

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Hipótesis	2
1.3. Objetivo del Trabajo de Título	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Alcances	2
1.5. Estructura de la Memoria	3
2. Revisión Bibliográfica	5
2.1. Marco Teórico	5
2.1.1. Wireless Sensor Network (WSN)	5
2.1.2. Low-Power Wide Area Network (LPWAN)	6
2.1.3. LoRa	7
2.1.3.1. LoRaWAN	8
2.2. Referentes	9
3. Humedales en Llanquihue	10
3.1. Humedales	10
3.1.1. Eutrofización	11
3.1.2. Monitoreo de Humedales	12
3.1.2.1. Variables a registrar	12
3.2. Humedales Urbanos en Llanquihue	13
4. Arquitectura del Sistema	16
4.1. Consideraciones de Diseño	16
4.2. Requerimientos	17
4.2.1. Requerimientos Generales	17
4.2.2. Requerimientos Específicos	17
4.3. Arquitectura	18
5. Diseño	21
5.1. Red Inalámbrica	21
5.2. Nodo Sensor	23
5.2.1. Empaque	23
5.2.2. Procesamiento	23
5.2.3. Sensores	24

5.2.4. Energía	25
5.3. Gateway	25
6. Implementación	27
6.1. Selección y Descripción de Componentes	27
6.1.1. Nodo	27
6.1.1.1. Carcasa	27
6.1.1.2. Procesamiento	28
6.1.1.3. Comunicación	29
6.1.1.4. Sensores	30
6.1.1.5. Energía	31
6.1.2. Gateway	33
6.2. Comentarios acerca de la Energía	34
6.3. Ensamble	35
6.3.1. Nodo	35
6.3.1.1. Conexiones	35
6.3.1.2. Problema 1 - Caída de Voltaje	35
6.3.1.3. Problema 2 - Consumo de aisladores	36
6.3.1.4. Prototipo	37
6.3.2. Gateway	37
6.4. Programación	39
6.4.1. Nodo	39
6.4.2. Gateway	39
7. Sistema para Estudio de Cobertura	42
7.1. Metodología	43
7.2. Diseño	44
7.2.1. Comunicación: LoRa	44
7.3. Implementación	44
7.3.1. Nodo LoRa	45
7.3.2. Aplicación Móvil (<i>Loreap</i>)	46
7.3.3. Gateway	48
7.3.4. Visualización	49
8. Base de Datos y Plataforma de Datos Abiertos	50
8.1. Base de Datos	50
8.2. Plataforma de Datos	51
8.2.1. Interfaz de Usuario	52
9. Pruebas, Resultados y Análisis	54
9.1. Pruebas de Cobertura	54
9.1.1. Primera Aproximación	54
9.1.2. Segunda Aproximación	55
9.1.3. Tercera Aproximación	57
9.2. Pruebas Prototipo del Sistema	59
9.3. Análisis Económico	61
Conclusiones	64

9.4. Sistema de monitoreo	66
9.5. Prototipos implementados	66
9.6. Pruebas realizadas	67
9.7. Trabajo Futuro	68
9.7.1. Trabajo Futuro Inmediato	68
9.7.2. Trabajo Futuro General	68
Bibliografía	68
A. Códigos	72
A.1. Código Gateway - Arduino	72
A.2. Código Nodo Monitoreo	78