistema de aprendizaje de máquina utilizada en el desarrollo de este proyecto como lo es el algoritmo de lógica difusa, y las normativas y metodologías para el diseño del proyecto.

Es conveniente señalar que para el funcionamiento de la red *WSN*, se basa en el protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 o conocida como ZigBee, en la que se define sus frecuencias de operación, velocidades de transmisión, potencia de transmisión y los componentes de configuración que intervienen en una red.

2.1. Trabajos Relacionados

En su estudio (Santos, 2019), hace referencia al diseño de una red de sensores inalámbrica *WSN* para el monitoreo de la calidad del agua en piletas de truchas, con el

objetivo de monitorear parámetros de temperatura, turbidez, pH y caudal del agua, según las recomendaciones descritas por la FAO.

(Salazar & Cuzme, 2019), implementaron un sistema de riego inteligente para cultivos de hortalizas basado en el algoritmo de lógica difusa para la toma de decisiones y control, monitoreando cultivos de ciclo corto y bajo a través de parámetros de temperatura ambiente, humedad ambiente y luminosidad. Este sistema permite enviar alertas de notificación mediante correo electrónico sobre el estado de los cultivos a los responsables de la ejecución del riego sobre algún evento adverso.

(Piamba-Mamian et al., 2020), implementaron un sistema de monitoreo IoT aplicado a la piscicultura de la especie de truchas arcoíris, utilizando parámetros de niveles de pH, temperatura y oxígeno disuelto en el agua con el objetivo de prevenir la mortalidad de esta especie. Con los datos obtenidos, se determina los patrones mediante un control Fuzzy para la activación de una bomba de oxígeno, haciendo uso de la modulación ancho de pulso (PWM) y un servidor HTTP para visualizar.

En la ejecución de este proyecto se pretende disminuir la tasa de mortalidad de alevines arcoíris en las instalaciones del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje “Guerra Piscis” que comprende un rango entre 15% y 20%. Para ello se procura seguir una metodología y normas que permitan cumplir con los objetivos planteados, el diseño de una red inalámbrica de sensores y tecnologías IoT aplicando un algoritmo de lógica difusa que permita predecir las condiciones definidas por la FAO, como son: temperatura del agua, saturación del

oxígeno en el agua y niveles de concentración del pH. Toda la información será procesada y almacenada en una plataforma IoT para que el piscicultor pueda monitorear el estado de sus estanques y si ocurre algún evento adverso, el sistema alerte mediante un mensaje sobre la situación de los estanques y así lograr disminuir la tasa de mortalidad.

2.2. Piscicultura

La Piscicultura es una ciencia que trata sobre el cultivo artificial de los peces y producción en condiciones semi controladas, su verdadero significado es la cría y producción, ya sea en plena libertad o encerrados en estanques u otros depósitos, viven de los cuidados que se les brinde por parte de los piscicultores. (Rivera, 2020)

2.2.1. *Trucha Arcoíris*

La trucha arcoíris o su nombre científico (*Oncorhynchus mykiss*) es un pez perteneciente a la familia de los salmónidos originarios de América del Norte, en nuestro país, se las encuentra en las corrientes de agua fría y es una especie de mayor cultivo a nivel mundial, debido a su resistencia, crecimiento rápido y facilidad de crianza en diferentes ambientes.(Tecnológico, 2018)

2.2.1.1. Biología de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus Mykiss*).

Esta especie se identifica por tener el cuerpo cubierto con finas escamas y de forma fusiforme (forma de hueso), la pigmentación de la carne de la trucha depende del ambiente en el que habita, la edad, el estado de maduración sexual y factores del ambiente. En los

riachuelos con presencia de sombras presentan un color plomo oscuro, mientras que en un estanque expuesto a los rayos de luz solar se encuentran con una tonalidad verde oliva en su parte superior, luego una franja rojiza, en la parte del abdomen de color blanco y exhibe un gran número de lunares en la piel, como se ilustra en la Figura 1.

Figura 1.

Trucha arcoíris Oncorhynchus Mykiss



Nota: El grafico representa una trucha arcoíris conocida como Oncorhynchus Mykiss. Tomado de (Phillips et al., 2019)

Ovas o Huevo. Las ovas son huevos fecundados que después de un lapso de 19 días de incubación, eclosionan para convertirse en larvas. De acuerdo con (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014) las truchas arcoíris son capaces de producir hasta 2000 huevos/kg.

Alevín. El proceso de alevinaje empieza una vez eclosionado la ova, son larvas que miden un aproximado de 3 a 10 cm con un peso que varían entre los 1.5 a 20 gramos; esta fase dura entre 14 a 20 días

Juvenil. Es la etapa de mayor crecimiento e incremento de la biomasa dentro de los 3 a 5 meses dependiendo de los factores ambientales, oscilan de 10 a 15 cm y su peso varía entre los 150 a 250 gramos.

Trucha. Una vez finalizada con la etapa de crecimiento y de engorde, llegan a su etapa final en la que ya pueden ser comercializadas para el consumo de su carne, sus tamaños oscilan entre los 20 a 50 cm con un peso variable de hasta 10 kilos.

2.3. El Agua.

El agua es un líquido que se caracteriza por ser incoloro, inodoro e insípido. Está conformado por las tres cuartas partes de la tierra. Cada molécula de agua se forma a partir de dos átomos hidrogeno y un átomo de oxígeno (H_2O).

“El agua está en el centro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la producción de energía y alimentos, ecosistemas saludables y para la propia supervivencia humana”. (ONU, 2019), es por ello por lo que se debe garantizar la calidad del agua mediante diversas técnicas y controles para una buena producción de alevines.

2.3.1. Calidad del Agua

La calidad del agua hace referencia a las características físicas y químicas que posee este líquido, es muy esencial para la crianza de alevines arcoíris permitiendo determinar condiciones favorables y desfavorables, cumpliendo parámetros fisicoquímicos y biológicos para una óptima producción.

Los parámetros que determinan la calidad del agua en el cultivo de alevines arcoíris se detallan a continuación.

2.3.1.1. Parámetros Físicos

Luz Radiada. La energía lumínica o radiada por el sol es recibida en los estanques de agua y penetrada aproximadamente un metro según el grado de inclinación del sol y esto puede llegar a aumentar la temperatura del agua por una exposición prolongada.

Temperatura. La temperatura en el agua es un parámetro importante que el piscicultor debe tener en cuenta, esta especie habita en aguas de baja temperatura comprendidas entre 9 y 12 °C. Entre más elevada sea la temperatura los niveles de oxígeno en el agua disminuyen. (Damacela, 2015)

Tabla 1.

Comportamiento de la Temperatura

Temperatura	Consecuencia
1 – 4 °C	Fatal para el crecimiento y producción
4 – 7.5 °C	Crecimiento lento
7.5 - 12 °C	Crecimiento óptimo, buena incubación y reproducción
12.5 - 20 °C	Estrés y bajo contenido de oxígeno

Fuente: Adaptado de (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2014)

2.3.1.2. Parámetros Químicos

Oxígeno Disuelto. Los niveles de oxígeno disuelto en el agua para las actividades de la piscicultura es uno de los más importantes en el aspecto de la calidad del agua, si no existe la adecuada concentración de oxígeno, muchos organismos vivos pueden ser afectados por enfermedades, parásitos, o morir.

La saturación de oxígeno en el agua depende de dos parámetros: la altitud y temperatura, a nivel del mar el oxígeno se encuentra entre 11.3mg/L a 10°C y 10.0 mg/L a 15°C a una altitud de 3000 msnm se encuentra entre 9.7 mg/L a 10°C

Los peces de agua fría como la trucha o salmón son los más afectados por los bajos niveles de oxígeno disuelto, existe un nivel medio de oxígeno para truchas adultas que es de 6.0 mg/L. Los niveles bajos de oxígenos bajos en el agua conllevan a contraer enfermedades y conllevando a la muerte.

Tabla 2.

Comportamiento de la trucha en función del oxígeno en el agua

% Oxígeno	Niveles de Oxígeno	Condición
0 al 40%	0 – 4.5 mg/L	Muere
41 al 60%	4.5 – 6.5 mg/L	Sufre grave estrés crítico
61° al 70%	6.5 - 7.5 mg/L	Poco estrés y crecimiento aceptable
71 a 105%	7.5 – 11.6 mg/L	Óptimo desarrollo

Fuente: Adaptado de (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2014)

pH. El pH es la medida de concentración de iones de hidrógeno (hidrogeniones), e indica la condición ácida o la alcalinidad del agua. El nivel neutro del pH se considera 7.00, estos niveles pueden variar en la escala del 0 al 14. La medida inferior a 7.00 se considera un pH ácido y por encima de este se considera un pH alcalino. Existen valores adecuados para la piscicultura que comprenden entre 6.5 a 8.5, valores fuera de este intervalo se considera adverso para la producción. (Balbuena, 2011)

Tabla 3.

Comportamiento de la trucha en función del pH

pH	Condición
4.0 - 5.0	Mucho estrés y crecimiento lento
5.1 - 6.5	Estrés y crecimiento lento
6.6 - 7.9	Óptimo desarrollo
8.0 - 10.0	Crecimiento lento, muere

Fuente:(Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero, 2014)

Amonio. Es un compuesto nitrogenado, es decir que contiene nitrógeno y puede llegar a ser toxico en su forma no ionizada NH_3 . Contiene una relación directa con el pH, a mayores niveles de pH aumenta su concentración de amonio no ionizado. Este elemento químico es producido por el aumento del nitrógeno proveniente de la orina, heces fecales y del exceso de alimentación.

Turbidez. La turbidez es el grado de transparencia del agua que permite el paso de la luz visible, cuando existe mayor presencia de solidos se tiene una mayor turbidez. Este parámetro de la calidad del agua puede reducir significativamente la estética de ríos y lagos y de forma directa reducir o afectar la vida de los peces y otras formas de vidas acuáticas degradando lo lechos de desove y afectar la función branquial.

2.4.Internet de las Cosas IoT

El término “Internet de las Cosas” fue utilizado por primera vez en 1999 por Kevin Ashton durante una presentación para la empresa que trabajaban Procter and Gamble, basado

en la posibilidad de interconectar sensores RFID¹ a la red, con el fin de obtener información del stock de los productos de la tienda P&G.(Lombardi et al., 2021)

2.4.1. Definición del Internet de las Cosas IoT

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU² en su recomendación UIT-U Y.2060, define como una infraestructura global de la sociedad de la información que permite servicios avanzados mediante la interconexión de objetos físicos y virtuales, mediante las tecnologías de la información y comunicación (TIC) presentes y futuras.

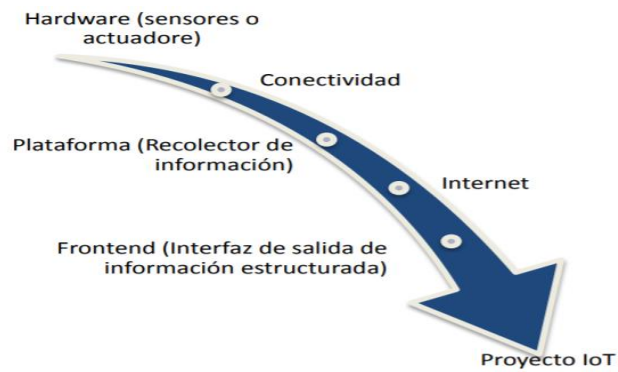
IoT permite la identificación, adquisición, procesamiento y comunicación de datos ofreciendo servicios para todo tipo de aplicación cumpliendo con todos los requisitos de seguridad y privacidad. (ITU, 2016) Para la construir un proyecto basado en Internet de las Cosas IoT, se requiere los siguientes componentes que se muestran en la Figura 2.

¹ RFID – Radio Frequency Identification – Identificación por radiofrecuencia

² ITU- International Telecommunications Union – Unión Internacional de Telecomunicaciones

Figura 2.

Componente de construcción de Proyecto IoT



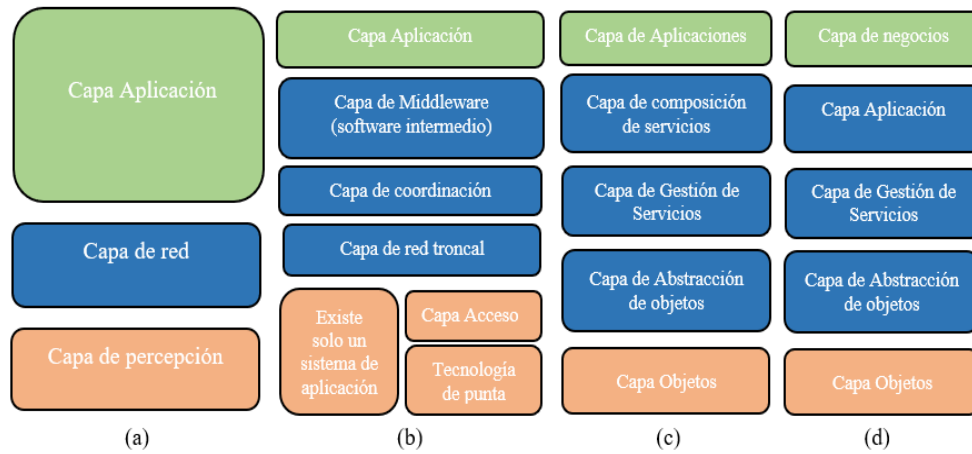
Fuente: Adaptado de (Cuzme, 2015)

2.4.2. Arquitectura IoT

En la actualidad, no existe una referencia de arquitectura IoT única, ya que diferentes investigadores han propuesto diferentes arquitecturas. Existen arquitecturas básicas con tres capas, otras poseen cinco capas. En la Figura 3, se ilustra las arquitecturas IoT existentes. (Lombardi et al., 2021)

Figura 3.

Arquitectura IoT; a) 3 capas; b) basado en middleware; c) basado en SOA; d) 5 capas



Fuente: Adaptado de (Sethi & Sarangi, 2017)

En la Figura 3, se ilustran algunos modelos de arquitecturas de IoT, entre ellas está el modelo de cinco capas, que no se debe confundir con las capas de modelo TCP/IP.

2.4.2.1. Capa de Objetos.

Esta capa abarca sensores y actuadores para diferentes funcionalidades permitiendo recopilar y procesar información de temperatura, humedad, pH, gases, aceleración, vibración, etc. Permite la digitalización y transferencia de datos a la capa de abstracción de objetos mediante la utilización de canales seguros. (Sethi & Sarangi, 2017)

2.4.2.2. Capa de Abstracción de Objetos.

Esta capa permite el envío de información a la siguiente capa a través de comunicación LAN o WAN utilizando diversas tecnologías inalámbricas como IEEE 802.11,

IEEE 802.15.4, Bluetooth, etc. o de forma cableada mediante protocolos Ethernet y PLC³.(Burhan et al., 2018)

2.4.2.3.Capa Gestión de Servicios.

Esta capa es la encargada de administrar los servicios de IoT, siendo la responsable del análisis de seguridad de la información y gestión de dispositivos.

2.4.2.4.Capa Aplicación.

Esta capa se considera como una capa superior de la arquitectura de IoT convencional. La importancia principal de esta capa es que proporciona diferentes servicios inteligentes para satisfacer las necesidades del usuario. Los protocolos usados en esta capa son HTTP, CoAP, MQTT, XMPP, AMQP, y DDS. (Kaur & Kaur, 2016)

2.4.2.5.Capa de Negocio o Gestión.

Esta capa es la encargada de supervisar y gestionar las capas subyacentes permitiendo mejorar los servicios y proporcionar privacidad al usuario. Proporciona aplicaciones en IoT en procesos comerciales y en sistemas empresariales como CRM⁴, ERP⁵ y BSS⁶. (Kaur & Kaur, 2016)

³ PLC- Programmable Logic Controller - Controlador lógico programable

⁴ CRM - Customer Relationship Management – Gestión de relaciones con el cliente

⁵ ERP - Enterprise Resource Planning – Planificación de recursos empresariales

⁶ BSS - Business Support System - Sistema de apoyo empresarial

2.4.3. Protocolos de IoT

Con el desarrollo del Internet de las Cosas algunas entidades han propuesto el desarrollo de protocolos para la interoperabilidad de terminales de diferentes fabricantes. Los principales protocolos de capa de aplicación son.

2.4.3.1. HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto)

El protocolo HTTP es un protocolo que permite realizar petición de datos y recursos, principalmente es utilizado para transferir datos en la World Wide Web. Las plataformas de gestión de IoT que lo utilizan poseen una interfaz de aplicación basada en HTTP. Su principal ventaja es la de enviar y recibir grandes cantidades de datos de manera eficiente. (Chelson Malo; Huawei, 2020)

2.4.3.2. CoAP (Protocolo de Aplicación con Restricciones)

Fue desarrollado por la IETF, este protocolo define la transferencia web basado en la arquitectura de Transferencia de Estado Representacional (REST) como un reemplazo de HTTP. Basado en UDP para la comunicación en unidifusión y multidifusión.

CoAP no incorpora ninguna característica de seguridad, sin embargo, HTTP usa TLS sobre TCP, CoAP puede usar DTLS sobre UDP proporcionando confidencialidad, integridad, autenticación y no repudio, pero el consumo de ancho de banda y energía es mayor. (Marti et al., 2019)

2.4.3.3.MQTT (Message Queue Telemetry Transport).

Desarrollado por IBM y estandarizado por OASIS, este protocolo es de mensajería ligera y fácil de implementar. Se utiliza para comunicación máquina a máquina M2M, los recursos de memoria y ancho de banda son limitados. MQTT está basado sobre la pila de protocolo TCP/IP que permite la publicación y suscripción de mensajes implementando tres niveles de calidad de servicio QoS. (Moreno Cerdà, 2018).

2.4.3.4.XMPP (Protocolo de presencia y mensajería extensible).

Desarrollado por la IETF, es un protocolo para el intercambio de mensajes y notificaciones en tiempo real a través de Internet. Este protocolo se basa en TCP/IP y lenguaje XML que admite sistemas de mensajería de publicación y suscripción. Este protocolo no soporta calidad de servicio. (Wang et al., 2017)

2.4.3.5.AMQP (Protocolo avanzado de cola de mensajes)

Es un protocolo de capa de software para entornos de middleware orientado a mensajes. Permite el enrutamiento y almacenamiento de mensajes dentro de un servidor, su funcionamiento es de comunicación asíncrona y de código abierto. Utiliza autenticación de entrega SASL (Autenticación simple y capa de seguridad) y proporciona un cifrado por TLS/SSL. (Pathaka & Temburne, 2018)

2.4.3.6.DDS (Servicio de Distribución de Datos).

Es un protocolo de middleware y un estándar API⁷ desarrollado por Object Management Group (OMG). Es utilizado para la comunicación máquina a máquina M2M. Es similar a otros protocolos de mensajería como MQTT, AMQP. DDS permite asociar 23 políticas diferentes de calidad de servicio QoS que ocupan diversas características como la seguridad, prioridad, durabilidad y confiabilidad. (Al-Masri et al., 2020)

2.4.4. Seguridad en Entornos IoT

Se entiende por amenazas a los factores que presenta vulnerabilidades en un entorno IoT, en lo que se debe considerar algunos factores de seguridad que se muestran a continuación.

2.4.4.1.Entornos de IoT

Dispositivos Finales. Estos pueden ser sensores, actuadores, lo que se pueda conectar físicamente hacia el microcontrolador. Hoy en día, la seguridad de los dispositivos se implementa en gran medida.

Conectividad. La conectividad inalámbrica se puede implementar la seguridad dependiendo del protocolo que se utiliza y la seguridad que soporta, puede ser AES o WPA/WPA2.

⁷ Application Programming Interfaces

Procesamiento de Datos. En el análisis o procesamiento de datos, se utilizan software o algoritmos para el aprendizaje de maquinaria, implementado mecanismos de encriptación de información.

Plataformas. Es un componente importante para que la información sea presentada al usuario final mediante una interfaz gráfica basada en Web o dispositivos móviles.

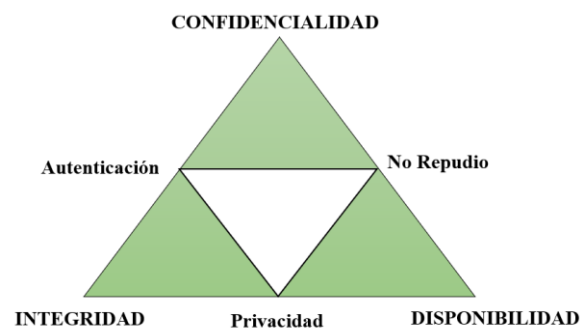
2.4.4.2. Seguridad

La seguridad en IoT debe abordarse durante todo el ciclo de vida, desde la fabricación de dispositivos, la firma de código para asegurarse que el dispositivo no sea pirateado o que algún usuario mal intencionado inserte un código malicioso. (Gloukhovtsev, 2018)

Los principales requisitos de seguridad en los escenarios IoT hace referencia al triángulo CIA, haciendo énfasis en los tres principios de seguridad como confidencialidad, integridad y disponibilidad, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4.

Requerimientos de seguridad en IoT



Fuente: Adaptado de (Gloukhovtsev, 2018)

Confidencialidad. Garantiza la información y solamente va a estar disponible para aquellas personas autorizadas.

Integridad. Toda la información se mantiene intacta, libre sin ser modificados o alterados por terceros.

Disponibilidad. Este pilar de la seguridad se refiere a la disponibilidad de la información, en el momento y en la forma que el usuario la soliciten.

No repudio. Garantiza la participación de las partes en la comunicación entre un emisor y receptor, garantizando la confianza entre las partes en las comunicaciones.

Autenticación. Todos los competentes o elementos piden autenticación para acceder al sistema, si no tiene las credenciales correctas no se concluye el proceso de autenticación.

Privacidad. Este servicio permite la privacidad de los datos de los usuarios realizando acciones de protección de la información.

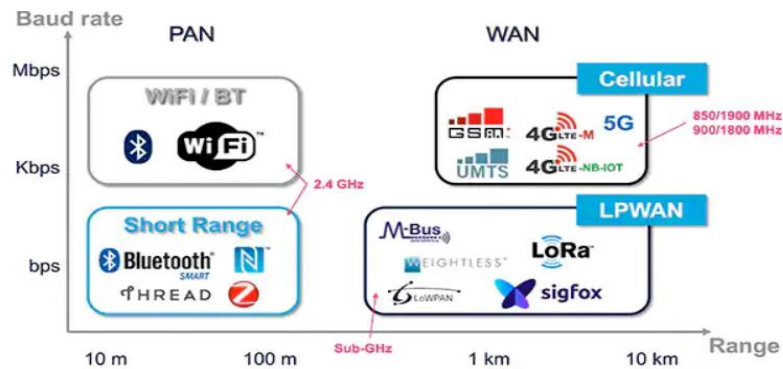
2.5.Redes Inalámbricas

La conectividad es la clave para la implementación del Internet de las Cosas, ya que las redes de comunicaciones permiten conectar dispositivos, máquinas, sensores, etc. Cada tecnología y protocolo presenta sus propias fortalezas y debilidades cuando se trata de rango, escalabilidad, costos y requerimientos de red.

En la Figura 5, se presenta los diversos tipos de redes y tecnologías inalámbricas con sus respectivos rangos de propagación y velocidades de transmisión.

Figura 5.

Tecnologías de comunicación inalámbrica



Fuente: Adaptado de (Stephen Evanczuk, 2018)

2.5.1. Ventajas y desventajas de Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas ofrecen varias ventajas frente a redes cableadas ya sea por su infraestructura o costo a la hora de implementar y de igual manera existen desventajas, como se muestra en Tabla 4.

Tabla 4.

Ventajas y Desventajas de las Redes Inalambricas

Ventajas	Desventajas
No existe cableado físico	Son vulnerables a la seguridad
Flexibilidad dentro del área de cobertura	Menor velocidad de transmisión
Fácil instalación y costos mínimos	Despliegue de cableado
Soluciones en lugares lejanos	Distancias limitadas
Acceso y disponibilidad	Interferencias electromagnéticas

Fuente: Autoría

2.5.2. Clasificación de Redes Inalámbricas

Las redes inalámbricas se pueden clasificar de acuerdo con el protocolo, sus certificaciones, su área de cobertura, tasa de transmisión de datos, área de cobertura, todas estas características se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Clasificación de las Redes Inalambricas

Tipo de Red	WPAN (Personal)	WLAN (Local)	WMAN (Metropolitana)	WWAN (Mundial)
Estándar	IEEE 802.15	IEEE 802.11	IEEE 802.16	GSM/GPRS/U MTS
Certificación	Bluetooth, ZigBee	Wi-Fi	WiMAX	
Velocidad	55 Mbps	600 Mbps	128 Mbps	42 Mbps
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 a 5 GHz	2 a 66 GHz	0.8/1.8/2.1 GHz
Rango	1-100m	30 a 150m	1 a 50Km	35Km
Técnica de Radio	FHSS	FHSS, DSSS, OFDM	Varias	Varias
Itinerancia (Roaming)	NO	NO	Si (802.16e)	Si

Fuente: Autoría.

2.5.3. Principales Tecnologías Inalámbricas

En la actualidad existen diversas tecnologías inalámbricas que son aplicadas en diversas aplicaciones, las principales características es su rango de cobertura y velocidad de transmisión de la información, a continuación, se enlistan las redes inalámbricas más utilizadas.

2.5.3.1. Bluetooth.

Es una tecnología utilizada para la comunicación de radio de corto alcance, son redes WPAN basadas en el estándar IEEE 802.15.1. Posee características de bajo consumo de energía y bajo costo, opera en la banda de 2.4GHz. Provee velocidades de transmisión de datos de 780Kbps hasta 432.6Kbps de datos simétricos. (IEEE 802.15.1-2002, 2002)

2.5.3.2. Bluetooth Low Energy (BLE).

Se lo conoce como Bluetooth 4.0 BLE, se introdujo en el año 2011, opera en la banda ISM de (2400-483.5) MHz. La principal ventaja de este estándar son los requerimientos de baja potencia, mejor rango de alcance e interoperabilidad entre diferentes fabricantes de los chipsets. (Pastorino Cecilia, 2020)

2.5.3.3. ANT.

La tecnología ANT es una tecnología inalámbrica de baja potencia y opera en la banda de frecuencia de 2.4GHz. Es utilizada para conectar sensores deportivos y de salud, se introdujo ANT+ para que los dispositivos sean interoperables con diferentes marcas sin ningún problema. (Arab et al., 2018)

2.5.3.4. Wi-Fi.

Significa Wireless Fidelity y representa a la tecnología WLAN. Basada en el estándar IEEE 802.11 en el que se definen varias familias de redes inalámbricas 802.11 a/b/g/n/ac las

cuales pueden conectarse a internet. El rango de cobertura depende del entorno en el que se encuentra. (Dahiya, 2017)

2.5.3.5.LoRa

Es una especificación de modulación de RF para redes de área amplia y de baja potencia conocidas como LPWAN. Permite comunicaciones de aproximadamente de 5Km en áreas urbanas y 10Km en áreas rurales en donde se presenta línea de vista. Su principal ventaja es el bajo consumo de energía que pueden durar las baterías hasta 10 años. Implementa una topología de red estrella basada en el protocolo LoRa WAN. (Semtech, 2020)

2.5.3.6.Sigfox.

Es una red de comunicaciones LPWAN, diseñada para las comunicaciones de largo alcance con bajo consumo de energía, basada en el protocolo de red de bajo rendimiento LTN⁸, opera en la banda de 868MHz en Europa y en la banda de 902MHz en Estados Unidos. (Sigfox, 2017)

2.5.3.7.XBee.

Es un dispositivo de red inalámbrica de bajo costo, bajo consumo energético, seguridad, robustez, presenta alta escalabilidad y puede soportar un gran número de nodos,

⁸ LTN. – *Low Throughput Network*

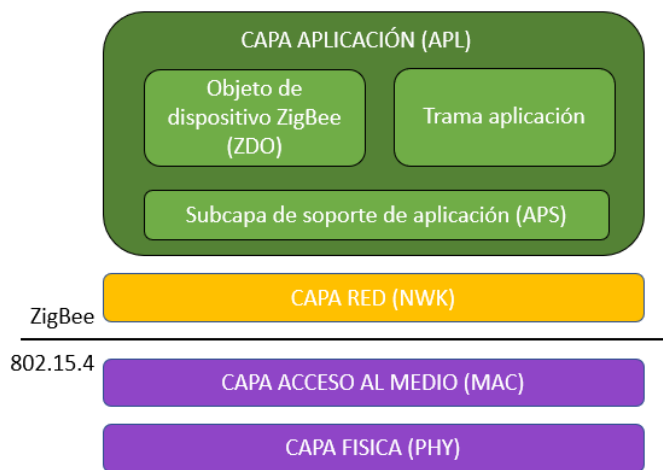
basado en el estándar IEEE 802.15.4. Su objetivo son las aplicaciones que requieran comunicaciones seguras principalmente en redes de sensores y automatización permitiendo configuraciones en malla para admitir comunicaciones con gran variedad de dispositivos.(Imran & Atif, 2018)

- Es un protocolo seguro.
- Bajo costo y bajo consumo energético.
- Funcionamiento en las bandas ISM.

Arquitectura del Protocolo IEEE 802.15.4. Este protocolo es diseñado en base al modelo OSI para la interoperabilidad entre diferentes fabricantes, en se muestra la arquitectura que está compuesta por las cuatro capas del modelo OSI con el fin de obtener una baja tasa de transmisión y consumo energético.

Figura 6.

Arquitectura protocolo IEEE 802.15.4



Fuente: Adaptado de (DIGI, 2016)

Capa Física (PHY). Esta capa define el funcionamiento físico del dispositivo, en la que incluye la sensibilidad de recepción, el ancho del canal, la potencia de salida del canal, el número de canales, la modulación y la velocidad de transmisión.

Capa Acceso al Medio (MAC). Esta capa permite la transmisión de datos por radio frecuencia RF, mediante enlaces punto a punto. Cumple la función de retransmisión mediante los acuses de recibo ACK y la técnica para evitar las colisiones CSMA-CA

Capa Red (NWK). Esta capa de red permite el enrutamiento de los paquetes receptados por FR de origen al destino.

Capa Aplicación (APL). Esta capa superior está orientada a la programación de objetos, el direccionamiento, incluido perfiles, clústeres y puntos finales.

Objeto de dispositivo ZigBee (ZDO). Esta capa define el funcionamiento de la red como (coordinador, enrutador o dispositivo final), respondiendo a solicitudes de enlaces.

2.5.3.8.Frecuencia de Trabajo y Velocidades

El protocolo IEEE 802.15.4 define 24 canales de bandas sin licencia de 868MHz, 902-928MHz y 2.4GHz, cada una de estas bandas se las utiliza dependiendo del requerimiento y aplicación con un ancho de banda de 250Kbps. En la Tabla 6, se muestra los canales del protocolo IEEE 802.15.4

Tabla 6.

Tabla de canales protocolo IEEE 802.15.4

Frecuencia Central (MHz)	Número de Canales (N)	Canal (k)	Frecuencias Central (MHz)
868	1	0	868.9
915	10	1-10	906+2(k-1)
2405	16	11-26	2405+2(k-11)

Fuente: Autoría

Las características técnicas del módulo de comunicación XBee S2C, basadas en su hoja de especificaciones (véase ANEXO), se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Características del módulo de comunicación XBee

Parámetros	Especificación
Frecuencia de trabajo	2.4GHz
Velocidad de datos (máx.)	250000b/s
Técnica de modulación	DSSS
Rango de alcance	Hasta 3200 metros
Sensibilidad	-101dBm
Voltaje de la fuente	2.7V a 3.6V
Corriente Tx y Rx	120 mA y 31mA
Interfaz de comunicación	SPI, UART
Tipo de montaje	Through Hole
Temperatura de operación	40°C a 85°C

Fuente: Adaptado de (Ijorquea, 2018)

2.5.4. Redes de Sensores Inalámbricas (WSN)

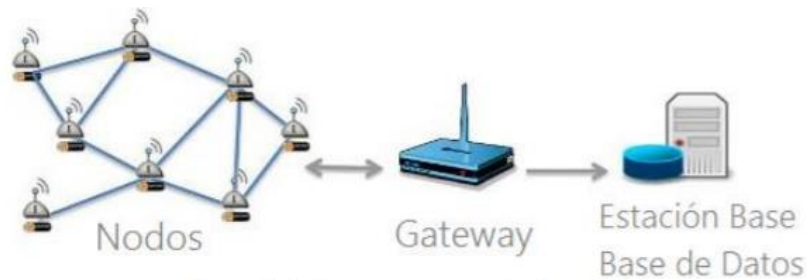
Según la recomendación de la ITU-T una WSN (*Wireless Sensor Network*) es una red de sensores inalámbrica compuesta por diferentes nodos y sensores que están interconectados para el envío de información. Existen algunas limitaciones importantes al implementar una WSN, como la seguridad, limitaciones de memoria, ancho de banda y duración de la batería. Una WSN permite monitorear y controlar condiciones físicas y ambientales a través de diferentes sensores.

2.5.4.1. Elementos de una Red WSN

Una red de sensores inalámbrica WSN está conformada por cuatro dispositivos, tales como: sensores, nodo sensor, Gateway y estación base, cada uno de estos dispositivos cumplen funciones específicas. En la Figura 7, se muestra una red de sensores.

Figura 7.

Elementos de una WSN



Fuente: (Bedoya, 2018)

Sensores. Son dispositivos electrónicos capaces de obtener magnitudes físicas o químicas y poder convertir en señales análogas.

Nodo sensores. Son dispositivos electrónicos configurados a nivel hardware y software para la obtención de información, procesamiento y transmisión. Estos nodos cuentan con uno o varios sensores, microcontrolador, transmisor y una fuente de alimentación.

Gateway. Permite la interconexión de redes de sensores y la red de datos mediante protocolos en la que establece rutas adecuadas para el envío información.

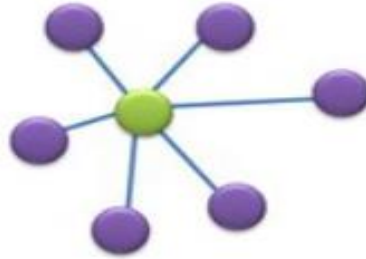
Estación Base. Son nodos encargados de la recolección de datos de sensores y son almacenadas en una base de datos para que el usuario pueda acceder y verificar.

2.5.4.2. Topologías de una WSN

Las topologías de una red es la forma para conectar los diferentes nodos por medios de enlaces, las redes de sensores se pueden conectar en tres tipos de topologías de red que se detalla a continuación.

Topología Estrella. Esta topología consta de un único nodo central, como un controlador o Gateway al que se le conecta cada nodo de la red. Todo el tráfico de la red pasa por el Gateway o nodo central, si este nodo falla toda la red se cae y no existe comunicación, se ilustra en la Figura 8. (McGrath & Scanaill, 2013)

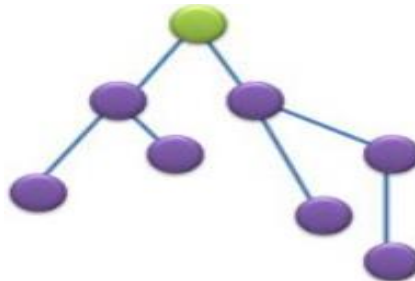
Figura 8.
Topología Estrella



Fuente: Obtenido de (McGrath & Scanail, 2013)

Topología árbol. Esta topología presenta una red jerárquica, al nodo central o nodo raíz se lo encuentra en el nivel más alto. El procesamiento de esta red aumenta dependiendo del nivel de cada uno de los nodos. Se considera que esta topología es escalable y permite la identificación de fallas y aislar las fallas dependiendo de las ramas del árbol sin afectar toda la red. Se ilustra en la Figura 9. (McGrath & Scanail, 2013)

Figura 9.
Topología árbol

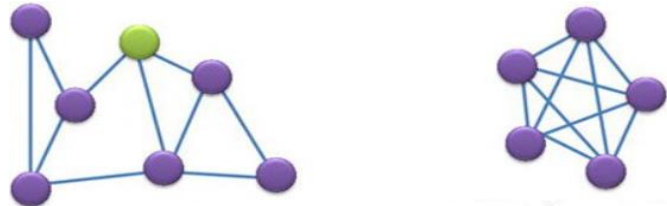


Fuente: Obtenido de (McGrath & Scanail, 2013)

Topología Malla. Esta topología de red se trata de que todos los nodos puedan enviar y recibir información, de existir una falla de un nodo se puede enrutar por otra ruta existente.

Existe dos tipos de mallas, la malla parcialmente conecta y la malla completamente conectada, tal y como se muestra en la Figura 10. (McGrath & Scanaill, 2013)

Figura 10.
Topología tipo malla.



Fuente: Obtenido de (McGrath & Scanaill, 2013)

2.6. Componentes de Hardware

En este apartado se detalla los principales componentes del hardware para el desarrollo del sistema de monitoreo mediante dispositivos electrónicos como: sensores, microcontroladores y módulos de comunicación inalámbrica.

2.6.1. Sensores

Los sensores son dispositivos electrónicos capaces de medir magnitudes físicas o químicas y transformarlas a señales que pueden ser interpretadas por máquinas y humanos. En este sistema se utiliza tres tipos de sensores que miden la calidad del agua en las piletas de alevines, sensor de temperatura, sensor de niveles de pH y sensor de saturación de oxígeno.

2.6.2. Microcontroladores

Los microcontroladores son dispositivos electrónicos programables capaces de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad. Se consideran minicomputadores que permiten captar, procesar, monitorear y controlar mediante sus diferentes puertos. (Carabalí Méndez, 2020)

2.6.2.1.Arduino.

Arduino es un dispositivo de código abierto en hardware y software que incorpora un microcontrolador programable, su placa contiene a una serie de pines que permiten conectar diferentes sensores y actuadores. Las configuraciones se realizan mediante la IDE de Arduino en C++, es un entorno de programación que le permite al usuario programar y cargarlas al microcontrolador mediante diferentes tipos de cables USB. (Kouhia, 2019).

Figura 11.
Arduino Leonardo



Fuente: Obtenido de (Fernández, 2018)

2.6.2.2.Raspberry Pi.

2.7.1. Lenguajes de Programación

Todo hardware necesita de un lenguaje de programación para que ejecute las ordenes escritas bajo líneas de código, por consiguiente, se establece los diferentes lenguajes de programación que son utilizados en el desarrollo del proyecto.

2.7.1.1. Lenguaje de Programación Python

Python es un lenguaje de programación interpretado de alto nivel, permite multiplataforma y multiparadigma, se caracteriza por ser un código legible y limpio. Es un lenguaje de código abierto y orientado a objetos permitiendo trabajar con funciones.

2.7.1.2. Lenguaje de Programación C++

C++ es un lenguaje de programación que está basado en el lenguaje C, creado en sus inicios por James Gosling. Se trata de un lenguaje versátil y potente para el desarrollo de aplicaciones. Proporciona un alto rendimiento y se lo puede utilizar en diferentes plataformas. Una de las desventajas que proporciona este lenguaje es el manejo de librerías. Las características principales que presenta este lenguaje de programación se detallan a continuación:

- Ofrece compatibilidad con bibliotecas.
- Es un lenguaje orientado a objetos.
- Ofrece rapidez a la ejecución de programas.
- Es didáctico

2.7.1.3. Lenguaje de Programación JSON

JSON es un formato estándar basado en texto para la representación estructurada de datos basados en sintaxis de objetos JavaScript, es un lenguaje utilizado para el intercambio de datos entre sistemas se le conoce como lenguaje de transporte, sus características principales se describen a continuación.

- Fácil lectura del código.
- El tamaño de transferencia es ligero.
- Basado en JavaScript ideal para Web.
- Texto plano con codificación UTF8.

2.7.1.4. Lenguaje de Programación PHP.

PHP es un acrónimo recursivo de procesador de hipertexto, mediante secuencias de comandos del lado del servidor que esta incrustado bajo HTML, se utiliza para administrar contenido dinámico, base de datos y crear diversos sitios electrónicos. PHP ofrece una rápida ejecución, especialmente cuando se compila bajo el módulo apache basado en Unix, el servidor ejecutado para la base de datos MySQL realiza consulta muy complejas con enormes conjuntos de resultados en un menor tiempo.

2.7.2. *Hosting*

Un hosting es un servicio de almacenamiento que hace que el contenido de su sitio web sea accesible en internet bajo un dominio, en el mercado existen gran variedad de alojamientos y planes económicos según las especificaciones a utilizar.

2.7.3. *Servidores Web*

Un servidor Web es un hardware basado en software para almacenar sitios Web, la comunicación que se utiliza entre el cliente y servidor es a través del Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP), que contiene documentos en HTML. A parte del protocolo HTTP se utiliza otros protocolos como SMTP y FTP.

2.7.3.1. Servidor Apache.

Apache es un servidor Web basado en código abierto para los sistemas operativos Unix y Windows, su principal ventaja es mantener un servicio seguro, eficiente. Su rendimiento puede verse afectado cuando supera las diez mil peticiones al servidor. (Apache HTTP, 2020)

2.7.3.2. Servidor NGINX

NGINX es un servidor Proxy inverso y HTTP de código abierto que ofrece servicios tales como: balanceador HTTP, Proxy de correo electrónico para IMAP, POP3 y SMTP. Su principal característica es un servidor de alto rendimiento que soporta alta cantidad de tráfico y consume la menor cantidad de recursos. (Apache HTTP, 2020)

2.8. Aprendizaje Automático (Machine Learning)

Los autores (Langley & Carbonell, 2018) mencionan que el aprendizaje automático es una rama de la inteligencia artificial (IA) que permite que un sistema aprenda de los datos obtenidos sin la necesidad de programación explícita. Utiliza una gran variedad de algoritmos que aprenden iterativamente de los datos y predice resultados.

Los algoritmos de aprendizaje de máquina son códigos que permiten analizar conjuntos y bases de datos mediante métodos estadísticos, los algoritmos se entrenan para hacer clasificaciones y predicciones con condiciones para que el sistema tome una adecuada decisión.

2.8.1. Técnicas de Inteligencia Artificial

Existen varias técnicas de inteligencia artificial, entre ellos se tiene: vida artificial, lógica difusa, sistemas expertos, minería de datos, redes bayesianas, ingeniería del conocimiento, redes neuronales, sistemas reactivos. En el desarrollo de este proyecto se basa sobre la lógica difusa, en la que se detalla a continuación.

2.8.2. Lógica Difusa

La lógica difusa se la introdujo en el año 1921 por el profesor Lofti A. Zadeh en su primer artículo llamado “Fuzzy Sets”. La lógica difusa es una herramienta que se utiliza en sistemas de control de procesos en diversas aplicaciones como en la industria, medicina,

aeronáutica, electrónica, sistemas basados en automatización, permitiendo tomar decisiones en situaciones donde las entradas son inciertas e imprecisas.

Según el autor (Martínez et al., 2016), la lógica difusa proporciona al sistema, razonamiento basado mediante conjuntos de reglas, permitiendo obtener condiciones ante alguna predicción.

La lógica difusa, es una técnica de la inteligencia computacional que permite trabajar con información con alto grado de imprecisión, en esto se diferencia de la lógica convencional que trabaja con información bien definida y precisa. Es una lógica multivaluada que permite valores intermedios. (Merma Gallardo, 2019)

2.8.2.1. Conjunto Difuso.

Un conjunto difuso se define a los elementos existentes dentro de un universo, donde cada uno de los elementos pueden pertenecer o no a este conjunto dependiendo del grado. A este grado se lo define con la función de pertenencia, donde un elemento puede pertenecer parcialmente a más de un conjunto.

Los conjuntos difusos se generalizan con los conjuntos clásicos, donde los conjuntos clásicos se expresan mediante la función que se denota en la ecuación (1).

$$\mu_A(x) \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

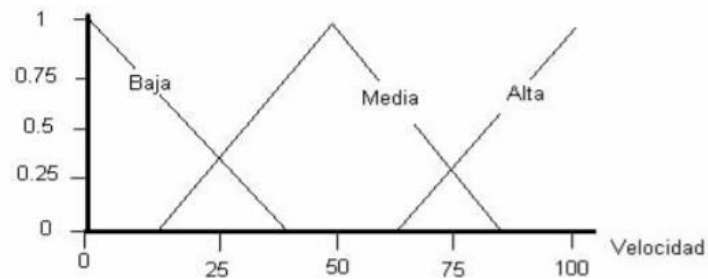
Un conjunto difuso U es establecido por una función de pertenencia $\mu_A(x)$ que puede tomar todos los valores reales entre “0” y “1”. Un conjunto difuso A en U puede ser definido por un conjunto de pares ordenados de elementos x, como indica la ecuación 1. Donde $\mu_A(x)$, es el grado de pertenencia en el universo de discurso.(Mejía, 2019)

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\} \quad A : X \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

En la Figura 13, se puede apreciar un ejemplo donde el conjunto velocidad (con variable x), esta subdividido en 3 subconjuntos $\{Baja, Media, Alta\}$, cada variable con su respectiva membresía $\{\mu_{Baja}(x) \mu_{Media}(x) \mu_{Alta}(x)\}$

Figura 13.

Ejemplo de subconjuntos borrosos



Fuente:(Zimmermann, 1996)

2.8.2.2. Funciones de pertenencias.

Frente al tema, (Mejía, 2019), afirma que el empleo de una función de pertenencia dependerá del contexto de su aplicación, ya que al utilizar funciones simples simplifican el cálculo computacional y no pierden la exactitud. Una función de pertenencia es una aplicación $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$

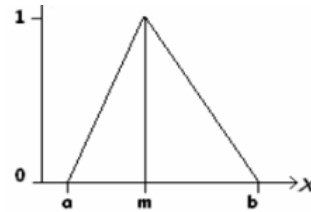
Existen varias funciones de pertenencias, las más comunes son de tipo triangular, sigmoideal, trapezoidal, gaussiana.

Función Triangular. Esta función está definida por sus límites, límite inferior (a) y límite superior (b) y evaluada con un valor (m), tal que $a < m < b$.

Figura 14.

Función de pertenencia triangular

$$A(x) \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m) \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



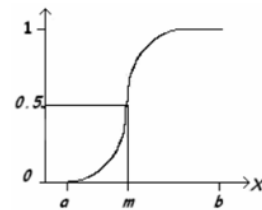
Fuente: Adaptado de (Zimmermann, 1996)

Función Sigmoideal. Esta función está definida por sus límites, límite inferior (a), límite superior (b), y es evaluada en su punto de inflexión, tal que $a < m < b$. El crecimiento de esta función es lento cuando la distancia sea mayor a-b.

Figura 15.

Función de pertenencia Sigmoideal

$$A(x) \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a, m) \\ 1 - 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



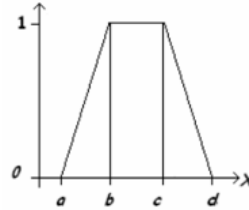
Fuente: Adaptado de (Zimmermann, 1996)

Función Trapezoidal. Esta función está definida por sus límites inferiores (a) y (d), y los límites superiores (b) y (c), tal que $a < b < c < d$.

Figura 16.

Función de pertenencia trapezoidal

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ o } (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, m) \\ 1 & \text{si } x \in (m, b) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



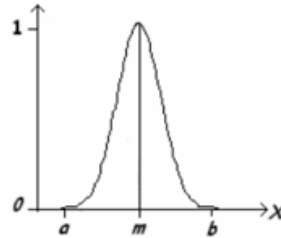
Fuente: Adaptado de (Zimmermann, 1996)

Función Gaussiana. Esta función está definida por su valor medio (m) y una desviación estándar $k > 0$, es decir que esta función se cumple cuando k es menor.

Figura 17.

Función de pertenencia gaussiana.

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2}$$



Fuente: Adaptado de (Zimmermann, 1996)

2.8.2.3. Operaciones Borrosas.

Las operaciones borrosas consisten en una serie de operaciones de conjuntos difusos que permiten obtener un resultado definido, estas operaciones son del tipo: IF (si), AND(y), OR (o), THEN (entonces), donde son evaluadas con teorías de conjuntos clásicos, como: unión, intersección y el complemento.

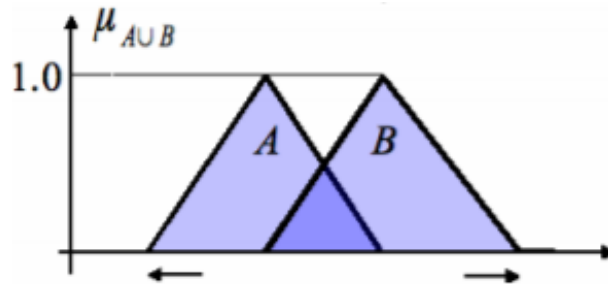
Unión $C = A \cup B$. La unión de dos conjuntos difusos A y B es un conjunto difuso que se define en la siguiente ecuación (3).

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3)$$

En la Figura 18, se muestra la interpretación gráfica de la ecuación (3), en la que indica la unión de la función de dos conjuntos A y B.

Figura 18.

Función conjunto unión de conjuntos difusos



Fuente: Adaptado de (Vilanova, 2019)

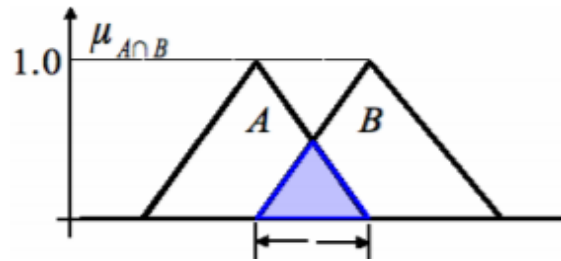
Intersección $C = A \cap B$. La intersección de dos conjuntos difusos A y B es un conjunto difuso que se define en la ecuación (4).

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (4)$$

En la Figura 19, se muestra la gráfica de la función intersección entre dos conjuntos, como el conjunto A y conjunto B.

Figura 19.

Función conjunto intersección de conjuntos difusos.



Fuente: Adaptado de (Vilanova, 2019)

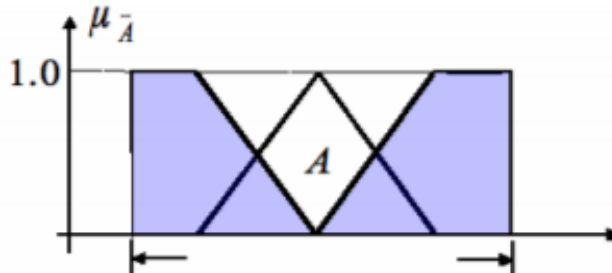
Conjunto Complemento. Se define como todos los elementos que no están en A, pero están en el universo de discurso de X y su expresión matemática se define en la ecuación (5).

$$\mu_{\bar{A}}(X) = 1 - \mu_A(X) \quad (5)$$

En la Figura 20, se muestra la gráfica de la función complemento de conjuntos difusos entre dos conjuntos, conjunto A y conjunto B.

Figura 20.

Función conjunto complemento de conjuntos difusos.



Fuente: Adaptado de (Vilanova, 2019)

2.8.2.4. Fuzzificación

La operación de Fuzzificación se realiza en todo instante de tiempo, este proceso es la entrada al sistema de inferencia difusa. Todo este proceso es matemático y se lo realiza

para convertir un elemento del universo de discurso en un valor en cada función de membresía a la que pertenece.

2.8.2.5. Defuzzificación

La Defuzzificación es un proceso matemático usado para convertir un conjunto difuso en un número real. El sistema de inferencia difusa obtiene una conclusión a partir de la información de la entrada, pero es en términos difusos.

2.8.2.6. Reglas borrosas.

Las reglas borrosas forman parte de un controlador difuso, compuestos por conjuntos y derivados por subconjuntos. Son afirmaciones del tipo IF (si), THEN (entonces) y con operadores lógicos como AND (y), OR (o).

De acuerdo con (Eleonor González et al., 2019), existen 3 tipos de sistemas de inferencia difusas, la regla difusa descrita por Tsukamoto, y las de mayor aplicación son las reglas difusas propuestas por Mamdani y Takagi-Sugeno-Kang.

Regla difusa de Mamdani. Este método es posiblemente el más utilizado, fue descrito por Ebrahim Mamdani en 1975. Este proceso lleva cuatro pasos que se describen a continuación.

- Fuzzificación de las variables de entrada.
- Evaluación de las reglas.
- Agregación de las salidas de las reglas.
- Defuzzificación

El método de Mamdani utiliza un conjunto de reglas difusas “IF-THEN”, en la que propone teóricamente la en la ecuación (6).

$$\text{Si } X_1 \text{ es } A_1 \text{ y } \dots \text{ y } X_n \text{ es } A_n \text{ entonces } \mu_1 \text{ es } B \quad (6)$$

Donde X_i es un conjunto o variable lingüísticas de entrada, la variable A_i es un subconjunto referente al mismo conjunto es decir son etiquetas lingüísticas asociadas a dicha variable; μ_1 es la decisión tomada por el controlador, que por sentido común es expresado en termino lingüístico; B son los conjuntos de salida del controlador que son evaluados mediante la función singleton por mayor facilidad en el proceso computacional.(Vilanova, 2019)

Regla difusa de Takagi-Sugeno-Kang. De acuerdo con el autor (Sanahuja, 2017) menciona que Takagi y Sugeno aportaron a la teoría de control difuso el método Takagi-Sugeno-Kang (TSK), como una alternativa al método Mamdani. Este método se basa en funciones lineales, y es utilizado para métodos complejos.

Sean A_i y B_i , con $i = 1, 2, \dots, n$, conjuntos difusos del sistema, la regla se tendría como se muestra en la ecuación (7).

$$R_i: \text{Si } x \text{ es } A_n \wedge y \text{ es } B_n \text{ entonces } z = f_n(x, y) \quad (7)$$

La principal diferencia que presenta este método TSK respecto a Mamdani no se realiza un proceso de Defuzzificación, ya que se obtiene un conjunto de funciones lineales. Este método permite obtener directamente el valor de salida con la ecuación(8). (Sanahuja, 2017)

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i f_i(x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (8)$$

Donde el valor ω_i se obtienen a partir del cálculo mínimo de los valores de entrada en cada regla de R_i de la ecuación (8).

2.9. Estándar ISO IEC IEEE 29148:2018

El estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018 una normal internacional para ingeniería de sistemas y software que detalla el tratamiento unificado de los procesos y productos relacionados con los requerimientos durante todo el ciclo de vida de los sistemas y el software. (ISO/IEC/IEEE29148, 2018)

Las características que posee este estándar son:

- Identificación de beneficiarios y de los requerimientos mediante análisis de entrevistas, encuestas, etc.
- Análisis de requerimientos de sistema, funcionalidad, y limitaciones a presentar.
- Acciones de ingeniería mediante una planificación establecida, cumpliendo los objetivos establecidos.

2.10. Metodologías de Investigación.

La metodología de investigación es el método que se utiliza para el diseño sistemático de la investigación para obtener resultados válidos y fiables, por lo que se define dos metodologías que van acorde al desarrollo del proyecto.

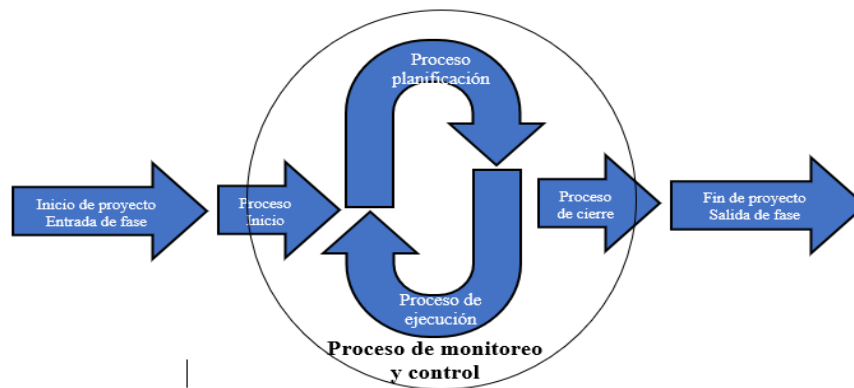
2.10.1. PMBOX

PMI (Project Management Institute) fundada en Estados Unidos en el año de 1969, es una asociación internacional sin fines de lucro, fomenta las buenas prácticas para la gestión de proyectos y permite cumplir con los requerimientos determinados mediante conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas.

PMBOX, en sus siglas en inglés (Project Management Body of Knowledge), identifica y explica los componentes claves para la gestión exitosa de un proyecto, la gestión de proyectos se obtiene a través de la aplicación e integración de procesos (Correa, 2019). PMBOX es un conjunto de estándares que se refieren a cinco pasos, se detallan en la Figura 21.

Figura 21.

Procesos de PMBOX



Fuente: Adaptado de: (Correa, 2019)

Proceso de Inicio. El proceso de inicio identifica el alcance inicial y los recursos que se requiere para la ejecución del proyecto. (Correa, 2019)

Proceso de Planificación. En este proceso se define el alcance, objetivos y desarrollo para obtener los objetivos establecidos, se debe de considerar los siguientes aspectos: alcance, tiempo, costo, calidad, comunicaciones, recursos humanos, riesgos y adquisidores. (Correa, 2019)

Proceso de Ejecución. Se ejecutan las actividades para finalizar el trabajo que se definió en el proceso de la planificación, se debe considerar los siguientes procesos: Dirigir y gestionar la ejecución del proyecto, asegurar la calidad, gestionar comunicaciones, gestionar interesados, adquirir recursos, gestionar equipos. (Correa, 2019)

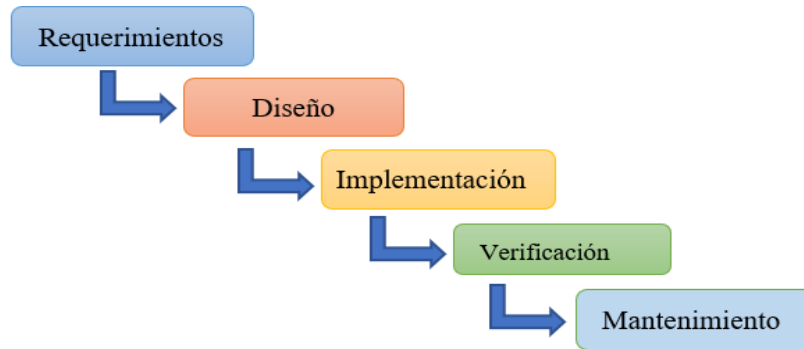
Proceso de Seguimiento y Control. Se analiza el seguimiento y control de la ejecución y planeación del proyecto y se identifica los riesgos que podrían afectar la ejecución del proyecto para tomar acciones correctivas si se presentan. (Correa, 2019)

Proceso de Cierre. Es el proceso final en donde se concluye con las actividades del proyecto, una vez verificado que todos los procesos se hayan concluido. (Correa, 2019)

2.10.2. Metodología en Cascada

La metodología en cascada utiliza un enfoque secuencial o lineal para el desarrollo del proyecto. Se basa en una secuencia de tarea y agrupación de niveles denominados fases, cada fase comprende una lista de tareas detalladas con documentación adjunta y criterios. En la Figura 22, se puede apreciar los diferentes niveles del modelo en cascada.

Figura 22.
Modelo en cascada.



Fuente: Adaptado de: (Correa, 2019)

Requerimientos y Análisis. Se analizan los diferentes requisitos para obtener una comprensión detallada de los requerimientos del proyecto, una vez culminada esta etapa, el proceso se ejecuta.

Diseño del Sistema. En esta fase se estudian las especificaciones de los requerimientos de la primera fase y en base a ello se diseña el sistema. Se basa en los requisitos de hardware como software para definir la arquitectura del sistema.

Implementación. Una vez terminado el diseño del sistema, en esta fase se implementa el prototipo.

Pruebas de Funcionamiento. Se realiza las pruebas de funcionamiento tanto de hardware como de software.

Mantenimiento. Si surgen problemas con el sistema desarrollado, se provee un mantenimiento adecuado del sistema.

Capítulo III. Desarrollo de la Propuesta

El presente capítulo aborda la situación actual del *Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis* y presenta el proceso de diseño del hardware con cada uno de los requerimientos de diseño y arquitectura del sistema. El proceso debe de seguir una serie de procesos o metodología, garantizando el funcionamiento del sistema de monitoreo y su algoritmo de inteligencia artificial, basados en la metodología en cascada.

3.1. Análisis del Proyecto

A continuación, se analiza sobre la perspectiva de este proyecto basado en la exploración de información científica y técnica que intervienen en la producción y cuidado de la piscicultura estableciendo una relación con las personas e ingenieros encargados del cultivo y cuidado de los alevines en las instalaciones del Laboratorio Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis, con la finalidad de recopilar información para el desarrollo de la investigación.

3.1.1. Beneficiarios del proyecto

Es necesario resaltar que con la implementación de este sistema de monitoreo inteligente beneficiará directamente a trabajadores e ingenieros de dicho laboratorio, ya que permite monitorear en tiempo real el estado de los estaquos de crianza y prevenir un aumento de la tasa de mortalidad de alevines e incrementar sus tasas de producción. Desde otra perspectiva contribuye de forma indirecta a estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, especialmente a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), en el estudio del

aprendizaje automático con la aplicación del algoritmo de lógica difusa y el diseño de una red inalámbrica utilizando el estándar IEEE 802.15.4.

3.1.2. Localización

El Laboratorio de Eclosión y Alevinaje “Guerra Piscis” es una empresa con sede en la Parroquia El Playón de San Francisco, Cantón Sucumbíos, Provincia Sucumbíos, mantiene una altitud de 3011 msnm, su ubicación geográfica se detalla en las siguientes coordenadas (0°37'11.4"N 77°35'46.1"W).

3.1.3. Situación Actual

La principal actividad económica de dicha empresa radica en la producción industrial de alevines de trucha de la familia arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) procedentes de ovas importadas de Europa hacia el Ecuador. Estas ovas tienen características únicas que generan expectativas al piscicultor: crecimiento rápido, resistentes a patologías y morfologías. Este laboratorio trabaja bajo un sistema de calidad sanitario basado en buenas prácticas Acuícolas, imprescindibles para preservar y proteger la crianza de la trucha arcoíris en todas sus etapas de producción. (Estuardo Guerra, 2022)

Figura 23.

Instalaciones del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Piscis Guerra



Fuente: Autoría

En las instalaciones de esta empresa laboran tres personas, cada una de estas personas desempeñan funciones específicas en la producción y cuidado de los alevines en cada una de las etapas de crianza de las ovas, en la Tabla 9, se muestra la actividad y cargo que desempeña de cada una de ellas.

Mediante visitas técnicas a las instalaciones se obtiene información relevante sobre el cuidado y manejo en la producción de esta especie, y se establece una problemática sobre la situación actual de la empresa y se determina realizar un sistema de monitoreo inteligente para conocer los estados de sus estanques de producción. Por lo que es necesario realizar una encuesta a cada uno de los trabajadores y técnicos del laboratorio para establecer cifras de producción y tasas de mortalidades. De modo similar se formula preguntas para determinar los requerimientos del diseño del sistema.

En base a la encuesta y tabulación (véase en el ANEXO A) se obtiene cifras de producción de un aproximando de 800 00 mil alevines, con una tasa de mortalidad que comprende entre el 15 al 20% de este lote de producción.

Este laboratorio por su ubicación geográfica le favorece en sus recursos hídricos, ya que es una zona que consta con varias vertientes de aguas puras y cristalinas con propiedades fisicoquímicas, que nacen en la cordillera “El Mirador”. La recolección de agua se lo realiza a una distancia aproximadamente de 200 metros de las instalaciones, se recolecta de un río mediante tuberías de 5 pulgadas de diámetro, que conducen hasta un tanque con capacidad de almacenaje de $2500m^3$ de agua, la función de este tanque es filtrar residuos para no tener inconvenientes de taponamiento de tuberías y en los estanques de cada una de las etapas de producción del laboratorio, en la Figura 24, se muestra el tanque de captación de agua.

Figura 24.

Tanque de captación y filtrado de agua



Fuente: Autoría

Este laboratorio se encuentra dividido en tres secciones. La primera zona se encuentra un espacio denominado “ECLOSIÓN” que al interior posee estantes organizados para el almacenaje de ovas. Este cuarto tiene unas características únicas para el proceso de eclosión

de cada una de las larvas, cuenta con un sistema de tuberías que recircula el agua en cada una de las cubetas y su temperatura ambiente es bajo los 8°C y escasa luminosidad.

Figura 25.

Área de eclosión de ovas – huevos



Fuente: Autoría

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, durante el proceso de eclosión se obtiene larvas, tales como se ilustra en la Figura 26.

Figura 26.

Eclosión de las ovas a larvas



Fuente: Autoría

La siguiente etapa del proceso de cultivo es el almacenamiento en estanques con capacidades de hasta 15 000 alevines con tamaños de entre 3 a 6cm, cada una de estas piletas cuentan con un sistema de circulación de agua y sus respectivos filtros para el drenaje y limpieza, en la Figura 27 se muestra los estanques de producción.

Figura 27.

Tanques para la producción de alevines



Fuente: Autoría

Finalmente, la última etapa del cultivo de alevines es el cambio de los alevines a unos estanques de mayor capacidad producto del crecimiento para su respectiva comercialización.

Figura 28.

Etapa de producción de alives.



Fuente: Autoría

Actualmente, este laboratorio no cuenta con un sistema de monitorio inteligente para detectar anomalías en la producción de esta especie, sino que se basan en lo tradicional y recurren a diversas técnicas de medición de los parámetros de la calidad del agua, como físicas y químicas.

3.2. Metodología

Para el desarrollo de esta investigación, se basa en un conjunto de procedimientos organizados que permite cumplir con los objetivos que rige esta investigación, permitiendo alcanzar los resultados planteados para la solución del problema.

3.2.1. Modelo en cascada.

El método que se aplica en este trabajo de grado es el “*Modelo en Cascada*” que consiste en ordenar en forma lineal todas las fases del proyecto. De tal manera, este modelo permite cinco fases, el análisis, diseño del sistema, la implementación del sistema, pruebas de funcionamiento tanto de hardware como de software y finalmente el mantenimiento. Los

resultados de cada una de las fases proyecto se deben comprobar y verificar inmediatamente con las fases ejecutadas anteriormente.

3.3. Requerimientos del Sistema

Como primera fase para el desarrollo del sistema de monitoreo inteligente se encuentra la etapa de definición de requerimientos del sistema, que hace referencia al estándar ISO/IEC/IEEE 28148:2018, (véase en el apartado 2.9), proporcionando directrices de ingeniería de requisitos para ayudar a garantizar proyectos creados por el hombre relacionados con productos de hardware y software. Los acrónimos usados para la definición de cada uno de los requerimientos se detallan en la Tabla 8, en la que muestra los requerimientos de Stakeholders, requerimientos iniciales del sistema y finalmente los requerimientos de arquitectura.

Tabla 8.

Acrónimos del estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2018

Acrónimo	Descripción
StSR	Requerimiento de los Stakeholders
SySR	Requerimientos iniciales del sistema
SRSR	Requerimientos de arquitectura

Fuente: Adaptado de (ISO/IEC/IEEE29148, 2018)

3.3.1. Listado de Stakeholders

En la Tabla 9, se muestra el listado de los Stakeholders, estos Stakeholders son las personas que están involucradas directa e indirectamente en el desarrollo del proyecto con su respectiva función, en este proyecto intervienen siete personas, las cuales cumplen diversas actividades en el desarrollo de este sistema de monitoreo.

Tabla 9.

Lista de Stakeholders

STAKEHOLDERS		
#	Involucrados	Función
1	Ing. Estuardo Guerra	Gerente del Laboratorio
2	Ing. Estefanía Guerra	Encargada del Laboratorio
3	Sr. Omar Rosero	Encargado del cuidado y alimentación
4	MSc. Fabián Cuzme	Director del Trabajo de Titulación
5	MSc. Luis Suárez	Asesor 1 del Trabajo de Titulación
6	MSc. Jaime Michilena	Asesor 2 del Trabajo de Titulación
7	Sr. John Díaz	Autor del Trabajo de Titulación

Fuente: Autoría

Los requerimientos de Stakeholders (StSR), se enfoca principalmente en los requisitos operacionales del sistema y los requerimientos del usuario determinados en base al equipo de trabajo con el Ing. Fabian Cuzme y los especialistas en piscicultura Ing. Estefanía Guerra e Ing. Estuardo Guerra.

Se establece las necesidades y prioridades clasificadas de acuerdo con la importancia del requerimiento. La Tabla 10 muestra los tres tipos de prioridad para el diseño de los requerimientos del sistema.

Tabla 10.

Priorización de requerimientos del sistema

Prioridad	Descripción
Alta	Se considera un nivel de alta importancia que debe de ser incluido en el desarrollo del sistema. Caso contrario afecta el funcionamiento de este.
Media	Se considera un nivel de media importancia, no incluirlos pueden afectar al del funcionamiento del sistema.
Baja	Se considera un nivel de mínima importancia, es decir que se los puede excluir, y no representa un impacto significativo en el funcionamiento del sistema.

Fuente: Autoría

3.3.2. Requerimientos Operacionales y de Usuario StSR

Los requerimientos operacionales y los requerimientos definidos por el usuario son parte de los Stakeholders para definir el correcto funcionamiento del sistema y dar la prioridad de cada uno de ellos.

En la Tabla 11, se muestra los requerimientos usuarios.

Tabla 11.

Requerimientos de los Stakeholders

StSR					
Requerimientos de Stakeholders					
#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
StSR1	El sistema debe de tener una conexión eléctrica estable para un correcto funcionamiento.	X			
StSR2	El sistema debe de estar en funcionamiento durante el día de forma continua.	X			
StSR3	El nodo coordinador debe contar con acceso a Internet durante el día.	X			SySR10
StSR4	La red inalámbrica debe de estar en correcto funcionamiento para la transmisión de datos.	X			
StSR5	La página Web y el sistema de mensajería debe de estar operativa el mayor tiempo posible.	X			
REQUERIMIENTOS DE USUARIOS					
StSR6	El sistema debe de mostrar los datos de cada uno de los nodos remotos en una página Web.	X			SySR9
StSR7	El sistema de notificación debe alertar al usuario por medio de la Web y la plataforma de mensajería sobre las condiciones que presentan los estaques.	X			
StSR8	Se necesita una base de datos que almacene la información para acceder de forma inmediata.	X			SySR8

Fuente: Autoría

3.3.3. *Requerimientos del Sistema SySR*

En la Tabla 12, se establecen los requerimientos del sistema (SySR), definiendo las especificaciones técnicas que engloban el funcionamiento del sistema en base a los objetivos propuestos y sus limitaciones de los Stakeholders.

Tabla 12.

Requerimientos iniciales el sistema SySR

SySR					
Requerimientos del sistema					
#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE USO					
SySR1	El bloque de sensores tomará lecturas con intervalos de separación de tres minutos durante las 24 horas del día.	X			
SySR2	El bloque de comunicación de los nodos remotos enviará datos en periodos de tres minutos durante las 24 horas del día.	X			
SySR3	El bloque de comunicación del nodo coordinador receptorá los datos en periodos de tres minutos durante las 24 horas del día.	X			
SySR4	Los datos receptados en el nodo coordinador se almacenarán en una base datos.	X			StSR8, RSR13
SySR5	Implementar un algoritmo de IA para monitorear parámetros del agua en los estanques de alevines.	X			SRSH4
SySR6	Los datos recolectados por cada nodo remoto deben ser presentados en una plataforma Web.	X			SRSH2
REQUERIMIENTOS DE RENDIMIENTO					

SySR7	Cada sensor deberá ser calibrado en base a las especificaciones del fabricante.	X	
SySR8	El sistema debe de contar con una base de datos alojada en un servidor.	X	StSR8
SySR9	La plataforma Web debe de estar operativa la mayor cantidad de tiempo para la visualización de datos del sistema.	X	StSR6
SySR10	El sistema debe de contar con acceso de internet en el transcurso del día.	X	StSR3
REQUERIMIENTOS FISICOS			
SySR11	Cada uno de los sensores deberán estar sumergidos completamente bajo el agua.	X	SRS2
SySR12	Los nodos remotos deben tener línea de vista con el nodo coordinador para la transmisión de información.	X	SRS4 SRS2
SySR13	Los nodos remotos deben estar instalados en sectores estratégicos para una correcta lectura de sensores y transmisión de información.	X	SRS6
SySR14	El sistema de monitoreo debe de tener un bajo consumo energético.		X
REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD			
SySR15	El sistema debe de contar con seguridad física y lógica para prevenir manipulaciones de terceras personas	X	
SySR16	Los nodos remotos deben estar sellados herméticamente para la prevención frente al agua.	X	

Fuente: Autoría

3.3.4. *Requerimientos de Arquitectura*

Los requerimientos de arquitectura (RSHS) son aquellos requerimientos de hardware y software que intervienen en el diseño electrónico, en la Tabla 13, se busca los requerimientos necesarios para la elección de las necesidades de hardware y software.

Tabla 13.
Requerimientos de arquitectura SRSH

SRSH					
Requerimientos de arquitectura					
#	Requerimientos	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO					
SRSH1	El nodo coordinador debe de estar dentro del rango de cobertura de los nodos remotos.	X			SySR13
SRSH2	Se creará una plataforma Web para interacción de los datos al administrador.		X		SySR6
REQUERIMIENTOS LÓGICOS					
SRSH3	El lenguaje de programación debe de ser compatibles con cada una de los sensores y microcontroladores.	X			
SRSH4	Se implementa reglas difusas para el monitoreo del sistema.	X			SySR5
SRSH5	La red inalámbrica debe estar bajo los parámetros calculados y simulador por software.		X		
REQUERIMIENTOS DE HARDWARE					

SRSH6	El sistema debe contar con un microcontrolador para la adquisición de datos y transmisión de información.	X		
SRSH7	Las placas del sistema deben contar con entradas análogas y digitales para las conexiones de sensores.	X		
SRSH8	El módulo de comunicación inalámbrica debe de ser compatible con la placa de adquisición de datos y procesamiento.	X		
SRSH9	El sistema requiere una placa que permita conexión mediante interfaz HDMI			X
SRSH10	El nodo de procesamiento requiere una placa para conexión Ethernet o Wi-Fi.	X		
REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE				
SRSH11	El lenguaje de programación debe de ser libre y flexibilidad de uso.	X		
SRSH12	La placa del bloque de adquisición de datos debe ser compatibles con módulos y sensores.	X		
SRSH13	La base de datos debe de ser rápida y accesible.		X	SySR4
REQUERIMIENTOS DE VISUALIZACIÓN Y NOTIFICACIÓN				
SRSH14	El sistema debe mostrar gráficos de lecturas de cada nodo remoto sobre los parámetros medidos.	X		SySR4
SRSH15	El sistema debe arrojar cuadros estadísticos de cada nodo remoto sobre los parámetros medidos.		X	
SRSH16	La página Web debe de alertar sobre situaciones críticas.	X		

SRSR17	El envío de notificación en estado crítico debe de realizarse por una plataforma de mensajería.	X
REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS		
SRSR18	Voltaje de sensores y microcontrolador entre 3.3V a 12V.	X

Fuente: Autoría

3.4.Elección de Hardware y Software

Con respecto a la correcta elección de hardware y software se basa en los requerimientos del sistema (véase apartado 3.3). En la que se realiza un análisis comparativo y calificativo mediante tablas que contiene especificaciones técnicas para la adaptación del prototipo según las necesidades del prototipo.

3.4.1. Hardware

Para la elección el hardware, se basa en el diseño global del sistema, por lo cual este diseño se encuentra seccionado en diferentes bloques, como el bloque de sensores, bloque de toma de datos, bloque de comunicación, bloque de procesamiento, bloque de visualización y notificación, cada uno de estos bloques está conectado con el bloque de alimentación.

3.4.1.1.Bloque de Sensores

En este bloque se determinan los diferentes tipos de sensores para la adquisición de la información y la fidelidad de los datos que proporcione cada uno de estos dispositivos; permitiendo al sistema de monitoreo cumpla con los requerimientos trazados y que se ajusten

al presupuesto. Para la elección de los sensores es necesario conocer los tipos de variables utilizados a medir en este sistema, como lo es el pH, la temperatura y niveles de oxígeno disuelto en el agua.

Elección del sensor de pH. Para una correcta elección del sensor de pH, se realiza un análisis comparativo entre los requerimientos del diseño (*véase apartado 3.3.4*), parámetros y especificaciones técnicas, de cada uno de los sensores que se detallan en la Tabla 14. De igual forma se realiza un análisis del precio en tiendas electrónicas y diferentes páginas web del Ecuador y de Estados Unidos, como se ilustra en la Tabla 15.

Tabla 14.

Cuadro Comparativo de Sensores de pH

Parámetros	SKU SEN0161	Atlas Scientific	pH Msp430
Voltaje de alimentación	3.3V - 5.5 V	3.3V - 5.5 V	3.3V – 5.5 V
Tamaño del módulo	43 x 32 mm	12mm x 150.6mm	1.693 x 1.260
Rango de medición	0 - 14 pH	0 - 14 pH	0 – 14 pH
Temperatura de medición	0 - 60 °C	-5°C - 99 °C	32 – 140 °C
Precisión	± 0.1 pH (25 °C)	95%	± 0.1 pH (77 °C)
Tiempo de respuesta	≤ 1 min	≤ 1seg	≤ 1 min
Conector	BNC	SMA a BNC	BNC
Parámetros	pH 2.0 (3 pines)	pH2.0 (3 pines)	pH2.0 (3 pines)
Potenciómetro	SI	NO	SI
Indicador de encendido	SI	SI	SI

Fuente: Autoría

Tabla 15.

Análisis de los sensores de pH

Parámetros	Sensor pH		
	SENS0161	Atlas Scientific	Msp430
SySR7	1	1	1
SySR11	1	1	1
SRSH3	1	1	1
SRSH12	1	1	1
Puntuación	4	4	4
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Disponibilidad	Estados Unidos	Estados Unidos	Quito
Precio	\$154	\$66.99	\$45.00
Elección: pH Atlas Scientific.			

Nota: El precio de cada uno de los componentes no incluye valor de envío al Ecuador. Fuente: Autoría

En base al análisis y comparativas realizadas se opta por la adquisición del sensor pH Atlas Scientific cumpliendo con los requisitos del diseño del sistema el cual permite medir los parámetros del pH en una gran escala y tiempos de respuesta menores o iguales a 1 segundo y con una precisión del 95% en su lectura. Este dispositivo incluye tres soluciones de diferentes valores y representado con los colores rojo, amarillo y azul, cada color proporciona un valor específico de pH y se lo utiliza para calibrar este sensor. El tiempo máximo que el sensor puede estar calibrado es de aproximadamente un año.

Elección del Sensor de Temperatura. Para una correcta elección del sensor de temperatura, se realiza un análisis comparativo entre los requerimientos del diseño (véase

apartado 3.3.4), parámetros y especificaciones técnicas, y los diferentes sensores de temperatura que se detallan en la Tabla 16.

Tabla 16.

Cuadro Comparativo de Sensores de Temperatura

Parámetro	Atlas Scientific PT-1000	DS18B20	LM35
Tipo de sonda	Platina clases A, RTD	Acero inoxidable	Ninguna
Rango de medición	a 850°C	-55 °C a 125°C	0°C a 100°C
Precisión	+/- (0,15 + (0,002 * t))	±0.5°C de -10°C a +85°C	+/- 0.4°C
Tiempo de reacción	90% en 13 s	750 ms	< 800 ms
Conector	BNC/SMA	Cables	Pines
Esperanza de vida	15 años	5 años	> 5 años

Fuente: Autoría

Tabla 17.

Análisis de los sensores de temperatura.

Parámetros	Sensor de Temperatura		
	Atlas PT-1000	DS18B20	LM35
SySR7	1	1	1
SySR11	1	1	0
SRSH3	1	1	1
SRSH12	1	1	1
Puntuación	4	4	3
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Disponibilidad	Estados Unidos	Quito	Quito

Precio	\$69.99	\$5.00	\$5.00
Elección: Sensor DS18B20.			

Nota: El precio de cada uno de los componentes no incluye valor de envío al Ecuador. Fuente: Autoría

Mediante el análisis de los sensores que se detallan en la Tabla 17, se opta por el sensor DB18B20, ya que cumple con los requerimientos del diseño del sistema, permitiendo lecturas de -55°C a 125°C con un rango de lectura del +/- 0.5°C y con un tiempo de respuesta menor a 750ms y una vida útil de 5 años; este sensor se lo encuentra en el mercado nacional.

Elección del Sensor de Oxígeno Disuelto. Para una correcta elección del sensor de saturación de oxígeno disuelto en el agua se realiza un análisis comparativo para definir los requerimientos del diseño (apartado 3.3.4), acorde a las necesidades del sistema y las características de los sensores que se detallan en la Tabla 18 .

Tabla 18.

Cuadro comparativo de sensor de saturación de oxígeno

Parámetro	DO Atlas Scientific	DO Gravity
Lecturas	0.01 - 100+ mg / L y 0.1 - 400 + %	0 a 20 mg/L
Precisión	+/- 0.05 mg / L	98% en 90 segundos
Tiempo de respuesta	1 lectura por segundo	1 lectura por segundo
Tipo de sonda	Sonda galvánica BNC	Sonda galvánica BNC
Protocolo de datos	UART y I2C	Ninguna
Voltaje	3.3 V a 5V	3.3 V a 5.5V
Dimensiones	13.99mm x 20.16mm	42.0116 mm x 32.004mm

Fuente: Adaptado de Atlas Scientific y Gravity

Tabla 19.

Análisis de los sensores de oxígeno disueltos.

Parámetros	Sensor de Oxígeno disuelto	
	DO Atlas Scientific	Gravity
SySR7	1	1
SySR11	1	1
SRSH3	1	1
SRSH12	1	1
Puntuación	4	4
Cumple "1"		
No cumple "0"		
Disponibilidad	Estados Unidos	Estados Unidos
Precio	\$142.00	\$180.00
Elección: Sensor DO Atlas Scientific		

Nota: El precio de cada uno de los componentes no incluye valor de envío al Ecuador. Fuente: Autoría

La elección del sensor de oxígeno disuelto en el agua se opta por la marca AtlasScientific ya que permite realizar lecturas en variables de mg/L y porcentajes de saturación, su imprecisión de lectura es muy baja, por lo que es ideal para las mediciones del sistema a desarrollar.

3.4.1.2. Bloque de Recolección de Información

En la Tabla 21, se realiza el análisis comparativo de los microcontroladores para el bloque de toma de datos, dicho controlador tiene la funcionalidad de recibir y procesar la información del bloque de sensores para la transmisión de la información entre el nodo

remoto y nodo coordinador mediante el bloque de comunicación; por lo que es necesario definir que el microcontrolador en base a los requerimientos de la arquitectura del sistema (véase apartado 3.3.4) y el cuadro comparativo de la Tabla 20.

Tabla 20.

Cuadro Comparativo de Microcontroladores Arduino

ARDUINO				
Parámetros	Uno	Nano	Mega	Leonardo
Microcontrolador	ATMega328P	ATMega328P	ATMega2560	ATmega32u4
Voltaje	5V a 12V	5V a 12V	5V a 12V	5V a 12V
Pines Digitales	14 pines	14 pines	54 pines	20 pines
Pines PWM	6 pines	6 pines	15 PWM	7 pines
Pines Analógicos	6 pines	8 pines	16 pines	6 pines
DC máxima	50 mA	50 mA	50 mA	50 mA
Memoria Flash	32 KB	32 KB	256 KB	32 KB
EEPROM	1 KB	2KB	4KB	2.5 KB
Velocidad Reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz	32 MHz
Dimensiones (mm)	68.6 x 53.3	45 x 18	101.5 x 53.3	68.6 x 53.3

Fuente: Adaptado de (Arduino, 2020)

Tabla 21.

Análisis comparativo de los microprocesadores.

Parámetros	Microcontrolador			
	Arduino UNO	Arduino Nano	Arduino Mega	Arduino Leonardo
SRSH3	1	1	1	1
SRSH6	1	1	1	1

SRS7	1	0	1	1
Cumple "1"				
No cumple "0"				
Disponibilidad	Ibarra	Ibarra	Ibarra	Quito
Precio	\$9.99	\$6.00	\$15.00	\$10.99
Elección: Arduino Leonardo.				

Nota: El costo de cada uno de los elementos no incluye precio de envío. Fuente: Autoría

En base a los requerimientos de arquitectura de la Tabla 13, y la mejor puntuación obtenida mediante el análisis en la Tabla 21, se opta por la elección del microprocesador Arduino Leonardo, debido a que cumple con las características específicas y con el presupuesto del proyecto.

3.4.1.3. Bloque de Comunicación

El bloque de comunicación es el encargado de comunicar entre el bloque de toma de datos o nodo remoto con el bloque de procesamiento o nodo coordinador. En base a los requerimientos de arquitectura definidos en la Tabla 13, por lo cual se define que dispositivo se utiliza para la comunicación de una red WSN. En la Tabla 23, se realiza un análisis comparativo de cada una de las tecnologías para una red WSN en base al cuadro comparativo de la Tabla 22.

Tabla 22.

Cuadro Comparativo Modulos Inalambricos

Módulos Inalámbricos				
Parámetro	ESP8266	Bluetooth HC-05	Lora SX1278	XBee S2C
Protocolo	802.11 b/g/n	802.15.4	Lora	802.15.4
Banda	2.4 GHz	2.4 GHz	410-525MHz	2.4 GHz
Ancho de banda	11 Mbps	1 Mbps	300 kbps	250 kbps
Rango	100m	10m	5Km	40 a 1200m
Potencia Tx	10mW	1mW		3.1 mW
Sensibilidad Rx	-19,5 dB	-80 dBm	-141dBm	-100 dBm

Fuente: Autoría

Tabla 23.

Análisis comparativo de los módulos para la red WSN

Parámetro	Módulos inalámbricos			
	ESP8266	Bluetooth HC-05	Lora SX1278	XBee S2C
SySR1	1	0	1	1
SRSH3	1	1	1	1
SRSH5	0	0	0	1
SRSH8	1	1	1	1
Puntuación	3	2	3	4
Cumple "1"				
No cumple "0"				
Disponibilidad	Ibarra	Ibarra	Estados Unidos	Ibarra
Precio	\$7.99	\$5.95	\$11.99	\$39.99

Elección: Módulo XBee S2C.

Nota: El costo de cada uno de los elementos no incluye precio de envío. Fuente: Autoría

A través del análisis comparativo de la Tabla 19, se opta por la elección del módulo XBee bajo el estándar de comunicación IEEE 802.15.4, opera en la frecuencia de 2.4GHz, cubre un área de 100 metros aproximadamente lo que lo hace ideal para el diseño del sistema de monitoreo.

3.4.1.4. Bloque de Procesamiento

El bloque de procesamiento es el encargado de conectar con el bloque de comunicación para recibir la información proveniente del bloque de adquisición de datos o del nodo remoto, permite procesar dicha información e interconectar los datos recolectados mediante la herramienta de Node-Red y enviar dicha información a un servidor web para el tratamiento de la información.

Para la deliberación de la mejor placa de Raspberry Pi se consideran las versiones más recientes y con disponibilidad en el mercado, del mismo modo se acopla mediante los requerimientos de arquitectura (*véase* Tabla 13). En la Tabla 25, se ilustra las diferentes placas y calificaciones de acuerdo con sus especificaciones del proyecto, tales se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24.

Cuadro Comparativo Raspberry Pi

Parámetro	Microcontroladores		
	Raspberri Pi 3B	Raspberri Pi 4B	Raspberri Pico
CPU	ARM Cortex A53	ARM Cortex-A72	RP2040
Velocidad CPU	1.2 GHz	1.5 GHz	133 MHz
GPU	400 MHz	500 MHz	NO
RAM	1 GB SDRAM	1 GB/2GB/4GB	264 KB
Almacenamiento	MicroSD	MicroSD	NO
USB	4 USB 2.0	2 USB 2.0 / 4 USB 4.0	USB 1.1
Video	Jack, HDMI	Jack, micro HDMI	NO
Audio	Jack	Jack	No
GPIO	40 pines	40 pines	26 pines
Ethernet	Ethernet 10/100	Gigabit 1000	NO
Wi-Fi/Bluetooth	Wi-Fi 2.4 GHz; Bluetooth 4.0	Wi-Fi 2.4 GHz/5GHz; Bluetooth 5.0	NO
Alimentación	5 V a 2.5A	5 V a 3A USB-C	3.3 V
Dimensiones	85x56x17mm	88x58x19mm	51x21x1mm

Fuente: Adaptado de (Raspberrypi, 2018)

Tabla 25.

Análisis de dispositivos para el procesamiento

Parámetro	Dispositivos Procesamiento		
	Raspberry Pi 3B	Raspberry Pi 4B	Raspberry Pico
SySH10	1	1	0
SySH14	1	1	1
SRSH3	1	1	1
SRSH9	1	1	0
SRSH10	1	1	0
SRSH18	1	1	1
Puntuación	6	6	3
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Disponibilidad	Ecuador	Estados Unidos	Estados Unidos
Precio	\$120.00	\$99.00	\$15.00
Elección: Raspberry Pi 4B.			

Fuente: Autoría

Realizado el análisis de la Tabla 25, se hace una comparativa entre las diversas placas de Raspberry, con la finalidad de elegir la idónea, se tienen un presupuesto limitado para la adquisición de este dispositivo, en base a los requisitos y necesidades del proyecto la placa es la Raspberry Pi 4B.

3.4.1.5. Bloque de Alimentación

El sistema de monitoreo inteligente para la piscicultura posee un bloque de voltaje independiente en cada uno de los nodos remotos y nodo coordinador, la función principal es

suministrar energía eléctrica a cada uno de los bloques para su respectivo funcionamiento. A través de las especificaciones de la arquitectura del sistema (véase apartado 3.3.4) el funcionamiento de cada uno de los dispositivos comprende un voltaje de alimentación de 3.3V a 12V con una corriente de 500mA.

Con los cálculos matemáticos se determina la cantidad de voltaje y corriente necesarios para la alimentación en cada uno de los nodos remotos y nodo coordinador

Cálculo de Voltaje y Corriente en Nodo Remoto. En bloque de recolección de información es el encargado de alimentar al bloque de sensores y al bloque de comunicación, por ello se detalla los rangos de voltaje y corriente en base a sus hojas de especificaciones (véase en el ANEXO C) que interviene en el nodo remoto.

Arduino Leonardo opera en un rango de voltaje de 5V a 12V; cada pin suministra un voltaje de 3.3V con una corriente máxima de 50mA. En el bloque de sensores el sensor *pH AtlasScientific* funciona con un rango de operación de 3.3V a 5V con una corriente de 3mA, el sensor de temperatura DS18B20 opera en un rango de voltaje de 3V a 5.5V con una corriente de 0.1mA y el sensor de saturación de oxígeno AtlasScientific funciona con un voltaje de 3.3V a 5V con una corriente de 0.3mA.

En el bloque de comunicación corresponde a un módulo XBee S2C, opera con un voltaje de 2.7V a 3.6V y una corriente de 45mA. La Tabla 26, se detallan los valores de voltaje y corriente.

Tabla 26.

Valores de corrientes y voltajes

#	Cantidad	Dispositivos	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
1	1	Arduino Leonardo	5V a 12V		5V a 12 V	40mA
2	1	Sensor pH AS	3.3V	3mA	3.3V	3mA
3	1	Sensor DS18B20	3.3V	0.1mA	3.3V	0.1mA
4	1	Sensor OD AS	3.3	0.3mA	3.3V	0.3mA
5	1	XBee S2C	3.3V	45mA	3.3V	45mA
Total, voltaje (VcD)					5V	
Total, corriente (mA)						87.4mA

Fuente: Autoría

La sumatoria de todas las corrientes de los dispositivos conectados en el bloque del nodo remoto se basa en la ecuación (9).

$$I_t = \sum_{i=1}^n I_{ei} \quad (9)$$

$$I_t = I_{e1} + I_{e2} + I_{e3} + I_{e4} + I_{e5}$$

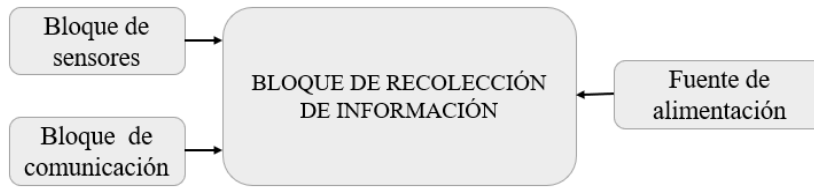
$$I_t = (40mA + 3mA + 0.1mA + 0.3mA + 45mA)$$

$$I_t = 87.4mA$$

En la Figura 29, se determina el diagrama de bloques en la que indica las conexiones realizadas para la alimentación de cada uno de los nodos remotos.

Figura 29.

Diagrama de bloques nodos remoto.



Fuente: Autoría

Elección de Fuente de Alimentación Nodos Remotos. La elección de la fuente de alimentación para cada uno de los nodos remotos y microcontrolador se basa en los requerimientos de diseño, y se estable las características que se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27.

Selección de alimentación nodo remoto

Parámetro	Fuente de Alimentación		
	Fuente 9VcD	Fuente PC	Batería 12 V- 4.5mA
SRSH18	1	1	0
Puntuación	1	1	0
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Elección: Fuente de alimentación de 9VcD.			

Fuente: Autoría

Cálculo de Voltaje y Corriente en Nodo Coordinador. En el nodo coordinador está compuesto por el bloque de procesamiento de información, interconectando al bloque comunicación. Este bloque está integrado por un Raspberry Pi 4B y una fuente de voltaje de

100V a 240V, proporciona un voltaje de salida de 5.1VcD y una corriente máxima de salida de 3A.

El módulo de comunicación inalámbrica es un XBee S2C que opera con un voltaje de 2.7 V a 3.6V con una corriente en la recepción de 31mA, como se detalla en la Tabla 28.

Tabla 28.

Detalles de voltaje en nodo coordinador

#	Cantidad	Dispositivos	Voltaje	Corriente	Total, Voltaje	Total, Corriente
2	1	Raspberry Pi 4B	5.1V	600mA	5.1V	600[mA]
3	1	Módulo XBee S2C	3.3V	45mA	3.3V	45[mA]
Total, voltaje (VcD)					5.1V	
Total, corriente (mA)						645[mA]

Nota: El consumo de corriente del Raspberry si proporciona en estado de estrés. Fuente: Adaptado de Raspberry Pi

De acuerdo con la ecuación (9), se realiza la sumatoria de las corrientes del nodo coordinador, es decir las sumas de las corrientes del Raspberry y el módulo de comunicación inalámbrica XBee S2C.

$$I_t = I_{e1} + I_{e2}$$

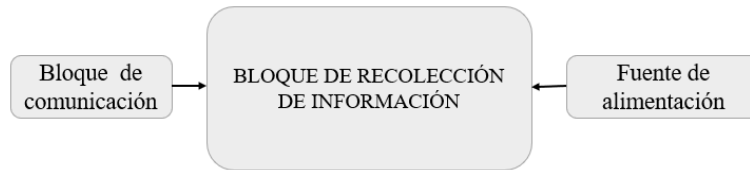
$$I_t = (600mA + 45mA)$$

$$I_t = 645mA$$

En la Figura 30, se establece el diagrama de bloques en la que indica las conexiones realizadas para la alimentación del nodo coordinador.

Figura 30.

Diagrama de bloques nodo coordinador



Fuente: Autoría

Elección de Fuente de Alimentación Nodo Coordinador. En base a los requerimientos del diseño del sistema, en el bloque de alimentación del nodo remoto se instaura los siguientes parámetros que cumple con las especificaciones de la Tabla 13.

Tabla 29.

Selección de alimentación nodo coordinador

Parámetro	Fuente de Alimentación		
	Fuente 5.1VcD	Fuente Raspberry	Batería 12 VcD 4.5mA
SRSH18	1	1	0
Puntuación	0	1	0
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Elección: Fuente de Alimentación del Raspberry			

Fuente: Autoría

3.4.2. Software

Realizado la elección del hardware, se procede a elegir el software en base a los requerimientos del diseño (véase apartado 3.3.4) ratificando el óptimo desempeño del sistema, de tal modo se debe considerar alternativas de software de uso libre que empleen sistemas de aprendizaje de máquinas y por consiguiente el software debe de ser compatible.

3.4.2.1. Software de Programación Bloque de Recolección de Datos.

La asignación del software para el bloque de recolección de información y la elección del hardware establecida en la Tabla 21, se puede señalar el software correcto para un óptimo funcionamiento del Arduino, en la Tabla 30 muestra la elección del software.

Tabla 30.

Elección del software de programación bloque de recolección de información

Parámetro	Lenguaje de Programación	
	Python	IDE Arduino
SRSH3	0	1
SRSH11	0	1
Puntuación	0	2

Cumple “1”
No cumple “0”

Elección: El software idóneo para el hardware de recolección de datos es IDE Arduino.

Fuente: Autoría

3.4.2.2. Plataformas del Bloque de Procesamiento

La plataforma de procesamiento para este bloque, se establece el software acorde a los requerimientos de arquitectura del sistema definidos en la Tabla 13.

Elección de Plataforma del Bloque de Procesamiento. En la Tabla 32, se realiza el análisis de las plataformas de programación de acuerdo con los requerimientos del sistema, esta plataforma debe brindar compatibilidad y disponibilidad con el hardware a utilizar. En la Tabla 31, se muestra un cuadro comparativo de cada una de las plataformas que se propone utilizar para el procesamiento de la información.

Tabla 31.

Cuadro comparativo de plataformas de procesamietno

Características	Node-Red	OpenHAB	Apache AirFlow
Basada en	SI	SI	SI
OpenSource			
Lenguajes	Assembly, C, Python y	Java	Python
Soportados	JavaScript		
Protocolos	MQTT, REST, Modbus, OPC-UA, Bacnet, Websocket	Z-Wave, Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, KNX, EnOcean	HTTP
APIs	Microsoft Azure, Amazon Web Services, Twitter, Facebook	Basic UI, HABPanel, Paginas de diseño	Amazon, DynamonDB, Google Cloud, Microsoft Azure, Apache Pig
Herramientas de desarrollo	Presenta Herramientas	No presenta herramientas	Presenta Herramientas

Automatización	Presenta Automatización	No presenta automatización	Automatización
Automatización Web	Alta automatización Web	Baja Automatización Web	Alta Automatización

Fuente: Autoría

Tabla 32.

Elección del Software de Programación.

Parámetro	Plataformas de Programación		
	Node-RED	OpenHAB	Apache AirFlow
SySH6	1	1	1
SRSH3	1	1	1
SRSH11	1	0	0
Puntuación	3	2	2
Cumple “1”			
No cumple “0”			
Elección: Node-Red			

Fuente: Autoría

La elección de la plataforma de bloque de procesamiento es Node-Red debido a robustez, compatibilidad con lenguajes de programación, protocolos de comunicación y diversas librerías para aplicaciones en entornos IoT, basada en sistema operativo Rabian.

3.4.2.3. Hosting

Para la elección del hosting se instauran dos alternativas que se exponen en la Tabla 33, sobre las características y especificaciones técnicas de mayor relevancia y en la Tabla 34 se muestra la valoración en concordancia con los requerimientos para una correcta elección.

Tabla 33.

Cuadro comparativo de Hosting

Característica	Plesk	cPanel
Sistemas Operativos	Debian, Ubuntu, CentOS, RHEL, Cloud Linux, Amazon Linux, Virtuozzo Linux, Windows Server 2008 R2 SP.	CentOS, CloudLinux, RHEL 7, Amazon Linux.
Servidores Web	NGINX y Apache	Apache.
Panel de administrador	Un inicio de usuarios finales y administrador.	Dos inicios de sesión: - Administración. - WHM para administrador
Seguridad	Certificado SSL	Certificado SSL
Base de Datos	MYSQL o MSSQL Server	PhpMyAdmin, MySQL
Accesibilidad móvil	Aplicación para iOS y Android	Sin aplicación móvil
Soporte	24 horas	24 horas
Costo	\$3.50/mes	\$2.99 /mes

Fuente: Autoría

Tabla 34.

Elección del Hosting

Parámetros	Hosting	
	Plesk	cPanel
SySR9	1	1
SySR15	1	1
SRS11	1	1
Puntuación	3	3
Cumple "1"		
No cumple "0"		
Elección: Hosting cPanel		

Fuente: Autoría

De la puntuación obtenida de los hostings los dos cumplen con los requerimientos establecidos, cPanel brinda una mejor opción debido a su costo económico mensual en comparación al otro.

3.4.2.4. Servidor Web

Para elegir el servidor Web se consideran dos opciones de servidores, en la Tabla 35, se muestra las características principales de cada uno y en la Tabla 36, se muestra la valoración de acuerdo con los requerimientos realizado a cada uno de los servidores en base a los requerimientos planteados.

Tabla 35.

Cuadro comparativo de servidores

Características	Servidor Apache	Servidor NGINX
Arquitectura	Basado en eventos, módulo e hilos	Procesamiento asíncrono y eventos
Licencia	OpenSource	OpenSource
Seguridad	TLS y SSL	TLS y SSL
Soporte	Documentación en la Web, tutoriales	Limitada información, en comparación de apache
Peticiones	No puede manejar varias solicitudes al mismo tiempo	Maneja múltiples solicitudes con eficiente recurso

Fuente: Autoría

Tabla 36.

Elección del Servidor Web

Parámetros	Servidor Web	
	Servidor Apache	Servidor NGINX
SySR9	1	1
SRS11	1	1
Puntuación	3	3
Cumple "1"		
No cumple "0"		

Elección: Servidor Apache

Fuente: Autoría

El análisis realizado y la puntuación obtenida se opta por la elección del servidor web Apache, debido a que cumple con los requerimientos planteados según las características de este y soporta la cantidad de usuarios las cuales van a realizar petición al servidor.

3.4.2.5.Gestor de Base de Datos

Se establece dos gestores de base de datos para almacenar los datos de los nodos remotos A, nodo remoto B y los registros de usuarios para administrar. En la Tabla 37, se establecen las características de los gestores y en Tabla 38 se evalúa con una puntuación para fijar la elección correcta en base a los requerimientos del diseño del sistema.

Tabla 37.

Cuadro comparativo de base de datos

Característica	MongoDB	MYSQL
Estructura de datos	Almacena datos no relacionados en JSON como documentos	Almacena cada registro individual en tablas
Esquema	Esquema inestable, ideal para evitar cambiar el esquema	Esquema fijo, ideal si el esquema no cambia y siempre se guarda los mismos tipos de datos
Lenguaje Desarrollo	C++, C MongoDB	C++, C y JavaScript Oracle Corporation
Escalabilidad	Escalabilidad vertical como horizontalmente	Solo se escala verticalmente
Seguridad	Propensos a ataques de inyección SQL	No existe esquemas, hay menor riesgo

Fuente: Autoría

Tabla 38.

Elección del gestor de base de datos.

Parámetro	Gestores de Base de Datos	
	MongoDB	MYSQL
SRSH11	1	1
SRSH13	1	1
Puntuación	1	1
Cumple "1"		
No cumple "0"		
Elección: MySQL		

Fuente: Autoría

MySQL cumple con los requerimientos de diseño del sistema, debido a que el esquema no es cambiante y siempre se almacenarán los mismos datos, es decir que se tiene datos estructurados y se necesita una base de datos relacional tradicional. MySQL ofrece alto rendimiento, datos confiables, alta disponibilidad y es fácil de administrar.

3.4.2.6. Plataforma de Notificación

Para la elección de la plataforma de notificación sobre los estados de los estanques se establecen tres plataformas de mensajería, se determina las más populares en la actualidad y en la Tabla 39, se realiza una comparativa de las características más importantes.

La Tabla 40, muestra la puntuación para determinar cuál es la más idónea para su uso en base a los requerimientos del sistema.

Tabla 39.

Cuadro comparativo de plataformas de mensajería

Característica	WhatsApp	Telegram	Signal
Cifrado extremo a extremo	Mensajes si, en metadatos no.	Solo en chats secretos	Si, incluso metadatos
Herramienta Bot Backup	Si, versión pagada	Si, versión libre	No
Teléfono móvil	Google drive	En nube propia	Local
Verificación en dos pasos	Requiere de número de teléfono	Requiere de número de teléfono	Requiere de número de teléfono
	PIN opcional	PIN opcional	Pin de bloque por defecto

Fuente: Autoría

Tabla 40.

Elección de plataforma de notificación

Parámetro	Plataforma de Notificación		
	Telegram	WhatsApp	Signal
SRSH11	1	1	1
Puntuación	1	1	1
Cumple "1"			
No cumple "0"			
Elección: Telegram			

Fuente: Autoría

En la puntuación realizada en la Tabla 40, se opta por la plataforma de Telegram debido a que incorpora la opción de Bot y es de uso gratuito ya que cumple con los requerimientos del diseño del sistema.

3.5. Diseño del Sistema

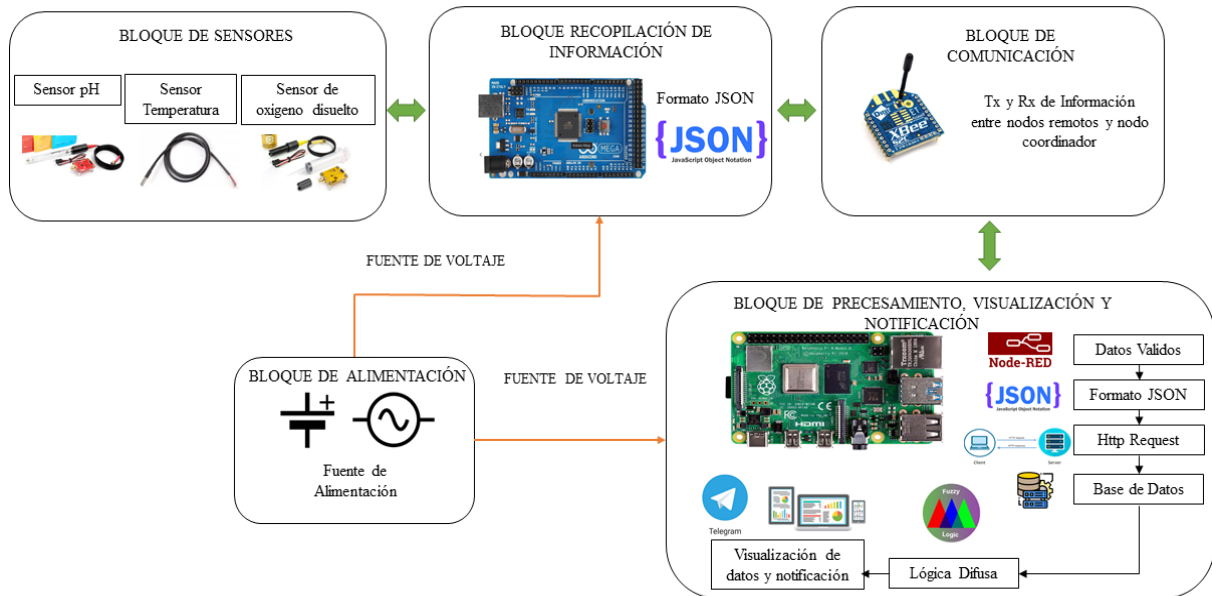
Una vez realizada la elección de cada uno de los componentes de hardware y software del sistema de monitoreo se establece el diseño del sistema basado en bloques. En la Figura 31, se ilustran los bloques que componen dicho sistema

3.5.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Monitoreo

En esta sección se define un diagrama que está compuesto por seis bloques, cada bloque corresponde al sistema de monitoreo, cada bloque cumple funciones específicas en el funcionamiento del sistema. En la Figura 31, se muestra a detalle su diagrama.

Figura 31.

Diagrama de bloques del sistema de monitoreo



Fuente: Autoría

De acuerdo con la Figura 31, el diseño del sistema se compone de seis bloques, cada uno de estos cumplen funciones específicas que se describe a continuación.

Bloque de Sensores. Este bloque contiene tres sensores para determinar la calidad del agua permitiendo capturar datos de cada una de las variables definidas por el diseño del sistema.

Bloque de Recolección de Información. Es el encargado de recopilar los datos a través del bloque de sensores para el procesamiento de los datos y transformar los datos en formato JSON.

Bloque de Comunicación. Este bloque es el encargado de transmitir la información del bloque de toma de datos, hacia el bloque de procesamiento de la información mediante el protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 o módulo de comunicación XBee S2C.

Bloque de Procesamiento. Este bloque es uno de los bloques más importantes, debido a que toda la información recibida por el bloque de comunicación es filtrada y procesada. Realizado este proceso y haciendo uso de la herramienta de Node-Red con el protocolo HTTP se envía los datos al hosting. La información se almacena en una base de datos MySQL para ser tratada los datos con el algoritmo de inteligencia artificial como lo es lógica difusa en la que establece las condiciones de la calidad del agua de las piletas de alevines.

Bloque de Visualización y Notificación. Finalmente, el administrador o técnico encargado del monitoreo podrá visualizar los datos en tiempo real todas las variables de los nodos remotos en una página web, y mediante el uso de la plataforma de Telegram notificará al administrador sobre las condiciones adversas en las que se encuentra.

Bloque de Alimentación de Voltaje. Este bloque suministra energía eléctrica a cada uno de los bloques y dispositivos electrónicos mediante una fuente de voltaje.

3.5.2. Diagrama de Flujo del Sistema

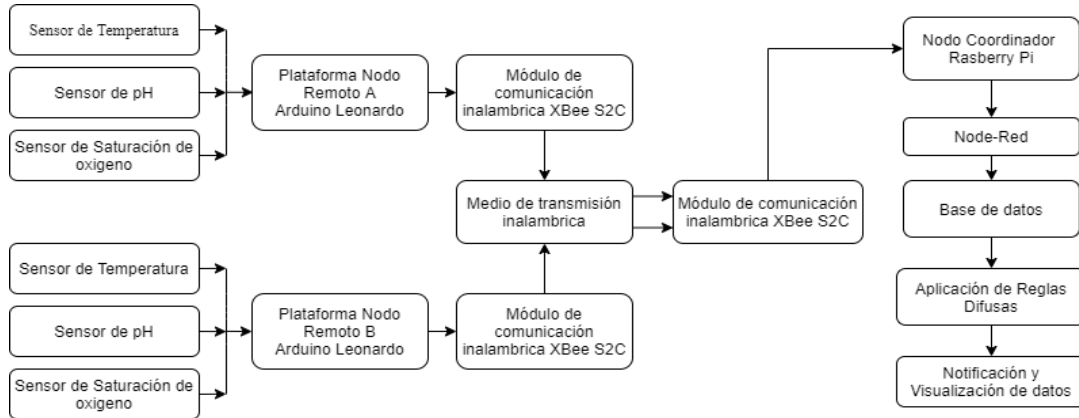
El funcionamiento de este sistema inteligente de monitoreo se fundamenta en el diagrama de flujo ilustrado en la Figura 32. La información de temperatura, pH y saturación de niveles de oxígeno en los estanques de alevines son obtenidos a través de sensores y procesados en el bloque de recolección de información.

El bloque de comunicación de cada nodo remoto es el encargado de transmitir la información por medio del módulo XBee S2C hacia el nodo coordinador o bloque de procesamiento.

El bloque de procesamiento recibe los datos en la plataforma de Node-Red y transmite con el protocolo HTTP a un servidor para almacenar la información en una base de datos, a toda esta información se le aplica reglas difusas para visualizar y monitorear el estado de los parámetros de la piscicultura. El uso Telegram permite notificar al administrador o trabajador sobre las situaciones críticas que suceden en las piletas de alevines.

Figura 32.

Diagrama de funcionamiento del sistema de monitoreo

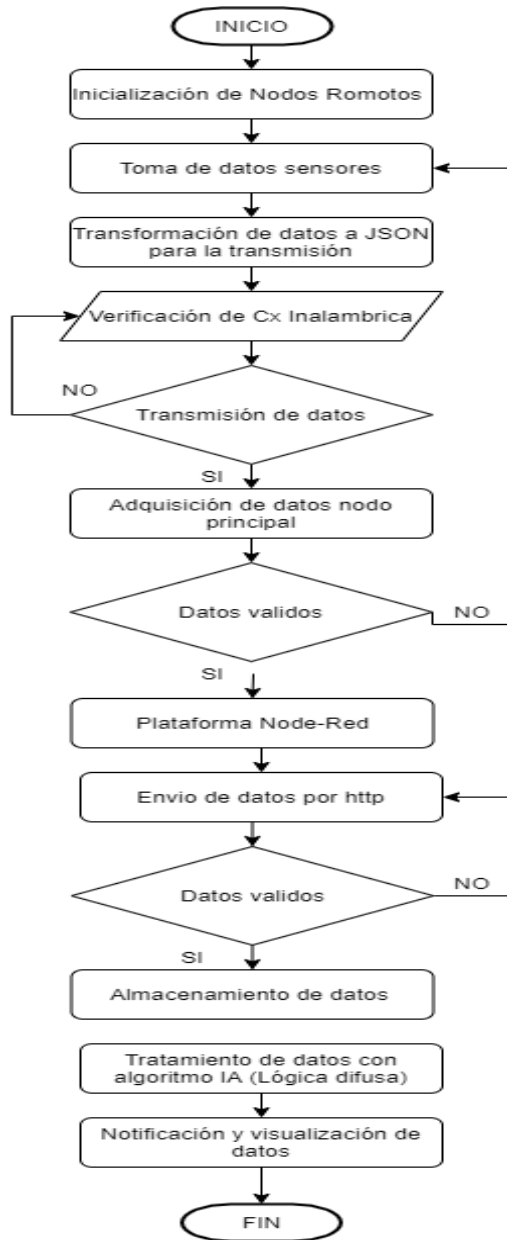


Fuente: Autoría

La información proveniente de cada uno de los nodos remotos es analizada con el algoritmo de lógica difusa, en caso de encontrar anomalías en los estanques de alevines el sistema automáticamente notificará al usuario por medio de un mensaje al usuario y se mostrará un mensaje de advertencia en la página Web. En la Figura 33, se indica el flujograma del funcionamiento del sistema de monitoreo.

Figura 33.

Diagrama de flujo del proceso general del sistema



Fuente: Autoría

3.5.3. Implementación de Hardware

Con relación a la implementación del hardware se realiza las conexiones eléctricas de cada uno de los diferentes sensores y el módulo de comunicación inalámbrica que están interconectados al microcontrolador Arduino. A continuación, se definen las conexiones en cada uno de los bloques especificados en la sección 3.5.1.

3.5.3.1. Bloque de Sensores.

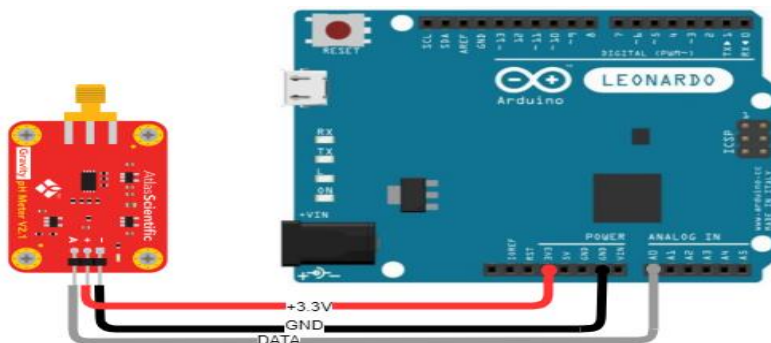
Este bloque es el encargado de la recolección de magnitudes físicas y convertirlas a magnitudes eléctricas utilizando sensores apropiados para cada una de las variables definidas. Se interconecta al bloque de recolección de datos utilizando el microcontrolador Arduino Leonardo; cada una de las conexiones eléctricas se detalla en el diagrama circuital en cada uno de los sensores.

Sensor de pH Atlas Scientific. Este sensor consta de una sonda galvánica a la que se debe conectar un circuito llamado *EZO pH Circuit* para la conversión de la señal física a una señal eléctrica representando un valor interpretable.

Conexión del Sensor. La placa *EZO pH Circuit* tiene tres terminales, (GND, Vcc, ADC), cada una de estas terminales se interconectan al Arduino Leonardo, como se ilustra en la Figura 34.

Figura 34.

Diagrama eléctrico de conexión entre sensor pH y Arduino



Fuente: Adaptado de (AtlasScientific, 2020)

Calibración del Sensor. Los sensores de alta precisión requieren soluciones de calibración ofertadas por el mismo fabricante; son tres soluciones de pH (4.00, 7.00 y 10.00) que contiene cada bolsa 20ml, estos líquidos son compatibles para cualquier sonda y opera en rangos de $\pm 0.02 \text{ pH}$ a 25°C bajo las certificadas del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estado Unidos. Tiene una vida útil de dos años en el ambiente, estas soluciones se ilustran en la Figura 35.

Figura 35.
Soluciones de Calibración



Fuente: Obtenido de: (AtlasScientific, 2020)

Este sensor genera un voltaje de 3.0V a 0.265V, cada uno de estos voltajes representa un valor en una escala de pH con una tolerancia de $\pm .015V$, como se muestra en el ANEXO C, verificado los valores se procede a medir el voltaje en cada una de las soluciones.

Primer caso, se presenta una solución roja que de acuerdo con los voltajes arrojados rodean entre 1.94V y 2.00V representando un pH de 4.00, como se muestra en la Figura 36.

Figura 36.
Voltaje de la solución pH 4.00

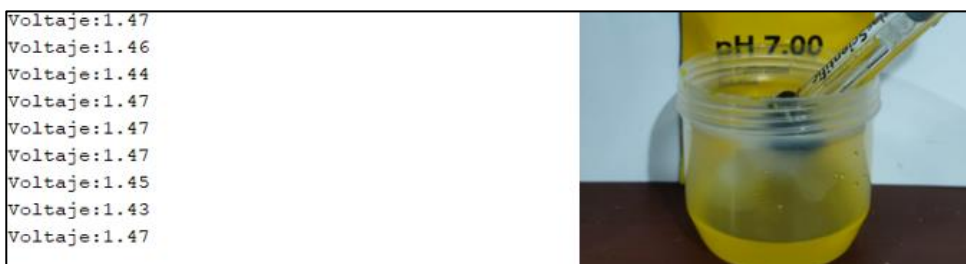


Fuente: Autoría

En el segundo caso se tiene la solución de color amarillo, que de acuerdo con los voltajes medidos con el sensor arrojan entre un rango de 1.43V a 1.47V, representando una medida de pH de 7.00, como se muestra en la Figura 37.

Figura 37.

Voltaje de la solución pH 7.00

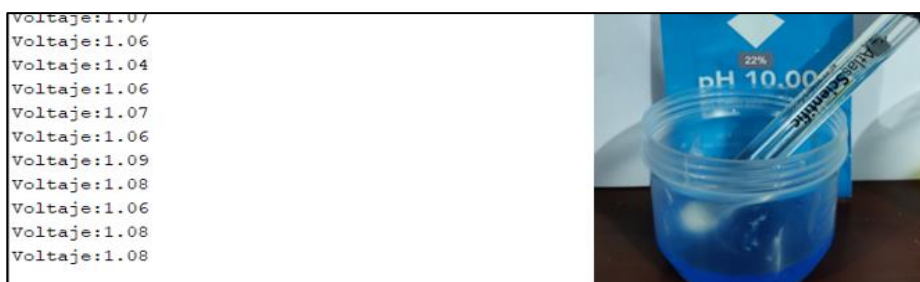


Fuente: Autoría

Finalmente, se procede a medir la solución de color azul, en las medidas arrojadas se obtiene un rango entre 1.04V a 1.09V en la que presenta un valor de pH de 10.00, como se ilustra en la Figura 38.

Figura 38.

Voltaje de la solución pH 10.00



Fuente: Autoría

De acuerdo con el fabricante Atlas Scientific, para el cálculo del pH se basa en la ecuación (10), con la que se multiplica con una constante definida por el valor del voltaje calculado por el sensor, y a todo esto se le suma una variable constante de 15.509.

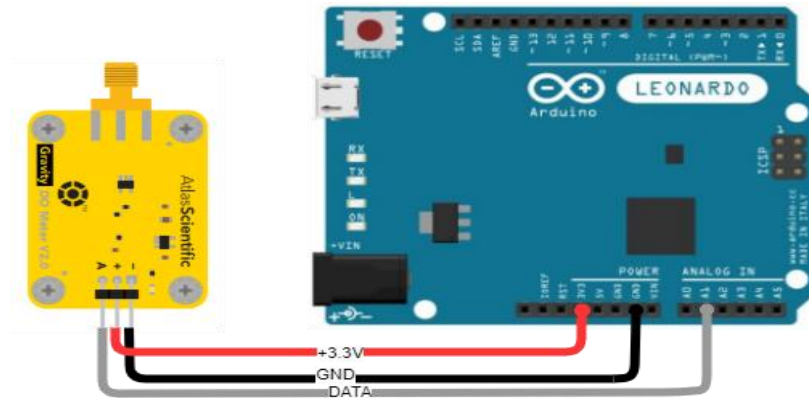
$$pH = (-5.6548 * voltaje) + 15.509 \quad (10)$$

Sensor de Saturación de Oxígeno Atlas Scientific. El funcionamiento del sensor de saturación de oxígeno funciona de la misma manera que la del sensor de pH, tiene una sonda plástica a la que se le adapta un circuito llamado *EZO DO circuit*.

Conexión del sensor. La placa *EZO DO Circuit* tiene tres terminales, (GND, Vcc, ADC), cada una de estas terminales se interconectan al Arduino Leonardo, como se ilustra en la Figura 39.

Figura 39.

Diagrama eléctrico de conexión entre sensor DO y Arduino

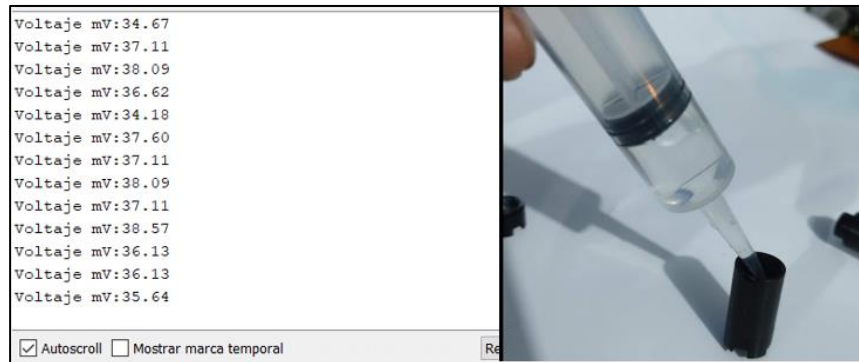


Fuente: Adaptado de (AtlasScientific, 2021)

Calibración del Sensor. Para calibrar el sensor de saturación de oxígeno se utiliza una solución de electrolito de 125 ml la cual contiene 0mg/L de contenido de oxígeno, con este líquido se rellena de la membrana del sensor con una cantidad de 2ml a 5ml; y se procede a medir los voltajes hasta que se estabilicen y capturar la lectura en la EPROM, estos datos se visualizan en la Figura 40.

Figura 40.

Medición de voltaje del sensor de saturación de oxígeno



Fuente: Autoría

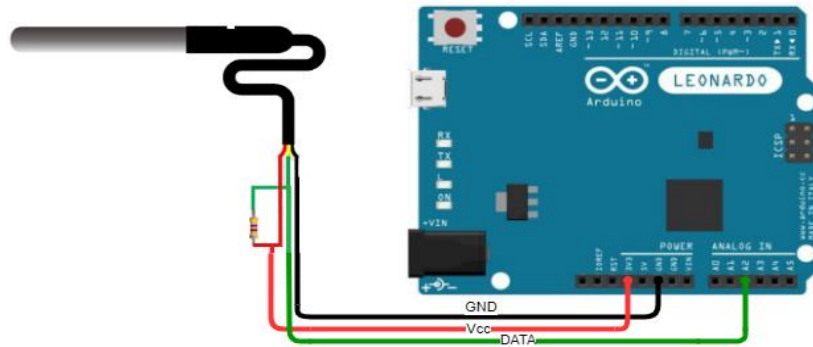
Para el cálculo del porcentaje de saturación del oxígeno se utiliza la ecuación (11), definida por el fabricante, (véase en el ANEXO C).

$$\%DO = \frac{\text{Lectura en aguna}}{\text{Lectura Guardada}} \times 100 \quad (11)$$

Conexión Sensor de Temperatura DS18B20. El DS18B20 es un sensor analógico basado en el protocolo 1-Wire para la comunicación de datos, contienen tres pines (Vcc, GND y Data). Este sensor tiene una sonda dentro de un tubo de acero inoxidable resistente al agua y trabaja en los rangos -55°C a 125°C con un error de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, de acuerdo con la hoja de especificaciones (véase ANEXO C). Las conexiones eléctricas que se realizan se muestran en la Figura 41.

Figura 41.

Diagrama eléctrico de conexión sensor DS18B20



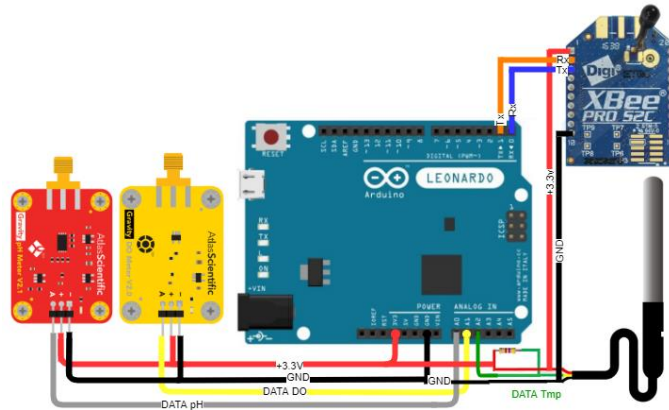
Fuente: (Maxim integrated, 2019)

3.5.3.2. Bloque de Recolección y Transmisión de Información.

Diagrama de Conexión. El bloque de recolección y transmisión de información es el encargado de recolectar los datos a través de cada uno de los sensores conectados al Arduino Leonardo en sus entradas analógicas y la transmisión de información por medio del módulo XBee S2C al nodo coordinador, como se ilustra en la Figura 42.

Figura 42.

Diagrama de conexión bloque de recolección de datos o nodo remoto



Fuente: Autoría

Las conexiones de cada uno de los sensores y módulos que se interconectan hacia el microcontrolador se detallan en la Tabla 41, y en la Figura 42, se muestra el diagrama de las conexiones de cada uno de estos dispositivos.

Tabla 41.

Conexiones sensores, módulos al microcontrolador.

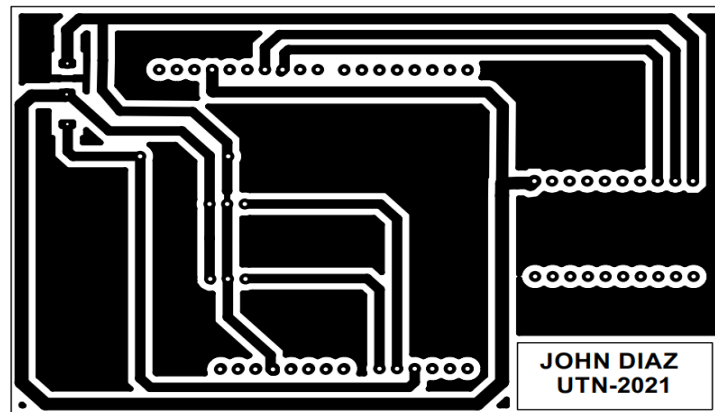
Arduino Leonardo	Sensor DO Atlas Scientific	Sensor pH Atlas Scientific	Sensor DS18B20	Módulo XBee S2C
3.3V (4)	3.3V o 5V (2)	3.3V o 5V (2)	3.3V o 5V (2)	3.3V o 5V (2)
GND (7)	GND (1)	GND (1)	GND (1)	GND (10)
A0	ADC (3)			
A1		ADC (3)		
A2			VDD (3)	
Tx (10)				Rx (2)
Rx (11)				Tx (3)

Fuente: Autoría.

Diseño del Circuito Impreso PCB Bloque de Recolección y Transmisión de Información. Mediante el software de simulación Proteus versión 8.0, se realiza el diseño de la placa PCB, en la que se interconectan los dispositivos electrónicos tales como: el sistema de comunicación inalámbrica y sensores que componen este sistema de monitoreo.

Figura 43.

Circuito PCB del bloque de recolección de información



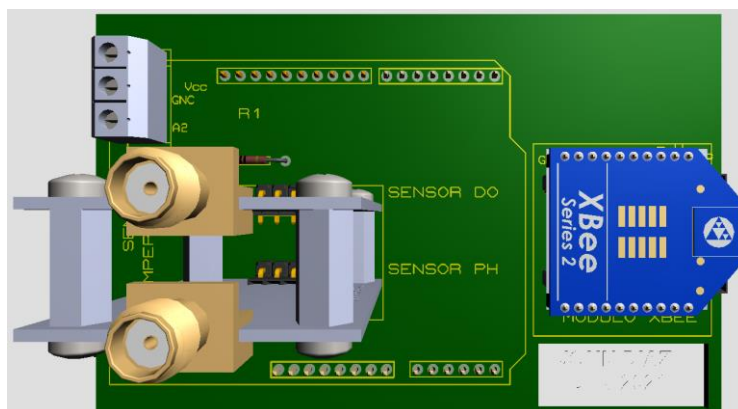
Fuente: Autoría

Diseño Diagrama Circuital Bloque de Recolección y Transmisión de Información.

El sistema de monitoreo simulado en Proteus permite visualizar la placa diseñada en 3D para determinar la correcta posición y dirección de cada componente electrónico que se instalará en la placa PCB como se ilustra en la Figura 44.

Figura 44.

Placa 3D sistema de monitoreo



Fuente: Autoría

3.5.3.3. Bloque de Recepción y Procesamiento de Información.

Este bloque de recepción y procesamiento de información se muestra las conexiones eléctricas entre un Raspberry Pi y el módulo de comunicación inalámbrica XBee S2C, cada una de estas conexiones se ilustra en la Figura 44.

Figura 45.

Diagrama de conexión bloque de procesamiento o nodo coordinador



Fuente: Autoría

3.5.4. Diseño del Software

De las evidencias anteriores sobre la implementación del hardware de cada uno de los bloques del sistema de monitoreo, se establece en esta sección el diseño de software correspondientes a cada uno de los bloques designados.

3.5.4.1. Bloque de Comunicación Inalámbrica

Al utilizar los módulos de comunicación inalámbrica XBee se utiliza el software XCTU para su configuración del módulo y asignación de modo de operación como (coordinador, router y dispositivo final). En la Tabla 42, se detalla las configuraciones generales de cada uno de los nodos y sus parámetros a configurar.

Tabla 42.

Configuración de parámetros XBee en software XCTU

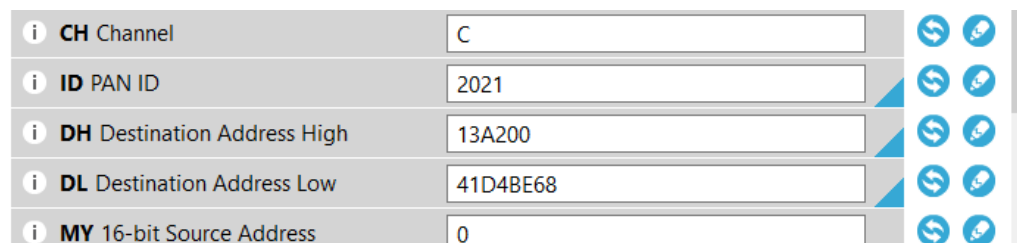
Parámetro	Nodo Remoto A	Nodo Remoto B	Nodo Principal
Modo	End-Device	End-Device	Coordinador
NI	No RemotoA	No RemotoB	No Coordinador
CH	C	C	C
ID	2021	2021	2021
DH	13A200	13A200	13A200
DL	41D4BE68	41D4BE68	FFFF
MY	0	0	0
SH	13A200	13A200	13A200
SL	41D4BE80	41D49224	41D4BE68

Fuente: Autoría

En base a la Tabla 42, y mediante la herramienta XCTU que proporciona DIGI se establecen las configuraciones, como se muestra en la Figura 46 y ANEXO .

Figura 46.

Software XCTU, Parámetros de configuración



Fuente: Adaptado del software XCTU

3.5.4.2. Comunicación Serial XBee S2C con Arduino

Configurados los nodos remotos A y B se procede a realizar las configuraciones mediante la IDE Arduino, se incluye una librería llamada SoftwareSerial.h para la comunicación serial entre el nodo coordinador y nodo remoto, los pines del Arduino Leonardo que se utilizará para la Transmisión y Recepción son pines [11,10]. Toda esta comunicación se realiza a una velocidad de 9600 baudios.

```
#include <SoftwareSerial.h>    //libreria de XBee
SoftwareSerial XBee (11, 10); // Pines XBee RX, TX

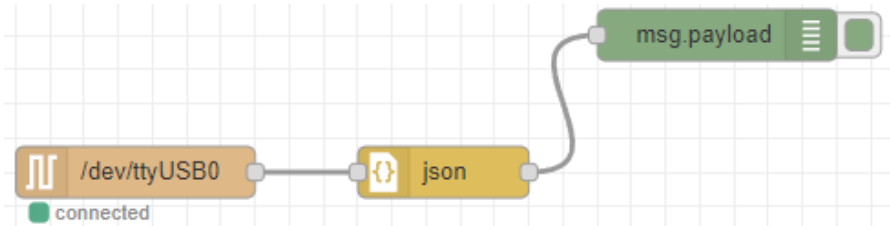
void setup () {
  XBee.begin(9600);
}
```

3.5.4.3. Comunicación Serial XBee S2C con Raspberry Pi

El nodo coordinador está compuesto por la Raspberry Pi definida en la sección 3.4.1.4, para hacer uso de la comunicación inalámbrica con el módulo de comunicación XBee S2C, primero se habilita las opciones de comunicación serial, como se indica en ANEXO C. En la Figura 47, se muestra la conexión del puerto serial y una función de json para leer los datos que son receptado por la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios.

Figura 47.

Comunicación serial con nodo coordinador.



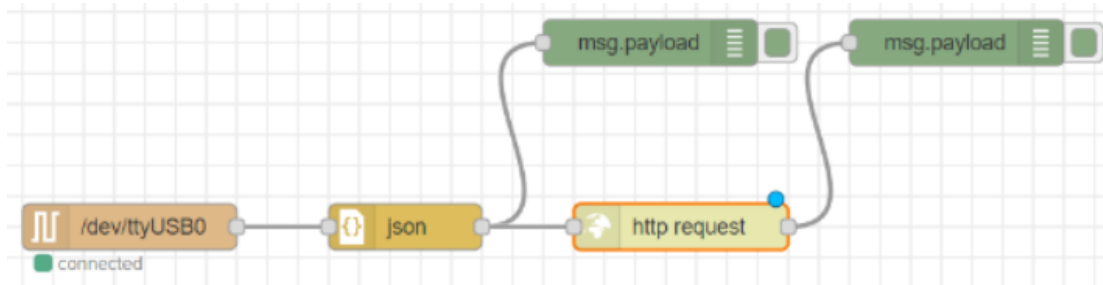
Fuente: Adaptado de Node-Red, Autoría

3.5.4.4. Comunicación Node-Red con Hosting

En el párrafo anterior se adquiere la información de los nodos remotos en un formato JSON, en esta etapa se hace uso del protocolo http request con el método GET para el envío de datos al hosting en formato JSON. Este nodo permite transmitir datos y a la vez recibir un dato en forma de respuesta.

Figura 48.

Comunicación Node-Red con Hosting

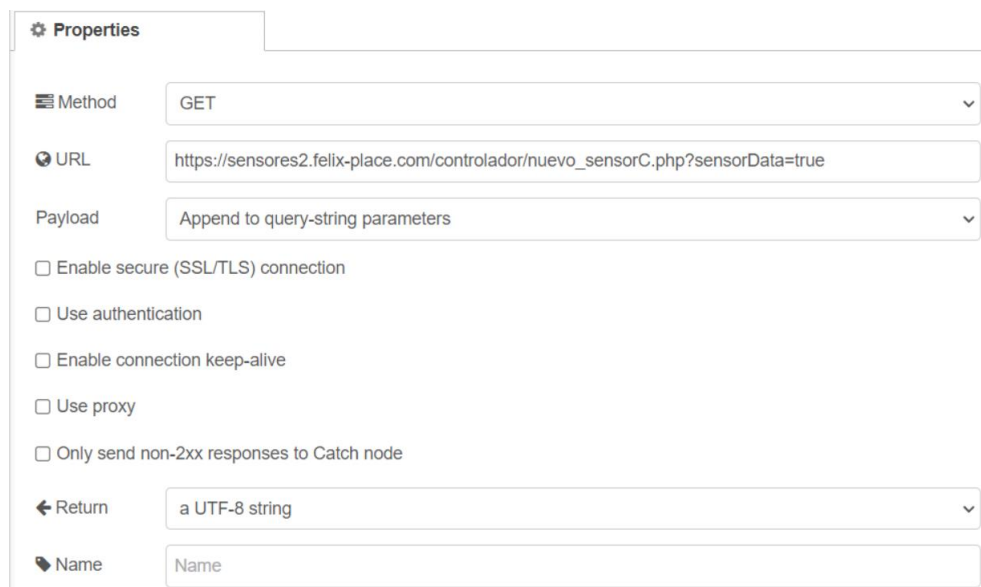


Fuente: Adaptado de Node-Red, Autoría

Las propiedades de esta función http request con el método GET se muestra en la Figura 49, en el cual se coloca la dirección web para la comunicación entre la plataforma Node-Red y el hosting.

Figura 49.

Función http con método GET



The image shows the configuration panel for an HTTP Request node in Node-RED. The panel is titled "Properties" and contains the following settings:

- Method:** A dropdown menu set to "GET".
- URL:** A text input field containing the URL "https://sensores2.felix-place.com/controlador/nuevo_sensorC.php?sensorData=true".
- Payload:** A dropdown menu set to "Append to query-string parameters".
- Options:** A list of checkboxes, all of which are unchecked:
 - Enable secure (SSL/TLS) connection
 - Use authentication
 - Enable connection keep-alive
 - Use proxy
 - Only send non-2xx responses to Catch node
- Return:** A dropdown menu set to "a UTF-8 string".
- Name:** A text input field containing the text "Name".

Fuente: Adaptado de Node-Red, Autoría

3.5.4.5. Recepción de Información

En consecuencia, se establece un array llamado parámetros para guardar la información proveniente de cada nodo remoto, la variable CODIGO presenta al identificador de cada nodo remoto, la viable T hace referencia a la temperatura, la variable P significa a las lecturas de los niveles de pH y finalmente la variable O representa a la saturación de oxígeno en el agua.

```

if(isset($_GET['sensorData'])){
    $data = $_GET;
    $parametros = array(
        'CODIGO'=>$data['S'],
        'T'=>$data['T'],
        'P'=>$data['P'],
        'O'=>$data['O']);
    // print_r($parametros);die();
}

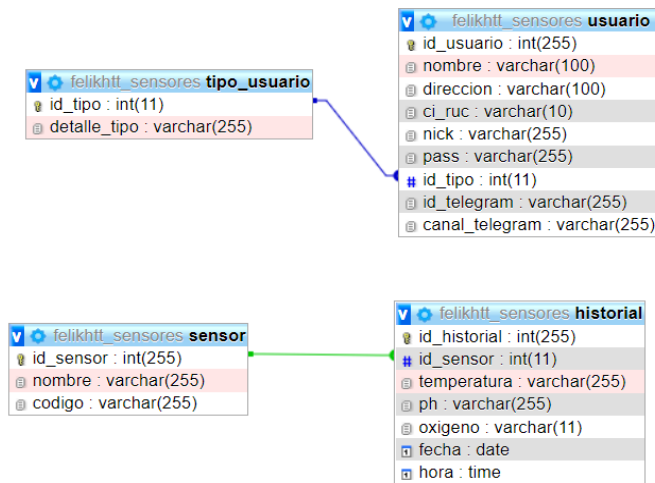
```

3.5.4.6. Diseño de Base de Datos

La base de datos se encarga de almacenar la información proveniente de cada nodo remoto y gestionar los datos de manera oportuna sobre la temperatura, niveles de pH y saturación de oxígeno. En la Figura 50, se muestra la identidad y relación de la base de datos para su respectivo diseño.

Figura 50.

Base de datos identidad relación MySQL



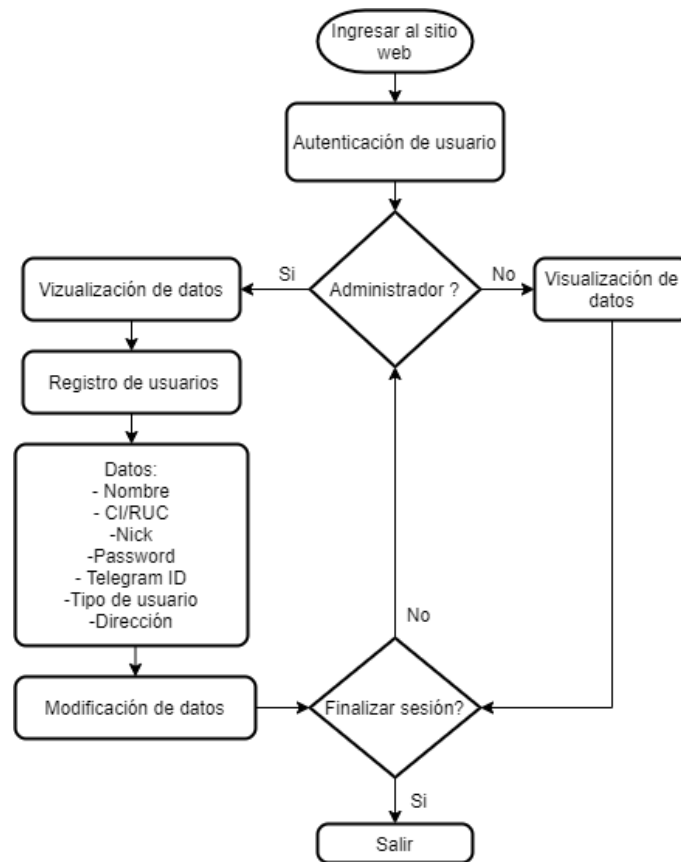
Fuente: Autoría, adaptado de MySQL

3.5.4.7. Diseño de Pagina Web

La página Web desarrollada se basa en PHP y consiste en varias páginas que se puede acceder por medio del internet para monitorear las variables de la calidad del agua proveniente de los diferentes nodos remotos. Para el diseño de la página Web, en la Figura 51, se ilustra el diagrama de flujos empleados para el diseño.

Figura 51.

Diagrama de flujos pagina Web



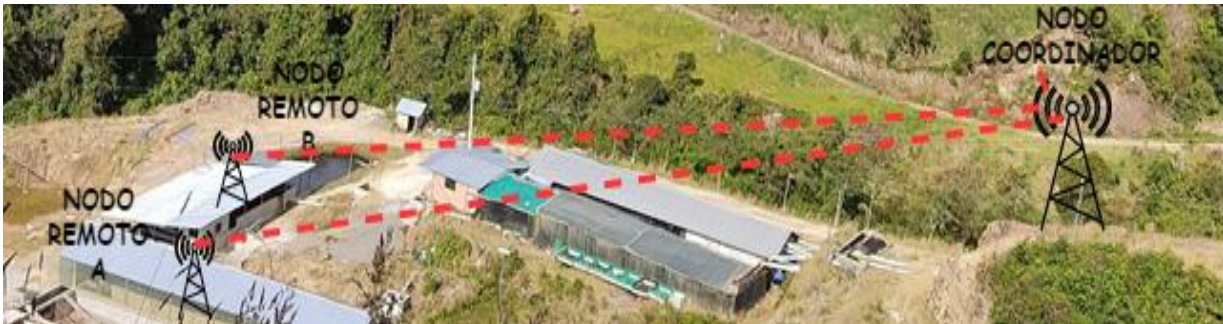
Fuente: Autoría

3.5.5. Diseño de la Red Inalámbrica

En esta sección se realiza el diseño de la red de comunicación inalámbrica basándose en los requerimientos del diseño del sistema (véase apartado 3.3), y los diferentes parámetros para determinar las pérdidas de potencia en el espacio libre; y haciendo uso del software de simulación Radio Mobile para verificar el comportamiento de dicha red. En la Figura 52, se muestra el escenario en donde va a funcionar la red inalámbrica, en la que se cuenta con dos nodos remotos [A, B] y un nodo coordinador.

Figura 52.

Escenario de red, fotografía del laboratorio.



Fuente: Autoría

Las coordenadas geográficas del nodo A, nodo B y nodo coordinador que van a estar situadas dentro del laboratorio se especifican en la Tabla 43.

Tabla 43.

Ubicación geométrica de cada nodo.

Dispositivo	Latitud (La)	Longitud (Le)	Altura [msnm](He)
Nodo Coordinador (NC)	0.619867	-77.596117	3015
Nodo Remoto A (NrA)	0.620454	-77.596103	3003

Nodo Remoto B (NrB)	0.620457	-77.595924	3000.5
---------------------	----------	------------	--------

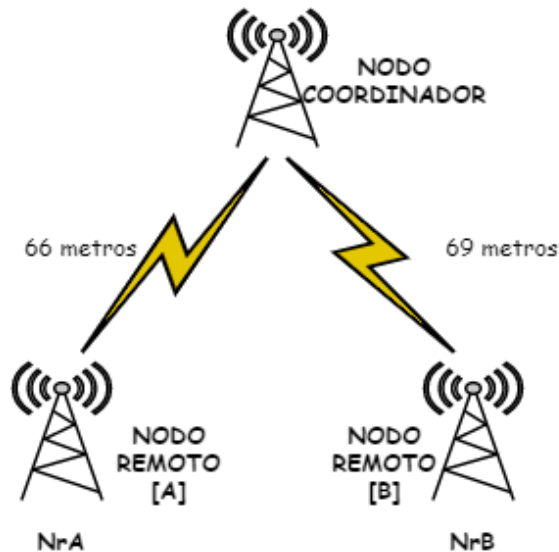
Fuente: Autoría.

3.5.5.1. Topología de Red Inalámbrica

La topología de la red inalámbrica a diseñar en este proyecto se muestra la Figura 53, consta de un nodo coordinador a los que se enlaza a los dos nodos remotos; el nodo remoto A (NrA) está a una distancia de 66 metros del nodo coordinador y el nodo remoto B (NrB) está a una distancia de 69 metros.

Figura 53.

Topología de red; nodo coordinador y nodos remotos



Fuente: Autoría

3.5.5.2. Pérdidas de Potencia en el Espacio Libre

Las pérdidas de potencia en el espacio libre surgen a partir de parámetros como la obstrucción, difracción, refracción, dispersión y reflexión de las ondas electromagnéticas.

Con relación al diseño de la red inalámbrica mediante el protocolo IEEE 802.15.4, se analiza las propiedades técnicas de transmisión, tales como: ganancia, potencia de transmisión, frecuencias utilizadas en las bandas ISM para el Ecuador y principalmente la ubicación geográfica de cada uno de los nodos para determinar si existen obstrucciones al transmitir información.

Cálculo de Distancia. Para el cálculo de la distancia de cada nodo, se basa en las coordenadas geográficas descritas en la Tabla 43 y mediante de la ecuación (12), se obtiene la distancia entre cada nodo.

$$d = \sqrt{[111.32 * (LaNA - LaNC)]^2 + [111.32 * (LeNA - LeNC)]^2 + \left(\frac{HeNC - HeNA}{1000}\right)^2} \quad (12)$$

Cálculo de Distancia Entre Nodo Coordinador (NC) y Dodo Remoto A (NrA).

La distancia por calcular que se obtiene mediante la ecuación (12), los cálculos matemáticos son las coordenadas geográficas entre el nodo coordinador y nodo remoto A.

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.620454 - 0.619867)]^2 + [111.32 * (-77.596103 + 77.596117)]^2 + \left(\frac{3015 - 3005}{1000}\right)^2}$$

$$d = 0.066123 [Km]$$

$$d = 66.12 (metros)$$

Cálculo de Distancia Entre Nodo Coordinador (NC) y Nodo Remoto B (NrB).

De igual forma se calcula la distancia con los datos de las coordenadas geográficas entre el nodo coordinador y el nodo remoto B.

$$d = \sqrt{[111.32 * (0.620457 - 0.619867)]^2 + [111.32 * (-77.59594 + 77.596117)]^2 + \left(\frac{3015 - 3006}{1000}\right)^2}$$

$$d = 0.06915 [Km]$$

$$d = 69.15 [metros]$$

Ángulo de Azimut. El ángulo de azimut es la medida de fijación de la antena en el plano horizontal a partir de un meridiano de referencia, usualmente se utiliza el norte, para el cálculo de este ángulo se basa en la ecuación (13) y ecuación (14).

$$azimut = \tan^{-1}(\theta) \quad (13)$$

$$\theta = \frac{\Delta longitud}{\Delta latitud} \quad (14)$$

Donde θ ; es la diferencia entre la variación de longitud y latitud entre los puntos como se ilustra en la ecuación (14).

$$\theta = \frac{LeNA - LeNC}{LaNA - LaNC} \quad (15)$$

Cálculo del ángulo de azimut entre NrA y NC. Mediante la ecuación (15), se realiza el cálculo del ángulo de azimut entre el nodo remoto A (NrA) y nodo coordinador (NC)

$$\theta = \frac{-77.596103 + 77.596117}{0.620454 - 0.619867}; \theta = 0.0480$$

$$azimut = \tan^{-1}(0.023850)$$

$$azimut = 1.366^\circ$$

Cálculo del Ángulo de Azimut entre NrB y NC. De forma similar se realiza el cálculo del ángulo de azimut entre el nodo remoto (NrB) y nodo coordinador

$$\theta = \frac{LeNB - LeNC}{LaNB - LaNC}$$

$$\theta = \frac{-77.595924 + 77.596117}{0.620457 - 0.619867}; \theta = 0.54366$$

$$azimut = \tan^{-1}(0.322033)$$

$$azimut = 17.85^\circ$$

Ángulo de elevación. El ángulo de elevación es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena y desde el plano horizontal, para calcular dicho ángulo se basa en las ecuaciones (16) y (17).

$$elevación = \tan^{-1}(\alpha) \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{HeNC - HeNA}{d} \quad (17)$$

Donde α : representa la variación de alturas y distancias entre los puntos de cada uno de los nodos.

Cálculo del Ángulo de Elevación Entre NrA y NC. A continuación, se realiza el cálculo matemático entre el ángulo de elevación del nodo remoto A (NrA) con respecto al nodo coordinado (NC)

$$\alpha = \frac{(3003 - 3015)}{66.12} [mts]; \alpha = -0.181488$$

$$elevación = \text{tang}^{-1}(-0.181488)$$

$$elevación = -10.28^\circ$$

Cálculo del Ángulo de Elevación Entre NrB y NC. De la misma manera se realiza el cálculo del ángulo de elevación entre el nodo remoto B (NrB) y nodo coordinador (NC).

$$\alpha = \frac{(3000.5 - 3015)}{69.15} [mts]; \alpha = -0.209689$$

$$elevación = \text{tang}^{-1}(-0.209689)$$

$$elevación = -11.84^\circ$$

Cálculo de Atenuación en el Espacio Libre. La atenuación en el espacio libre se deriva entre la relación de potencia entre el transmisor y la pérdida de potencia recibida en el transmisor, como se expresa en la ecuación (18).

$$L_{bf}|_{dB} = 32.5 + 20 \log [f(MHz)] + 20 \log [d(Km)] \quad (18)$$

Cálculo de Atenuación entre Nodo Coordinador (NC) y Nodo Remoto A (NrA). En base a la ecuación (18), se realiza el cálculo de atenuación entre el nodo coordinador (NC) y nodo remoto A (NrA), estos cálculos se los realiza en las frecuencias de 2.4 [GHz].

$$L_{bf} = 32.5 + 20 \log(2400) + 20 \log(0.06612)$$

$$L_{bf} = 76.51 \text{ dB}$$

Cálculo de Atenuación entre Nodo Coordinador (NC) y Nodo Remoto B (NrB). Se realiza el cálculo de atenuación entre el nodo coordinador (NC) y nodo remoto B (NrB), estos cálculos se los realiza en las frecuencias de 2.4 [GHz].

$$L_{bf} = 32.5 + 20 \log(2400) + 20 \log(0.06912)$$

$$L_{bf} = 76.89 \text{ dB}$$

Cálculo de Atenuación de Pérdidas de Vegetación. Mediante la ecuación (19), se realiza el cálculo de pérdidas o atenuación por la presencia de vegetación $L_v(\text{dB})$, según la norma UIT-R P833 en las bandas de frecuencias UHF [300MHz - 3GHz].

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 0.2f^{0.3}d^{0.2} \quad (19)$$

$$L_t = l_{bf}(\text{dB}) + l_v(\text{dB}) \quad (20)$$

Cálculo de Atenuación Nodo Coordinador NC y Nodo NrA. Haciendo uso de la ecuación (20), se realiza el cálculo de la atenuación entre el nodo coordinador y nodo remoto A.

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 0.2f^{0.3}d^{0.2}$$

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 0.2(2400)^{0.3}(66.12)^{0.2}$$

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 4.77 \text{ dB}$$

$$L_t = l_{bf}(\text{dB}) + l_v(\text{dB})$$

$$L_t = 76.51 + 4.77$$

$$L_t = 81.28 \text{ dB}$$

Cálculo de Atenuación Nodo Coordinador NC y Nodo NrB. De igual manera se utiliza la ecuación (20), para el cálculo de la atenuación que existe entre el nodo coordinador y nodo remoto B.

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 0.2f^{0.3}d^{0.2}$$

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 0.2(2400)^{0.3}(69.15)^{0.2}$$

$$L_{v-ITU}(\text{dB}) = 4.43 \text{ dB}$$

$$L_t = l_{bf}(\text{dB}) + l_v(\text{dB})$$

$$L_t = 76.89 + 4.82$$

$$L_t = 81.71 \text{ dB}$$

Cálculo de Potencia de Recepción. Para calcular la potencia de recepción se realiza un análisis técnico de las características del módulo de comunicación XBee S2C y mediante la ecuación (21), se realiza el cálculo matemático.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_t \quad (21)$$

Donde:

- Potencia de transmisión = 6.3 [mW] = 8[dBm]
- Ganancia de la antena de transmisión = 3 [dBi]
- Ganancia de la antena de recepción = 3[dB]

- Frecuencia de operación = 2405 [MHz] a 2480 [MHz]

Cálculo de Recepción Nodo Coordinador NC y Nodo Remoto NrA a (58.89m). En este apartado se hace uso de la ecuación (21), para determinar la potencia de recepción entre el nodo coordinador y nodo remoto A, a una distancia de 66.12 metros.

$$P_{RX}(dBm) = G_{TX}(dBi) + G_{RX}(dBi) - L_t(dB)$$

$$P_{RX}(dBm) = 8 + 3 + 3 - 81.28$$

$$P_{RX}(dBm) = -67.28 \text{ dBm}$$

$$RSSI(58.89) = P_{RX} \text{ dBm} (66.12) = -67.28 \text{ dBm}$$

Cálculo de Recepción Nodo Coordinador NC y Nodo Remoto NrA a (45.81m). De igual manera se utiliza la ecuación (21) para el cálculo de la potencia de recepción entre en nodo coordinador y nodo remoto A, a una distancia de 69.15 metros.

$$P_{RX}(dBm) = P_{TX}(dBm) + G_{TX}(dBi) + G_{RX}(dBi) - L_t(dB)$$

$$P_{RX}(dBm) = 8 + 3 + 3 - 81.71$$

$$P_{RX}(dBm) = -67.71 \text{ dBm}$$

$$RSSI(45.81) = P_{RX} \text{ dBm} (69.15) = -67.71 \text{ dB}$$

3.5.5.3. Simulación de Red Inalámbrica

El software Radio Mobile, permite simular perfiles geográficos del terreno combinando con las especificaciones técnicas del protocolo de comunicación como pérdidas de transmisión, sensibilidad del receptor, potencia de transmisión, ángulo de elevación y azimut y las características de las antenas.

Ubicación Geográfica de los Nodos. Las coordenadas geográficas de cada uno de los nodos se detallan en la Tabla 43, y la ubicación de cada uno de los nodos remotos y el nodo coordinador que están instalados en el laboratorio se muestra la Figura 54.

Figura 54.

Ubicación geográfica de los nodos



Fuente: Autoría

Parámetros de Configuración XBee. Los parámetros de configuración de la red utilizando los módulos de comunicación inalámbrica XBee S2C son establecidos en la hoja de especificaciones (véase ANEXO D).

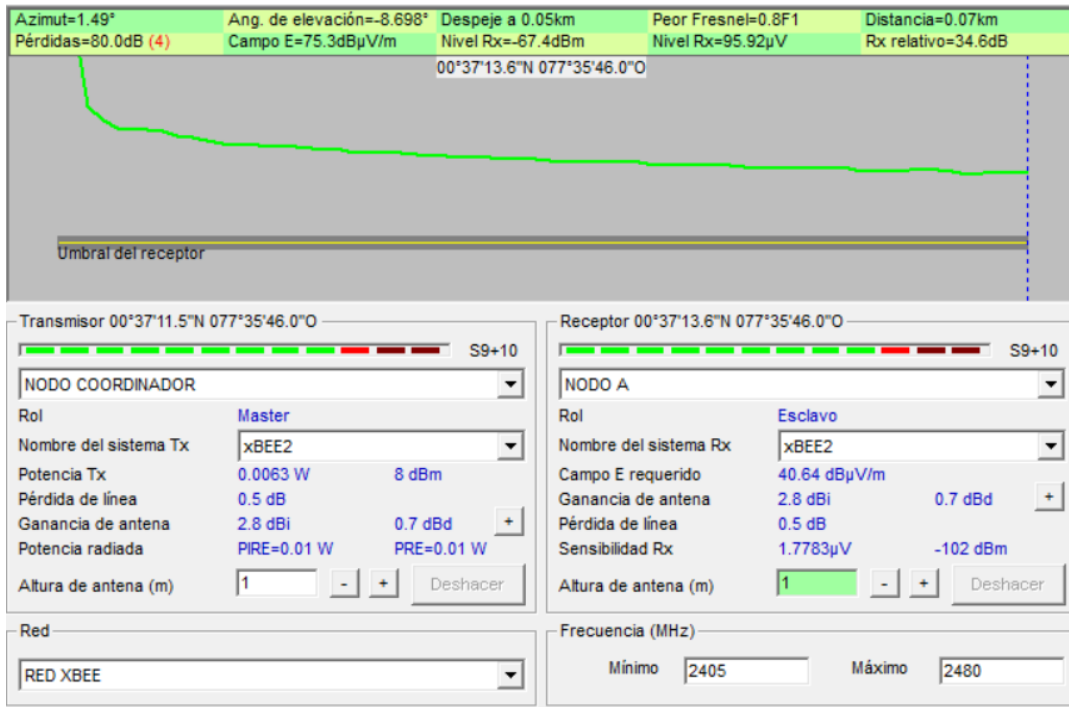
- Frecuencia de operación: 2405 [MHz] - 2480[GHz]

- Polarización: Horizontal
- Potencia de transmisión: 8[dBm]
- Umbral de recepción: -100 [dBm]
- Ganancia de la antena: 3[dBi]

Resultados de Simulación. A continuación, se analizan los resultados simulados en el software Radio Mobile, en lo que se indica la distancia entre los nodos, ángulos de elevación y azimut y pérdidas en el espacio libre, entre otros, tales como en la Figura 55.

Figura 55.

Resultado de simulación nodo coordinador y nodo remoto A

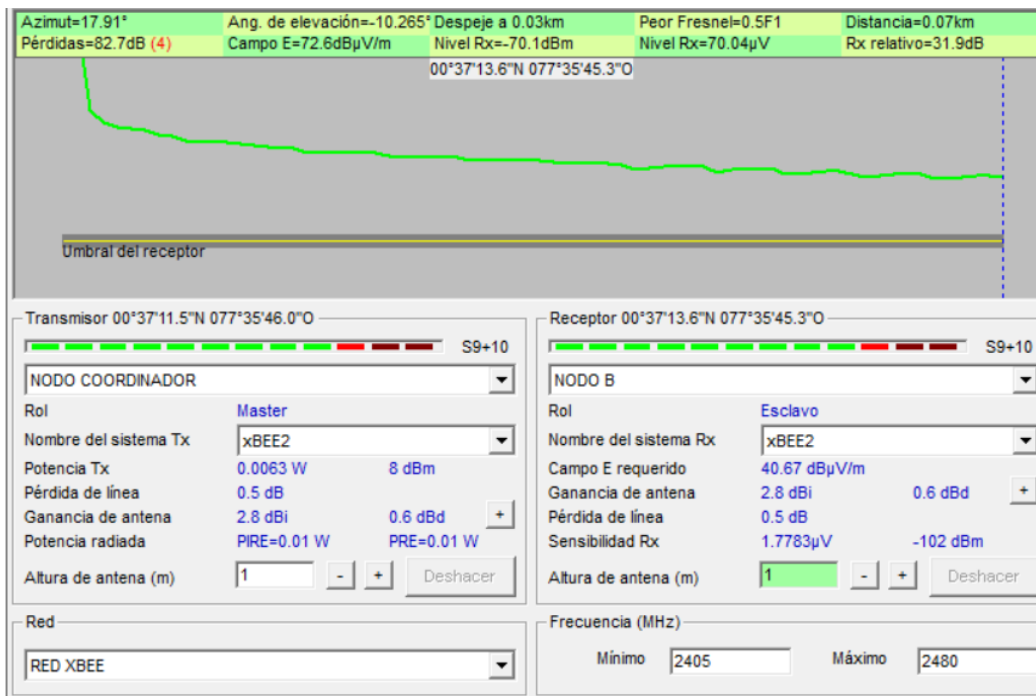


Fuente: Adaptado del simulador RadioMobile

De la misma forma se muestra los resultados simulados entre el nodo coordinador y nodo remoto B, como se ilustra en la Figura 56.

Figura 56.

Resultado de simulación nodo coordinador y nodo remoto B

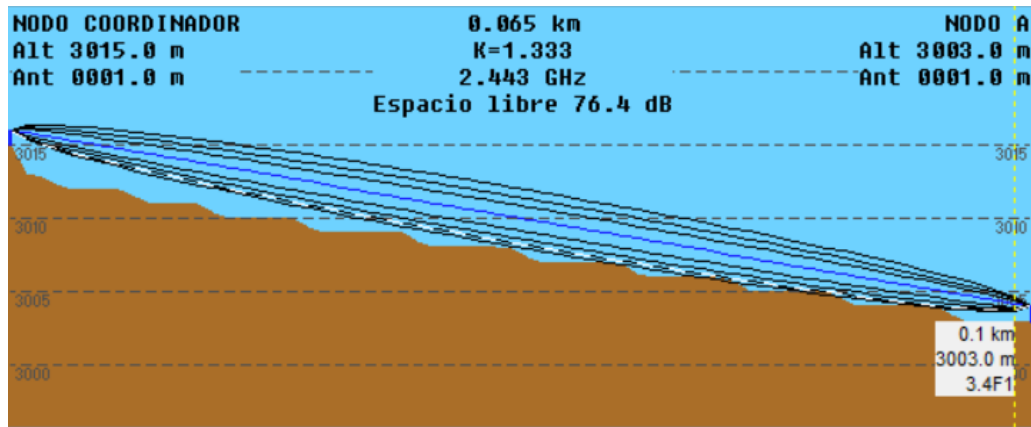


Fuente: Adaptado del simulador RadioMobile

Perfil Geográfico del Terreno. Los resultados del perfil geográficos del terreno de la simulación de la red entre el nodo coordinador y nodo remoto A; se visualiza en la Figura 57, en la que se muestra el nodo coordinador a una altura de 3015 msnm y el nodo remoto A, a una distancia de 3003 msnm.

Figura 57.

Perfil geográfico en transmisión nodo coordinador y nodo remoto B.

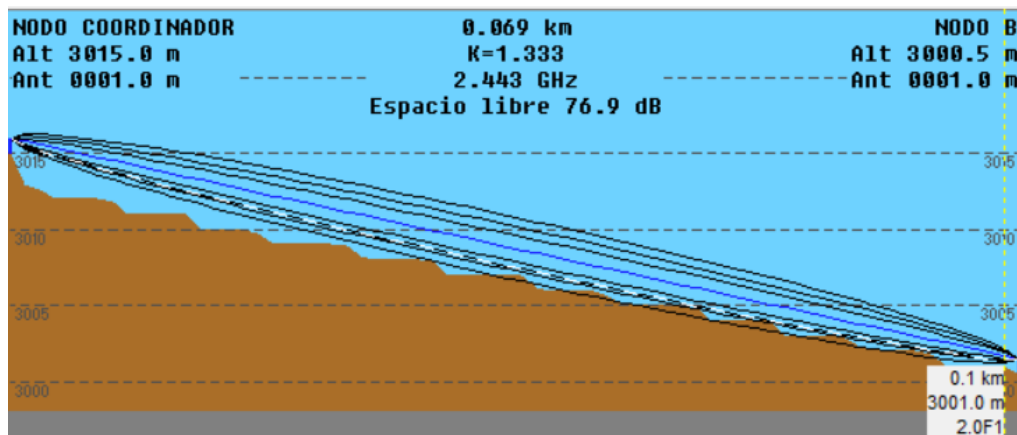


Fuente: Adaptado del simulador RadioMobile

De igual forma en la Figura 58, se muestra al nodo coordinador y nodo remoto B con su respectivo perfil geográfico.

Figura 58.

Perfil geográfico en transmisión nodo coordinador y nodo remoto B.



Fuente: Adaptado del simulador RadioMobile

3.5.5.4. Comparación de Resultados.

Cada uno de los parámetros que influyen en el diseño de la red inalámbrica se muestran en la Tabla 44. Estos resultados son obtenidos mediante cálculos matemáticos y simulación a través del software Radio Mobile. Se realiza una comparación con cada uno de los resultados obtenidos y se identifica que la atenuación en el software Radio Mobile es mayor a los datos cálculos con un aproximado de 1.5[dB] en pérdidas.

Tabla 44.

Comparativa de resultados simulados y calculados

Parámetros	NODO CD - NODO RA		NODO CD - NODO RB	
	Calculados	Radio Mobile	Calculados	Radio Mobile
Distancia nodos	0.06612 [km]	0.065[km]	0.06915[km]	0.069[km]
Azimuth	1.366°	1.49°	17.85°	17.91°
Elevación	-10.28°	-10.402°	-11.84°	-11.863°
Atenuación en 2.4 [GHz]	81.28[dB]	80.6[dB]	81.71[dB]	80.5[dB]
Nivel Rx [dBm]	-67.28[dBm]	-66.0[dBm]	-67.21[dBm]	-68.1[dBm]

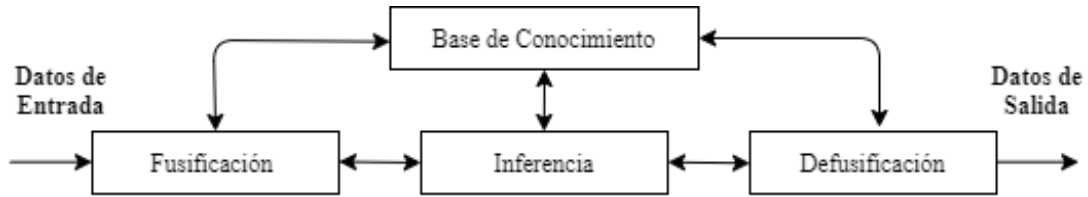
Fuente: Autoría.

3.5.6. Diseño del Controlador Difuso

La arquitectura general del sistema difuso mediante el modelo de Mandani, se basa en tres etapas, la Fusificación, la base de conocimiento del sistema y la Defuzzificación, como se ilustra en la Figura 59.

Figura 59.

Diagrama de bloques del sistema difuso

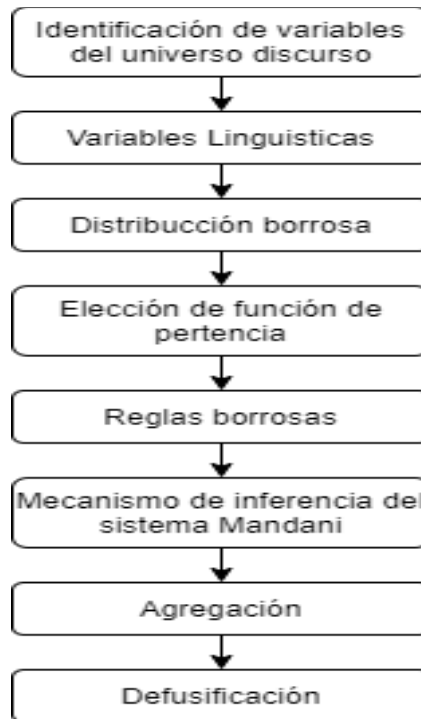


Fuente: Autoría

A continuación, para el desarrollo del sistema de control se establece en un flujograma para definir los pasos correctos de variables y parámetros, como se ilustra en la Figura 59.

Figura 60.

Flujograma de diseño del controlador difuso



Fuente: Autoría

3.5.6.1. Identificación de Variables del Universo Discurso

En consecuencia, para determinar un universo discurso se establece variables del sistema especificando claramente el conjunto tanto de entrada y salida que se relaciona a través del controlador difuso.

Tabla 45.

Variables del universo discurso

Tipo Conjunto	Conjunto
Entrada	Temperatura del Agua
	Niveles de pH
	Saturación de oxígeno en el Agua
Salida	Estado

Fuente: Autoría

En la Tabla 45, se ilustran los conjuntos de entrada y salida con sus respectivas variables, la variable de temperatura representa al sensor DS18B20 realizando la adquisición de magnitudes físicas sobre la temperatura del agua y previamente configurada en grados centígrados, los niveles de temperatura del agua que predomina en esta zona van desde los 3°C hasta los 18°C.

De forma similar, la variable pH representa al sensor de pH arrojando datos analógicos de la acidez del agua en el que se encuentra, estos niveles están comprendidos entre 0 a 12, siendo el valor de 6.5 a 8.5 los valores ideales para la producción de esta especie. Por otra parte, la variable de saturación de oxígeno se

obtiene a partir del sensor DO que permite medir el porcentaje de saturación de oxígeno en el agua comprendiendo un valor de 0% al 100%. Finalmente, el conjunto de salida se obtiene la variable de estado en la que establece una respuesta de notificación al sistema de monitoreo debido a los cambios climáticos y cambios de estados del agua en los estanques de alevines.

3.5.6.2. Variables Lingüísticas

Las variables lingüísticas se determinan en base a los conjuntos de entrada y salida con un determinado rango. Este proceso se desarrolla en base a un conocimiento de un experto a partir de las experiencias obtenidas.

$$T = [4, 20] \Rightarrow \{x \in T\} \Rightarrow \text{grados centigrados } (^{\circ}\text{C})$$

$$P = [0, 12] \Rightarrow \{x \in P\} \Rightarrow \text{Valor analógico}$$

$$O = [0, 100] \Rightarrow \{x \in O\} \Rightarrow \text{porcentaje (100\%)}$$

$$E = [0, 10] \Rightarrow \{x \in N\} \Rightarrow \text{Notificación}$$

Donde:

$$T [\text{temperatura agua}]; P [\text{pH agua}], O [\text{oxígeno disuelto}], E [\text{estado}]$$

Cada una de estas magnitudes hacen referencia a las variables de cada uno de los sensores del sistema de monitoreo y se determina las fronteras de operación con respecto a la función de pertenencia.

3.5.6.3. Distribución Borrosa

A cada variable lingüística se le asigna diferentes términos lingüísticos los cuales se denominan subconjuntos dentro de un universo discurso, cada uno de estos términos poseerá un nombre y unas sintaxis. En la Figura 61, se ilustra el conjunto difuso comprendido en: cinco subconjuntos pertenecientes a la temperatura del agua, cuatro subconjuntos pertenecientes al pH del agua, tres subconjuntos pertenecientes a los niveles de saturación de oxígeno en el agua y el último subconjunto con tres estados perteneciente al estado del sistema.

Cada una de estas características se expresan como valores intermedios e inexactos por lo que hace factible el estudio con lógica difusa.

Figura 61.

Distribución borrosa del sistema de monitoreo

$$\text{Conjunto difuso} \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Temperatura_agua}[T]; [4,20][^{\circ}C] \left\{ \begin{array}{l} \text{Baja [TB]} \\ \text{Optima [TO]} \\ \text{Alta [TA]} \end{array} \right. \\
 \text{pH_agua}[P]; [0,12] \left\{ \begin{array}{l} \text{Acido [PAc]} \\ \text{Neutro [PN]} \\ \text{Alcalino [PAL]} \end{array} \right. \\
 \text{Oxigeno_agua}[O]; [0,100][\%] \left\{ \begin{array}{l} \text{Critico [OC]} \\ \text{Alto [OA]} \\ \text{Optimo [OO]} \end{array} \right. \\
 \text{Estado_sistema}[E]; [0,10] \left\{ \begin{array}{l} \text{Critico [EC]} \\ \text{Moderado [EM]} \\ \text{Estable [EE]} \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Fuente: Autoría

3.5.6.4. Elección de Función de Pertenencia

A cada uno de los términos lingüísticos se le asocia un conjunto difuso que está compuesto por una función de pertenencia con su respectiva expresión matemática y su gráfica representativa. En la Tabla 46, se ilustra los conjuntos de función de pertenencia del sistema de monitoreo, en la que muestra sus términos lingüísticos y funciones de pertenencia como la trapezoidal y triangular con sus respectivos valores del universo discurso.

Tabla 46.

Conjuntos de funciones de pertenencia del sistema de monitoreo

Termino lingüístico	Función de membresía	Universo del discurso [°C]
Temperatura Agua		
TB	Trapezoidal	[1, 7, 8]
TO	Triangular	[7, 10, 13]
TA	Trapezoidal	[12, 13, 20]
<i>pH Agua</i>		
PAC	Trapezoidal	[1, 6.3, 6.7]
PN	Triangular	[6,5 7.25, 8]
PAI	Trapezoidal	[7.8, 8.2, 12]
<i>Oxígeno Agua</i>		
OC	Trapezoidal	[1, 58, 80]
OA	Triangular	[58, 63.5, 69]
OO	Trapezoidal	[67, 69,100]
<i>Estado sistema</i>		
EC	Trapezoidal	[1, 3.33, 4.33]
EM	Triangular	[3.3, 4.9, 6.6]

EE	Trapezoidal	[5.6, 6.6, 10]
----	-------------	----------------

Fuente: Autoría

En base al (*apartado 2.8.2.2*) se hace referencia a las diferentes funciones de pertenencia, por ello es necesario recalcar que las funciones empleadas en el desarrollo de este control difuso son la trapezoidal y triangular.

Conjunto de Temperatura. Es importante analizar los niveles de temperatura y establecer el universo discurso para ser representado por expresiones matemáticas como la función trapezoidal y la triangular.

Figura 62.

Distribución borrosa conjunto temperatura.

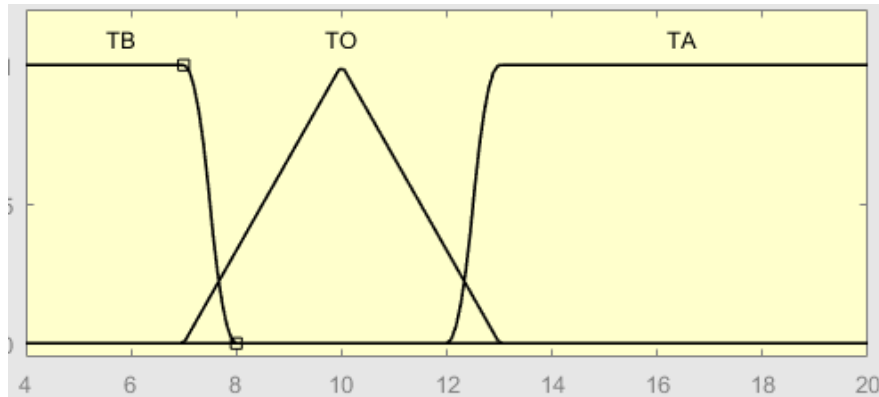
$$\text{Temperatura}_{\text{agua}}[4,20][^{\circ}\text{C}] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Baja [TB]; } [4,7] \{1\} \text{ si } x \in (4,7) \\
 [7,8] \left\{ \frac{8-x}{8-7} \right\} \text{ si } x \in (7,8) \\
 \text{Optima [TO]; } [7,10] \left\{ \frac{x-7}{10-7} \right\} \text{ si } x \in (7,10) \\
 [10,13] \left\{ \frac{13-x}{13-10} \right\} \text{ si } x \in (10,13) \\
 \text{Alta [TA]; } [12,13] \left\{ \frac{x-12}{13-12} \right\} \text{ si } x \in (12,13) \\
 [13,20] \{1\} \text{ si } x \in (13,20)
 \end{array} \right.$$

Fuente: Autoría

En la Figura 63, a través del software Matlab se puede simular el conjunto de pertenencia de la temperatura con sus términos lingüísticos y sus rangos del universo discurso.

Figura 63.

Gráfica de la función de pertenencia temperatura



Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España. Autoría

Conjunto pH. De manera semejante se fija los niveles que puede tomar la variable del pH en el agua y se establece un universo discurso a través de la función de pertenencia con las siguientes expresiones matemáticas que se muestran en la Figura 64.

Figura 64.

Distribución borrosa conjunto pH del agua

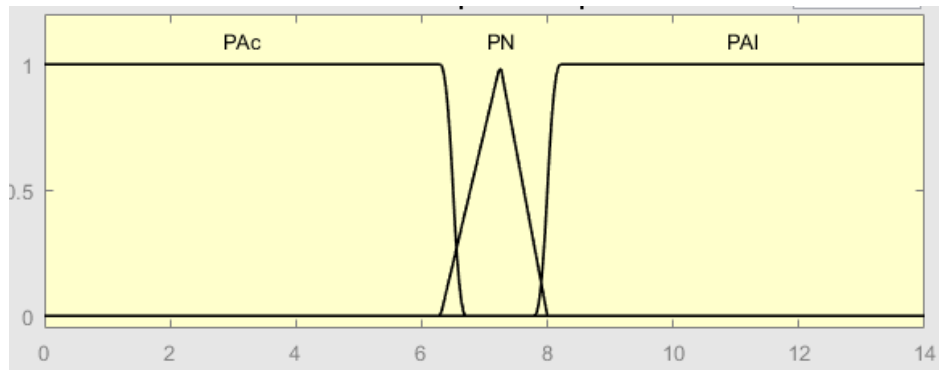
$$\text{pH_agua}[0,14] \left\{ \begin{array}{l} \text{Acido [PAc]} [0,6.3] \{1\} \text{ si } x \in (0,6.3) \\ [6.3,6.7] \left\{ \frac{6.3-x}{6.3-6.7} \right\} \text{ si } x \in (6.3,6.7) \\ \text{Neutro [PN]} = [6.5,7.25]; \left\{ \frac{x-6.5}{7.25-6.5} \right\} \text{ si } x \in (6.5,7.25) \\ [7.25,8]; \left\{ \frac{8-x}{8-7.25} \right\} \text{ si } x \in (7.25,8) \\ \text{Alcalino [PAL]}; [7.8,8.2]; \left\{ \frac{x-7.8}{8.2-7.8} \right\} \text{ si } x \in (7.8,8.2) \\ [8.2,14] \{1\} \text{ si } x \in (8,14) \end{array} \right.$$

Fuente: Autoría

En la Figura 64 se ilustra la gráfica de la función de pertenencia del pH en el agua con sus términos lingüísticos y sus respectivos límites.

Figura 65.

Gráfica de la función de pertenencia pH



Fuente: Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España. Autoría

Conjunto de Oxígeno Disuelto. De manera similar se determina los valores que puede tomar la variable del oxígeno y se fija el universo discurso a través de las ecuaciones trapezoidal y triangular con sus respectivas variables lingüísticas, como en la Figura 66.

Figura 66.

Distribución borrosa conjunto del oxígeno disuelto en el agua

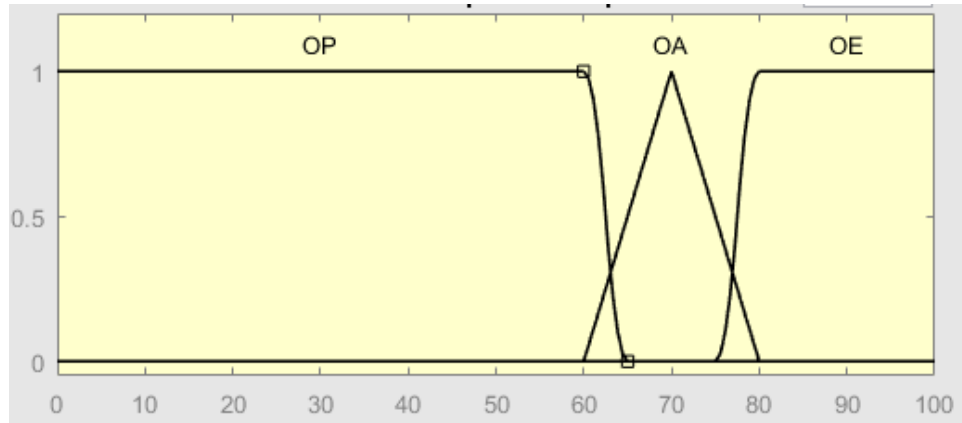
$$\text{Oxigeno_agua}[0,100][\%] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Critico [OC]; } [0, 58]; \{1\} \text{ si } x \in (0, 58) \\
 [58, 63.5]; \left\{ \frac{63.5 - x}{63.5 - 58} \right\} \text{ si } x \in (58, 63.5) \\
 \text{Estable [OA]; } [58, 63.5]; \left\{ \frac{x - 58}{63.5 - 58} \right\} \text{ si } x \in (58, 63.5) \\
 [63.5, 69]; \left\{ \frac{69 - x}{69 - 63.5} \right\} \text{ si } x \in (63.5, 69) \\
 \text{Estable [OO]; } [67, 69]; \left\{ \frac{x - 68}{68 - 74} \right\} \text{ si } x \in (67, 69) \\
 [69, 100]; \{1\} \text{ si } x \in (69, 100)
 \end{array} \right.$$

Fuente: Autoría

Definido los cálculos matemáticos del conjunto de oxígeno, con la ayuda de Matlab se grafica su función, como se muestra en la Figura 67.

Figura 67.

Gráfica de la función de pertenencia oxígeno disuelto



Fuente: Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España. Autoría

Conjunto Estado del Sistema. En el último lugar se tiene el conjunto de estado del sistema, en la que se determina los valores de cada una de las variables lingüísticas para las funciones trapezoidal y triangular.

Figura 68.

Distribución borrosa conjunto del

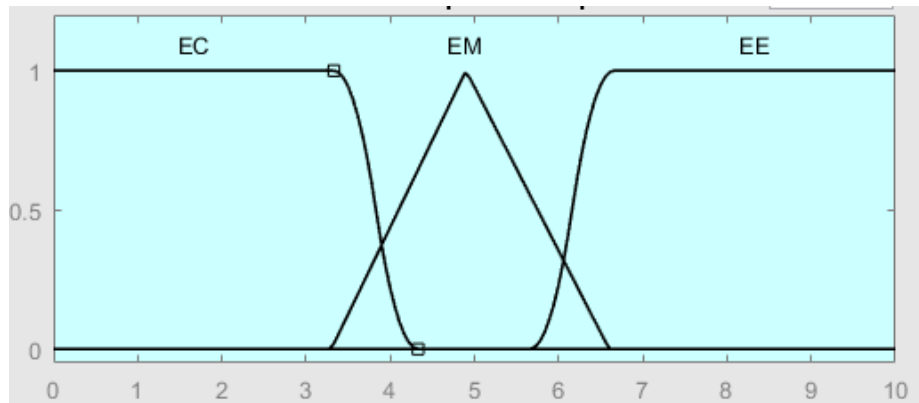
$$\text{Estado_sistema } [0,10] \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Crítico [EC]; } [1, 3.33]; \{1\} \text{ si } x \in (1, 3.33) \\
 [3.33, 4.33] \left\{ \frac{4.33 - x}{4.33 - 3.33} \right\} \text{ si } x \in (3.33, 4.33) \\
 \text{Moderado [EM]; } [3.33, 4.9]; \left\{ \frac{x - 3.33}{4.9 - 3.33} \right\} \text{ si } x \in (3.33, 4.9) \\
 [4.9, 6.6]; \left\{ \frac{6.6 - x}{6.6 - 4.9} \right\} \text{ si } x \in (4.9, 6.6) \\
 \text{Estable [EE]; } [5.6, 6.6] \left\{ \frac{x - 5.6}{6.6 - 5.6} \right\} \text{ si } x \in (5.6, 6.6) \\
 [6.6, 10]; \{1\} \text{ si } x \in (6.6, 10)
 \end{array} \right.$$

Fuente: Autoría

En base a las funciones anteriormente mencionadas y con la ayuda de Matlab se puede visualizar la gráfica del conjunto de estado de membresía con sus respectivos valores y variables lingüísticas, como se muestra en la Figura 69.

Figura 69.

Gráfica de la función de pertenencia



Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España. Autoría

3.5.6.5.Reglas Borrosas

En esta etapa del diseño se utiliza el método de Ebrahim Mandani para determinar las reglas de todas las combinaciones de los subconjuntos difusos con las entradas de los términos lingüísticos y la salida de las reglas de control estableciendo un total de 27 reglas difusas, véase Tabla 46. Cada una de estas reglas está compuesta por los conjuntos de pertenencia y con el operador lógica AND de Zadeh (min) denominada inserción.

La elección de las 27 reglas difusas parte de la elección de los subconjuntos de pertenencia, en el subconjunto de temperatura contiene 3 variables lingüísticas, con un universo discurso entre 4°C hasta 20°C, de igual manera se establece que para el conjunto de

pH del agua, se tiene 3 variables lingüísticas, que comprende un universo discurso de 0 a 14 iones de hidrógeno y finalmente el subconjunto de saturación de oxígeno que comprende un universo entre el 0 al 100 de saturación con 3 variables lingüísticas.

Tabla 47.

Base de datos de reglas difusas

#	REGLAS DIFUSAS											
1	If	T es	TB	and	P es	PAc	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
2	If	T es	TB	and	P es	PAc	and	O es	OA	Entonces	E es	EC
3	If	T es	TB	and	P es	PAc	and	O es	OO	Entonces	E es	EC
4	If	T es	TB	and	P es	PN	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
5	If	T es	TB	and	P es	PN	and	O es	OA	Entonces	E es	EM
6	If	T es	TB	and	P es	PN	and	O es	OO	Entonces	E es	EM
7	If	T es	TB	and	P es	PAI	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
8	If	T es	TB	and	P es	PAI	and	O es	OA	Entonces	E es	EC
9	If	T es	TB	and	P es	PAI	and	O es	OO	Entonces	E es	EC
10	If	T es	TO	and	P es	PAc	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
11	If	T es	TO	and	P es	PAc	and	O es	OA	Entonces	E es	EC
12	If	T es	TO	and	P es	PAc	and	O es	OO	Entonces	E es	EC
13	If	T es	TO	and	P es	PN	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
14	If	T es	TO	and	P es	PN	and	O es	OA	Entonces	E es	EE
15	If	T es	TO	and	P es	PN	and	O es	OO	Entonces	E es	EE
16	If	T es	TO	and	P es	PAI	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
17	If	T es	TO	and	P es	PAI	and	O es	OA	Entonces	E es	EC
18	If	T es	TO	and	P es	PAI	and	O es	OO	Entonces	E es	EC
19	If	T es	TA	and	P es	PAc	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
20	If	T es	TA	and	P es	PAc	and	O es	OA	Entonces	E es	EC

21	If	T es	TA	and	P es	PAc	and	O es	OO	Entonces	E es	EC
22	If	T es	TA	and	P es	PN	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
23	If	T es	TA	and	P es	PN	and	O es	OA	Entonces	E es	EM
24	If	T es	TA	and	P es	PN	and	O es	OO	Entonces	E es	EM
25	If	T es	TA	and	P es	PAI	and	O es	OC	Entonces	E es	EC
26	If	T es	TA	and	P es	PAI	and	O es	OA	Entonces	E es	EC
27	If	T es	TA	and	P es	PAI	and	O es	OO	Entonces	E es	EC

Fuente: Autoría

3.5.6.6. Mecanismos de Inferencia del Sistema Mandani

El sistema de mecanismo de inferencia por el método de Mandani hace referencia a las reglas que se ilustran en la Tabla 47, con la finalidad de obtener las conclusiones de las variables lingüísticas de salida a partir de las variables de entrada. A cada una de las 27 reglas se le aplica la ecuación (18), que se denota a continuación.

$$\mu_{A \cap B}(X) = \min[\mu_A(X), \mu_B(X)] \quad (22)$$

La solución de este sistema de control se da en base a los tres subconjuntos de entrada, aplicando la propiedad distributiva como se muestra en la siguiente ecuación.

$$T \cup (P \cap O) = (T \cap P) \cup (P \cap O) \quad (23)$$

$$\mu_{T \cap P \cap O}(X) = \{\min[\mu_T(X), \mu_P(X)], \min[\mu_P(X), \mu_O(X)]\} \quad (24)$$

3.5.6.7. Agregación

Las reglas definidas en base al conocimiento técnico y experiencia del experto en piscicultura son necesarias para el accionar frente a la toma de decisiones mediante las reglas del controlador difuso (*véase 3.5.6.5*), en este proceso de agregación permite combinar cada una de las reglas del conjunto difuso y aplicar una acción de salida como único conjunto difuso de salida, en este proceso se lleva a cabo solo una vez para cada una de las etiquetas de la variable de salida.

3.5.6.8. Defusificación

El último proceso es la Defusificación, tiene como objetivo obtener un valor de salida real aplicable al sistema de monitoreo como resultado del conjunto difuso generado en la etapa de agregación. Se utiliza el método de centroide que transforma la salida difusa en un número real. En esta etapa, se obtiene la salida del sistema de monitoreo, en la que notifica al usuario sobre el estado de sus estantes, con su función de membresía y variables lingüísticas.

CAPITULO IV. Implementación del Sistema de Monitoreo y Pruebas de Funcionamiento

En el desarrollo de este capítulo, describe el proceso funcionamiento en cada uno de los bloques del diseño del sistema de monitoreo inteligente, en primer lugar, se realizan pruebas individuales de cada uno de los bloques tanto en hardware como en software, en segundo lugar se implementa el armado del hardware en una case para cumplir con los requerimientos del sistema frente a la protección de humedad y se realiza un test de laboratorio para determinar su correcto funcionamiento y finalmente se implementa el sistema de monitoreo en el laboratorio de “Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis” para determinar las variables de control y monitoreo en base al algoritmo de lógica difusa mediante la matriz de confusión. Todo este proceso se lleva a cabo para verificar que los requerimientos planteados en el Capítulo III se cumplan.

4.1.Pruebas Individuales del Sistema de Monitoreo

A continuación, se establecen diversas pruebas de funcionamiento del sistema, dichas pruebas son individuales y se las realiza en cada uno de los bloques.

4.1.1. Pruebas de Consumo Eléctrico Nodos Remotos

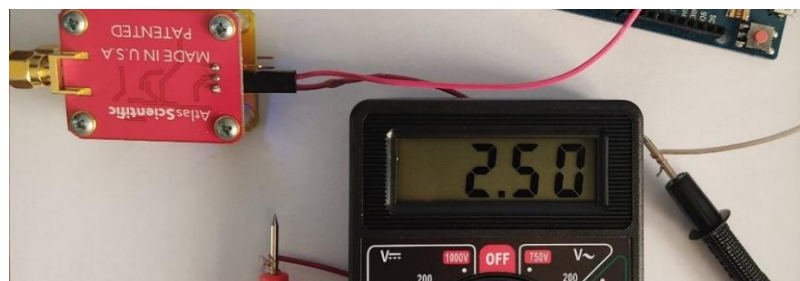
En este apartado se realiza el análisis del consumo eléctrico de cada uno de los dispositivos electrónicos de los nodos remotos, cabe recalcar que el consumo energético en el nodo remoto A y nodo remoto B van a ser similares debido a que usan los mismos

componentes. La medición de esta magnitud eléctrica se la realiza mediante un multímetro digital y se compara con los valores calculados en el apartado 3.4.1.5.

En la Figura 70, se realiza el análisis de consumo de corriente del sensor de pH que esta está conectado al microcontrolador Arduino suministrándole una tensión de 3.3V con una corriente de 2.5mA.

Figura 70.

Consumo de corriente Sensor de pH Atlas Scientific



Fuente: Autoría

A cada uno de los sensores y módulos se realiza este proceso de medición con la herramienta del multímetro para comprobar el consumo de corriente de estos dispositivos, dichos datos se muestran en la Tabla 48.

De las evidencias anteriores y aplicando la ecuación (25) para establecer el cálculo de la potencia eléctrica de los dispositivos electrónicos, se muestra a detalle el proceso para determinar el consumo de potencia del microcontrolador Arduino Leonardo. Todo este proceso se realiza a cada componente electrónico

$$P = V * I \quad (25)$$

$$P = 9.0 [V] * 38.8[mA]$$

$$P = 349.2[mW]$$

$$P = 0.3492 [W]$$

Tabla 48.

Tabla de consumo eléctrico nodo remoto

Dispositivo	Voltaje [VcD]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Arduino Leonardo	9.00	38.8	0.3492
Sensor de Temperatura DS18B20	3.3	0.7uA	0.00000231
Sensor de pH	3.3	2.5	0.825
Sensor de OD	3.3	0.27	0.00891
Módulo XBee S2c	3.3	44.8	0.14784
TOTAL		87.3707[mA]	1.331 [W]

Fuente: Autoría

De los resultados obtenidos de la Tabla 48, se especifica un consumo de corriente de 87.3707 [mA] con una potencia eléctrica de 1.331[W], estos datos son fundamentales para determinar el consumo KW/h al mes, aplicando la ecuación (26).

$$kWh = kWh/1000 \tag{26}$$

$$kWh/día = 1.331[W] * 24[h]/1000$$

$$kWh/mes = 0.032016 * 30[dias]$$

$$kWh/mes = 0.96048[kWh/mes]$$

Tabla 49.

Comparativa de resultados de voltajes y potencia total

Parámetros	Calculados	Uso de Multímetro	Consumo kWh/mes
Nodo A	87.3707[mA]	87.77[mA]	0.96048 [kWh/mes]
Nodo B	87.3707[mA]	87.77[mA]	0.96048[kWh/mes]
Total	174.7414[mA]	175.4[mA]	1.92096[kWh/mes]

Fuente: Autoría

De las evidencias anteriores de la Tabla 49, se concluye que los resultados obtenidos mediante fórmulas matemáticas y el multímetro son idénticos, por lo cual estos datos son válidos para determinar el consumo eléctrico de kilovatio hora al mes arrojando un consumo eléctrico de 1.92096 [kWh/mes].

4.1.2. Pruebas de Consumo Eléctrico Nodo Coordinador

El cálculo de la potencia eléctrica de cada uno de los dispositivos electrónicos se realiza a través de la ecuación (25), estos datos pertenecen al nodo coordinador y en la Tabla 50, se detalla estos valores. El proceso que lleva a cabo es del cálculo de la potencia de la Raspberry con un consumo de 600mA.

$$P = V * I$$

$$P = 5.1 [V] * 600[mA]$$

$$P = 3.06[W]$$

Tabla 50.

Tabla de consumo eléctrico nodo coordinador

Dispositivo	Voltaje [VcD]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Raspberry Pi 4 B	5.1	600	3.06
Módulo XBee S2c	3.3	44.8	0.14784
TOTAL		644.8[mA]	3.208[W]

Fuente: Autoría

De los resultados obtenidos de la Tabla 50, se detalla un consumo de corriente de 644.8 [mA] con una potencia eléctrica de 3.208[W], estos datos son fundamentales para determinar el consumo KW/h al mes, aplicando la ecuación (26).

$$kWh = kWh/1000$$

$$kWh/día = 3.208[W] * 24[h]/1000$$

$$kWh/mes = 0.076992 * 30[días]$$

$$kWh/mes = 2.30976[kWh/mes]$$

De las evidencias anteriores muestra que el nodo coordinador tiene un consumo de 2.30976 [kWh/mes].

4.1.3. Costo del Consumo Eléctrico Mensual.

Reflejado estos datos se procede a realizar el cálculo total de consumo del sistema de monitoreo inteligente y el gasto mensual basado a la tarifa nacional de 0.1031 centavos de dólar el kilovatio hora, datos obtenidos por diario el (El Universo, 2021).

$$[kWh/mestotal] = 1.92096[kWh/mes] + 2.30976[kWh/mes]$$

$$[kWh/mestotal] = 4.23072[kWh/mes]$$

$$\$ = 4.23072[kWh/mes] * 0.1031cent$$

$$\$ = 0.44 cent$$

El consumo total al mes del sistema de monitoreo es de 0.44 centavos de dólar, cabe recalcar que este valor esta dado sin ningún impuesto adicional.

4.1.4. Pruebas de Funcionamiento NrA

En el bloque de sensores del nodo remoto A se realiza las mediciones de las variables de temperatura, pH y niveles de oxígeno, arrojando las siguientes mediciones que se muestran en la Figura 71, por lo que se determina que los datos arrojados son correctos.

Figura 71.

Resultados de lecturas bloque sensores NrA

```
{"S": "NrA", "T": 16.63, "P": 8.53, "O": 100.7}
{"S": "NrA", "T": 16.63, "P": 8.53, "O": 100.1}
{"S": "NrA", "T": 16.63, "P": 8.53, "O": 99.78}
{"S": "NrA", "T": 16.63, "P": 8.53, "O": 99.56}
```

Fuente: Autoría

4.1.5. Pruebas de Funcionamiento NrB

De igual manera, se verifica el funcionamiento del bloque de sensores del nodo remoto B, dichas variables se muestran en la Figura 72, fijando los datos recopilados por el nodo remoto B son correctos.

Figura 72.

Resultados de lecturas bloque sensores NrB

```
{"S": "NrB", "T": 16.63, "P": 7.00, "O": 99.68}  
{"S": "NrB", "T": 16.63, "P": 7.00, "O": 99.85}  
{"S": "NrB", "T": 16.63, "P": 7.00, "O": 99.77}  
{"S": "NrB", "T": 16.63, "P": 7.00, "O": 99.76}
```

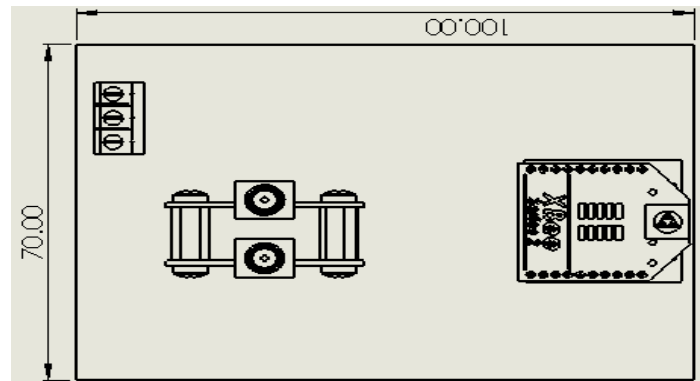
Fuente: Autoría

4.2. Implementación del Hardware

La implementación del sistema de monitoreo con los componentes electrónicos, tales como el sensor de temperatura, sensor de pH, sensor de saturación de oxígeno en el agua y el módulo de comunicación inalámbrica XBee S2C, se sustenta en el plano que contiene las medidas del PCB, dicho plano se implementó en el apartado 3.5.3.2 y en base a los planos del ANEXO, se procede a construir dicho sistema, las medias a tomar en cuenta se ilustran en la Figura 73.

Figura 73.

Plano de implementación de los nodos remotos A y B



Fuente: Autoría

En base al plano se realiza a la construcción del PCB que se muestra en la Figura 74, todos los dispositivos electrónicos que componen el bloque de sensores, bloque de recolección de información y bloque de comunicación inalámbrica se ensambla sobre el microcontrolador Arduino Leonardo.

Figura 74.

Ensamble de los dispositivos electrónicos nodos remotos A y B



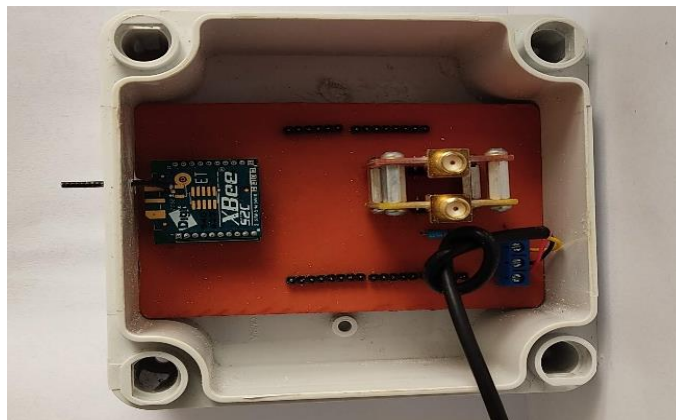
Fuente: Autoría

4.2.1. Armado del CASE

De acuerdo con las medidas del plano que se muestra en la Figura 73, se opta por incorporar una caja de derivación dexson con medidas de 10x10x5cm, las características del material de construcción de esta caja son de polímero de alta resistencia y calidad, otras de las cualidades es que proporciona un fuerte sellado frente a la humedad siendo ideal para incorporar en este sistema de monitoreo, como se ilustra en la Figura 75.

Figura 75.

Implementación de sistema de monitoreo en caja dexson.



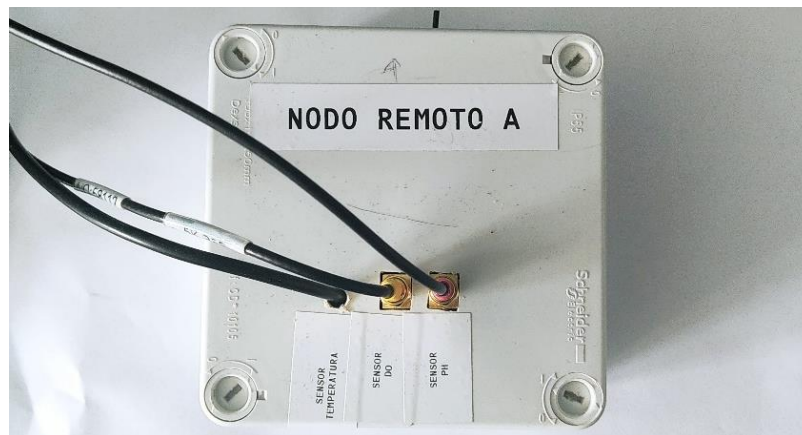
Fuente: Autoría

Una vez insertado la placa electrónica en el interior de la caja dexson, se procede a sellar herméticamente para prevenir filtraciones de agua y daños en los módulos electrónicos.

En la Figura 76 se muestra el resultado de cada nodo remoto.

Figura 76.

Nodos remotos A y B



Fuente: Autoría

4.3.Instalación del Sistema de Monitoreo

En este apartado se instala el nodo coordinador y los dos nodos remotos a los cuales se les determina un sitio estratégico para la lectura de los sensores y no alteración de lectura de datos, y a la vez para transmisión de datos al nodo coordinador.

4.3.1. Instalación del Nodo Coordinador

El nodo coordinador está compuesto por una Raspberry Pi 4B, a este microcontrolador se le interconecta un USB Explorer para la conexión del XBee S2C para la recepción de los datos provenientes de los nodos remotos, de igual manera se le conecta un cable de red para el acceso a internet.

Todos estos dispositivos están instalados dentro de una caja dexon plástica con medias de 15x15x10 cm para protección de la intemperie y del agua para evitar daños, como se muestra en la Figura 77.

Figura 77.

Instalación de Nodo Coordinador



Fuente: Autoría

El nodo coordinador se instala sobre un poste metálico con una altura de 3 metros aproximadamente sobre el nivel del piso, las coordenadas geográficas se muestran en la Tabla 43. Se instituye este punto geográfico debido a la altura y línea de vista sobre los demás nodos remotos y por su factibilidad a una conexión a internet la comunicación con el servidor hosting.

Figura 78.

Instalación de nodo coordinador



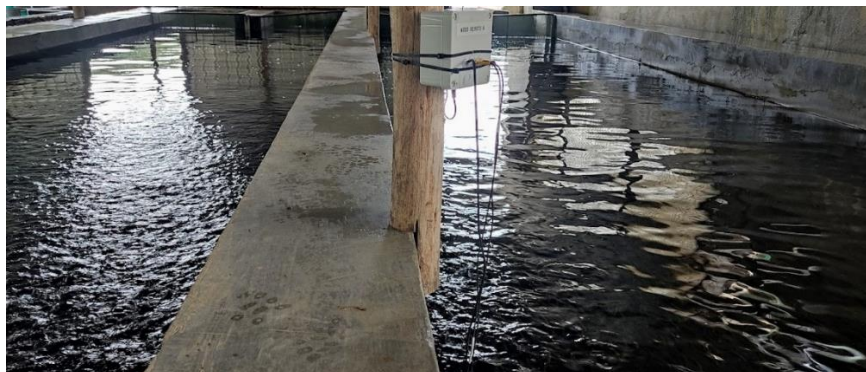
Fuente: Autoría

4.3.2. Instalación del NrA

Es necesario resaltar que en la Tabla 43 se muestra las coordenadas geográficas del nodo remoto A, en dicho lugar se determina un área específica para instalar el NrA para que los sensores obtengan adecuadas lecturas de la calidad del agua y brinde una prevención frente a salpicaduras de agua y no afecte el funcionamiento del sistema, en la Figura 79 se muestra el lugar de instalación del nodo remoto A.

Figura 79.

Instalación de Nodo Remoto A



Fuente: Autoría

4.3.3. Instalación del NrB

En consecuencia, en este apartado se realiza la instalación del nodo remoto B en base a las coordenadas geográficas determinadas en la Tabla 43, en la Figura 80, se ilustra el nodo remoto con sus respectivos sensores para su posterior funcionamiento.

Figura 80.

Instalación de Nodos Remoto B



Fuente: Autoría

4.4. Pruebas en Conjunto del Sistema de Monitoreo

Finalizado las pruebas individuales de cada uno de los dispositivos electrónicos tales como: sensores, microcontrolador y módulo de comunicación inalámbrica XBee S2C, se procede a verificar el funcionamiento en conjunto de cada uno de los nodos que componen el sistema de monitoreo inteligente.

En el apartado 4.1.4 y 4.1.5, se determina el funcionamiento correcto del bloque de sensores y bloque de adquisición de información por lo que se hace necesario realizar pruebas del bloque de transmisión de información.

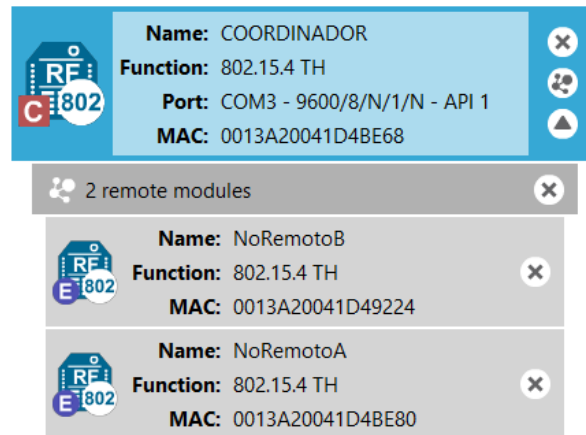
4.4.1. Pruebas del Bloque de Comunicación.

En este apartado se realiza las pruebas de funcionamiento y transmisión de datos de entre los nodos remotos A y B, hacia el nodo coordinador, de igual manera se comprueba los datos calculados en la sección del 3.5.5.

A través de la herramienta XCTU proporcionada por el fabricante DIGI y el módulo de exploración XBee S2C, interconectada por comunicación serial al puerto COM3 del computador se realiza las pruebas de la red de transmisión de la red, el nodo coordinador debe ser configurado en modo (API) y los dispositivos finales deben ser configurados en modo (Loopback). En la Figura 81, se muestra al nodo coordinador y a dos módulos que están conectados remotamente a la red PAN ID 2021.

Figura 81.

Nodo coordinador agreafos a la red PAN ID 2021



Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

4.4.1.1. Prueba de Radio

Posteriormente se realiza las pruebas de comunicación de la red inalámbrica del nodo coordinador y los nodos remotos, se muestra los parámetros del RSSI, los canales de interferencia y la transmisión y recepción de datos a transmitir.

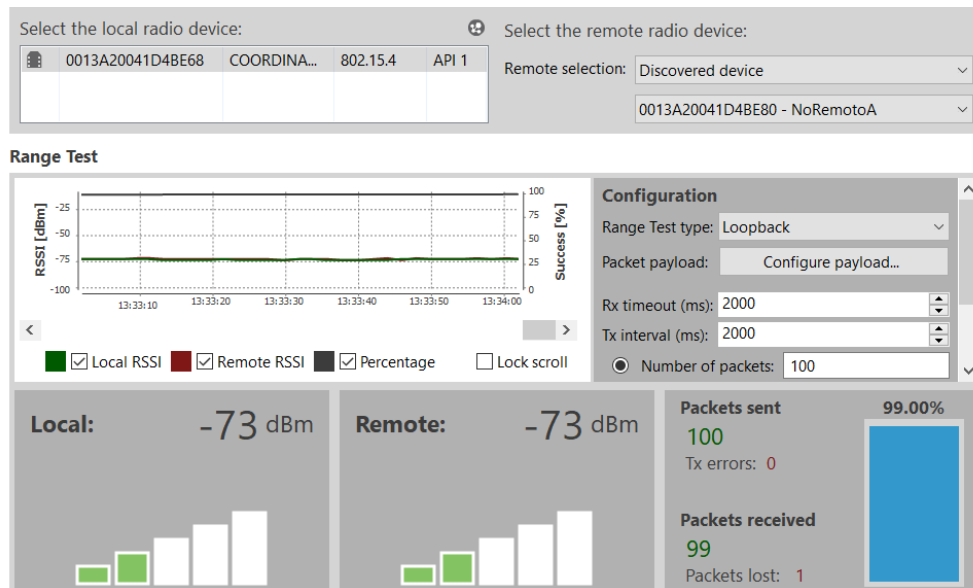
RSSI Nodo Coordinador y Nodo remoto A. En la Figura 82, se muestra la información de RSSI entre en nodo coordinador y nodo remoto A, simulando la red con un tiempo de transmisión y recepción durante 2000 [ms] con un total de 100 paquetes tanto en transmisión y recepción.

El nodo coordinador tiene una potencia de transmisión de -73 [dBm] y el nodo remoto A tiene una potencia de recepción de -73[dBm]. El porcentaje de transmisión es del 99.00%

de eficacia y el 1% de pérdidas, esto surge a partir de la existencia de obstáculos entre estos dos puntos. En el apartado 3.5.5.2 se realiza el cálculo del RSSI a una distancia de 66.12 metros, arrojando una potencia en la recepción de -67.28 dBm, en comparación con los cálculos realizados matemáticamente y simulados en el RadioMobile existe una pérdida de -5.28dBm debido a la existencia de obstáculos.

Figura 82.

Test de la red nodo coordinador y nodo remoto A



Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

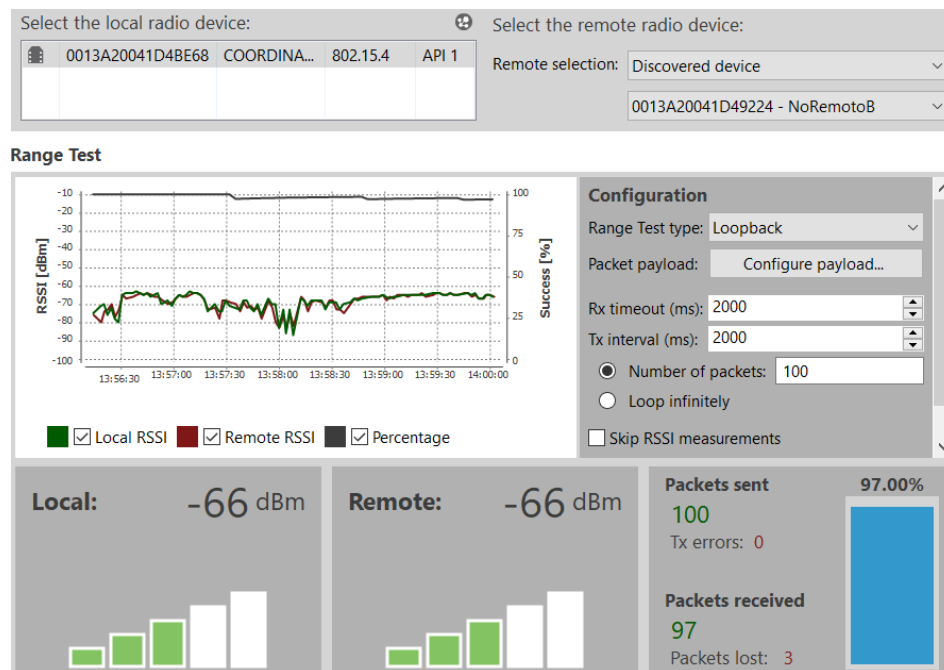
RSSI Nodo Coordinador y Nodo B. De igual forma se realiza la simulación de la red entre el nodo coordinador y nodo remoto B, se envía un total de 100 paquetes durante el lapso de 2000 [ms] tanto en transmisión y recepción.

En la Figura 83, se muestra la información del RSSI a una distancia de 69.15 metros, el nodo coordinador tiene una potencia de transmisión de -66dBm y el nodo remoto B tiene

una potencia de recepción de -66 dBm, e indica el 97% de efectividad en la transmisión de paquetes con un 3% de pérdidas. Esto surge a partir de la existencia de obstáculos entre estos dos puntos. En el apartado (3.5.5.2) se realiza el cálculo del RSSI a una distancia de 69.15 metros, arrojando una potencia de recepción -67.21dBm, a diferencia de la simulación de la red, existe una ganancia de -1.21dBm en pérdidas ya que la simulación se la realiza en condiciones reales, por lo que los resultados son satisfactorios con los diseños realizados.

Figura 83.

Test de la red nodo coordinador y nodo remoto B



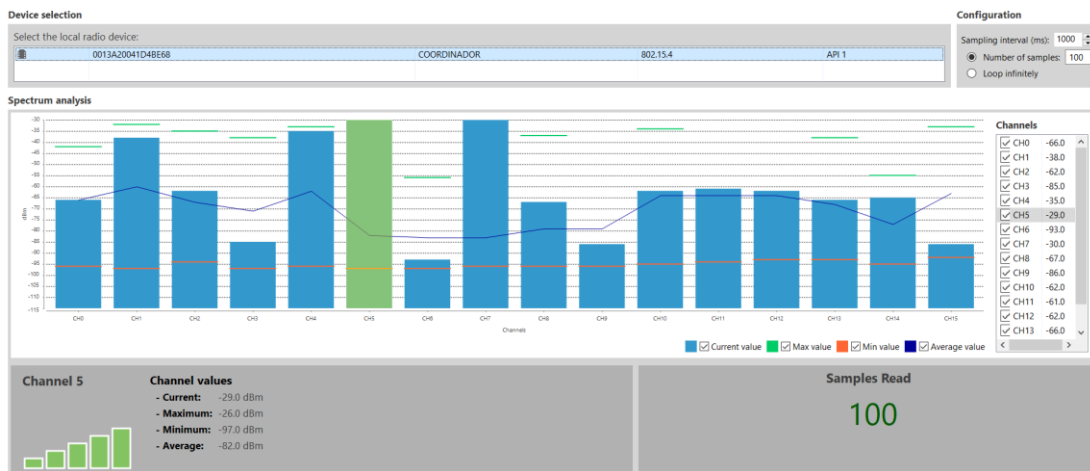
Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

Canales en la Zona. XCTU incorpora una herramienta denominada Spectrum Analyzer la cual hace posible medir el espectro radioeléctrico en tiempo real, en la Figura 84, se visualizan la potencia de energía de los canales del [CH0 y CH15] del nodo

coordinador. Mediante la gráfica se determina que el mejor canal para la transmisión de la información es el canal [CH-5 y CH7], con unos umbrales de -29[dBm] y -30[dBm] y mínimos de -96[dBm] cada uno. Y el canal [CH-6] lo hace deficiente para la transmisión debido a que presenta valores de -93.0[dBm].

Figura 84.

Analisis del radio espectro

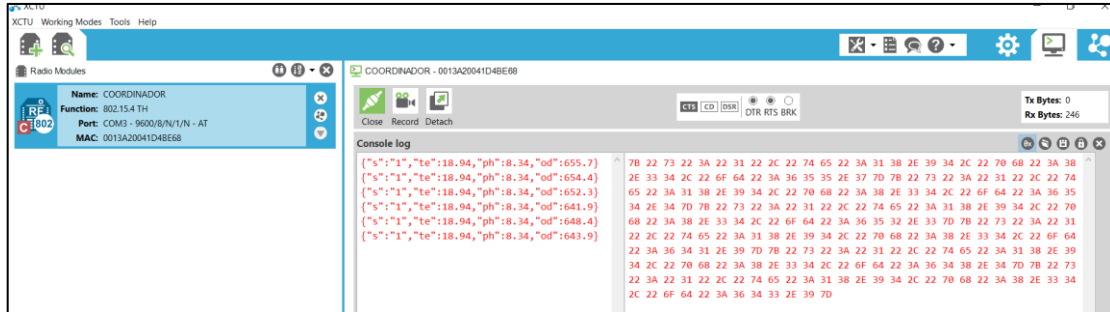


Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

Recepción de Paquetes. En este apartado se identifican los mensajes recibidos al nodo coordinador desde los nodos remotos, en la Figura 85, muestra los mensajes sin ningún comando AT, por lo que se hace visible es un texto plano, sin la necesidad de una trama.

Figura 85.

Recepción de mensaje en plataforma XCTU

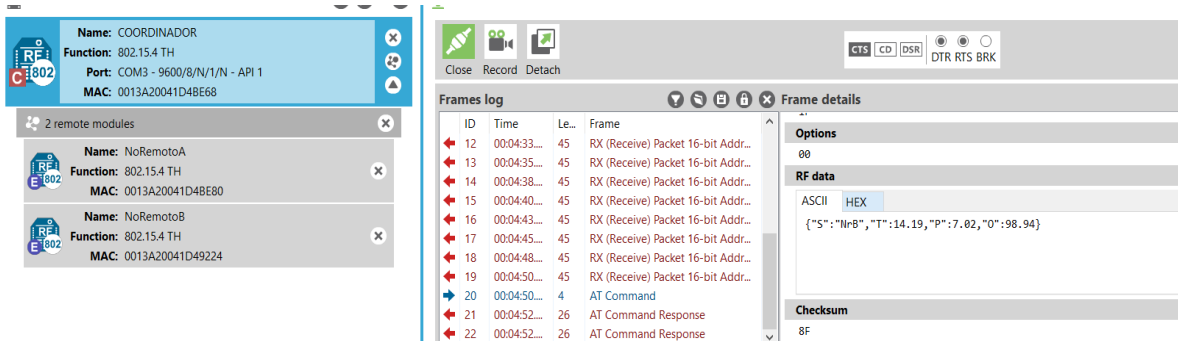


Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

En relación a lo anterior se muestra que en la Figura 85, los mensajes enviados desde los nodos remotos a al nodo coordinador, se envían bajo los comandos AT, es decir que son encapsulados en una trama, para este diseño de la red inalámbrica no se considera bajo los comandos AT, debido a que la información no necesita ser encapsulada y el envío de paquetes perdidos.

Figura 86.

Recepción de paquetes en modo AT



Fuente: Adaptado de XCTU, Autoría

4.4.2. Pruebas de Funcionamiento del Bloque de Procesamiento

En este apartado se muestra el funcionamiento del bloque de procesamiento de información, haciendo el uso del módulo de comunicación inalámbrica XBee S2C y el microcontrolador Raspberry Pi.

4.4.2.1. Recepción de Información

En la Figura 87, se muestra la recepción de la información a través de la comunicación inalámbrica, utilizando los módulos de comunicación XBee S2C, la información receptada de los nodos remotos se muestra en formato de lenguaje JSON. Cada nodo remoto envía la información con el acrónimo NrA y NrB para poder identificar los datos correspondientes a cada nodo, los valores de temperatura están definidos con la letra T, el pH con la letra P y la saturación del oxígeno con la letra O.

Figura 87.

Visualización de datos en Node-Red

```
1/4/2022, 6:33:12 p. m. node: d334f38a7df590df
msg.payload : Object
  ▶ { S: "NrB", T: 19.31, P: 5.27, O: 79.94 }
-----
1/4/2022, 6:38:30 p. m. node: d334f38a7df590df
msg.payload : Object
  ▶ { S: "NrA", T: 19.56, P: 7.05, O: 83.97 }
```

Fuente: Adaptado de Node Red.

4.4.2.2. Pruebas de Funcionamiento Base de Datos

A continuación, se realiza las pruebas de funcionamiento de la base de datos desarrollada en MySQL del sistema de monitoreo inteligente. En la Figura 88, se muestra la estructura de base de datos, la cual cuenta con 4 tablas.

Figura 88.

Base de datos

Tabla	Acción	Filas	Tipo	Cotejamiento	Tamaño
<input type="checkbox"/> historial	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	3,184	InnoDB	utf8mb4_general_ci	272.0 KB
<input type="checkbox"/> sensor	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8mb4_general_ci	32.0 KB
<input type="checkbox"/> tipo_usuario	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	latin1_swedish_ci	16.0 KB
<input type="checkbox"/> usuario	★ Examinar Estructura Buscar Insertar Vaciar Eliminar	2	InnoDB	utf8mb4_general_ci	32.0 KB
4 tablas	Número de filas	3,190	InnoDB	latin1_swedish_ci	352.0 KB

Fuente: Autoría

Base de Datos Tabla Tipo Usuario. La base de datos tipo usuario guarda la información sobre el privilegio de configuración del usuario, ya sea empleado o administrador, como se muestra en la Figura 89.

Figura 89.

Base de datos tabla tipo_usuario

	id_tipo	detalle_tipo
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	ADMINISTRADOR
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	USUARIO

Fuente: Autoría

Base de Datos Tabla Tipo Usuario. Esta tabla de la base de datos almacena la información personal del administrador o empleado tales como: nombre, número de cédula, usuario, contraseña para acceder al sistema y el ID del Telegram, como se muestra en la Figura 90.

Figura 90.

Base de datos tabla usuario

	id_usuario	nombre	direccion	ci_ruc	nick	pass	id_tipo	id_telegram
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	ADMINISTRADOR	DIRECCION DE ADMINISTRADOR	111111111	ADMI	ADMIN	1	1153509143
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	John	Diaz	0401503032	john	john	2	812381335

Fuente: Autoría

Base de Datos Tabla Sensor. En esta tabla de la base de datos, muestra el identificador de los nodos remotos que componen el sistema de monitoreo inteligente, con su respectivo nombre y código, como se muestra en la Figura 91.

Figura 91.

Base de datos tabla sensor

+ Opciones		id_sensor	nombre	codigo
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar		6	Sensor Nodo Remoto B	NrB
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar		7	Sensor Nodo Remoto A	NrA

Fuente: Autoría

Base de Datos Tabla Historial. A continuación, se muestra el historial de las variables que compone a cada uno de los nodos remotos, como es la temperatura, niveles de pH y saturación de niveles de oxígeno, los registros se almacenan con la fecha, hora y su identificador del historial.

Figura 92.

Base de datos Tabla Historial

Opciones		id_historial	id_sensor	temperatura	ph	oxigeno	fecha	hora
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	1	6	19.19	5.3	74.54	2022-04-26	16:21:50
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	2	7	19.63	7.03	46.6	2022-04-26	16:21:50
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	3	6	19.19	5.3	74.67	2022-04-26	16:21:55
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	4	7	19.63	7.03	46.61	2022-04-26	16:21:56
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	5	6	19.19	5.3	74.68	2022-04-26	16:22:01

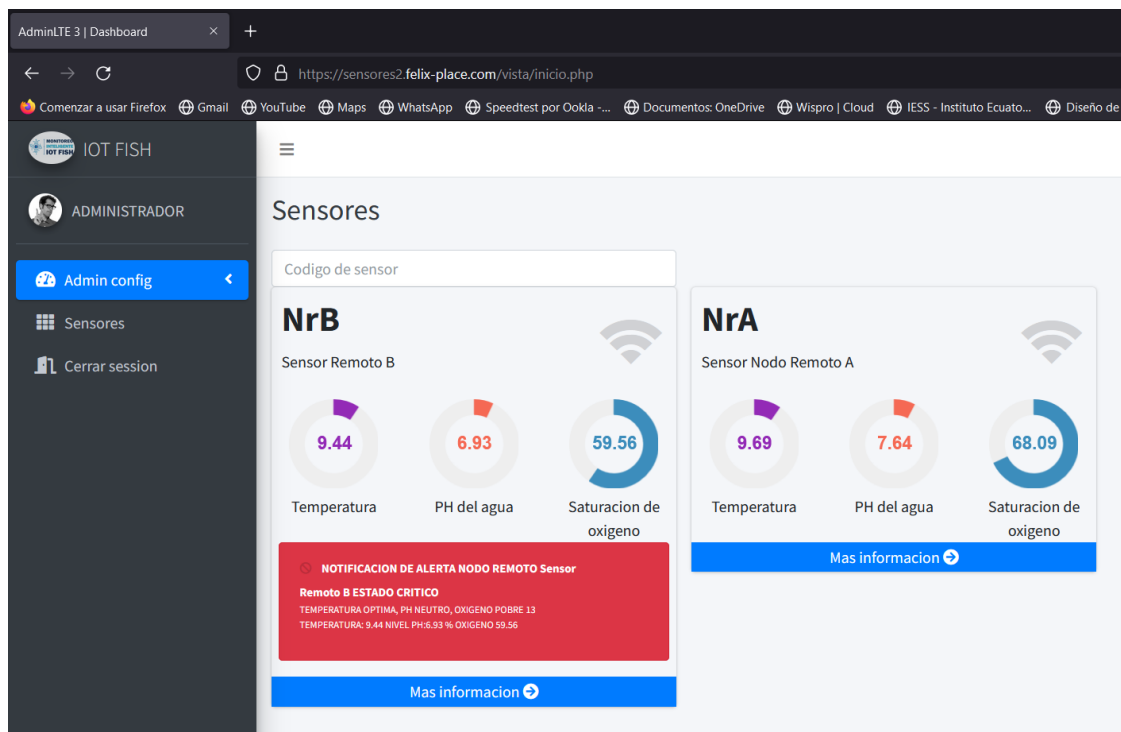
Fuente: Autoría

4.4.2.3. Pruebas de Funcionamiento Web

A continuación, se realiza las pruebas de funcionamiento de la página Web, donde se muestra la información de cada una de las variables de los nodos remotos con su respectiva gráfica de los parámetros medidos. En cada recuadro de los nodos remotos, muestra la información y notificación cuando los parámetros no son estables, como se muestra en la Figura 93.

Figura 93.

Panel de monitoreo de los Nodos Remotos



Fuente: Autoría

En la primera columna, se tiene las gráficas de la información de la temperatura, niveles de concentración de pH y porcentajes de saturación de oxígeno, todos estos datos son obtenidos del nodo remoto B. Haciendo uso de las reglas difusas el sistema de monitoreo identifica y notifica al piscicultor sobre los parámetros de la calidad del agua, en referencia a la Figura 93, muestra el estado del oxígeno se encuentra bajo, por lo que emite una notificación al administrador o usuario por medio de la plataforma de Telegram. De igual manera la segunda columna muestra la información de las tres variables del nodo remoto A.

4.4.2.4. Prueba de Plataforma de Notificación.

A continuación, la Figura 94 muestra los mensajes de notificación sobre los parámetros de cada uno de los sensores medidos y al cual nodo remoto pertenece, estos mensajes se visualizan en la plataforma de Telegram, mediante el uso de un Bot llamado alerta sensor.

Figura 94.

Plataforma de Notificación-Alerta Sensor



Fuente: Adaptado de Telegram, Autoría

4.5.Evaluación Reglas Difusas

En este apartado se evalúa el resultado de las reglas difusas especificadas en el apartado 3.5.6.5. Y de igual forma en la Tabla 52, se muestra seis escenarios con los datos atmosféricos durante 31 días, estos datos están fueron obtenidos con fecha inicio 29 de abril hasta el 31 de mayo del 2022.

Tabla 51.

Diferentes Escenarios durante el monitoreo

Escenario	Estado Día	Fecha	Hora
A	Madrugada con fuertes lluvias	29-04-2022	03:00
B	Noche sin lluvias	05-05-202	20:00
C	Mañana soleada	10-05-2022	11:00
D	Tarde con fuertes lluvias	15-05-2022	17:00
E	Mañana con poca lluvia	25-05-2022	9:00
F	Noche con poca lluvia	31-05-2022	21:00

Fuente: Autoría

A continuación, se muestra los escenarios con los datos obtenidos del sistema de monitoreo de cada nodo remoto.

Tabla 52.

Escenario para evaluación de reglas difusas

Escenario	Nodo Remoto	Temperatura	pH	% Oxígeno	mg/L
A	NrA	9.4	7.69	58.53	6.48
B	NrB	8.99	7.02	81.88	9.02
C	NrA	10.43	7.21	83.42	9.19
D	NrB	10.18	7.92	66.5	7.33
E	NrA	11.13	6.89	83.9	8.25
F	NrB	9.02	6.71	74.03	8.16

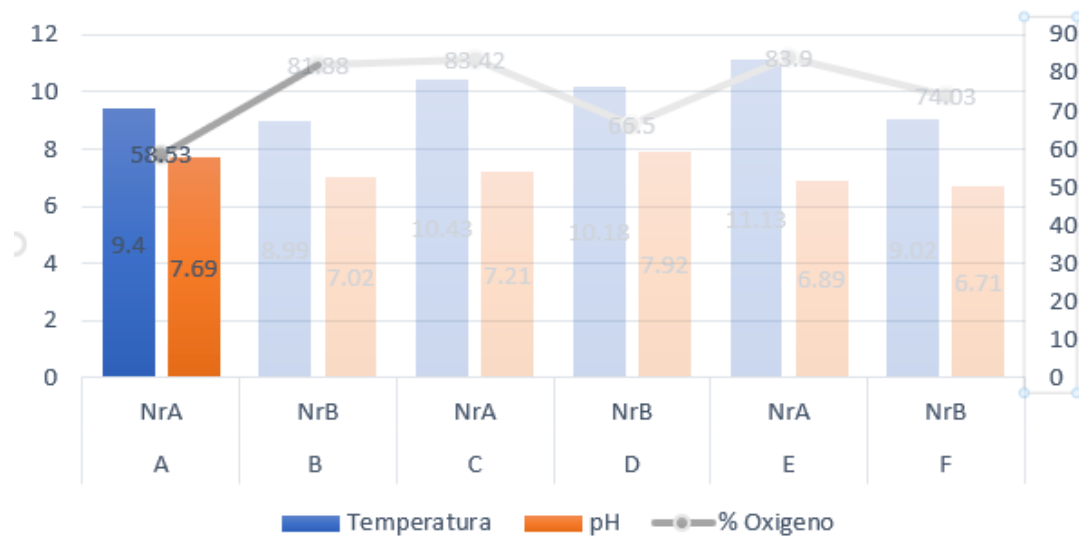
Fuente: Autoría

4.5.1. Escenario A

En primer lugar se evalúa el escenario A con los datos correspondientes a la Tabla 52, con una temperatura de 9.4 °C , un pH de 7.69 y un porcentaje de saturación de oxígeno del 58.53 equivalente a 6.48 mg/L, en la Figura 95, se muestra la gráfica de estas variables y en la Figura 96 se ilustra las reglas difusas evaluadas en el software de MatLab, los valores de las v variables recaen sobre la regla difusa 13 (*IF T is TO and P is PN and O is OC then Estado is EC*) con un estado de salida de 3.15 correspondiente a un estado crítico.

Figura 95.

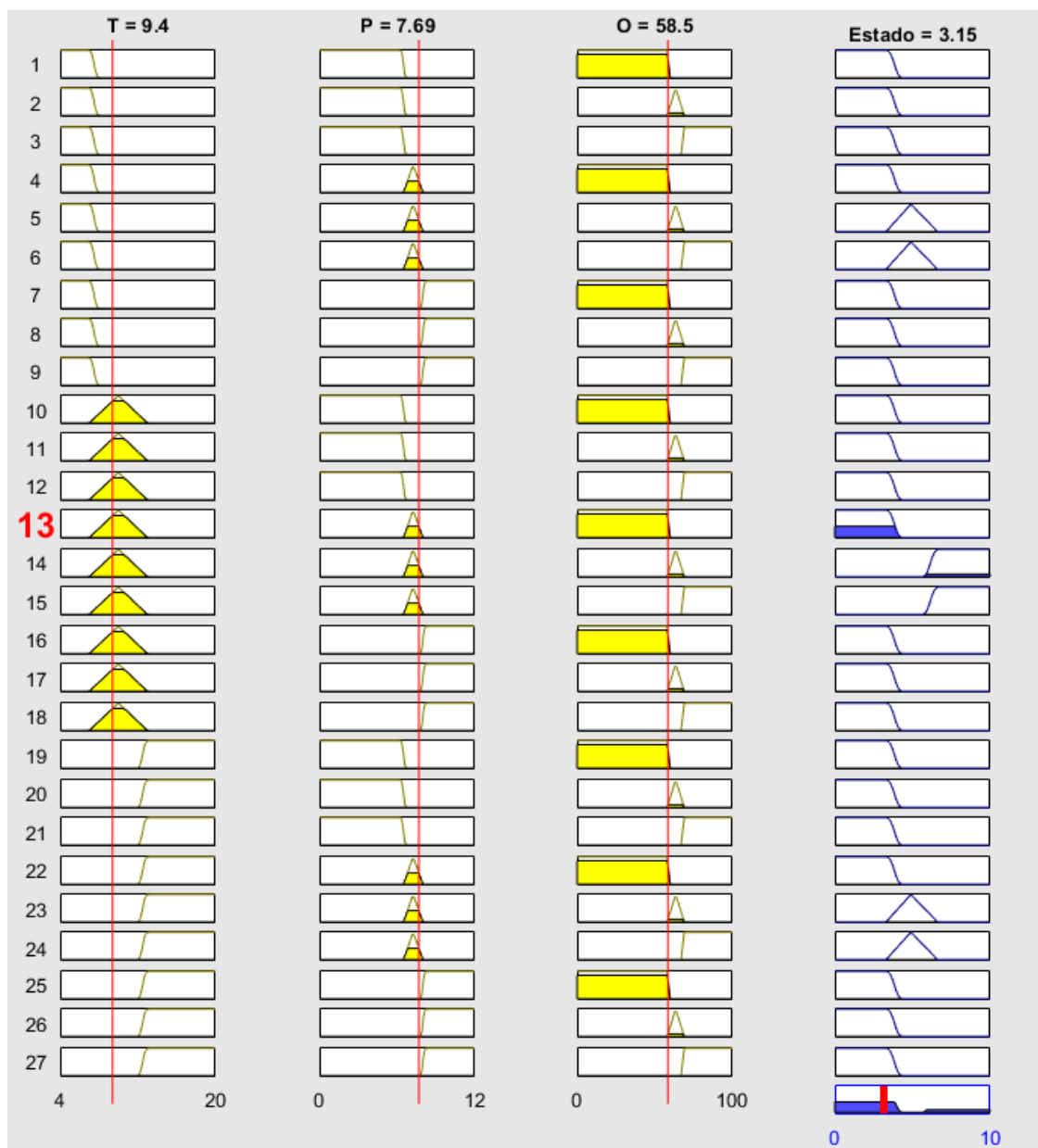
Gráfica de valores de sensores escanario A



Fuente: Autoría

Figura 96.

Evaluación de reglas difusas escanario A



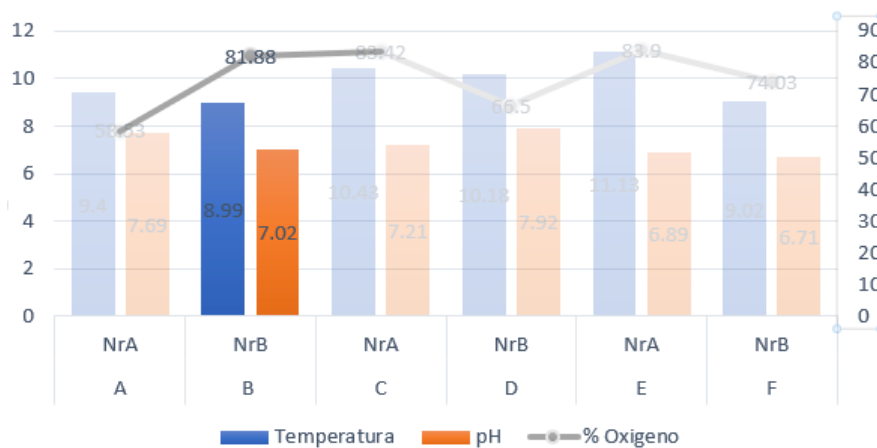
Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España

4.5.2. Escenario B

En segunda instancia, se evalúa el escenario B, dichos datos se obtienen de la Tabla 52, el sistema de monitoreo muestra los siguientes datos: temperatura de 8.99 °C, pH de 7.02 y un porcentaje del 81.88 % de saturación de oxígeno equivalente a 9.02 mg/L, en la Figura 97, se muestra dicha gráfica. Y con el software de MatLab mediante la herramienta Fuzzy se evalúa dichos valores los cuales recaen sobre la regla difusa número 15 (*IF T is TO and P is PN and O is OO then Estado is EE*, con un valor de estado de 8.05, correspondiente a un estado estable, como se ilustra en la Figura 98.

Figura 97.

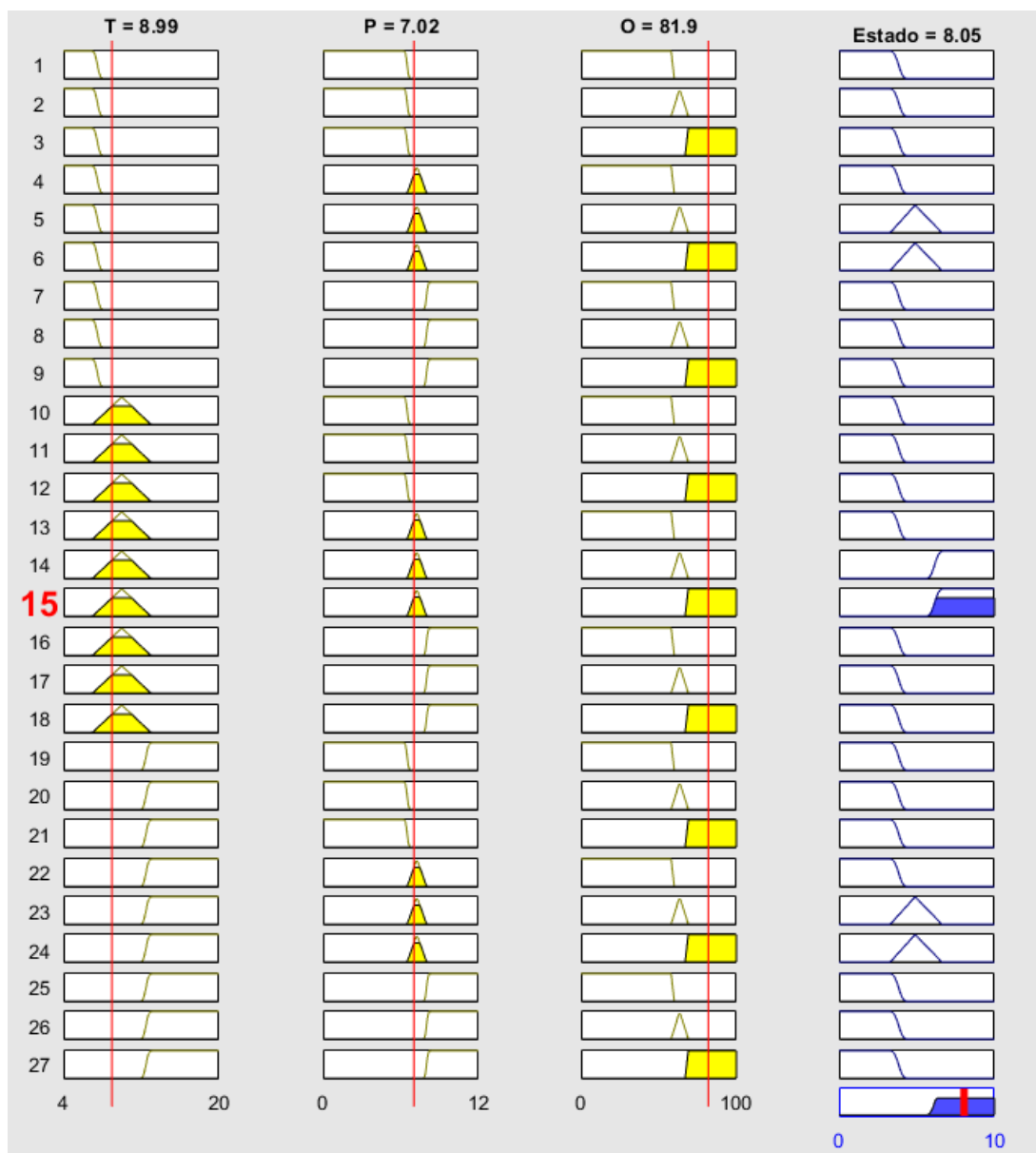
Gráfica de valores de sensores escanario B



Fuente: Autoría

Figura 98.

Evaluación de reglas difusas escenario B



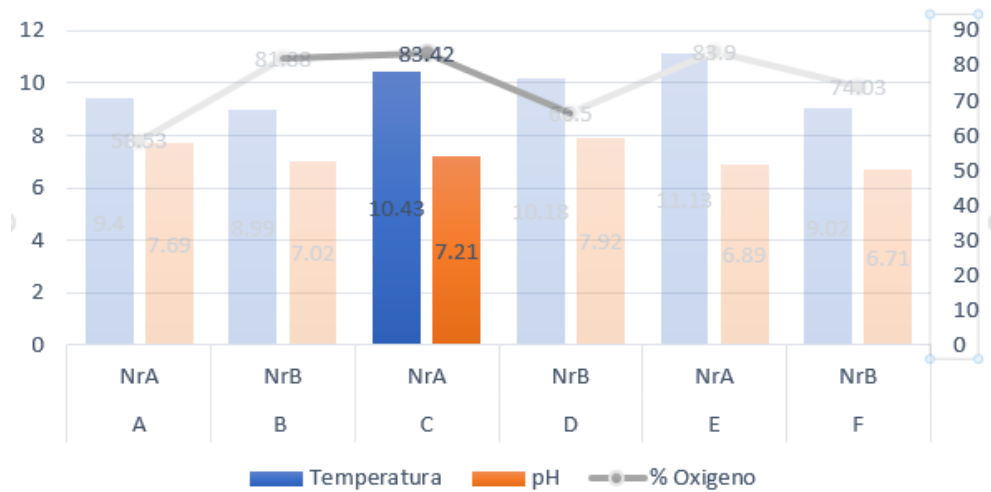
Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España, Autoría

4.5.3. Escenario C

En seguida, se evalúa el escenario C, dichos datos se obtienen de la Tabla 52, el sistema de monitoreo muestra los siguientes datos: temperatura de 10.43 °C, pH de 7.21 y un porcentaje del 83.42% de saturación de oxígeno equivalente a 9.19 mg/L, en la Figura 99, se muestra dicha gráfica. Y con el software de MatLab mediante la herramienta Fuzzy se evalúa dichos valores los cuales recaen sobre la regla difusa número 16 (*IF T is TO and P is PN and O is OE then Estado is ECE*), con un valor de estado de 8.03, correspondiente a un estado estable, como se ilustra en la Figura 100.

Figura 99.

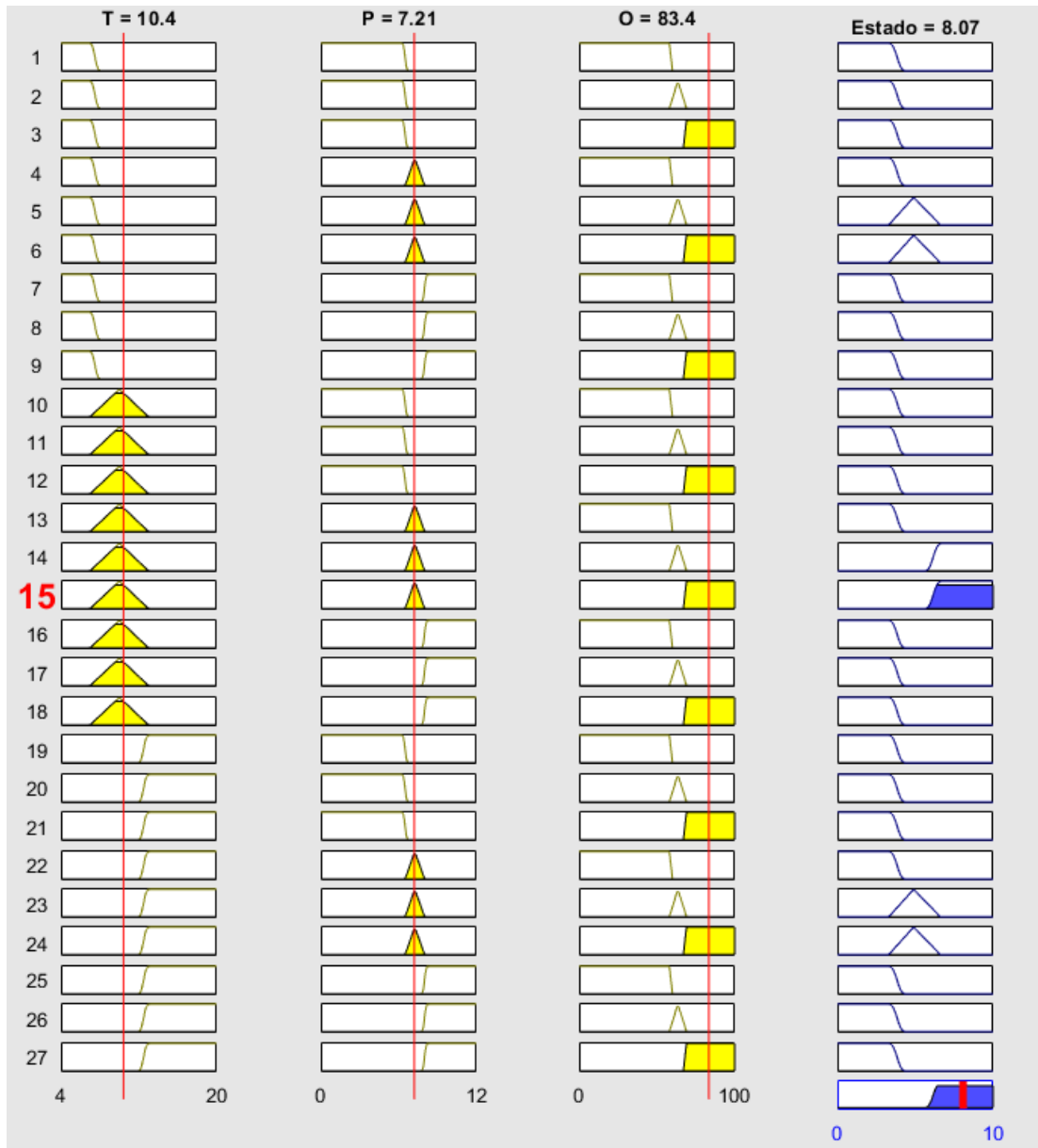
Gráfica de valores de sensores escanario C



Fuente: Autoría

Figura 100.

Evaluación de reglas difusas escanario C



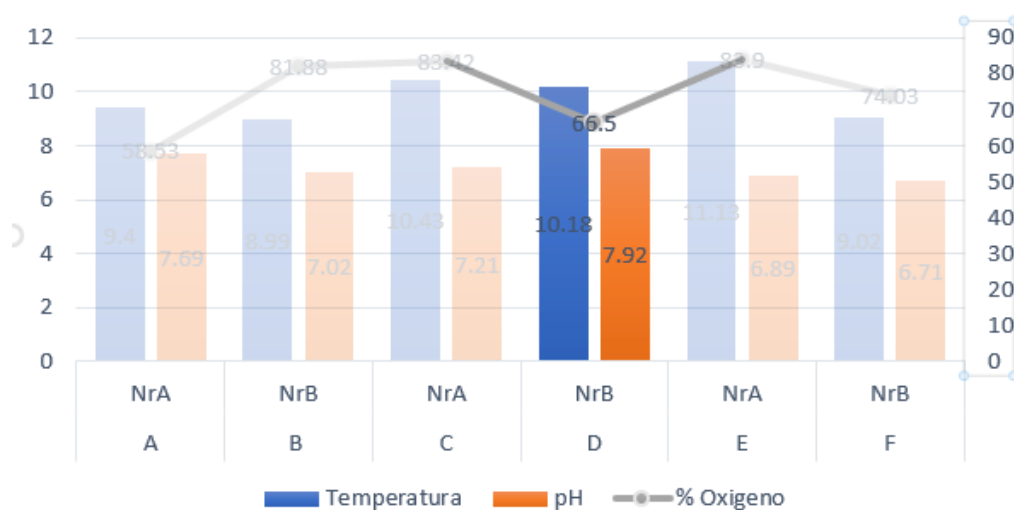
Fuente: Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España

4.5.4. Escenario D

Luego se evalúa el escenario D, dichos datos se obtienen de la Tabla 52, el sistema de monitoreo muestra los siguientes datos: temperatura de 10.18 °C, pH de 7.92 y un porcentaje del 66.5% de saturación de oxígeno equivalente a 7.18 mg/L, en la Figura 101, se muestra dicha gráfica. Y con el software de MatLab mediante la herramienta Fuzzy se evalúa dichos valores los cuales recaen sobre la regla difusa número 14 (*IF T is TO and P is PAI and O is OE then Estado is EC*), con un valor de estado de 4.24, correspondiente a un estado crítico, como se ilustra en la Figura 102.

Figura 101.

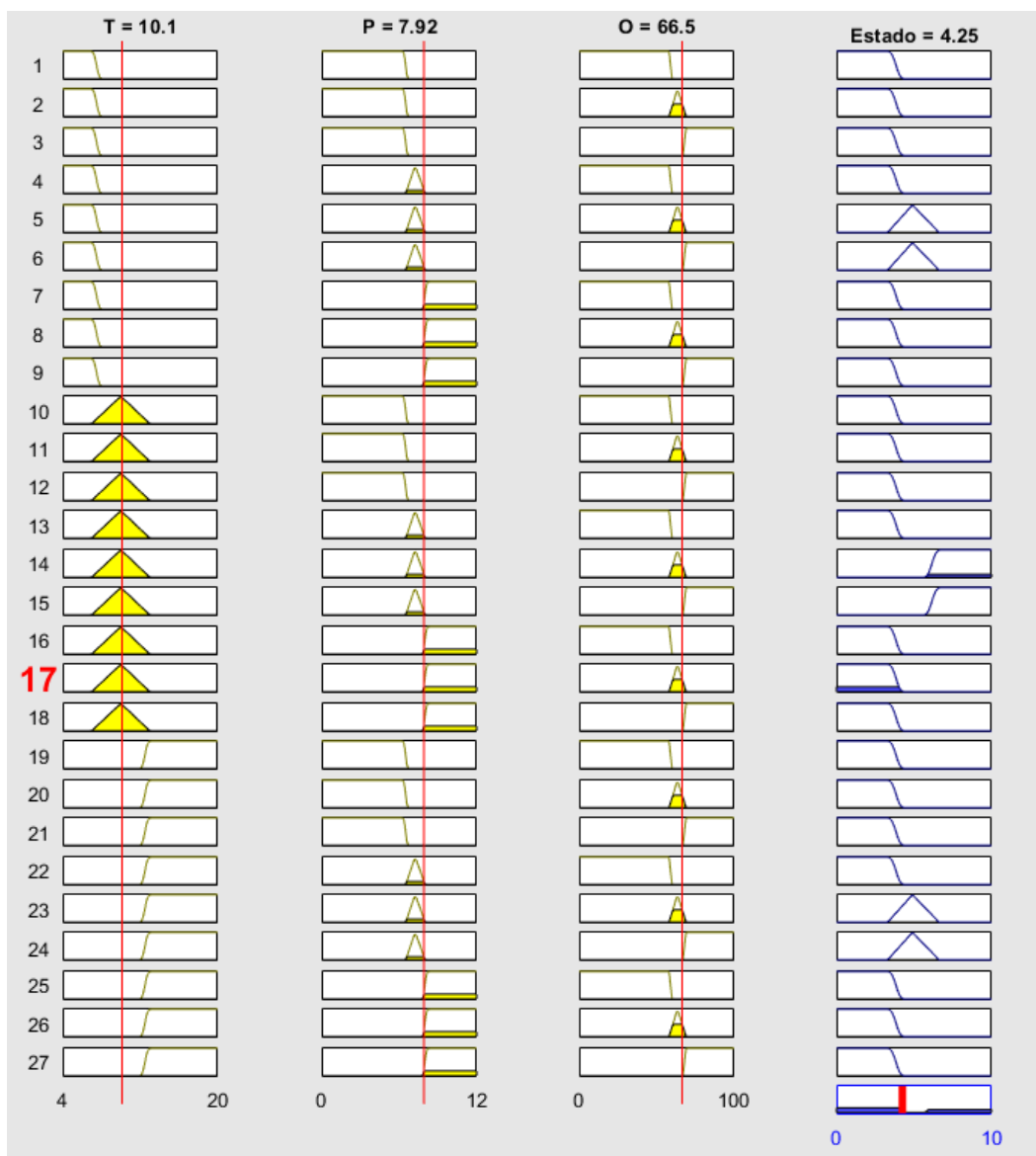
Gráfica de valores de sensores escenario D



Fuente: Autoría

Figura 102.

Evaluación de reglas difusas escanario D



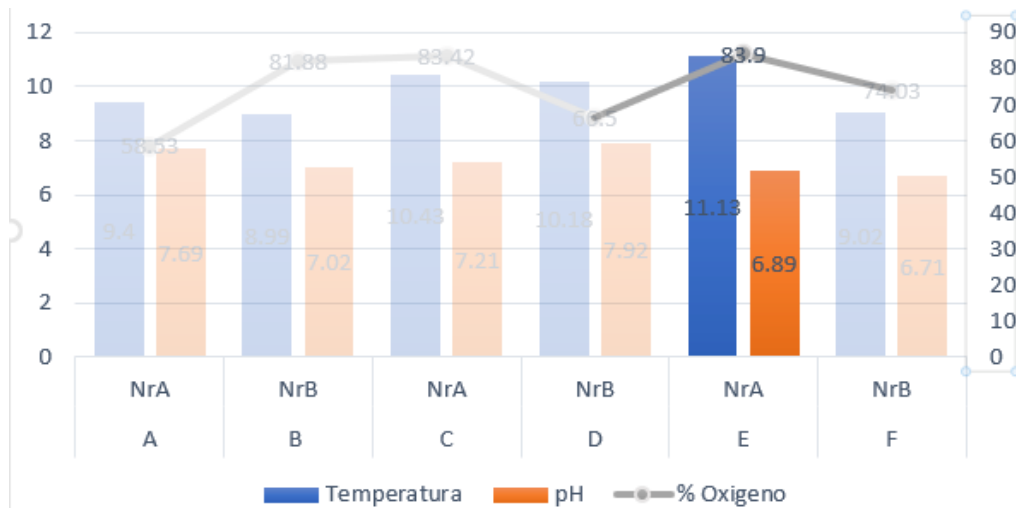
Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España

4.5.5. Escenario E

A continuación, se evalúa el escenario E, dichos datos se obtienen de la Tabla 52, el sistema de monitoreo muestra los siguientes datos: temperatura de 11.13 °C, pH de 6.89 y un porcentaje del 83.9 % de saturación de oxígeno equivalente a 9.07 mg/L, en la Figura 103, se muestra dicha gráfica. Y con el software de MatLab mediante la herramienta Fuzzy se evalúa dichos valores los cuales recaen sobre la regla difusa número 15 (*IF T is TO and P is PN and O is OO then Estado is EE*), con un valor de estado de 8.2, como se ilustra en la Figura 104.

Figura 103.

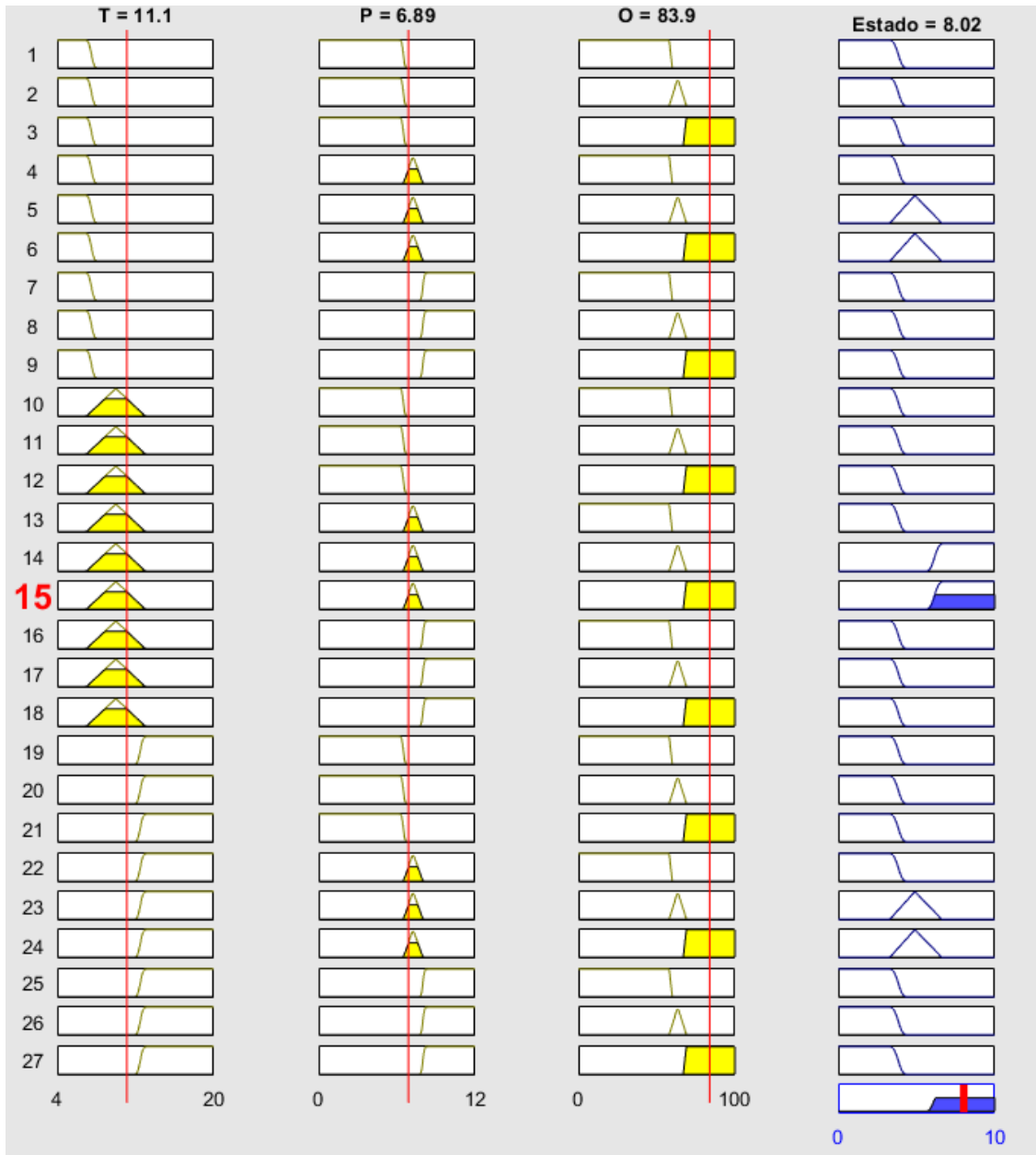
Gráfica de valores de sensores escanario E



Fuente: Autoría

Figura 104.

Evaluación de reglas difusas escanario E



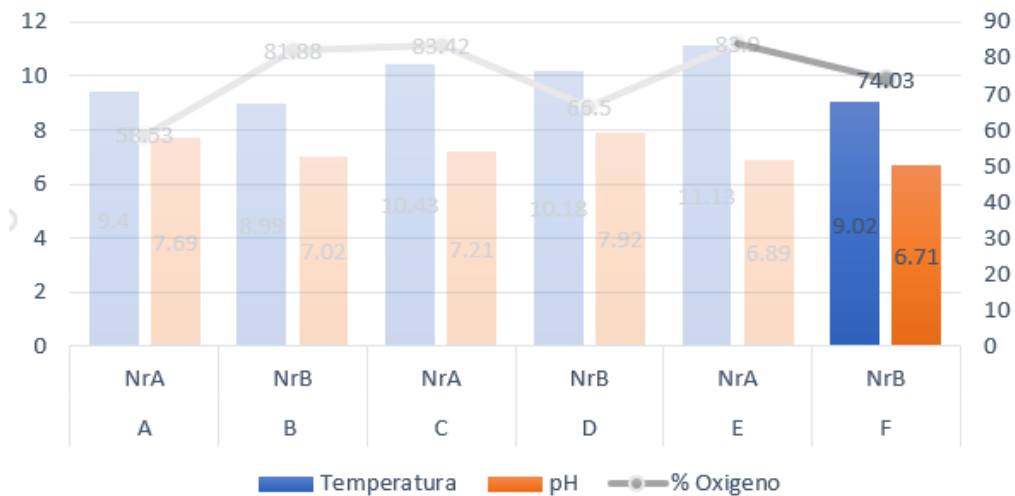
Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España

4.5.6. Escenario F

Finalmente se evalúa el escenario F, dichos datos se obtienen de la Tabla 52, el sistema de monitoreo muestra los siguientes datos: temperatura de 9.02 °C, pH de 6.71 y un porcentaje del 74.03% de saturación de oxígeno equivalente a 8.16 mg/L, en la Figura 105, se muestra dicha gráfica. Y con el software de MatLab mediante la herramienta Fuzzy se evalúa dichos valores los cuales recaen sobre la regla difusa número 12 (*IF T is TO and P is PN and O is OE then Estado is EE*), con un valor de estado de 7.98, correspondientes a un estado estable, como se ilustra en la Figura 106.

Figura 105.

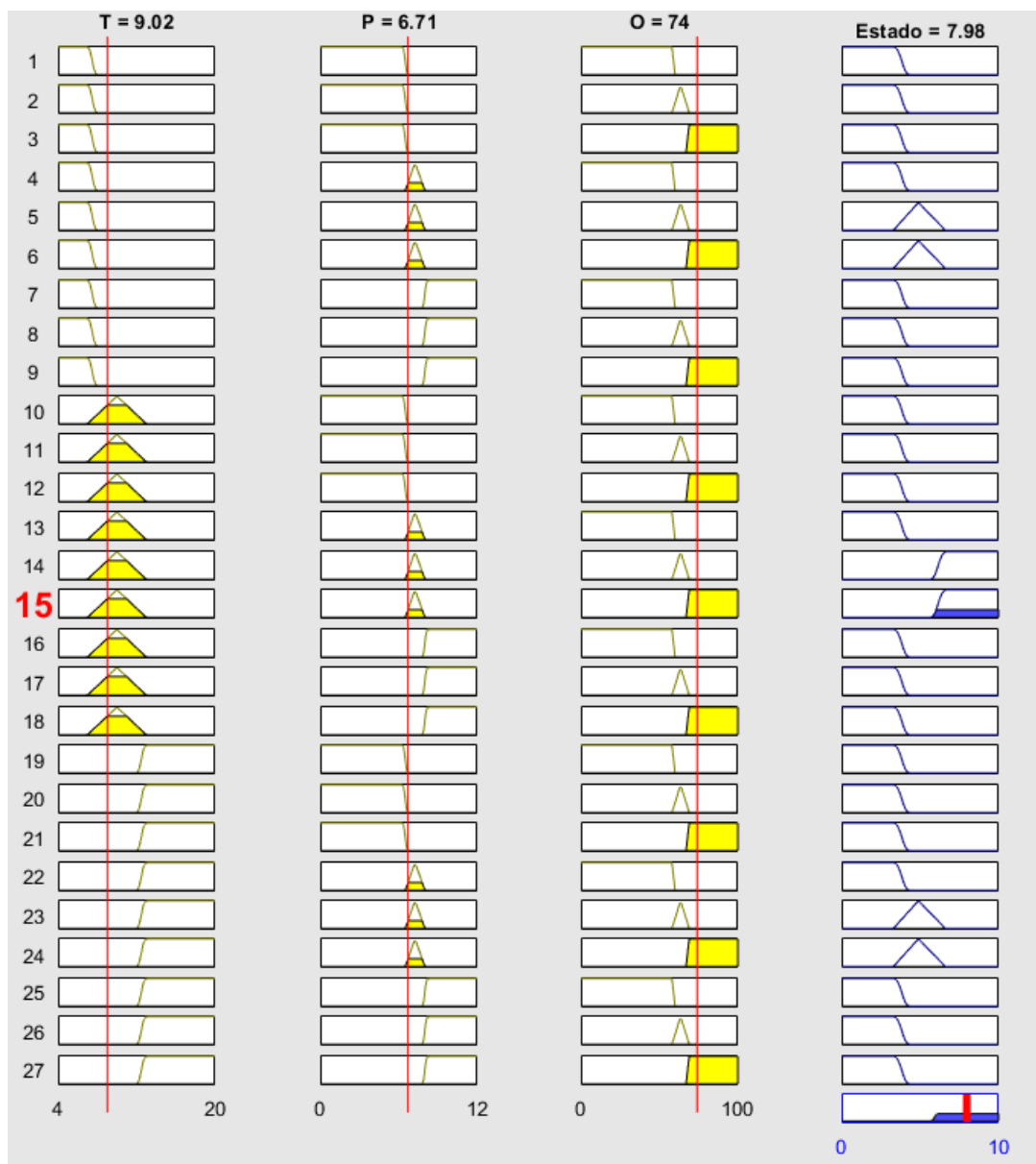
Gráfica de valores de sensores escenario F



Fuente: Autoría

Figura 106.

Evaluación de reglas difusas escanario F



Ejecutado con la licencia de MatLab Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España

4.6.Eficiencia del Sistema

En esta sección de análisis del sistema de monitoreo inteligente basado en el algoritmo de lógica difusa según el modelo de Mandani, según las reglas difusas del apartado 3.5.6.5, se determina la matriz de confusión del sistema

4.6.1. Matriz de Confusión.

La matriz de confusión es una herramienta que permite evaluar al sistema y definir su nivel de exactitud del algoritmo de lógica difusa a la hora de evaluar su desempeño.(Ecuared, 2017). La matriz de confusión tiene valores de decisiones sobre las acciones de notificar o no sobre el estado de la calidad del agua en los estanques que almacenan de los alevines.

Tabla 53.

Modelo de representación Matriz de Confusión

		PREDICCIÓN	
		Si Notifica	No Notifica
Valores Reales	Si Notifica	a	b
	No Notifica	c	d

Fuente: Autoría

En la Tabla 53, se muestra la representación de la matriz de confusión, según el autor (Ecuared, 2017), los términos de predicción *a*, *b*, *c*, *d* son definidos de la siguiente manera:

- Variable **a**, representa a los verdaderos positivos (VP), es decir que el modelo predice correctamente la clase positiva.
- Variable **b**, representa a un valor falso negativo (FN), es decir que el modelo predice incorrectamente la clase negativa cuando en realidad es positiva.
- Variable **c**, representa a un valor falso positivo (FP), significa que el modelo predice incorrectamente una clase positiva cuando en realidad es negativa.
- Variable **d**, la cual representa los valores verdaderos negativos (VN), donde el resultado predice correctamente la clase negativa.

El número de predicciones realizadas en la matriz de confusión son igual que el número de reglas borras, siendo un total de 27, como se muestra en la Tabla 54.

Tabla 54.

Matriz de confusión

#	Predicción	Decisión	Verdadero	Falso
1	Cuando la T es 4°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 30%	Notifica	X	
2	Cuando la T es 4°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 63%	Notifica	X	
3	Cuando la T es 4°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 84%	Notifica	X	
4	Cuando la T es 5°C, el pH es 6.7 y la saturación de oxígeno es de 30%	Notifica	X	
5	Cuando la T es 5°C, el pH es 7.2 y la saturación de oxígeno es de 65%	Notifica	X	

6	Cuando la T es 5°C, el pH es 7.9 y la saturación de oxígeno es de 90%	Notifica	X	
7	Cuando la T es 6.5°C, el pH es 8.1 y la saturación de oxígeno es de 30%	Notifica	X	
8	Cuando la T es 6.5°C, el pH es 9 y la saturación de oxígeno es de 65%	Notifica	X	
9	Cuando la T es 6.5°C, el pH es 10 y la saturación de oxígeno es de 110%	No Notifica		X
10	Cuando la T es 8.5°C, el pH es 4.2 y la saturación de oxígeno es de 40%	Notifica	X	
11	Cuando la T es 8.5°C, el pH es 6.35 y la saturación de oxígeno es de 53%	Notifica	X	
12	Cuando la T es 9°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 75%	Notifica	X	
13	Cuando la T es 10°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 32.5%	Notifica	X	
14	Cuando la T es 11.0°C, el pH es 7.5 y la saturación de oxígeno es de 65%	No Notifica	X	
15	Cuando la T es 11.2°C, el pH es 7.05 y la saturación de oxígeno es de 84%	No Notifica	X	
16	Cuando la T es 11.9°C, el pH es 7.8 y la saturación de oxígeno es de 105%	No Notifica		X
17	Cuando la T es 12.5°, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 30%	Notifica	X	
18	Cuando la T es 13°C, el pH es 7.0 y la saturación de oxígeno es de 65%	Notifica	X	

19	Cuando la T es 12.3°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 30%	Notifica	X	
20	Cuando la T es 12.5°C, el pH es 4 y la saturación de oxígeno es de 65%	Notifica	X	
21	Cuando la T es 13°C, el pH es 5.5 y la saturación de oxígeno es de 110%	Notifica		X
22	Cuando la T es 15°C, el pH es 7.3 y la saturación de oxígeno es de 40%	Notifica	X	
23	Cuando la T es 16°C, el pH es 7.8 y la saturación de oxígeno es de 70%	Notifica	X	
24	Cuando la T es 17°C, el pH es 7.9 y la saturación de oxígeno es de 100%	Notifica	X	
25	Cuando la T es 20.0°C, el pH es 8.2 y la saturación de oxígeno es de 10%	Notifica	X	
26	Cuando la T es 16.0°C, el pH es 9.0 y la saturación de oxígeno es de 71.4%	Notifica	X	
27	Cuando la T es 20°C, el pH es 10.0 y la saturación de oxígeno es de 88.8%	Notifica	X	

Fuente: Autoría

De los resultados obtenidos de la matriz de confusión se puede realizar los cálculos de la exactitud y precisión del controlador difuso.

Tabla 55.

Exactitud y precisión del controlador difuso

		PREDICCIÓN	
		Si Notifica	No Notifica
Valores Reales	Si Notifica	24	3
	No Notifica	0	27

Fuente: Autoría

Con los resultados obtenidos anteriormente y la ecuación permite realizar el cálculo de la exactitud y precisión del controlador difuso.

$$exactitud = \frac{a + d}{a + b + c + d} * 100\% \quad (27)$$

$$exactitud = \frac{24 + 27}{24 + 3 + 0 + 27} = \frac{51}{54} * 100\% = 94.4\%$$

$$precisión = \frac{a}{a+c} * 100\% \quad (28)$$

$$precisión = \frac{24}{24 + 0} = \frac{24}{24} * 100\% = 100\%$$

4.7. Índice de Mortalidad

En base a la encuesta que se muestra en el ANEXO A y entrevistas realizadas a los técnicos y trabajadores del Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis, muestra un índice de mortalidad del 20% durante 4 meses de producción. Su producción neta es de 880000 alevines en sus primeros días, al finalizar los cuatro meses de producción disminuye alrededor de 704000 alevines.

El sistema de monitoreo IoT fish cuenta con dos nodos capaces de monitorear la calidad del agua en los estanques de alevines, este sistema cuenta con dos nodos: el nodo remoto A monitorea una pileta grande que alberga aproximadamente 100000 alevines y el nodo remoto B monitorea 5 piletas pequeñas que aloja alrededor de 15000 alevines en cada una de ellas, siendo un aproximado de 75000 alevines. En total este sistema permite monitorear alrededor de 175000 alevines.

$$\%mortalidad_{4mes} = \frac{175000 * 20\%}{880000}$$

$$\%mortalidad_{4mes} = 3.97\%$$

Se determina que se tiene el 3.97% de mortalidad durante 16 semanas de producción de un lote de 175000 alevines en condiciones normales, si se desea realizar un promedio de cual porcentaje es la tasa de mortalidad al mes, se divide para los 4 meses.

$$mortalidad_{mes} = x/4meses$$

$$mortalidad_{mes} = 3.97\%/4meses$$

$$mortalidad_{mes} = 0.9925\%$$

4.7.1. Pérdidas Económicas sin IoT Fish

En lo anterior expuesto el resultado promedio mes de mortalidad es del 0.9925%, sin la implementación del sistema de monitoreo IoT fish.

$$mortalidad_{mes} = \frac{175000 * 0.9925\%}{100\%}$$

$$mortalidad_{mes} = 1736.88 \approx 1737$$

En la Tabla 56, se muestra las pérdidas que existen en el Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis, se analiza dos escenarios, el primer escenario representa las pérdidas económicas sufridas en todo el laboratorio y el segundo escenario se analiza el lote de 175000 alevines que son monitoreados por sistema IoT Fish.

Tabla 56.

Pérdidas económicas sin sistema de monitoreo

Descripción	Mortalidad	Precio 1er.	Precio 4to.	Pérdidas 1er.	Pérdidas 4to.
	Mes (A)	Mes (B)	Mes (C)	Mes (A*B)	Mes (A*C)
Lote 880000	44000	\$0.022	\$0.067	\$968	\$2948
Lote 175000	1737	\$0.022	\$0.067	\$38.21	\$116.38

Fuente: Autoría

4.7.2. Pérdidas Económicas con IoT Fish

Haciendo uso del sistema de monitoreo durante 30 días y en base a los datos recopilados por el técnico o encargado se estable que han fallecido 1260 alevines por diversas causas, su porcentaje de mortalidad al mes es del 0.70%.

$$\%mortalidad_{mes} = \frac{1260 * 0.9925\%}{1736.8}$$

$$\%mortalidad_{mes} = 0.70\%$$

El porcentaje de mortalidad al mes es del 0.70% con la implementación del sistema de monitoreo IoT fish, logrando una reducción del 0.2925% de tasa de mortalidad. Ahora si se deseara aplicar a todo el laboratorio, se estima que las muertes sean de 25344 alevines durante los cuatro meses.

$$mortalidad_{mes} = \frac{880000 * 1260}{175000}$$

$$mortalidad_{mes} = 6336$$

$$mortalidad_{mes} = 6336 * 4 \text{ meses}$$

$$mortalidad_{4meses} = 25344$$

Tabla 57.

Pérdidas económicas con sistema de monitoreo

Descripción	Mortalidad Mes	Precio 1er. Mes	Precio 4to. Mes	Pérdidas 1er. Mes	Pérdidas 4ta. Mes
Lote 880000	25344	\$0.022	\$0.067	\$557.5	\$1698
Lote 175000	1260	\$0.022	\$0.067	\$27.72	\$84.42

Fuente: Autoría

4.8. Costo del Sistema

Para el desarrollo del sistema monitoreo inteligente e inteligencia artificial aplicado a la crianza de alevines, fue necesario adquirir componentes de hardware y software, en la que se detalla a continuación.

4.8.1. Costo de Hardware

En este apartado se detalla los elementos que componen el hardware del sistema de monitoreo, la Tabla 58 se muestra el costo de hardware de los nodos remotos con su precio, cabe recalcar que los dos nodos remotos utilizan los mismos componentes electrónicos

Tabla 58.

Costo de hardware nodos remotos

Elemento	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Arduino Leonardo	2	\$ 17.00	\$ 34.00
Sensor Temperatura DS18B20	2	\$ 3.50	\$ 7.00
Sensor de pH Atlas Scientific	2	\$ 69.99	\$ 139.98
Sensor DO Atlas Scientific	2	\$ 144.99	\$ 289.98
Módulo XBee S2C	2	\$ 48.95	\$ 97.90
XBee Xplorer	1	\$ 5.00	\$ 5.00
TOTAL		\$ 289.43	\$ 573.86

Fuente: Autoría

De igual, en la Tabla 59 se muestra el costo unitario de los componentes utilizados en el nodo coordinador.

Tabla 59.

Costo de hardware nodo coordinador

Elemento	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Raspberry Pi 4B	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Módulo XBee S2C	1	\$ 48.95	\$ 48.95
XBee Xplorer	1	\$ 5.00	\$ 5.00
TOTAL		\$ 148.95	\$ 173.95

Fuente: Autoría

Los sensores del fabricante Atlas Scientific, módulos de comunicación inalámbrica XBee y Raspberry Pi, se consiguió en las tiendas oficiales de Estados Unidos y el costo de envío hacia el Ecuador fue de 30 dólares americanos.

4.8.2. Costo de Software

En la Tabla 60, se detallan los valores del costo por el manejo de cada uno de los softwares utilizados en el desarrollo de este sistema de monitoreo, el hosting Web se lo utiliza durante un tiempo de 6 meses.

Tabla 60.

Costos por utilización de softwares

Elemento	Cantidad	Precio Unitario [USD]	Precio Total [USD]
Proteus 8.2.0	1	0.00	0.00
SolidWorks 2020	1	0.00	0.00
Matlab	1	0.00	0.00
IDE Arduino	1	0.00	0.00
Hosting Web cPanel 6 meses	1	2.99	17.94
XCTU	1	0.00	0.00
TOTAL			\$17.94

Fuente: Autoría

El software de Proteus fue ejecutado en la versión estudiantil, el software de Matlab fue ejecutado con la licencia Académica Tutor Fabián Cuzme U. Málaga España, el software IDE Arduino, el software XCTU no tiene ningún costo por su uso, y el hosting Web cPanel por su servicio y almacenamiento de la información tiene un costo de \$2.99 mensuales, este hosting se contrató durante 6 meses mensuales, con un valor de \$17.94

4.8.3. Costos de Ingeniería

Actualmente la empresa Guerra Piscis no cuenta con un manual de costos que le permita registrar, planificar y calcular de forma uniforme los servicios prestados. Por lo que en este apartado se detalla los costos de ingeniería que interviene en el desarrollo de todo el sistema de monitoreo.

En la Tabla 61, se muestra el costo de ingeniería para el desarrollo del sistema, en el cual se evidencia las actividades empleadas, dando un total de 21 días. De acuerdo con el (Ministerio de Trabajo, 2022), el salario mínimo de un Ingeniero Electrónico Especialista en Mantenimiento es de \$457.52.

Tabla 61.

Costos de Ingeniería

Descripción	# Días	Valor de día	Valor Actividad
Diseño de plano en SolidWorks	2	\$15.25	\$ 30.50
Diseño de PCB en Proteus	2	\$15.25	\$ 30.50
Simulación de Red en RadioMobile	2	\$15.25	\$ 30.50
Construcción de PCB	1	\$15.25	\$ 15.25
Programación en Arduino	3	\$15.25	\$ 45.75
Programación de Raspberry Pi	2	\$15.25	\$ 30.50
Programación de Pagina Web	8	\$15.25	\$ 122.00
Instalación del sistema	1	\$15.25	\$ 15.25
Total	21		\$ 320.25

Fuente: Autoría

De lo anterior expuesto, el costo para el desarrollo de este sistema en los 21 días es de \$320.25.

4.8.4. Costos de Mantenimiento

En esta parte de la investigación hace referencia al costo de mantenimiento de todo el sistema de monitoreo, a este sistema se le aplicará un mantenimiento general preventivo de hardware como de software ayudando alargar la vida de los componentes electrónicos. En la Tabla 62, se detalla el mantenimiento y valor de costo del día, cabe recalcar que la Empresa está ubicada en un sitio remoto, por lo que el técnico o la persona encargada del mantenimiento deberá trasladarse hasta el lugar.

Tabla 62.

Costo de Mantenimiento

Descripción	# Días	Valor de Día	Valor Actividad
Mantenimiento General	1	\$15.25	\$15.25
-Nodo Coordinador			
-Nodo Remoto A			
-Nodo Remoto B			
Transporte		\$10.00	\$10.00
Total			\$25.25

Fuente: Autoría

4.8.5. Costo Beneficio

El estudio del costo beneficio aplicado en este apartado tiene la finalidad de buscar soluciones que permitan mitigar pérdidas en producción de alevines en relación con el costo

de desarrollo del sistema de monitoreo, en la Tabla 63 se muestra a detalla la inversión utilizada en el proyecto.

Tabla 63.

Inversión de sistema de moniotero Iot Fish

Descripción	Inversión Unitaria	Cantidad	Inversión Total
Costo de Hardware Nodo Coordinador		1	\$173.95
Costo de Hardware Nodos Remotos	\$286.93	2	\$ 573.86
Costo de Software		1	\$17.94
Costo de Ingeniería		1	\$320.25
Costo de Mantenimiento	\$25.25	2	\$50.50
Total			\$1,136.50

Fuente: Autoría

Si el administrador desea implementar nodos remotos a la red, sola deberá invertir \$286.93 por cada nodo remoto a la red, cada nodo permitiendo monitorear alrededor de 100000 alevines.

El sistema de monitoreo IoT fish ha logrado reducir pérdidas económicas en el Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis, en la Tabla 64 se muestra la implementación del sistema con los dos nodos remotos, permitiendo monitorear aproximadamente 175000 alevines, con una reducción en el primer mes de \$10.49 y en el cuarto mes de \$31.96.

Tabla 64.

Pérdidas económicas aplicado a dos piletas

Descripción	Monitoreo	# Muertes	Pérdidas 1er.	Pérdidas 4to.
			Mes	Mes
Pérdidas con 175000	NO	1737	\$38.21	\$116.38
alevines	SI	1260	\$27.72	\$84.42
Reducción		477	\$10.49	\$ 31.96

Fuente: Autoría

Si el administrador desea implementar este sistema, en la Tabla 65 se realiza una proyección de pérdidas con una cantidad de 880000 alevines a monitorear, reduciendo pérdidas en el primer mes de \$410.50 y el cuarto mes de \$1250 dólares.

Tabla 65.

Pérdidas económicas con proyección a todo el sistema.

Descripción	Monitoreo	# Muertes	Pérdidas 1er.	Pérdidas 4to.
			Mes	Mes
Pérdidas con 880000	NO	44000	\$968.00	\$2,948.00
alevines	SI	25344	\$557.50	\$1,698.00
Reducción		18656	\$410.50	\$1,250.00

Fuente: Autoría

En relación con el costo de producción del hardware y en relación con las pérdidas económicas que ha logrado reducir este sistema es factible su implementación en todo el laboratorio de eclosión y alevinaje, debido a que cada mes de producción puede ahorrar un promedio de \$410.50

4.8.5.1. Plazo de Recuperación Método de Payback

El método de payback es utilizado para evaluar inversiones en un determinado tiempo, permitiendo recuperar el capital inicial de la inversión.

Para que el sistema de monitoreo se aplique a todas las piletas del laboratorio de alevines se necesita 14 nodos remotos, cada nodo remoto se estima en un valor de \$289.43 dólares, resultando una inversión inicial de \$4052.02, en la Tabla 65 se muestra la reducción de \$1250 en pérdidas si el sistema es aplicado a todas las piletas.

Tabla 66.

Plazo de recuperación Payback

Inversión Inicial	Flujo de Caja		
	Cero Mes	Cuarto Mes	Doceavo Mes
-4052.02	\$1250	\$2500	\$3750
Retorno del capital	\$-2802.02	\$-302.02	\$3447.98

Fuente: Autoría

Como se puede observar en la Tabla 66, en el 8vo mes se tiene una pérdida de 302.02, por lo cual se realiza una operación para encontrar en cuantos días se obtiene el retorno del capital.

$$retorno_{capital} = \frac{302.02([8 \text{ meses} * 30 \text{ días}])}{2500 [\text{mes}]}$$

$$retorno_{capital} = 28.99 \text{ días}$$

$$retorno_{capital} = 8 \text{ meses y } 29 \text{ días}$$

El retorno de la inversión de \$4052.02 se obtiene en 8 meses y 29 días para recuperar lo invertido, si se observa en la Tabla 66, desde el noveno mes al doceavo mes se tiene una ganancia de \$3447.98 dólares, por lo que la implementación de este sistema si es viable ya que hay un ahorro significativo en pérdidas económicas a la empresa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El diseño de la red inalámbrica consiste en dos nodos remotos y un nodo coordinador, el nodo remoto A, está a una distancia aproximadamente de 66.12 metros y el nodo remoto B a una distancia de 69.15 metros del nodo coordinador, en estos enlaces no existen mayores obstáculos para la transmisión de información aportando buenos enlaces, y excelentes respuestas en tiempos de 2000 [ms] enviando una cantidad de 100 paquetes con un porcentaje de pérdidas del 99% y 97% respectivamente en cada nodo.

Al culminar con el desarrollo del sistema de monitoreo inteligente basado en lógica difusa aplicado a la crianza de alevines, se determina el funcionamiento de este sistema sobre la calidad del agua basado en los tres parámetros para que el administrador o acuicultor tenga datos oportunos sobre la situación de los estanques y pueda actuar instantáneamente ante algún evento adverso.

El protocolo de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.4 permite implementar más nodos a la red existente y formar una red mesh para la comunicación entre nodos remotos y nodo coordinador, en consecuencia, los cálculos realizados y las especificaciones técnicas del módulo inalámbrico XBee S2C cubre en su totalidad el área de cobertura y el nivel de sensibilidad es de hasta -101[dBm].

El sistema de monitoreo permite al administrador tener un cuadro estadístico para analizar el comportamiento de los parámetros de la calidad del agua durante las 24 hora del día y evaluar las condiciones en las que se encuentra las piletas de alevines.

En consecuencia, este sistema ha permitido disminuir la tasa de mortalidad del 0.9925% al 0.70% durante un mes, por lo que se concluye la disminución de la tasa de mortalidad y un ahorro de las pérdidas en producción.

Para finalizar, se determina que la inversión económica para el desarrollo del sistema en todo el laboratorio es viable, debido a que el plazo de inversión es recuperable a las 8 meses y 29 días y rentable al tiempo de 12 meses con un estimado de ganancia de \$3447.98

Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio de factibilidad de costos, para una posible implementación de este sistema de monitoreo en distintos cultivos de alevines, debido a que este sistema cumple con analizar y determinar el comportamiento de la calidad de agua y notificar al piscicultor sobre las condiciones adversas en las que se encuentra, ayudando a prevenir tasas de mortalidad y reduciendo pérdidas económicas.

Se recomienda al administrador, realizar un plan preventivo de mantenimiento de los equipos con un periodo de dos veces al año para prevenir daños y alargar la vida útil.

Con los módulos de comunicación inalámbrica XBee S2C se logra una potencia de recepción de -101[dBm] la cual ayuda ampliar la zona de cobertura de los dispositivos hasta 100 metros según las especificaciones de sus datasheet.

Se recomienda mejorar el hosting, ya que los recursos contratados tienen límites de procesamiento y esto en un futuro puede ocasionar problemas de velocidad en la página web del sistema de monitoreo.

Al desarrollar mejoras en este proyecto o trabajos relacionados basados en estudio se procura optimizar los gastos económicos para que sean más accesibles a la comunidad y sean implementados a mayor escala.

REFERENCIAS

- Al-Masri, E., Kalyanam, K. R., Batts, J., Kim, J., Singh, S., Vo, T., & Yan, C. (2020). Investigating Messaging Protocols for the Internet of Things (IoT). *IEEE Access*, 8, 94880–94911. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993363>
- Apache HTTP. (2020, December 15). *El proyecto del servidor Apache HTTP*. <https://httpd.apache.org/>
- Arab, S., Ashrafzadeh, H., & Alidadi, A. (2018). Internet of Things: Communication Technologies, Features and Challenges. *International Journal of Engineering Development and Research*, 6(2), 2321–9939. www.ijedr.org
- Arduino. (2020). *Arduino Leonardo with Headers | Arduino Official Store*. <https://store.arduino.cc/usa/leonardo>
- AtlasScientific. (2020). *Kit de pH analógico Gravity™ | Atlas científico*. <https://atlas-scientific.com/kits/gravity-analog-ph-kit/>
- AtlasScientific. (2021). *Gravity™ Analog Dissolved Oxygen Kit | Atlas Scientific*. <https://atlas-scientific.com/kits/gravity-analog-do-kit/>
- Balbuena, E. (2011). Manual Básico de Piscicultura para Paraguay. *Agricultura Para El Desarrollo MAG*, 1–52.
- Bedoya, W. (2018). *Diseño de un sistema de monitoreo de la disponibilidad de estacionamientos para el parqueadero de la Universidad Técnica del Norte*. 1(1), 1–12. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7987>
- Burhan, M., Asif Rehman, R., Khan, B., & Kim, B.-S. (2018). IoT Elements, Layered Architectures and Security Issues: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 1–37. <https://doi.org/10.3390/s18092796>

- Carabalí Méndez, V. J. (2020). Diseño de un Sistema de medición de la calidad del agua del río Chota de la comunidad del mismo nombre, ubicada en la Parroquia de Ambuqui, en Catón Ibarra en la provincia de Imbabura. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Chelson Malo; Huawei. (2020, May 26). *Protocolo HTTP en IoT #MiUconHuawei - Comunidad Huawei Enterprise*. <https://forum.huawei.com/enterprise/es/protocolo-http-en-iot-miuconhuawei/thread/624779-100275>
- Correa, L. G. (2019). *Implementación de un modelo de gestión de proyectos de desarrollo de software, para el aseguramiento de calidad en los productos de la dirección de sistemas de la empresa pública Yachay*. 173.
- Cuzme, F. (2015). El Internet de las cosas y las consideraciones de seguridad. *Universidad Católica Del Ecuador*, 151, 10–17. <https://doi.org/10.1145/3132847.3132886>
- Dahiya, M. (2017). Wi-Fi : Standards For Next Generation Communications. *International Journal Of Engineering And Technology*, April.
- Damacela, A. I. Z. (2015). Respuesta Biología de la trucha Arcoiris frente a tres sistemas de alimentación (Balanceo, Lombrices de tierra y Mixto). *Ekp*, 13.
- Desai, K., Velingkar, H., Karambelkar, A., Rane, M., Govenkar, S., & Mandrekar, V. (2020). Pisciculture Monitoring System. *ICRITO 2020 - IEEE 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)*, 748–752. <https://doi.org/10.1109/ICRITO48877.2020.9197931>
- Diciembre Sanahuja, S. (2017). Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK). *UniversitatJaume*, 73. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/173788>

DIGI, I. (2016). *XBee®/XBee-PRO S2C Zigbee®*.

EcuRed. (2017). *Matrices de confusión - EcuRed*.
https://www.ecured.cu/Matrices_de_confusion

El Universo. (2021, June 21). Ecuador, sexto en ranking de tarifas eléctricas residenciales, por debajo de Colombia y Perú | Economía | Noticias | El Universo. *Las Tarifas Promedio de Consumo En 2021 En Ecuador Son de \$ 10,31 Para El Sector Residencial; \$ 10,44 Para El Comercial; \$ 7,99 Para El Industrial; y \$ 7,12 Para Otros, Que Constituyen Los Recursos Con Los Cuales Se Cubren Los Costos de Todo El Sector El...* <https://www.eluniverso.com/noticias/economia/tarifas-electricas-de-ecuador-son-competitivas-segun-colegio-de-ingenieros-electricos-y-la-arc-nota/>

Eleonor González, Y., Granados Roja, B., & Cortez, P. N. (2019). *Cómo Diseñar un Sistema de Inferencia Difusa de Tipo Mamdani*.
http://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=1760:como-disenar-un-sistema-de-inferencia-difusa-de-tipo-mamdani&catid=845:cyt--75&Itemid=156

Estuardo Guerra. (2022, January 25). *Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis*.
<https://guerrapiscis.com/index.html>

Fernández, Y. (2018, July 28). *Arduino y Raspberry Pi: qué son y cuáles son sus diferencias*.
<https://www.xataka.com/basics/arduino-raspberry-pi-que-cuales-sus-diferencias>

Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (2014). Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales. *Ministerio de La Producción -Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero*, 88. https://www.fondepes.gob.pe/src/manuales/MANUAL_TRUCHA.pdf

Gallegos, E. F. (2017, August). *Sistema de control difuso para el monitoreo de la temperatura, la Humedad, el PH y la conductividad electrica de invernaderos de*

plantas

ornamentales.

https://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/721/EDUARO_FLORES_GALLEGOS.pdf;jsessionid=s348io7ky3kj160lai712upf2?sequence=1

Gloukhovtsev, M. (2018). *Iot Security: Challenges, Solutions & Future Prospects*. 1–44.
https://education.dellemc.com/content/dam/dell-emc/documents/en-us/2018KS_Gloukhovtsev-IoT_Security_Challenges_Solutions_and_Future_Prospects.pdf

Gómez Santander, P. A. (2021, January 29). *Sistema electrónico para el monitoreo de los niveles de glucosa en pacientes diabéticos y la detección de hiperglucemia e hipoglucemia síntomas previos a un coma diabético*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10889>

IEEE 802.15.1-2002. (2002). *IEEE 802.15.1-2002 - IEEE Standard for Telecommunications and Information Exchange Between Systems - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 15: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Network*. https://standards.ieee.org/standard/802_15_1-2002.html

Ijorquea. (2018). *XBee-PRO ZB S2C TH | XBee.cl - Comunicación para Tus Proyectos*. Digi.
<https://xbee.cl/xbee-pro-zb-s2c-th/>

Imran, A., & Atif, S. (2018). *Protocolo Zigbee: una descripción general | Temas de ScienceDirect*. Comprehensive Energy Systems.
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/zigbee-protocol>

ISO/IEC/IEEE29148. (2018). INTERNATIONAL STANDARD ISO / IEC / IEEE Systems and software engineering — Life. *Internacional Standar d ISO/IEC/IEEE29148, Seconf Edi*, 104.

ITU, U. I. de T. (2016). Descripción General de Internet de los Objetos Y.2060- Y.4000. Y.2060 Y.4000, 20. <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559>

Jacinto Ricardo Echeverría Barahona; Ing. Carlos Merizalde. (2012). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de truchas en la comunidad La Delicia de San Francisco, Parroquia Tumbabiro , Cantón Urcuquí, Provincia Imbabura.* <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1697/1/TESIS.pdf>

Kaur, J., & Kaur, K. (2016). Availing Internet of Things in Industrial decision making - A survey. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016*, 2164–2168. <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755075>

Kouhia, E.-P. (2019). Development of an Arduino-Based Embedded System. *SSRN Electronic Journal, May*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3422103>

Langley, P., & Carbonell, J. G. (2018). Approaches to machine learning. In *Journal of the American Society for Information Science* (Vol. 35, Issue 5). <https://doi.org/10.1002/asi.4630350509>

Lombardi, M., Pascale, F., & Santaniello, D. (2021). Internet of things: A general overview between architectures, protocols and applications. *Information (Switzerland)*, 12(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/info12020087>

Marti, M., Garcia-Rubio, C., & Campo, C. (2019). Performance Evaluation of CoAP and MQTT_SN in an IoT Environment. *Proceedings*, 31(1), 49. <https://doi.org/10.3390/proceedings2019031049>

Martínez, P., Fernando, L., Sarmiento, M., & Hernán, F. (2016). Algoritmos para asignación de espectro en redes de radio cognitiva. *Tecnura*, 20(48), 69–88.

<https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a05>

- Maxim integrated. (2019). *DS18B20 Programmable Resolution 1*. 92, 1–20.
- McGrath, M. J., & Scanail, C. N. (2013). Sensor Technologies, Healthcare, Wellness and Environmental Applications. In *Apress open* (p. 84).
- Mejía, E. J. A. (2019). *Modelado y Sintonización de un Controlador PID De Un Robot Tipo Puma de Tres Grados de Libertad Utilizando Lógica Difusa*. 109.
- Merma Gallardo, L. M. (2019). “ Universidad Nacional De Cajamarca ,, *Universidad Nacional de Cajamarca*, 310. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009>
- Ministerio de Trabajo. (2022). *Estructuras ocupacionales – sueldos y salarios mínimos sectoriales y tarifas salarios mínimos sectoriales 2022* (Issue 1).
- Moreno Cerdà, F. (2018). *Demostrador arquitectura publish / subscribe con MQTT*.
- ONU. (2019). *Water | United Nations*. <https://www.un.org/en/global-issues/water>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Manual Práctico para el cultivo de la trucha arcoiris*. <http://www.fao.org/3/bc354s/bc354s.pdf>
- Pastorino Cecilia. (2020, March 17). *Cómo funciona Bluetooth Low Energy: el protocolo estrella de IoT | WeLiveSecurity*. <https://www.welivesecurity.com/la-es/2020/03/17/como-funciona-bluetooth-low-energy/>
- Pathaka, A. D., & Tembhurne, J. V. (2018). Internet of Things: A Survey on IoT Protocols. *SSRN Electronic Journal*, 483–487. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3168575>
- Phillips, V., Hernandez, M., & Aquino Martínez, G. (2019). MANUAL BÁSICO PARA EL CULTIVO DE TRUCHA ARCO IRIS (*Oncorhynchus mykiss*). *GEM-TIES*.

- Piamba-Mamian, T. M., Zambrano, L. E., Montaña Rúaes, L. A., & Rojas Gonzales, F. A. (2020). Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. *Informador Técnico*, 85(1), 3–19. <https://doi.org/10.23850/22565035.2937>
- Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida*. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
- Pmi Pmbox. (2020). *A Complete Guide to the PMI PMBOK Method | Smartsheet*. <https://www.smartsheet.com/content-center/best-practices/project-management/project-management-guide/pmi-pmbok-method>
- Quimbiamba Eddy. (2019). *Crecimiento y Eficiencia Alimentaria de trucas “Arco Iris” en etapa de crecimiento, con sustitución parcial, de alimentos balanceados por sangre de Bovinos*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6766/1/UPS-YT00045.pdf>
- Quiñonez Ibarra Edison Giovanni. (2017). *Evaluación de la sobrevivencia de trucha arcoiris (oncorhynchus mykiss) en la etapa de engorde bajo un sistema de recirculación de agua en Pimampiro, Imbabura* [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE]. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/6454/1/03_AGP_213_TRABAJO_DE_GRADO.pdf
- Raspberrypi. (2018). *RASPBERRY PI 4B/4GB Diseños de referencia Procesador de la aplicación*. <https://www.arrow.com/es-mx/reference-designs/raspberry-pi-4b4gb-raspberry-pi-4-model-b-4gb-sdram-evaluation-board-based-on-bcm2711-cortex-a72-processor-features-24-ghz-and-50-ghz-ieee-80211bgnac-wireless-lan-bluetooth-50-ble/b1deb068df5eda925714250e3776a>
- Rivera, L. (2020). *Solución IoT para la optimización del proceso de piscicultura en el Centro*

de Desarrollo Agroalimentario El Limonal. 11.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/23368>

Rodriguez, R. Y., Julcapoma, M. R., & Jacinto, R. A. (2017, January 12). Network monitoring environmental quality in agriculture and pisciculture with low power sensor nodes based on ZigBee and GPRS technology. *Proceedings of the 2016 IEEE 23rd International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2016*. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2016.7815578>

Rohit, M. H., Hoque, Z. T., Mujibul Karim, S., & Siddique, S. (2019). Cost efficient automated pisciculture assistance system using internet of things (iot). *Proceedings - 2019 IEEE/ACM 1st International Workshop on Software Engineering Research and Practices for the Internet of Things, SERP4IoT 2019*, 49–52. <https://doi.org/10.1109/SERP4IoT.2019.00015>

Salas Villareal, C. A. (2020). *Sistema de alerta temprana de movimientos telúricos en la Univerdsiad Técnica del Norte* [Universidad Técnica del Norte]. [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10770/2/04 RED 249 TRABAJO GRADO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10770/2/04_RED_249_TRABAJO_GRADO.pdf)

Salazar, L., & Cuzme, G. (2019). *Diseño de un Sítima de Riego Inteligente para cultivos de Hortalizas basado en Fuzzy Logic en la granja La Pradera de la Universidad Técnica del Norte*.

Santos, P. (2019). “Red Inalámbrica De Sensores (Wsn) De Monitoreo De La Calidad Del Agua Para Estanques De Truchas.” *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Santos Paola Graciela; Jurado Marco Antonio. (n.d.). *Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua en la crianza de peces*. Retrieved March 10, 2021,

from [http://192.188.46.193/bitstream/123456789/69756/1/Santos Benavides Paola Graciela -2019.pdf](http://192.188.46.193/bitstream/123456789/69756/1/Santos_Benavides_Paola_Graciela_-2019.pdf)

Santos Paola Graciela; Jurado Marco Antonio. (2017). *Red inalámbrica de sensores para el monitoreo de la calidad del agua en la crianza de peces*. [http://192.188.46.193/bitstream/123456789/69756/1/Santos Benavides Paola Graciela -2019.pdf](http://192.188.46.193/bitstream/123456789/69756/1/Santos_Benavides_Paola_Graciela_-2019.pdf)

Semtech. (2020). LoRa and LoRaWAN. *Semtech Technique Paper, December 2019*, 1–17. <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017, 3. <https://doi.org/10.1155/2017/9324035>

Sigfox. (2017). *Sigfox Technical Overview*. 1(May), 26. <https://www.disk91.com/wp-content/uploads/2017/05/4967675830228422064.pdf>

Stephen Evanczuk. (2018, June 26). *Secure Cellular Connected IoT Applications* / DigiKey. Contributed By Digi-Key's North American Editors. <https://www.digikey.com/en/articles/speed-development-secure-cellular-connected-iot-applications>

Tecnológico, T. Y. (2018). *Evaluar la suplementación con polen en alevines de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) medidos a través del peso y talla*. 1–26.

Terrones-Benicio, R., Flores-Gallegos, E., Verduzco-Ramírez, J. Y., & García-Díaz, N. (2017). Modelado de sistema difuso para monitoreo de pH en cultivos de plantas ornamentales. In *Diciembre* (Vol. 4). www.ecorfan.org/bolivia

Vilanova, J. W. (2019). *¿ Que es la lógica difusa* *Encuentro Universitario de Ciencia y*

Tecnología Plan de la presentación Introducción no formal .

- Wang, H., Xiong, D., Wang, P., & Liu, Y. (2017). A Lightweight XMPP Publish/Subscribe Scheme for Resource-Constrained IoT Devices. *IEEE Access*, 5, 16393–16405. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2742020>
- Westland Jason. (2017, August 4). *Project Management Methodologies - An Overview*. <https://www.projectmanager.com/blog/project-management-methodology>
- Yauri, R., Rios, M., & Lezama, J. (2017, October 20). Water quality monitoring of Peruvian Amazon based in the Internet of Things. *Proceedings of the 2017 IEEE 24th International Congress on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2017*. <https://doi.org/10.1109/INTERCON.2017.8079651>
- Zimmermann. (1996). Fuzzy Set Theory and its Applicatipon. *Academic Publishers*.

ANEXOS

ANEXO A

Encuesta de Requerimiento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ENCUESTA DIRIGIDA A ESPECIALISTA EN EL ÁREA DEL PISCICULTURA

PROYECTO: *“SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PROVINCIA SUCUMBIOS, CANTÓN SUCUMBIOS, PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO.”*

Esta encuesta está dirigida a los especialistas en el área de piscicultura, con la finalidad de levantar información acerca de los requerimientos del usuario para la construcción del sistema de monitoreo inteligente.

Objetivo del proyecto: Diseñar una red de sensores inalámbricos con tecnología IoT e implementar mecanismo de inteligencia artificial que permita monitorear la crianza de alevines, para minimizar la tasa de mortalidad en la Parroquia del Playón del San Francisco

Objetivo de la encuesta: Recopilar información acerca del cultivo de alevines y determinar parámetros y requerimientos del sistema a diseñar.

Nombre del encuestado:

Fecha:

Nombre del encuestador:

- Mencione Ud. ¿Cuál es la cantidad de producción de alevines arcoíris y que tasa de mortalidad presenta en cada lote?

- ¿Se presentan fuertes precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- Mencione Ud. ¿En el Laboratorio de eclosión y alevinaje Piscis Guerra, se presentan cortes de energía eléctrica

a) SI

b) NO

Si la respuesta es “SI”, Seleccione en que tiempo se reestablece la energía.

a) 1 a 4 horas

b) 6 horas y más.

c) Nunca

- ¿Considera necesario la implementación de una solución tecnología para el monitoreo de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- ¿Considera usted que la temperatura en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es “SI”, mencione cuales son los niveles de temperatura que se mantienen en los estanques.

a) 0°C a 4°C

b) 4°C a 8 °C

c) 8°C a 12°C

d) 12°C a 20°C

- ¿Considera usted que el pH es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es “SI”, mencione cuales son los niveles del pH ideal.

a) 1.0 a 6.5 pH

b) 6.5 a 8.00 pH

c) 8.0 a 12.0 pH

- ¿Considera usted que la saturación de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es “SI”, mencione cuales son los valores en los que se encuentra en los estanques.

a) 0 a 4.5 mg/L

b) 4.6 a 5.5 mg/L

c) 5.6 a 6.5 mg/L

d) 6.6 a 12 mg/L

- ¿Conoce algún otro parámetro importante y esencial que interviene en la producción de alevines arcoíris? Si la respuesta es “SI” menciones usted cuales consideraría, y sus niveles ideales.

a) SI

b) NO

- ¿Considera usted que el control de los parámetros de temperatura, pH y niveles de oxígeno en el agua debería automatizarse?

a) SI

b) NO

- ¿Le gustaría que el sistema sea lo más intuitivo y fácil para el usuario?

a) SI

b) NO

- Considera Ud. ¿Qué los datos obtenidos por del sistema de monitoreo se presenten en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real?

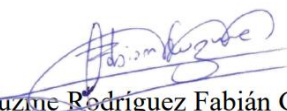
a) SI

b) NO

- ¿Le gustaría a Ud. que el sistema proporcione una notificación ante alguna situación desfavorable de los parámetros antes mencionados?

a) SI

b) NO


MSc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovany
TUTOR


Elaborado por John Díaz
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ENCUESTA DIRIGIDA A ESPECIALISTA EN EL ÁREA DEL PISCICULTURA

PROYECTO: "SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PROVINCIA SUCUMBOS, CANTÓN SUCUMBOS, PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO."

Esta encuesta está dirigida a los especialistas en el área de piscicultura, con la finalidad de levantar información acerca de los requerimientos del usuario para la construcción del sistema de monitoreo inteligente.

Objetivo del proyecto: Diseñar una red de sensores inalámbricos con tecnología IoT e implementar mecanismo de inteligencia artificial que permita monitorear la crianza de alevines, para minimizar la tasa de mortalidad en la Parroquia del Playón del San Francisco

Objetivo de la encuesta: Recopilar información acerca del cultivo de alevines y determinar parámetros y requerimientos del sistema a diseñar.

Nombre del encuestado: Andri Rosero

Fecha: 14/07/2021

Nombre del encuestador: John Diaz

Mencione Ud. ¿Cuál es la cantidad de producción de alevines arcoiris y que tasa de mortalidad presenta en cada lote?

PRODUCCION 800.000 delevines
TASA MORTALIDAD 20 %

- ¿Se presentan fuertes precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines arcoiris?

a) SI

b) NO

- Mencione Ud. ¿En el Laboratorio de eclosión y alevinaje Piscis Guerra, se presentan cortes de energía eléctrica

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", Seleccione en que tiempo se reestablece la energía.

a) 1 a 4 horas

b) 6 horas y más.





c) Nunca

- ¿Considera necesario la implementación de una solución tecnología para el monitoreo de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- ¿Considera usted que la temperatura en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles de temperatura que se mantienen en los estanques.

- a) 0°C a 4°C
- b) 4°C a 8 °C
- c) 8°C a 12°C
- d) 12°C a 20°C

- ¿Considera usted que el pH es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles del pH ideal.

- a) 1.0 a 6.5 pH
- b) 6.5 a 8.00 pH
- c) 8.0 a 12.0 pH

- ¿Considera usted que la saturación de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los valores en los que se encuentra en los estanques.



- a) 0 a 4.5 mg/L
- b) 4.6 a 5.5 mg/L
- c) 5.6 a 6.5 mg/L
- d) 6.6 a 12 mg/L

- ¿Conoce algún otro parámetro importante y esencial que interviene en la producción de alevines arcoíris? Si la respuesta es "SI" menciones usted cuales consideraría, y sus niveles ideales.

- a) SI **ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA**
- b) NO

- ¿Considera usted que el control de los parámetros de temperatura, pH y niveles de oxígeno en el agua debería automatizarse?

- a) SI
- b) NO

- ¿Le gustaría que el sistema sea lo más intuitivo y fácil para el usuario?


- a) SI
- b) NO

- Considera Ud. ¿Qué los datos obtenidos por del sistema de monitoreo se presenten en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real?

- a) SI
- b) NO

- ¿Le gustaría a Ud. que el sistema proporcione una notificación ante alguna situación desfavorable de los parámetros antes mencionados?

- a) SI
- b) NO


MSc. Cuzine Rodríguez Fabián Geovany
TUTOR


Elaborado por Jonir Díaz
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ENCUESTA DIRIGIDA A ESPECIALISTA EN EL ÁREA DEL PISCICULTURA

PROYECTO: "SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PROVINCIA SUCUMBIOS, CANTÓN SUCUMBIOS, PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO."

Esta encuesta está dirigida a los especialistas en el área de piscicultura, con la finalidad de levantar información acerca de los requerimientos del usuario para la construcción del sistema de monitoreo inteligente.

Objetivo del proyecto: Diseñar una red de sensores inalámbricos con tecnología IoT e implementar mecanismo de inteligencia artificial que permita monitorear la crianza de alevines, para minimizar la tasa de mortalidad en la Parroquia del Playón del San Francisco

Objetivo de la encuesta: Recopilar información acerca del cultivo de alevines y determinar parámetros y requerimientos del sistema a diseñar.

Nombre del encuestado: Ing. Catalina Guerra

Fecha: 14/07/2021

Nombre del encuestador: John Diat

- Mencione Ud. ¿Cuál es la cantidad de producción de alevines arcoíris y que tasa de mortalidad presenta en cada lote?

La producción es de 800.000 alevines. y tasa de mortalidad del 20%

- ¿Se presentan fuertes precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- Mencione Ud. ¿En el Laboratorio de eclosión y alevinaje Piscis Guerra, se presentan cortes de energía eléctrica

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", Seleccione en que tiempo se reestablece la energía.

a) 1 a 4 horas

b) 6 horas y más.





c) Nunca

- ¿Considera necesario la implementación de una solución tecnología para el monitoreo de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- ¿Considera usted que la temperatura en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles de temperatura que se mantienen en los estanques.

a) 0°C a 4°C

b) 4°C a 8 °C

c) 8°C a 12°C

d) 12°C a 20°C

- ¿Considera usted que el pH es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles del pH ideal.

a) 1.0 a 6.5 pH

b) 6.5 a 8.00 pH

c) 8.0 a 12.0 pH

- ¿Considera usted que la saturación de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los valores en los que se encuentra en los estanques.



- a) 0 a 4.5 mg/L
- b) 4.6 a 5.5 mg/L
- c) 5.6 a 6.5 mg/L
- d) 6.6 a 12 mg/L

- ¿Conoce algún otro parámetro importante y esencial que interviene en la producción de alevines arcoíris? Si la respuesta es "SI" menciones usted cuales consideraría, y sus niveles ideales.

- a) SI La Alimentación
- b) NO

- ¿Considera usted que el control de los parámetros de temperatura, pH y niveles de oxígeno en el agua debería automatizarse?

- a) SI
- b) NO

- ¿Le gustaría que el sistema sea lo más intuitivo y fácil para el usuario?

- a) SI
- b) NO

- Considera Ud. ¿Qué los datos obtenidos por del sistema de monitoreo se presenten en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real?

- a) SI
- b) NO

- ¿Le gustaría a Ud. que el sistema proporcione una notificación ante alguna situación desfavorable de los parámetros antes mencionados?

- a) SI
- b) NO

MSc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovany
TUTOR

Elaborado por 
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

ENCUESTA DIRIGIDA A ESPECIALISTA EN EL ÁREA DEL PISCICULTURA

PROYECTO: "SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGÍA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PROVINCIA SUCUMBIOS, CANTÓN SUCUMBIOS, PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO."

Esta encuesta está dirigida a los especialistas en el área de piscicultura, con la finalidad de levantar información acerca de los requerimientos del usuario para la construcción del sistema de monitoreo inteligente.

Objetivo del proyecto: Diseñar una red de sensores inalámbricos con tecnología IoT e implementar mecanismo de inteligencia artificial que permita monitorear la crianza de alevines, para minimizar la tasa de mortalidad en la Parroquia del Playón del San Francisco

Objetivo de la encuesta: Recopilar información acerca del cultivo de alevines y determinar parámetros y requerimientos del sistema a diseñar.

Nombre del encuestado: ING. ESTUARDO GUERRA

Fecha:

Nombre del encuestador:

- Mencione Ud. ¿Cuál es la cantidad de producción de alevines arcoíris y que tasa de mortalidad presenta en cada lote?

MOETAUAN APROXIMADAMENTE EL 20% DE UNA PRODUCCIÓN DE UN MILLON DE ALEVINES

- ¿Se presentan fuertes precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- Mencione Ud. ¿En el Laboratorio de eclosión y alevinaje Piscis Guerra, se presentan cortes de energía eléctrica

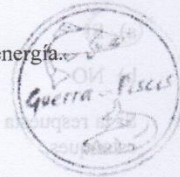
a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", Seleccione en que tiempo se reestablece la energía.

a) 1 a 4 horas

b) 6 horas y más.





UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

c) Nunca

- ¿Considera necesario la implementación de una solución tecnología para el monitoreo de alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

- ¿Considera usted que la temperatura en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles de temperatura que se mantienen en los estanques.

a) 0°C a 4°C

b) 4°C a 8 °C

c) 8°C a 12°C

d) 12°C a 20°C

- ¿Considera usted que el pH es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los niveles del pH ideal.

a) 1.0 a 6.5 pH

b) 6.5 a 8.00 pH

c) 8.0 a 12.0 pH

- ¿Considera usted que la saturación de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?

a) SI

b) NO

Si la respuesta es "SI", mencione cuales son los valores en los que se encuentra en los estanques.



- a) 0 a 4.5 mg/L
- b) 4.6 a 5.5 mg/L
- c) 5.6 a 6.5 mg/L
- d) 6.6 a 12 mg/L

- ¿Conoce algún otro parámetro importante y esencial que interviene en la producción de alevines arcoíris? Si la respuesta es "SI" mencione usted cuales consideraría, y sus niveles ideales.

- a) SI
- b) NO

- ¿Considera usted que el control de los parámetros de temperatura, pH y niveles de oxígeno en el agua debería automatizarse?

- a) SI ANALISIS MICROBIOLÓGICO Sólidos Totales Y CONDUCTIVIDAD
- b) NO

- ¿Le gustaría que el sistema sea lo más intuitivo y fácil para el usuario?

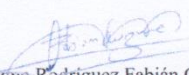
- a) SI
- b) NO

- Considera Ud. ¿Qué los datos obtenidos por del sistema de monitoreo se presenten en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real?

- a) SI
- b) NO

- ¿Le gustaría a Ud. que el sistema proporcione una notificación ante alguna situación desfavorable de los parámetros antes mencionados?

- a) SI
- b) NO


MSc. Cuzme Rodríguez Fabián Geovany
TUTOR


Elaborado por John Díaz
ESTUDIANTE

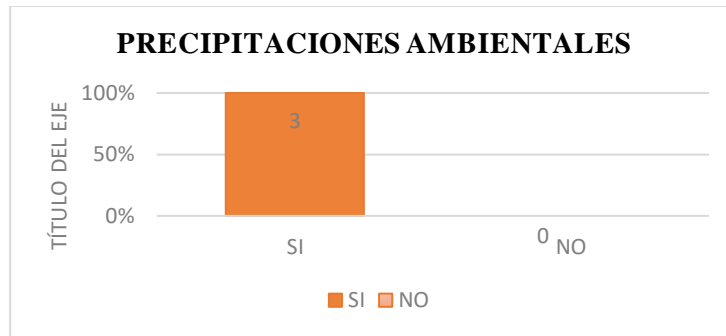
Tabulación de Encuesta

1. Mencione Ud. ¿Cuál es la cantidad de producción de alevines arcoíris y que tasa de mortalidad presenta en cada lote?



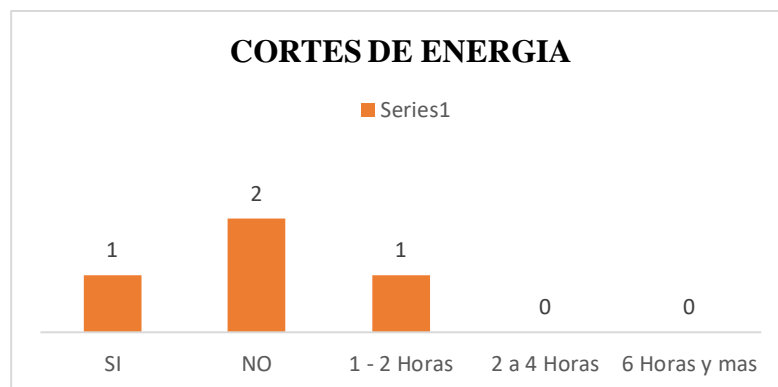
De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la encuesta realizada a los especialistas del laboratorio de eclosión Piscis Guerra, mencionan que, de un lote de 1000000 de alevines, presentan un 20% de mortalidad equivalente a 200000 alevines muertos y el 80% en producción.

2. ¿Se presentan fuertes precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines arcoíris?



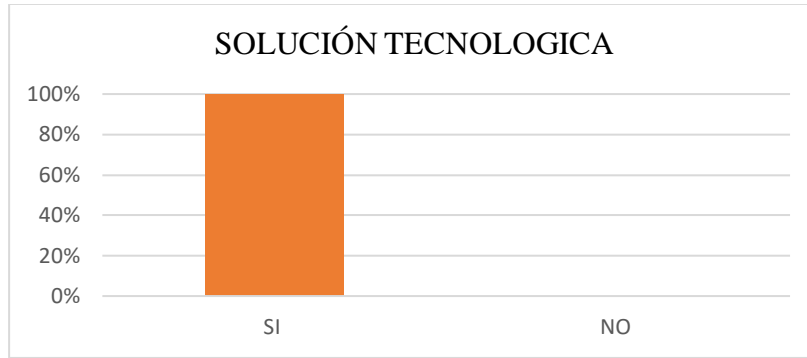
Los resultados arrojados en la encuesta, el 100% indica que si existen precipitaciones ambientales que afecten la producción de alevines.

- Mencione Ud. ¿En el Laboratorio de eclosión y alevinaje Piscis Guerra, se presentan cortes de energía eléctrica



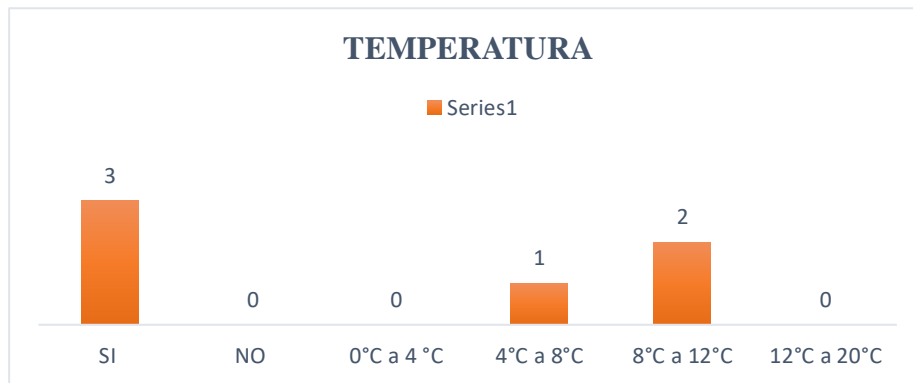
Mediante la encuesta realizada, las tres personas mencionan que no sufren cortes de energía eléctrica.

- ¿Considera necesario la implementación de una solución tecnología para el monitoreo de alevines arcoíris?



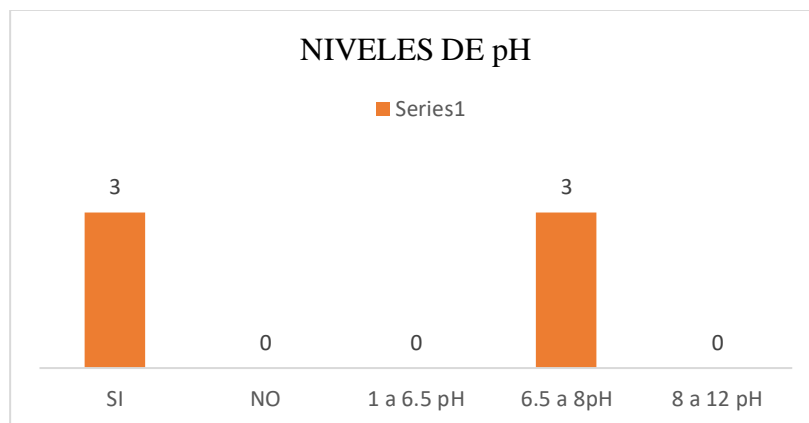
Todos los encuestados mencionan que si es factible una solución tecnológica para el monitoreo de alevines arcoíris.

- ¿Considera usted que la temperatura en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?



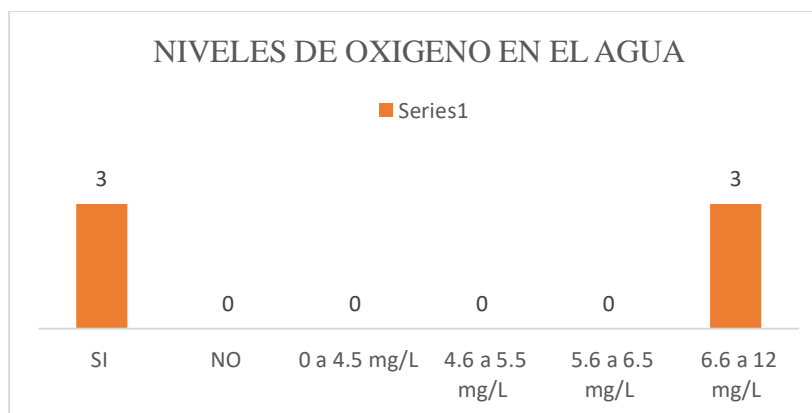
De la encuesta realizada, las dos personas indicas que la temperatura debe de estar entre los 10°C a 15 °C y el otro encuestado indica entre el 5°C y 10°C.

- ¿Considera usted que el pH es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris



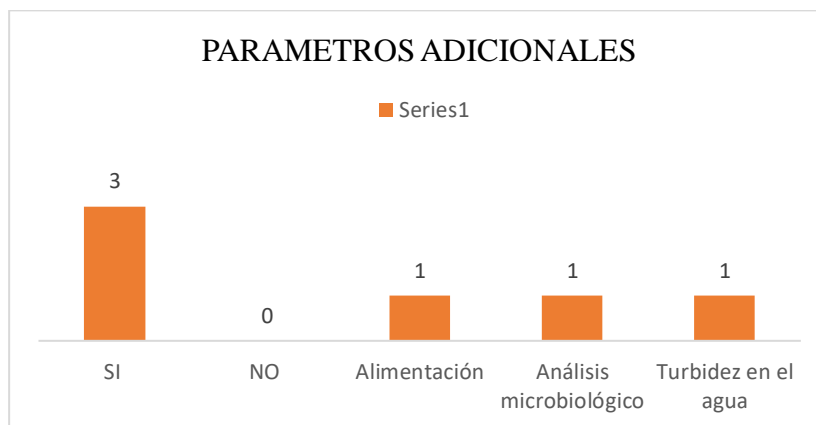
Los resultados de la encuesta realizada a los especialistas del laboratorio “Piscis Guerra” arrojan un valor de pH entre 6.5 a 8 para la crianza de alevines.

7. ¿Considera usted que el nivel de oxígeno disuelto en el agua es un parámetro importante en la producción de los alevines arcoíris?



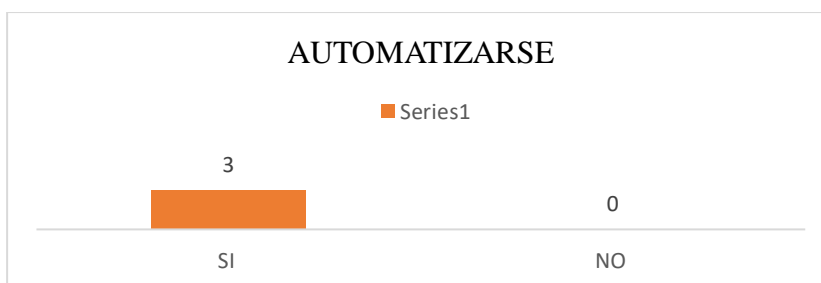
De acuerdo con la encuesta realiza, todos los especialistas mencionaron que los niveles de oxígeno saturados en el agua deben comprender entre el 6.6 a 12 mg/L correspondiente al 100% de las respuestas de la encuesta.

8. ¿Conoce algún otro parámetro importante y esencial que interviene en la producción de alevines arcoíris? Si la respuesta es “SI” menciones usted cuales consideraría, y sus niveles ideales.



De acuerdo con la encuesta realizada, todos los especialistas mencionan un parámetro que interviene en el cultivo de alevines arcoíris, los cuales son: alimentación, análisis microbiológico y turbidez en el agua.

9. ¿Considera usted que el control de los parámetros de temperatura, pH y niveles de oxígeno en el agua debería automatizarse?



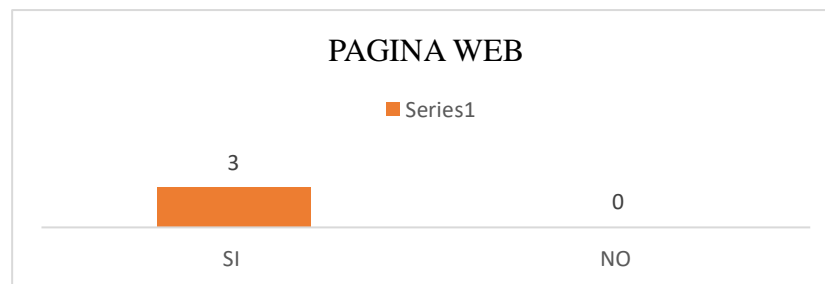
El mayor porcentaje de los encuestados correspondiente al 100% mencionan que se debe automatizar estos parámetros para el monitoreo del cultivo de alevines mediante tecnologías IoT

10. ¿Le gustaría que el sistema sea lo más intuitivo y fácil para el usuario?



Mediante la encuesta realizada, los encuestados responden que el 100% les gustaría un sistema intuitivo fácil para el usuario.

11. Considera Ud. ¿Qué los datos obtenidos por del sistema de monitoreo se presenten en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real?



Los resultados obtenidos mediante la encuesta realizada, los tres encuestados responden que los resultados se presentan en una plataforma WEB para el monitoreo en tiempo real del sistema a diseñar.

12. ¿Le gustaría a Ud. que el sistema proporcione una notificación ante alguna situación desfavorable de los parámetros antes mencionados?



Mediante los resultados de la encuesta, el 100% menciona que para el diseño el sistema, proporcione una notificación para alertar mediante algún inconveniente presentado en el cultivo de truchas arcoíris.

ANEXO B

Comparativa de Redes Inalámbricas.

En la Tabla 67, se ilustran las características técnicas y comparativas de cada una de las tecnologías inalámbricas más utilizadas.

Tabla 67.

Tecnologías inalámbricas.

Tecnología	Estándar	Frecuencia	Data Rate	Canal	Modulación	Seguridad	Rango	Batería	Costo
Bluetooth	IEEE 802.1	2.4GHz-2.485GHz	723 kbps a 3Mbps	1 MHz	DQPSK 8DPSK GFSK	AES, Pun Code	10m 10 m	1 a 7 días	Bajo
BLE (Bluetooth Low Energy)	IEEE 802.1	2.4 GHz	1Mbps	2 MHz	GFSK OFDM	AES 128 bits, Key Generation	100 m	Varios años	Bajo
ANT		2.4 GHz	1Mbps	1 MHz	GFSK	64 bits-key	50 m	Varios años	Bajo
Zig-Bee	IEEE 802.15.4	868 MHz (Europa) 915 MHz (US) 2.4GHz-4.483GHz	20 kbps 40 kbps 250 kbps	5MHz	O-QPSK BPSK	AES 128 bits	100m a 300 m	100 a 1000 días	Ultra Bajo
Wi-Fi	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac/ad	2.4 GHz 5.2 GHz 60 GHz	11 Mbps a 7Gbps	20 MHz	OFDM	WEP/WPA/WPA2	75m a 125 m	1-5 días	Medio
Lora	N/A	433/686/780/915 MHz	250bps a 5.5kbps 11kbps a 50kbps	125 KHz 250KHz	CSS (G)FSK	AES 128 in Counter mode (CTR)	2-15 Km	>10 años	Bajo
Sigfox	N/A	868MHz 902MHz	100bps	100Hz	DBPSK GFSK	AES 128 bit	3-50 Km	>10 años	Bajo

Fuente: Autoría

ANEXO C

Datasheet Sensor de Temperatura DS18B20

PRELIMINARY

DS18B20
Programmable Resolution
1-Wire® Digital Thermometer

DALLAS SEMICONDUCTOR

www.dalsemi.com

FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

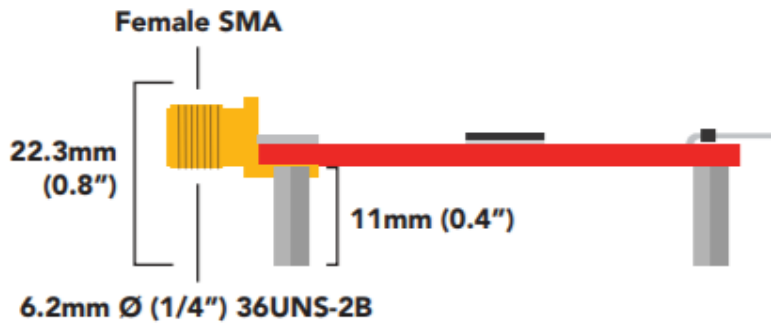
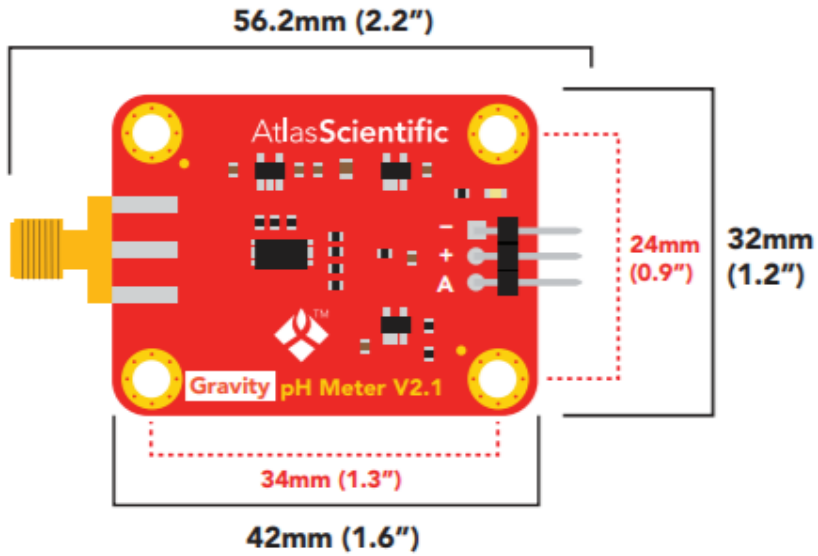
Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

PIN ASSIGNMENT

PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{DD} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

Gravity dimensions



Power consumption

5V = 3mA
3.3V = 3mA

Absolute max ratings

Parameter	MIN	TYP	MAX
Storage temperature	-65 °C		125 °C
Operational temperature	-40 °C	25 °C	50 °C
VCC	3.3V	5V	5.5V

Converting the analog signal into pH

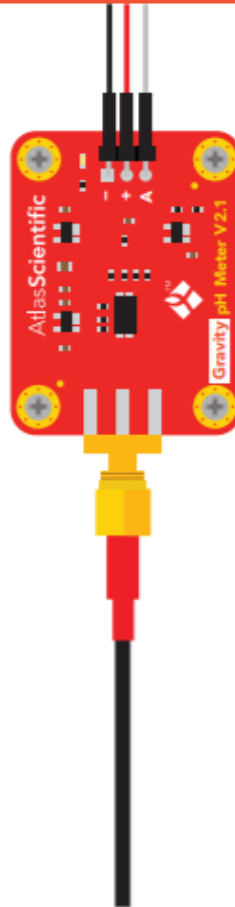
The Atlas Scientific Gravity™ Analog pH Sensor / Meter will output a voltage from 3.00V to 0.265V.

Equation to convert voltage to pH

$$pH = (-5.6548 * voltage) + 15.509$$



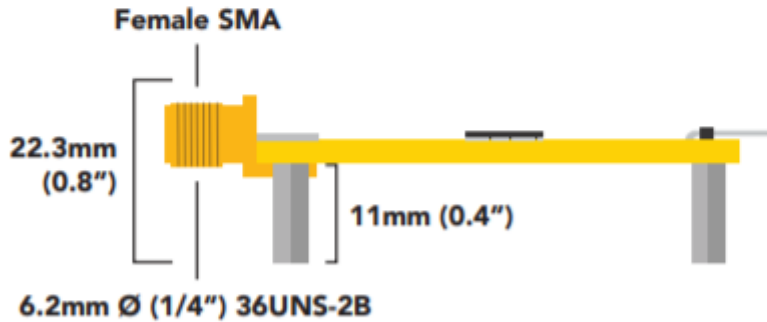
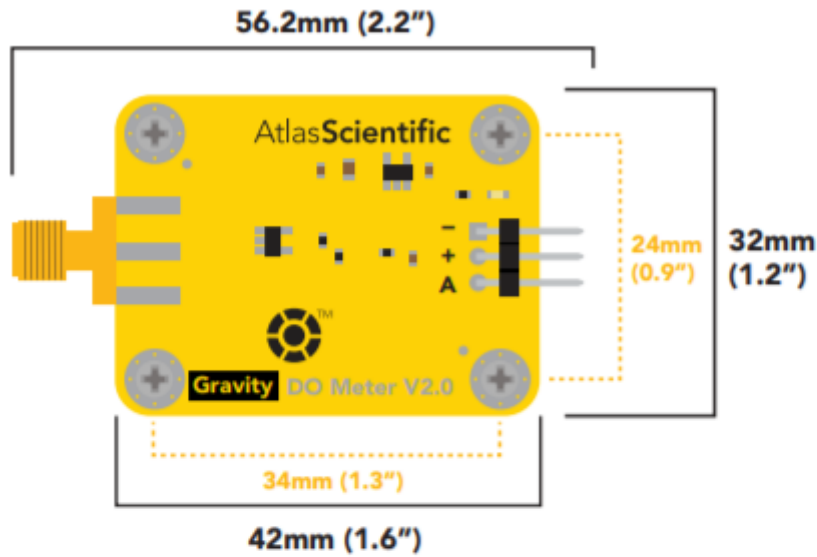
No probe = Unpredictable



Tolerance ± .015V

pH	Volts
0	2.745
1	2.570
2	2.390
3	2.210
4	2.030
5	1.855
6	1.680
7	1.500
8	1.330
9	1.155
10	0.975
11	0.800
12	0.620
13	0.445
14	0.265

Gravity dimensions



Power consumption

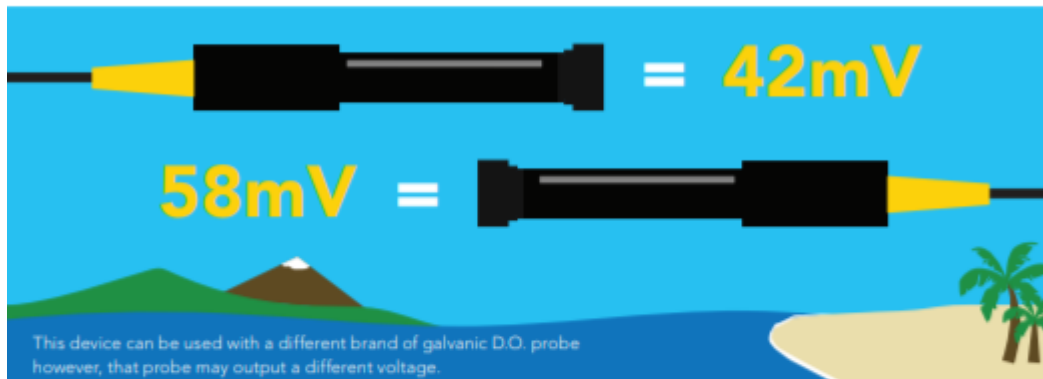
5V = 0.3mA
3.3V = 0.3mA

Absolute max ratings

Parameter	MIN	TYP	MAX
Storage temperature	-65 °C		125 °C
Operational temperature	-40 °C	25 °C	50 °C
VCC	3.3V	5V	5.5V

Converting the analog signal into percent saturation

Every dissolved oxygen probe will output a slightly different voltage. Atlas Scientific's galvanic dissolved oxygen probe outputs ~40 – 60mV in air.



The analog voltage coming off **pin A** is the voltage from the probe + an 11x gain. This means the analog voltage read on **pin A** is the voltage from the probe x11.

Example

Probe output	Gravity pin A output
1mV	11mV
42mV	462mV
12.63mV	138.93mV

With the probe sitting in the air, watch the voltage coming into your ADC. Wait until the readings stabilize.



Once the readings stabilize, capture the reading and store it in permanent memory such as EEPROM. This is your calibration value; you don't want to lose it.

Percent Saturation equation

$$\frac{\text{Reading in water}}{\text{Calibration value}} \times 100 = \text{Percent Saturation}$$

Datasheet Módulo XBee S2C

Performance specifications

The following table describes the performance specifications for the devices.

Note Range figure estimates are based on free-air terrain with limited sources of interference. Actual range will vary based on transmitting power, orientation of transmitter and receiver, height of transmitting antenna, height of receiving antenna, weather conditions, interference sources in the area, and terrain between receiver and transmitter, including indoor and outdoor structures such as walls, trees, buildings, hills, and mountains.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C
Indoor/urban range	Up to 60 m (200 ft)	Up to 90 m (300 ft)
Outdoor RF line-of-sight range	Up to 1200 m (4000 ft)	Up to 3200 m (2 mi)
Transmit power output (maximum)	6.3 mW (+8 dBm), boost mode 3.1 mW (+5 dBm), normal mode channel 26 max power is +3 dBm	63 mW (+18 dBm)
RF data rate	250,000 b/s	
Receiver sensitivity	-102 dBm, boost mode -100 dBm, normal mode	-101 dBm

Power requirements

The following table describes the power requirements for the XBee/XBee-PRO Zigbee RF Module.

Specification	XBee	XBee-PRO
Supply voltage	2.1 - 3.6 V	2.7 - 3.6 V
Transmit current (typical, VCC = 3.3 V)	45 mA (8 dBm, Boost mode) 33 mA (5 dBm, Normal mode)	120 mA (18 dBm)
Idle / receive current (typical, VCC = 3.3 V)	31 mA (Boost mode) 28 mA (Normal mode)	31 mA
Power-down current	<1 uA @ 25C	<1 uA @ 25C

General specifications

The following table describes the general specifications for the devices.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C
Operating frequency band	ISM 2.4 - 2.5 GHz	

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C
Form factor	through-hole, surface-mount	
Dimensions	through-hole: 2.438 x 2.761 cm (0.960 x 1.087 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)	through-hole: 2.438 x 3.294 cm (0.960 x 1.297 in) surface-mount: 2.199 x 3.4 x 0.305 cm (0.866 x 1.33 x 0.120 in)
Operating temperature	-40 to 85 °C (industrial)	
Antenna options	through-hole: PCB antenna, U.FL connector, RPSMA connector, or integrated wire surface-mount: RF pad, PCB antenna, or U.FL connector	

Networking and security specifications

The following table describes the networking and security specifications for the devices.

Specification	XBee Zigbee S2C	XBee-PRO Zigbee S2C
Supported network topologies	Point-to-point, point-to-multipoint, peer-to-peer, and DigiMesh	
Number of channels	16 Direct sequence channels	15 Direct sequence channels
Interface immunity	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	
Channels	11 to 26	
Addressing options	PAN ID and addresses, cluster IDs and endpoints (optional)	

Communication interface specifications

The following table provides the device's communication interface specifications.

Interface options	
UART	250 Kb/s maximum
SPI	5 Mb/s maximum (burst)

ANEXO D

Resultados de Simulación Radio Mobile

La simulación de red utilizando el software Radio Mobile, se utiliza tres puntos con coordenadas geográficas en donde van a ser instalados los nodos remotos y el nodo coordinador, y la topología de red es la que se muestra en la Figura 107.

Figura 107.

Topología de red RadioMobile



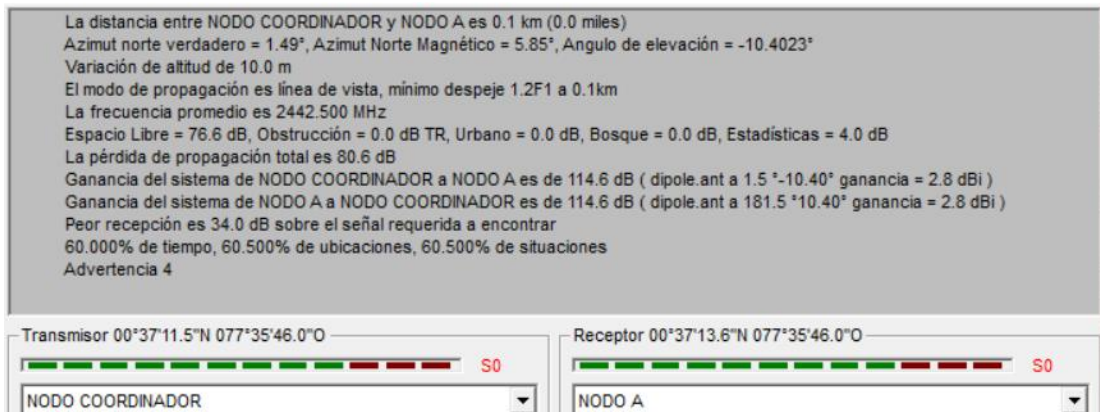
Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

Nodo Coordinador y Nodo Remoto A

Los resultados de la simulación de red inalámbrica entre el nodo coordinador y nodo remoto A se muestran en la Figura 108, con los diferentes detalles proporcionados por el simulador de red RadioMobile, en la que se puede observar la distancia entre los dos nodos, ángulo de azimut, entre otros parámetros.

Figura 108.

Simulación de radio mobile coordinador y NrA

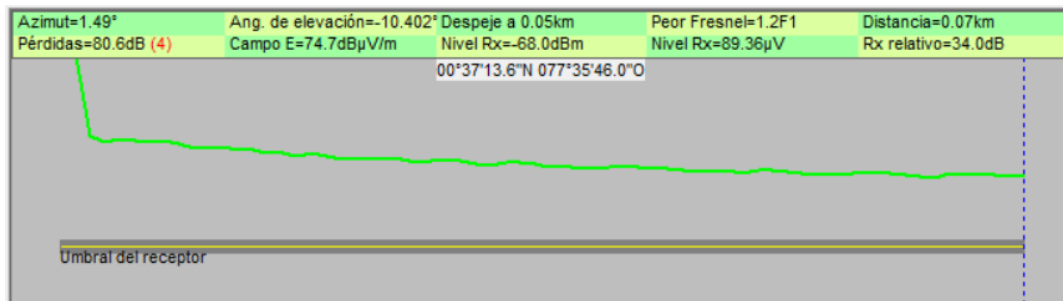


Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

De la misma forma se muestra el umbral de recepción entre el nodo coordinador y nodo remoto A, con un nivel de recepción de -68.0 [dBm] y una recepción relativa de 34.0[dBm], con unas pérdidas de 80.6[dB].

Figura 109.

Umbral de recepción NrA

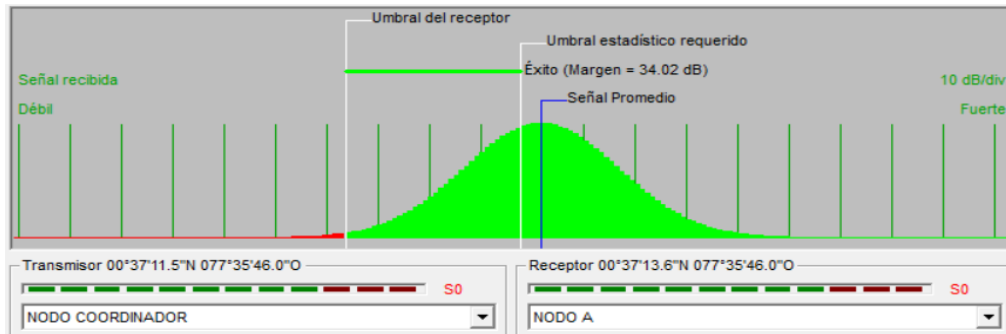


Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

Finalmente se muestra el umbral estadístico requerido y los márgenes de éxito para la transmisión y el valor promedio de la señal.

Figura 110.

Umbral del receptor con margen de 34.02 [dBm]



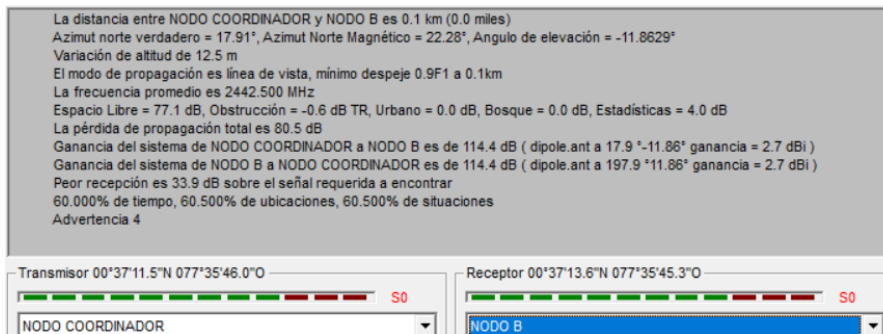
Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

Nodo Coordinador y nodo remoto B

Los resultados de la simulación de red, entre el nodo coordinador y nodo B se muestran en la, con los diferentes ángulos de elevación y azimut, pérdidas de propagación en el espacio libre.

Figura 111.

Simulación de radio mobile coordinador y NrB

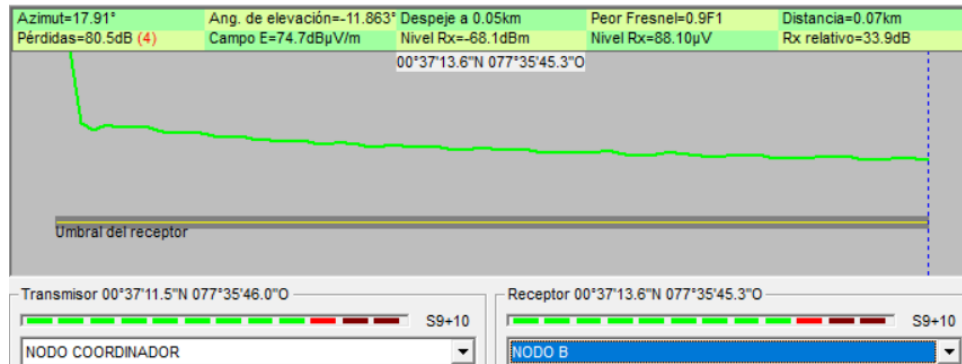


Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

De la misma forma se muestra el umbral de recepción entre el nodo coordinador y nodo remoto B, con un nivel de recepción de $-68.1[\text{dBm}]$ y una recepción relativa de 33.9 [dB].

Figura 112.

Umbral de recepción NrA

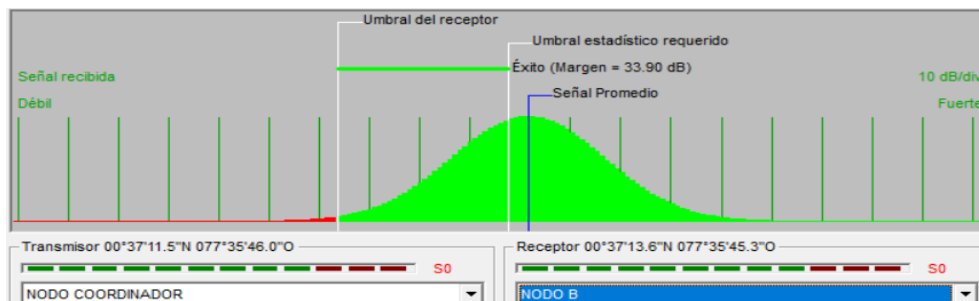


Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

Finalmente se muestra el umbral estadístico requerido y los márgenes de éxito para la transmisión y el valor promedio de la señal.

Figura 113.

Umbral del receptor con margen de 33.90 [dBm]



Fuente: Adaptado de RadioMobile, Autoría

ANEXO E

Configuración Módulos XBee

Para las configuraciones de cada uno de los módulos XBee S2C, es necesario descargar la herramienta proporcionada por la empresa fabricante DIGI.

https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/90001526/tasks/t_download_and_install_xctu.htm

Todas las configuraciones por realizar se deben tener en cuenta la siguiente Tabla 68, con los parámetros de configuración.

Tabla 68.

Parámetros de configuraciones XBee S2C

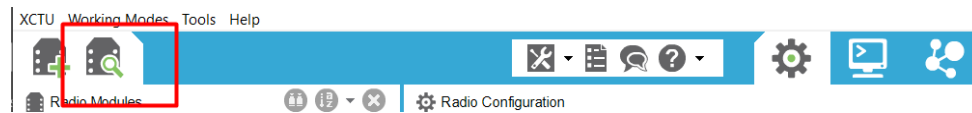
Parámetro	Nodo Remoto A	Nodo Remoto B	Nodo Principal
Modo	End-Device	End-Device	Coordinador
NI	NoRemotoA	NoRemotoB	NoCoordinador
CH	C	C	C
ID	2021	2021	2021
DH	13A200	13A200	13A200
DL	41D4BE68	41D4BE68	FFFF
MY	0	0	0
SH	13A200	13A200	13A200
SL	41D4BE80	41D49224	41D4BE68

Fuente: Autoría

El software XCTU es un software de código abierto, que permite realizar las configuraciones necesarias de los módulos de comunicación inalámbrica XBee. Para realizar las configuraciones en este software, se conecta por medio de USB, un XBee Explorer, que conecta directamente al computador por comunicación serial. Realizado este paso, se ejecuta el software XCTU se procede a buscar los dispositivos conectados.

Figura 114.

Ventana de búsqueda de dispositivos XBee

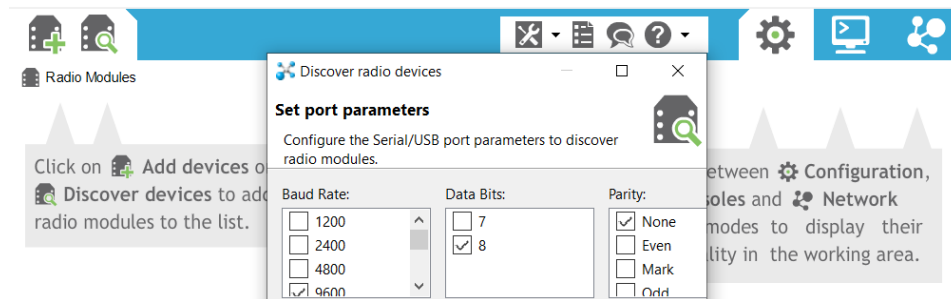


Fuente: Autoría

Se selecciona el puerto de comunicación serial y se establece los parámetros, como se ilustra en la, dichos parámetros vienen por defecto en la que especifica una velocidad de 9600 baudios con 8 bits de datos, con ninguna paridad y con un bit de parada.

Figura 115.

Configuración de Parámetros comunicación serial XCTU

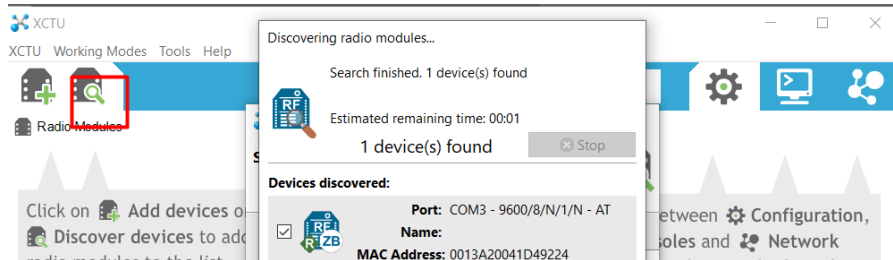


Fuente: Autoría

Realizado las configuraciones de los anteriores parámetros, se elige el módulo de comunicación escaneado por medio del puerto COM3, como se ilustra en la Figura 116.

Figura 116.

Elección del dispositivo XBee

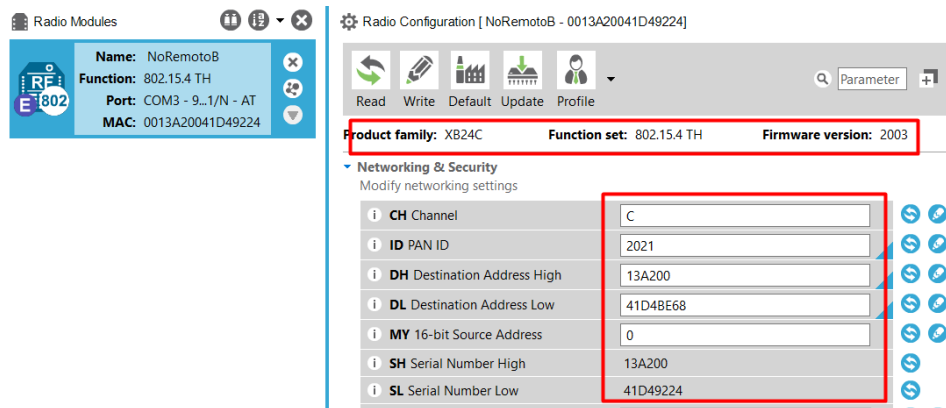


Fuente: Autoría

Se actualiza el firmware de todos los módulos XBee para que trabajen bajo la función 802.15.4 TH, y la última versión, y en base a la Tabla 68, se estable las configuraciones para cada uno de los módulos XBee

Figura 117.

Configuración en los modulos XBee.

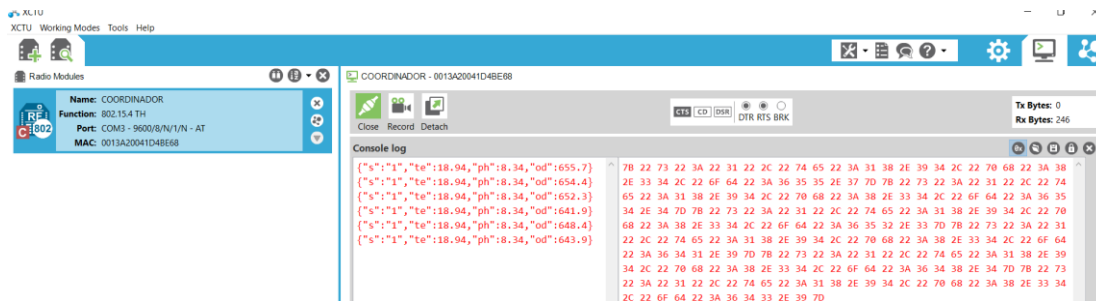


Fuente: Autoría

Se conecta el módulo coordinador al computador y por medio del software XBee en la parte de comunicación serial, se establece la conexión y se verifica los mensajes que está recepiendo de los nodos remotos A y B, como se ilustra en la Figura 118, los mensajes son obtenido en formato JSON.

Figura 118.

Recepción de mensajes por medio de XCTU



Fuente: Autoría

ANEXO F

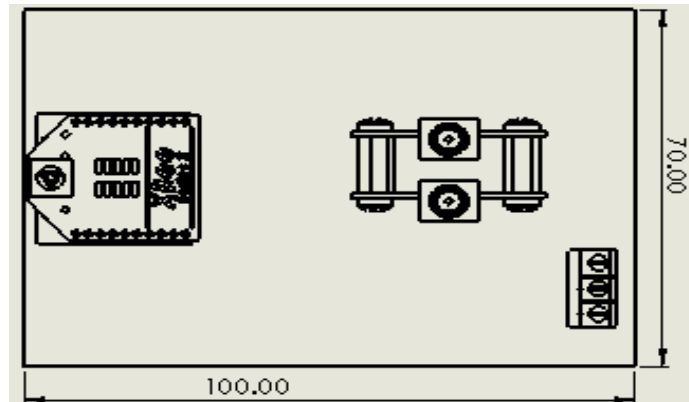
Diseño del Plano en SolidWorks

Con el software SolidWorks, se realiza el plano a escala real de todos los componentes electrónicos que componen el sistema de monitoreo, el plano a utilizar se muestra en diferentes vistas.

Vista Superior

Figura 119.

Plano del PCB en SolidWorsk vista superior

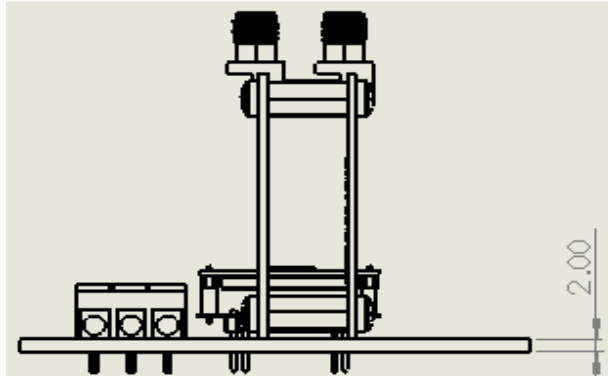


Fuente: Autoría

Vista Lateral Frente

Figura 120.

Plano del PCB en SolidWorsk vista lateral frente

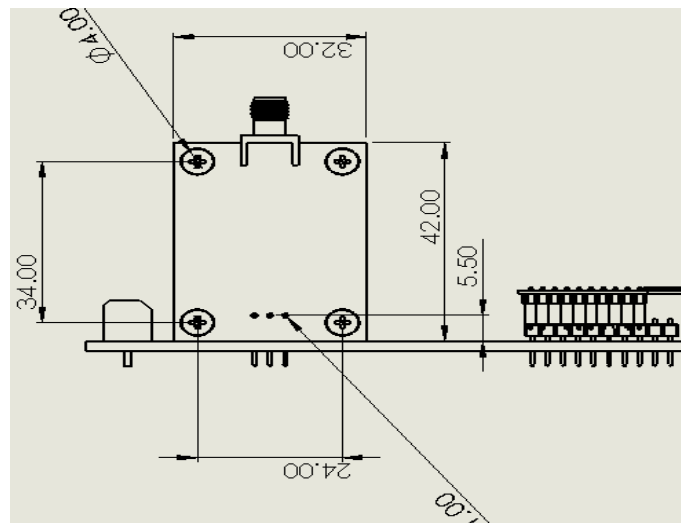


Fuente: Autoría

Vista lateral izquierda

Figura 121.

Plano del PCB en SolidWorsk vista izquierda



Fuente: Autoría

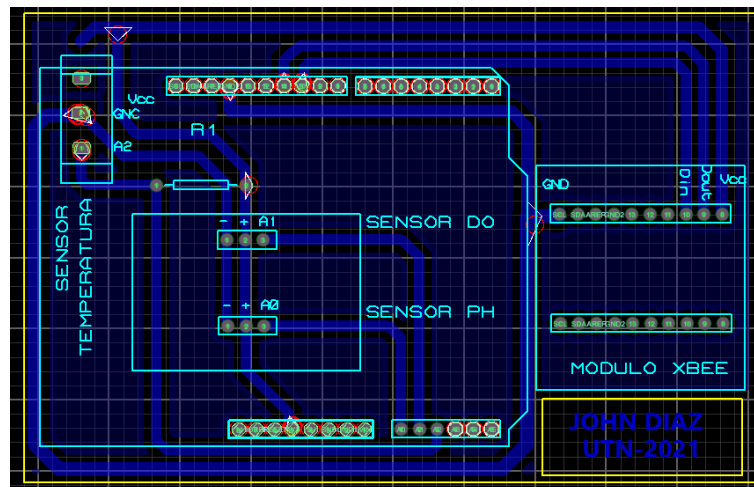
Diseño del Circuito en Proteus

Con la ayuda de la herramienta de Proteus y mediante el encapsulado de los diseños 3D en SolidWorks a escala de cada uno de los dispositivos electrónicos, se procede a realizar el diseño del circuito en PCB.

Diagrama Circuital

Figura 122.

Ciruito PCB en Proteus

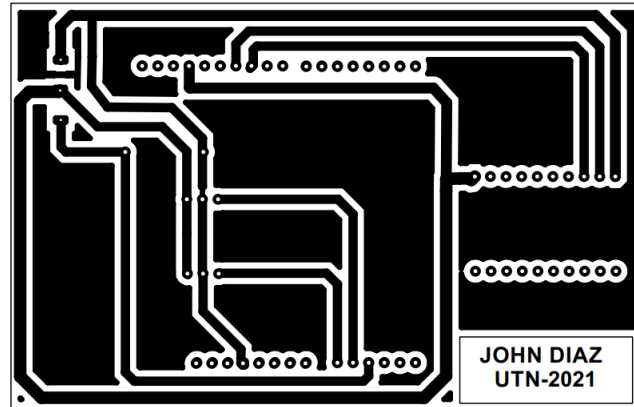


Fuente: Autoría

Placa PCB para impresión

Figura 123.

Circuito PCB para impresión

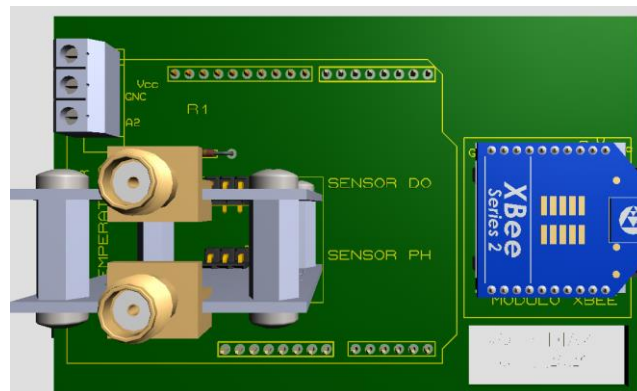


Fuente: Autoría

Simulación de Placa 3D

Figura 124.

Placa PCB en 3D.



Fuente: Autoría

ANEXO G

Código del Sistema - Arduino

<https://github.com/Sparckjacck/SISTEMA-DE-MONITOREO>

Código de la Pagina Web – Proyecto PHP



[Codigo Pagina Web](#)

https://utneduecmy.sharepoint.com/:f/g/personal/jwdiaz_utn_edu_ec/Enjq0zUcPaV DvdtDDwV484wBC9zbWjKPw1rRtzYl8EKxIQ?e=N47xW2

ANEXO H

Carta de Propiedad Intelectual

LABORATORIO DE ECLOSION Y ALEVINAJE

 **"GUERRA PISCIS"** 

ESTABLECIMIENTO VERIFICADO HT-3975
ACUERDO N°089-2011-M

Ing. Estuardo Guerra R. RUC: 0400879185001
Ibarra, 13 de diciembre de 2021

Ing. Daniel Jaramillo

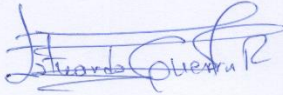
COORDINADOR DE CARRERA CIERCOM – CITEL

Presente. –

Un cordial saludo a la Universidad Técnica del Norte de parte de la empresa GUERRA PISCIS, de nuestra consideración:

Por el presente, en mi calidad de gerente de la empresa GUERRA PISCIS, nos comprometemos a otorgar el auspicio a DIAZ LUNA JOHN WILMAN, para que realice el tema: "SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGIA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO PERTENECIENTE AL CANTÓN SUCUMBIOS, PROVINCIA SUCUMBIOS" a ser desarrollada para nuestra empresa, bajo las siguientes condiciones:

- Nuestra empresa se compromete, a entregar el apoyo logístico necesario para que el mencionado proyecto finalice con éxito.
- Finalizado el proyecto de acuerdo con el alcance propuesto, la empresa se compromete a entregar una carta de conformidad.
- Aceptamos que la propiedad intelectual es de la Universidad Técnica del Norte (UTN), sin embargo, el trabajo puntual podrá ser utilizado por nuestra empresa sin requerimiento de autorización alguna.



Ing. Estuardo Guerra R.
DIRECTOR TECNICO/PROPIETARIO

Dir: Comunidad Santa Rosa, El Playón, Cantón Sucumbios, Ecuador
EMAIL: eguerrapiscis@yahoo.com
CEL. 0991798685./ 06 3019644

Carta de Conformidad

LABORATORIO DE ECLOSION Y ALEVINAJE



“GUERRA PISCIS”

ESTABLECIMIENTO VERIFICADO HT-3975
ACUERDO N°089-2011-M
RUC: 0400879185001



Santa Rosa, El Playón, 20 de junio de 2022

Ing. Daniel Jaramillo

COORDINADOR DE CARRERA CIERCOM – CITEL

Presente. –

Un cordial saludo a la Universidad Técnica del Norte de parte de la empresa GUERRA PISCIS, de nuestra consideración:

Por el presente, en mi calidad de gerente de la empresa GUERRA PISCIS, doy mi conformidad que el Sr. DIAZ LUNA JOHN WILMAN, cedula de ciudadanía Nro. 040150303-2 con la tesis titulada: “SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE BASADO EN TECNOLOGIA IoT E INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADO A LA CRIANZA DE ALEVINES, EN LA PARROQUIA EL PLAYÓN DE SAN FRANCISCO PERTENECIENTE AL CANTÓN SUCUMBIOS, PROVINCIA SUCUMBIOS”, que fue desarrolladas en nuestra empresa y se obtuvieron los siguientes resultados.

- Nuestra empresa brindó todo el apoyo logístico para que el proyecto finalice con éxito de acuerdo con el alcance propuesto.
- El sistema implementado en nuestra empresa cuenta con dos nodos remotos que permite monitorear un aproximado de 175000 alevines en la etapa de producción.
- Con la implementación del sistema de monitoreo la tasa de mortalidad ha reducido del 0.9925% al 0.7%.

Atentamente.

Ing. Estuardo Guerra R.
DIRECTOR TÉCNICO/PROPIETARIO



Dir: Comunidad Santa Rosa, El Playón, Cantón Sucumbios, Ecuador
EMAIL: eguerrapiscis@yahoo.com
CEL. 0991798685 / 06 3019644

ANEXO I

Fotografías Encuesta



Fotografías Toma de Datos



Fotografías Instalación de Sensores



Fotografías Entrega de Sistema



ANEXO J

Manual de Usuario – Administrador

Volumen

1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Sistema de Monitoreo Inteligente |

Manual de Usuario Administrador

SISTEMA DE MONITOREO INTELIGENTE

MANUAL DE USUARIO - ADMINISTRADOR

© Universidad Técnica del Norte
Av., 17 de julio 5-21 y Gral. José María Córdova - Sector El Olivo
+593 06 2997800
info@utn.edu.ec



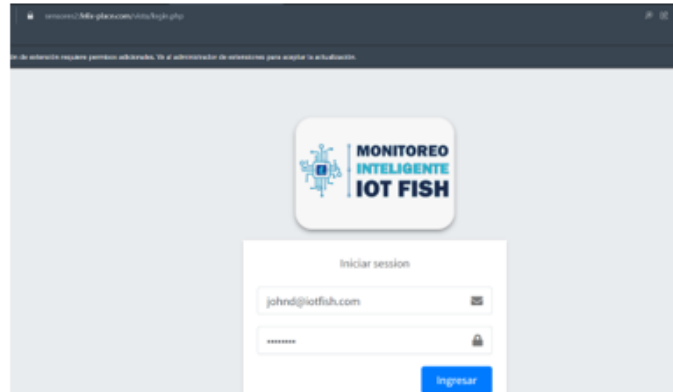
Introducción

El Sistema de Monitoreo Inteligente Basado en Tecnología IoT e Inteligencia Artificial es aplicado al cultivo de alevines en el Laboratorio de Eclosión y Alevinaje Guerra Piscis. Por consiguiente, es necesario el uso de una guía para los usuarios y administradores para el monitoreo de los estanques.

Cuenta con un sitio WEB llamado “Monitoreo Inteligente IoT Fish” alojado en el siguiente enlace <https://sensores2.felix-place.com/>, el administrador de este Laboratorio es el encargado de crear los usuarios y contraseñas a los trabajadores para que tengan acceso a los datos de la calidad del agua en los estanques de alevines.

Inicio del Sistema

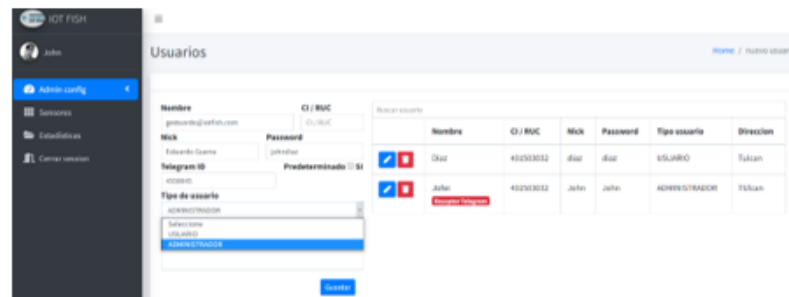
Proporcionado los datos de acceso al sistema por el Administrador, se procede a ingresar las credenciales de cada trabajador o administrador. En caso de que las credenciales estén incorrectas, este sistema arroja un mensaje de advertencia y de no tener las credenciales, se procede a crear.



Creación de Usuarios

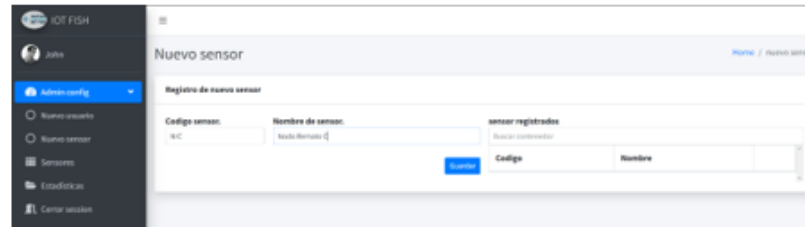
El administrador tiene el privilegio de asignar, editar o eliminar las cuentas que sirven para el monitoreo de los estanques de alevines. En la siguiente figura se muestra cómo crear una cuenta para ingresar al sistema.

El administrador ingresa la información personal del usuario a registrar, para lo cual debe rellenar todos los campos requeridos y que función cumple. De igual manera se coloca el ID del Telegram para poder enviar las notificaciones de alerta ante alguna eventualidad emergente, si el usuario requiere que se le envíe durante todos los días y a cualquier hora, se elige la opción predeterminada.



Creación de Nodos

Si el administrador desea añadir un nuevo sensor al sistema de monitoreo, se da clic sobre el botón de configuración del administrador y se despliega la siguiente información, en la que se debe elegir Nuevo sensor, este sensor deberá llevar un código representativo para saber de qué nodo proviene la información con su respectivo nombre, todo este proceso se muestra en la siguiente figura.



Visualización de Sensores

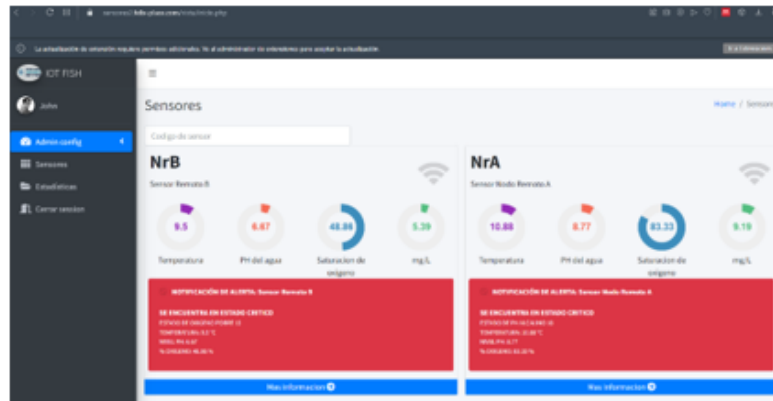
El laboratorio actualmente tiene dos nodos remotos, los cuales están fijados con el código NrA y NrB, haciendo referencia a los nodos remotos A y B que se encuentran instalados sobre los cultivos de Alevines.

A continuación, se muestra los datos de temperatura, nivel de pH, saturación de oxígeno y cantidad de mg/L en cada uno de los nodos remotos.

En el Nodo Remoto A, se muestra un mensaje crítico con el dato de “Estado de pH Alcalino” revela un nivel de pH de 8.77 representando a un estado Alcalino en el agua, y los demás parámetros indican estar sobre los rangos permitidos sobre la calidad del agua.

De igual manera en el Nodo Remoto B, muestra una alerta de notificación de color rojo con el mensaje “Estado de Oxígeno Pobre” esto es debido a un bajo nivel de oxígeno presente en el agua, este dato es del 48.86 % equivalente al 5.39 mg/L, y los demás parámetros de la calidad del agua están sobre los rangos permitidos.

Si existe mensajes de alerta, automáticamente el sistema envía un mensaje al administrador o usuario por medio de la plataforma de Telegram sobre las condiciones en la que se encuentra.



Visualización de Estadísticas Mensuales

El botón de estadísticas es utilizado para determinar los datos estadísticos mensuales de cada nodo remoto.

En la figura se muestra una pestaña que se despliega sobre que nodo remoto se va a realizar las estadísticas, se determina un año y una fecha para determinar el cuadro estadístico por mes



Los registros obtenidos por el nodo remota A en el mes de Mayo del 2022, se muestra en la siguiente figura, en la que se muestra las graficas de los parametros de la calidad del agua para el cultivo de alevines.

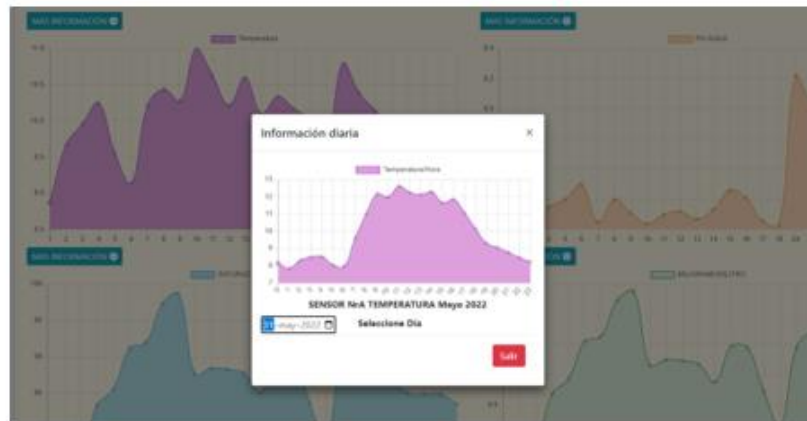
Estos parametros son temperatura, nivel de pH, saturación de oxígeno en porcentaje y nivel de oxígeno en mg/L, cada uno de estas variables se muestran durante los 31 días del mes. Si el usuario o administrador requiere datos por día de cualquier parametro, se da clic sobre el icono de “más información”.



Visualización de Estadísticas Diaria

En la siguiente figura muestra la información de la temperatura diaria del 31 de mayo del 2022, estos datos se muestran en un promedio de hora sobre las 24 horas del día.

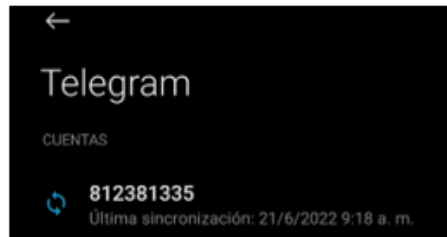
En la gráfica muestra como la temperatura se mantiene sobre los 8°C durante las 6 primeras horas del día, y luego la temperatura comienza a subir hasta las 15:00 en un promedio de 12°C y finalmente la temperatura desciende con el transcurso de la tarde y noche a un promedio de 8°C.



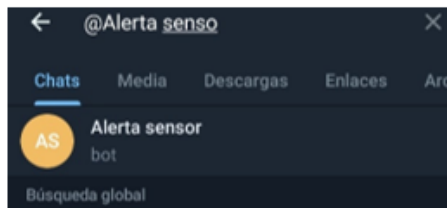
Este proceso se realiza en cada uno de los nodos remotos, se determina una fecha para su posterior análisis y sobre que parámetros analizar.

Sistema de Notificación – Telegram

El administrador o usuario deberá descargar e instalar la aplicación Telegram en su dispositivo móvil desde la App Store o Play Store, una vez instalador en el teléfono, se necesita tener el Id de Telegram, por lo cual el usuario ingresará a la siguiente dirección: **Configuración > cuentas y Sincronizar > Telegram**

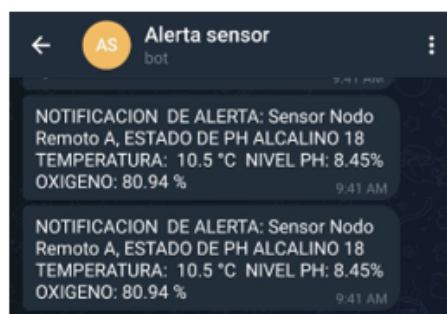


Posteriormente, se ingresa a la aplicación de Telegram y se busca el Bot con el nombre de “@Alerta_javo_bot” y se solicita unirse para poder visualizar las notificaciones que puede estar enviando el sistema.



Una vez que se logra buscar el Bot, el sistema de notificación está listo para recibir notificaciones de alerta ante algún caso de emergencia sobre los parámetros de la calidad del agua en los estanques de alevines.

En la siguiente figura se muestra los mensajes de alerta sobre la situación actual en la que se encuentra, en este caso se muestra un nivel de 8.45 de pH correspondiente a un pH alcalino



Si es administrador o usuario desea parar o reiniciar los mensajes del bot, solo debe dar clic sobre detener o reiniciar bot, como se muestra en la figura.

