

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES PARA MONITOREAR
UN CULTIVO DE PLÁTANOS EN EL DISTRITO DE MALA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Ernesto Alonso Antachoque Espinoza

ASESOR: Amanda Cáceres Mari

Lima, Agosto del 2011

RESUMEN

La agricultura en el Perú juega un papel importante en el desarrollo del país, ya que de este sector dependen un tercio del total de la población (9 millones de habitantes); en términos de empleo, absorbe cerca del 30% de la Población Económicamente Activa (PEA, cerca de 12 millones) y sigue siendo el soporte básico de alimentación local, regional y nacional (las familias peruanas, siguen dedicando el 45% de su presupuesto a la alimentación) [20]. A pesar de estos índices, esta actividad no es del todo atendida en la actualidad.

Actualmente las tecnologías aplicadas a la agricultura en el Perú son en mayor parte artesanales; lo cual no permite un desarrollo pleno de este sector; por ende no se puede obtener un producto de calidad superior. Por lo tanto, es necesario que apliquemos nuevas tecnologías en este campo con la finalidad de que se obtenga un cambio cualitativo y cuantitativo en la producción, para generar un mejor nivel de vida tanto para las personas involucradas en esta actividad, como para los consumidores.

La red de sensores inalámbricos es una excelente alternativa para mejorar la agricultura en nuestro país, ya que nos permitirá monitorear las variables más importantes en el desarrollo de cualquier producto agrícola. En este caso el producto, cuyo desarrollo será monitoreado, es el Plátano, un producto con grandes posibilidades de desarrollo en nuestro país.

En el primer capítulo, describiremos la situación agrícola del país y específicamente la de Mala, donde se encuentra la zona de cultivo en la que trabajaremos.

En el segundo capítulo, se muestran las tecnologías actualmente empleadas en los cultivos de plátano en el distrito de Mala. Así mismo, se hace una breve introducción de la tecnología propuesta en el presente estudio, en la que se muestra sus ventajas frente a las técnicas utilizadas en las principales potencias productoras del plátano hoy en día.

El tercer capítulo, se presenta la metodología para el diseño de la red inalámbrica de sensores en el cultivo de plátanos.

En el cuarto capítulo, se desarrolla el diseño de la red analizando las variables involucradas modeladas en distintos escenarios.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio de una red de sensores inalámbricos, como alternativa a la problemática de nuestra agricultura.

A Dios, por guiarme a lo largo de toda mi vida.

A mi familia por apoyarme hasta en lo mínimo.

A mis amigos que siempre estuvieron conmigo.

Muchas Gracias

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1: EL CULTIVO Y MANTENCIÓN DE PLANTACIONES DE PLÁTANO.

1.1	Posición del plátano en el mercado	1
1.1	La agricultura en el Perú específicamente sobre el plátano.	2
1.2	Desventajas de la aplicación de las técnicas tradicionales en la agricultura.	4
1.3	Ventajas del uso de una red de sensores inalámbricos en el cultivo de plátanos.	5
1.4	Situación actual de la zona agrícola de Mala	6
1.5	Problemas que presenta la agricultura en Mala.	7
1.6	Memoria descriptiva de la parcela	9
1.6.1	Descripción de la parcela	9
1.6.2	Deficiencias que presenta la parcela de plátanos	11
1.7	Declaración del marco problemático.	11
1.9	Síntesis sobre el asunto de estudio	12

CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROCESO DE CULTIVO DE PLÁTANO EN MALA Y PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA MEJORARLA

2.1	Estado del arte	13
2.1.1	Presentación del asunto de estudio	13
2.1.2	Estado de la investigación	14
2.1.3	Descripción del aporte tecnológico	16
	A) Redes de área local (LAN)	16
	B) Redes inalámbricas de área local (WLAN)	16
	C) Redes inalámbricas de área personal (WPAN)	17
	D) Modulación y señalización en redes inalámbricas	18
	E) Asignación de frecuencias en las comunicaciones inalámbricas	19
	F) Sensores Electrónicos	20
	G) Red de Sensores	21
	H) Red de sensores Inalámbrica (WSN)	21
	I) Topología de una red de sensores inalámbrica	23
	J) Protocolos de Comunicación	29
	K) Estándar ZigBee	30

2.1.4	Puerto de Enlace	31
2.1.5	Estación Base	31
2.1.6	Internet	31
2.1.7	Trafico	32
2.1.8	Conceptualizaciones Generales sobre el plátano	32
2.2	Modelo teórico.	38

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

3.1	Objetivos	40
3.1.1	Objetivo general	40
3.1.2	Objetivos específicos	40
3.2	Hipótesis	41
3.2.1	Hipótesis principal	41
3.2.2	Hipótesis secundarias	41
3.2	Metodología de investigación	42
3.2.1	Universo y muestra	42
3.3	Estudio de la zona de cultivo	42
3.3.1	Dimensiones de la parcela	42
3.4	Planeamiento técnico de la red	43
3.4.1	Elección de los componentes de la red	43
3.4.2	Elección del Protocolo de comunicación	44

3.5	Planeamiento físico de la red	44
3.5.1	Elección de la Topología	44
3.7	Elección de equipos	44
3.7.1	Criterio para la selección de equipos	44
3.7.2	Criterios de elección para la plataforma del nodo sensor	45
3.7.3	Criterios de elección para los sensores	45
3.7.4	Criterios de elección para el Puerto de enlace	46
3.8	Posibles proveedores	46
3.9	Análisis de las características de los equipos ofrecidos por los posibles proveedores	50

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

4.1	Preparación del terreno para la implementación de la red.	53
4.1.1	Reubicación de los platanales.	53
4.2	Identificación de los componentes del sistema eKo	54
4.3	Identificación de los puntos donde se ubicarán los elementos de la red.	59
4.3.1	Ubicación e instalación de los nodos con sus respectivos sensores en la parcela.	59

4.3.2	Ubicación e instalación del puerto de enlace y la radio base.	63
4.4	Puesta en marcha de los nodos eKo.	68
4.4.1	Pre-comisión de los nodos eKo.	68
4.4.2	Comisión de los nodos eKo.	69
4.4.3	Post-comisión de los nodos eKo.	71
4.4.4	Modo reinicio de fábrica.	73
4.5	Despliegue del Sistema.	73
4.5.1	Despliegue del puerto de enlace y el radio base.	73
4.5.2	Reserva de batería para el puerto de enlace.	74
4.5.3	Instalación de los sensores	74
4.6	Configuración del eKoView.	76
4.6.1	Posicionando los nodos comisionados en el eKoView.	77
4.6.2	Configurando los nodos y los sensores en el eKoView.	78
4.7	Funcionamiento de la red una vez instalada.	80
4.7.1	Funcionamiento en condiciones normales.	80
4.7.2	Funcionamiento en caso de que alguna ruta salga de servicio.	81
4.8	Interpretación de los datos obtenidos.	81
4.8.1	Creación de un cuadro de visualización	82
4.8.2	Significado de la grafica del sensor eS1101	87

4.8.3	Significado de la grafica del sensor eS1201	90
4.9	Análisis de Costos	91

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

FUENTES

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de flujo del proceso seguido actualmente	8
Figura 1.2 Plano perimétrico de la parcela	9
Figura 1.3 Cuadro de datos técnicos	10
Figura 1.4 Vista actual de la parcela	10
Figura 2.1 Principales tecnologías inalámbricas (comparación)	17
Figura 2.2. Esquema de funcionamiento de un sensor	20
Figura 2.3. Esquema de una WSN	22
Figura 2.4. Topología Estrella	24
Figura 2.5. Topología de árbol	25
Figura 2.6. Topología de malla	26
Figura 2.7. Topología híbrida	28
Figura 2.8. Capas definidas en ZigBee	30
Figura 3.1 Esquema Sentilla	47
Figura 3.2. Sistema eKo	48
Figura 3.3. Btnode rev3.	48
Figura 3.4 Chip de Digi	50
.Figura 4.1. Organización proyectada de los plátanos.	54

Figura 4.2. Nodo sensor inalámbrico eN2100.	55
Figura 4.3. Sensor de humedad de suelo y temperatura (es1101).	55
Figura 4.4. Sensor de temperatura y humedad del ambiente (eS1201)	56
Figura 4.5. Radio base y Puerto de Enlace	57
Figura 4.6. Vista del software de interfaz ekoview.	58
Figura 4.7. Partes del nodo sensor	60
Figura 4.8. Un nodo correctamente instalado	61
Figura 4.9. Organización de los nodos	62
Figura 4.10. Ubicación de los sensores	63
Figura 4.11. Partes del Puerto de Enlace	64
Figura 4.12. Conexión del Puerto de Enlace con la Radio Base	64
Figura 4.13. Rango de alcance de una antena en el exterior.	65
Figura 4.14. Indicadores del Puerto de Enlace eKo.	66
Figura 4.15. Pantalla de inicio del eKoView,	67
Figura 4.16 Notificación de nuevos nodos	69
Figura 4.17. Numero de serie el nodo	69
Figura 4.18. Configuración de nodos existentes	70
Figura 4.19. Comisionamiento avanzado	72
Figura 4.20. Panel mapa	72

Figura 4.21. UPS APC 325VA	74
Figura 4.22. Personalizar mapa	77
Figura 4.23. Posicionamiento de nodos	78
Figura 4.24. Configuración de nodos	79
Figura 4.25. Detalles de los nodos.	79
Figura 4.26. Funcionamiento en condiciones normales	80
Figura 4.27. Funcionamiento de la red si un nodo sale de servicio.	81
Figura 4.28 Ventana principal eKo View	82
Figura 4.29. Creando un nuevo cuadro de visualización.	82
Figura 4.30. Menú completo de nuevo cuadro	83
Figura 4.31. Nombrar el nuevo cuadro.	83
Figura 4.32. Configuración de rango de la información.	84
Figura 4.33. Escogiendo tipo de medidas en el eje 1	84
Figura 4.34. Selección de nodos a mostrar.	85
Figura 4.35. Botones útiles en la selección de nodos.	85
Figura 4.36. Selección del tipo de visualización de gráficas.	86
Figura 4.37. Configuración del eje secundario.	87
Figura 4.38. Capacidad de almacenamiento de agua para diferentes tipos de piso	88

Figura 4.39. Humedad en el suelo es1101.	88
Figura 4.40. Cuanto irrigar el piso.	89
Figura 4.41. Lectura de dos sensores es1101	90
Figura 4.42. Humedad en el ambiente	91
Figura 4.43. Flujo de la inversión	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Deficiencias de nuestra agricultura	3
Tabla 2.1 Modulación y codificación utilizadas en los estándares de comunicación inalámbrica	19
Tabla 2.2. Comparación entre Zigbee y Bluetooth	29
Tabla 4.1.Patrón de los indicadores frontales del Puerto de Enlace.	66
Tabla 4.2. Estructura del LED durante el proceso de comisión	68
Tabla 4.3. Modelo a seguir después de la comisión	71
Tabla 4.4. Modelo durante el reinicio de fábrica	73
Tabla 4.5. Patrón en la instalación de sensores.	75
Tabla 4.6. Precios de paquete ofrecido por Memsic	91
Tabla 4.7. Equipos adicionales para la red	92
Tabla 4.8. Personal para el proyecto	93
Tabla 4.9. Comparación de ganancias	93
Tabla 4.10. Flujo neto en base a cinco años	94

INTRODUCCIÓN

La agricultura en el Perú; en su mayor parte, se realiza con métodos tradicionales. Debido a esto, es que muchos de los productos se destinan al consumo propio, ya que no cumplen con los requisitos exigidos para su comercialización.

La calidad de un producto, depende principalmente de las condiciones a las que está sometido; en este caso particular, el plátano es sensible a los cambios climatológicos bruscos y a las condiciones de su entorno. Específicamente las variables que más afectan su producción, son la temperatura y la humedad.

La instalación de una red de sensores inalámbricos; permitiría al agricultor, obtener información acerca de las variables que afectan el proceso de producción de una manera más eficaz y eficiente, lo que redundaría en la calidad del producto.

El objetivo de la presente tesis; es diseñar una red inalámbrica de sensores para el monitoreo de las variables afectadas en el proceso de producción del cultivo de plátano en el distrito de Mala, con la finalidad de lograr un control más eficiente a los escenarios que se presentan en este cultivo y así obtener un producto de calidad, tanto en el mercado nacional como en el mercado internacional.

Para el desarrollo de la red inalámbrica de sensores; el presente trabajo de investigación se ha dividido en cuatro capítulos: En el primer capítulo, se realiza una descripción de la situación actual de la agricultura en el Perú, tomando como muestra la situación de Mala, que es la zona donde se plantea la implementación de la red inalámbrica de sensores. Adicionalmente, se menciona la problemática que existe en el país y específicamente en el cultivo de plátanos; que es el objeto del presente estudio, la cual se encuentra en el distrito de Mala.

En el segundo capítulo, se realiza una descripción general de lo que es una red de sensores inalámbricos. También se muestran las tecnologías que se usan en las redes inalámbricas hoy en día. Así mismo, mencionaremos los protocolos existentes, aplicados a la transmisión inalámbrica, además de las topologías aplicadas a este tipo de redes. Además, mencionaremos las características principales del nodo sensor, el cual es el principal componente en esta red de inalámbrica.

También, realizaremos una comparación de las tecnologías mostrando las ventajas y desventajas que presenta cada una de ellas, lo cual nos permitirá más adelante elegir el diseño que más se ajustaría al cultivo del plátano.

El tercer capítulo, presenta las primeras fases para el diseño de la red inalámbrica de sensores aplicado a la zona de cultivo del distrito de Mala. Así mismo, realizaremos planeamiento técnico de la red, el que consta de la mención y elección de tecnologías y dispositivos para el diseño de la red. Además, realizaremos una comparación detallada de los sensores, contrastando las diferentes características que ofrecen los proveedores.

Finalmente, el capítulo comprende la elección del proveedor mas adecuado bajo criterios de múltiples escenarios.

El cuarto capítulo, describe el diseño de la red inalámbrica de sensores, donde se plantea como fase previa, la preparación del terreno para una mejor distribución de la cobertura de los sensores de la red. Posteriormente, analizaremos la distribución de los dispositivos; es en esta fase, donde se describe la instalación física de los sensores y del mecanismo de programación.

El capítulo concluye con la descripción de todos los costos de implementación del sistema propuesto.

Un aspecto relevante del presente estudio es que, permite realizar un análisis en tiempo real y preciso de las variables involucradas en el desarrollo de este cultivo.

Finalmente; con la presente investigación se puede visualizar que es posible aprovechar la calidad de los terrenos agrícolas en el Perú aplicando la tecnología adecuada. Esto beneficiará a todas las personas que se encuentran involucradas en esta actividad. Estamos hablando de los mismos agricultores, los comercializadores y hasta los propios consumidores. Adicionalmente, esto generará un grado de confianza entre el mercado local y el internacional ya que la aplicación de una tecnología adecuada y además bien sustentada le garantizará un producto de calidad, sumado al modo de cultivo de manera natural, libre de pesticidas y de cualquier producto químico que es lo que el mercado requiere.

CAPÍTULO 1

EL CULTIVO Y MANTENCIÓN DE PLANTACIONES DE PLÁTANO.

1.8 Posición del plátano en el mercado

El Plátano está ubicado como el cuarto cultivo más importante en el mundo, después el arroz, el trigo y el maíz, los cuales constituyen una parte esencial en la alimentación diaria de los habitantes de más de cien países tropicales y subtropicales. Además de ser considerado un producto básico y de exportación, constituye una importante fuente de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo, donde destacan los países de Latinoamérica y El Caribe, que producen el mayor porcentaje de lo que se comercializa en el mundo. En el año 2007, las condiciones climáticas han generado problemas en la cosecha del plátano, como en el caso de México que por causa del Huracán Dean, según el Diario XALAPA del 24 de agosto, el 50% de las 10,400 hectáreas sembradas en Veracruz, ciudad ubicada con el tercer lugar en producción de ese país, se han perdido. Como consecuencia en el mes de Octubre; debido a la mayor demanda, el precio del plátano se incrementó demostrando la importancia de su cultivo. Por otra parte, Honduras y otros países de Latinoamérica reportan pérdidas por unas 280 hectáreas, a consecuencia de las fuertes lluvias. A raíz de todos estos problemas, la producción de plátano se ha visto afectada, tanto por enfermedades como por una disminución de cosecha y rendimientos de los mismos, con lo que la exportación al principal comprador, Estados Unidos, se vio afectada. [1]

1.9 El cultivo de plátano en el Perú.

La agricultura representa una de las actividades económicas más importantes en el país, no solo por el desarrollo económico sino a su vez por el desarrollo social entre las personas involucradas. Específicamente, el cultivo de plátano en el Perú no está muy desarrollado ya que se aplican técnicas artesanales; muchas de las cuales, no permiten al plátano peruano cumplir con los requisitos para ser un producto de exportación. Como ejemplo; el no contar con un método adecuado para el control de las plagas. La mayoría de los agricultores peruanos aún siguen utilizando pesticidas como única herramienta contra las plagas; sin embargo los estándares internacionales indican que para considerar un producto como de exportación, este no debe tener contacto con ninguna sustancia química ya que podría ser dañino para la salud.

Otro factor que limita el desarrollo del plátano, es el poco control de su medio ambiente, es decir la temperatura y la humedad que están en contacto directamente con la fruta, ya que el agricultor tiene poco a nada de acceso a ellos, es decir no puede predecir con exactitud si la temperatura y la humedad son las ideales para el desarrollo de la fruta. Si bien los agricultores, con años de experiencia, se basan en esta para tomar decisiones, esto no es exacto, ni garantiza que la fruta cuente con la calidad deseada.

El plátano debe cumplir con requisitos tales como: un tamaño adecuado, ningún uso de pesticidas, entre otros. Para esto, la zona de cultivo debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- **Requerimientos climatológicos del plátano:**
 - Clima cálido.

- Humedad constante en el ambiente a un nivel de 90 a 95%
- Su crecimiento se detiene a temperaturas inferiores a 18°C.
- Se producen daños a temperaturas menores de 13°C y mayores de 45°C.

El objetivo del presente trabajo, es el diseño de una red de sensores inalámbricos para monitorear una parcela de plátanos ubicada en el distrito de Mala, para así lograr obtener un producto de exportación y enfrentar los retos actuales de este mundo globalizado, tales como los acuerdos internacionales que se están dando en el país actualmente.

Este diseño es pensado para su aplicación en el plátano, sin embargo tiene infinidad de campos de aplicación.

El siguiente cuadro muestra algunas de las deficiencias que presenta nuestra agricultura y las repercusiones de estas.

Problemas	Características y Causas
Ausencia de cultivo dedicado de plátanos en el país.	El producto no es del todo bueno y no es apto para su exportación.
Carencia de tecnología aplicada a la agricultura.	Solo se produce en cantidades mínimas y no se cubre la demanda de los potenciales compradores.

El control de plagas solo se controla mediante pesticidas	Parte de este químico queda impregnado en la fruta y esto podría ser nocivo para la salud.
Incapacidad de alcanzar estándares internacionales.	El mercado internacional solo consume productos que no hayan tenido contacto con pesticida alguno.
Carencia de personal especializado tales como Ingenieros Agrónomos, Biólogos, etc.	El agricultor solo se basa en su experiencia, esto no siempre es del todo exacto y preciso a la hora de afrontar una contrariedad en el cultivo.

Tabla 1.1. Deficiencias de nuestra agricultura [Elaboración Propia]

1.10 Desventajas de la aplicación de técnicas tradicionales en la agricultura.

La aplicación de técnicas tradicionales en la agricultura en la actualidad, representa una gran desventaja para los que se dedican a esta actividad, tal y como se puede apreciar en el cuadro 1.1.

En primer lugar, está el hecho de que el agricultor se basa en su propia experiencia para tomar decisiones ante cualquier eventualidad en la zona de cultivo; lo que es preocupante, ya que este es un procedimiento que no siempre garantiza controlar las variables críticas de las diferentes fases del proceso. Además, si en todo caso se llegara a descubrir cuál es el problema en el cultivo podría no tener las herramientas necesarias para solucionarlo. Ante este problema bien podría buscar una solución a su alcance pero con la posibilidad de que sea una solución momentánea y que el problema se repita en un corto tiempo lo cual afectaría la productividad de la cosecha y la calidad del producto. En el mejor caso buscaría ayuda especializada, lo cual tomaría mucho tiempo, e igualmente disminuiría la productividad de la cosecha.

1.11 Ventajas del uso de una red de sensores inalámbricos en el cultivo de plátanos.

Es necesaria la aplicación de una nueva tecnología que acelere los procesos agrícolas, además de que asegure la obtención de un producto de calidad.

Como explicamos anteriormente, el problema de nuestra agricultura es el ineficiente control que se tiene sobre las variables críticas para el logro de un óptimo desarrollo de un cultivo; en el caso del plátano, estas variables son la temperatura y la humedad del suelo

y del ambiente, las cuales deben ser monitoreadas a efecto de que estas permanezcan dentro de determinado rango, los cuales están previamente establecidos (ver página 2).

La implementación de una red de sensores inalámbricos en la zona de cultivo solucionaría las ineficiencias de la agricultura tradicional; de acuerdo con el sistema propuesto los sensores deben ser colocados en puntos estratégicos de la zona de cultivo, cubriendo la totalidad de la zona, a efecto de tener un control completo y preciso de las variables críticas.

Las ventajas del uso de una red de sensores inalámbricos son:

- Precisión en la toma de datos.
- Información de las variables críticas que facilita los métodos de predicción.
- Mayor rapidez en la detección y solución de problemas en la plantación.
- Transmisión remota a través de alguna red.
- Control especializado.

1.12 Situación actual de la zona agrícola de Mala

Mala es un valle de origen aluviónico que tiene como límites: por el Norte al río Mala y por el Sur y el Oeste elevaciones de regular altitud constituidas por lomas y contrafuertes andinos, que en ocasiones llegan hasta el litoral (como en la zona de La Caleta de Bujama). El Litoral de Mala tiene aproximadamente una extensión de seis kilómetros entre la desembocadura del río Mala y la Caleta de Bujama. A lo largo de esta se encuentran

playas como Boca de río, Totoritas, Playa Salazar (Barcelona), Bujama y numerosos centros recreativos o urbanizaciones vacacionales.

Se presentan como accidentes geográficos importantes, los promontorios rocosos del “Cerro Salazar” y “El Salitre” en la zona del litoral y “Cerro Colorado” y “Cerro Piñón” ubicados en el camino hacia Bujama Alta.

El valle de Mala presenta también la llamada zona de los Platanales; constituida por terrenos muy húmedos donde afloran aguas del subsuelo, por la presencia de una napa freática extensa que hace propicios los terrenos para el cultivo de frutales como el plátano de Mala y la vid, formándose numerosos totorales con presencia de pequeñas lagunas constituidas por aguas que afloran del subsuelo. La presencia de las aguas subterráneas en la zona de “Los Platanales”, han permitido la formación de canales o “sangrías” que antaño albergaban una gran variedad de especies hidrobiológicas, hoy casi desaparecidas por la explotación irracional e indebida de estas aguas subterráneas por una empresa comercial que, mediante la instalación de cuatro pozos, extrae el agua del subsuelo de “Los Platanales” para trasladarla, mediante redes de tuberías a los balnearios de las playas del Distrito de Asia. [2].

Si bien el plátano es uno de los cultivos representativos de Mala por sus especiales características, como su sabor y calidad nutritiva; este tiene el mismo problema, que muchos de los productos agrícolas en el Perú, su cultivo es realizado con métodos artesanales y poco eficientes. Esto conlleva al impedimento de que este producto alcance un estándar de calidad requerido para competir con los mayores productores de plátano del mundo como: Ecuador, Costa Rica, entre otros. A esto se suma, la indebida utilización que se da a las aguas subterráneas de la zona de “Los Platanales”, que afecta negativamente al cultivo del plátano, que requiere un nivel de humedad constante. Es por esto que debemos tomar las medidas necesarias, tales como una mayor conciencia

ambiental por parte de las personas involucradas (los que extraen el agua, los agricultores, los consumidores, etc.) y además la implementación de nuevas y mejores tecnologías para el cultivo del producto.

1.13 Problemas que presenta la agricultura en Mala.

El distrito de Mala cuenta con un clima ideal para el cultivo de plátano (20°C en promedio), las técnicas utilizadas son aún bastante artesanales, es decir, la agricultura en Mala sigue siendo tradicional, ya que las decisiones son tomadas por los agricultores en base a su experiencia, esto no es suficiente, porque a pesar de su vasta experiencia, podrían llegar a resultados adversos.

A continuación se presenta en un diagrama de flujo el proceso de producción de plátano, que se sigue en Mala y en la mayoría de las zonas agrícolas del país:

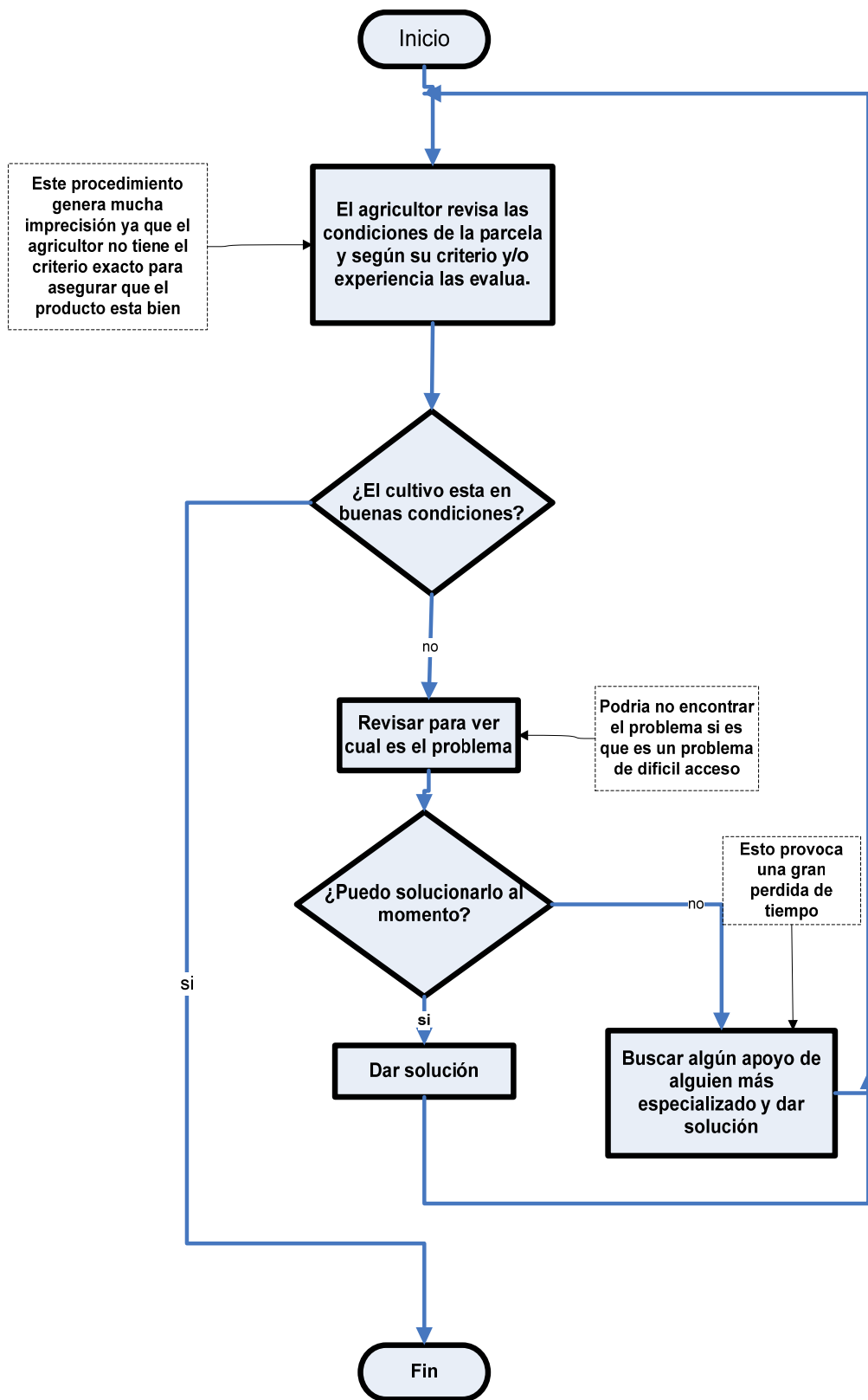


Fig. 1.1. Diagrama de flujo del proceso seguido actualmente[Elaboración Propia]

1.14 Memoria descriptiva de la parcela

Predio: La Laguna.

Distrito: San Antonio.

Provincia: Cañete.

Departamento: Lima.

Valle: Mala.

1.14.1 Descripción de la parcela

Superficie: El área que encierra el polígono es de 6,282.44 m².

Perímetro: 400.80 m.

Recurso Hídrico: Agua superficial de El Canal La Laguna.

Topografía: La topografía del terreno es relativamente plana.

A continuación se muestra un plano en el cual se indica las partes en que se divide el perímetro total de la parcela cuyas medidas se encuentran en el cuadro de datos técnicos.

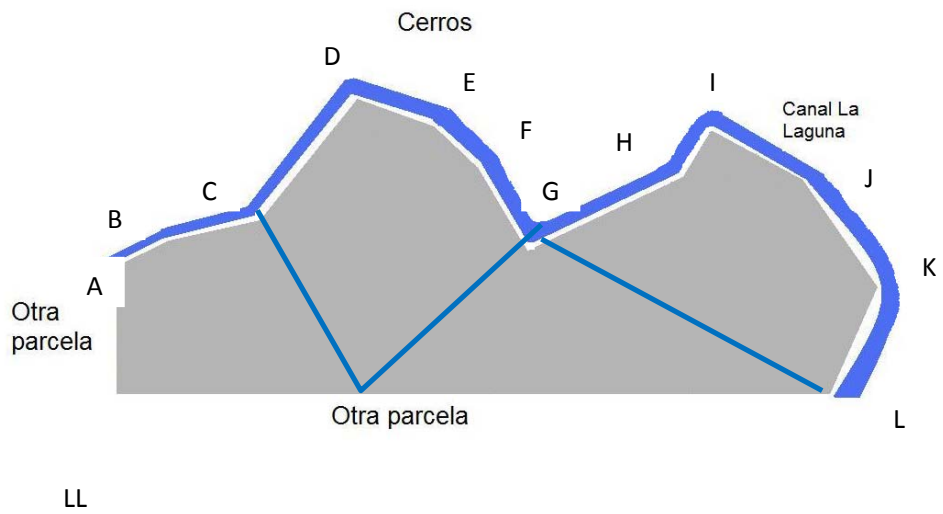


Fig.1.2. Plano perimétrico de la parcela [Elaboración Propia]

VERTICE	LADO	DISTANCIA
A	A - B	7.1
B	B - C	19.3
C	C - D	25.9
D	D - E	23.7
E	E - F	16.7
F	F - G	15.1
G	G - H	59.2
H	H - I	8
I	I - J	28
J	J - K	18.4
K	K - L	8.7
L	L - LL	150.9
LL	LL - A	19.8

Fig. 1.3. Cuadro de datos técnicos [DOCUMENTOS DE LA PARCELA]

A continuación se puede observar la situación actual de la parcela:



Figura 1.4. Vista actual de la parcela [Aporte Propio]

1.14.2 Deficiencias que presenta la parcela de plátanos.

Actualmente la parcela cultivable no aprovecha totalmente el terreno, ya que el cultivo de platanales solo ocupa un 30%. Otro problema es el mal uso del terreno, debido a que no es adecuado para el trabajo de una red inalámbrica de sensores por el problema de asimetría de la organización, que no permite aprovechar al máximo la cobertura de la WSN, es por esto que antes de diseñar la red, se debe plantear modificaciones en la zona de cultivo.

1.15 Declaración del marco problemático.

En el Perú aun existen muchos cultivos tradicionales, es decir que practican una agricultura tradicional o artesanal, los cuales están orientados solo al consumo propio, lo cual limita al sector agrario y trae como consecuencia que la rentabilidad para este sector sea escaso o nulo, es por esto que los niveles de pobreza en las zonas rurales no disminuyen a pesar de contar con grandes campos agricultores.

Además de esto cabe destacar que no se cuenta con la capacidad de detectar y solucionar problemas que afectan las cosechas tales como; plagas, enfermedades y/o fenómenos naturales, lo cual limita mucho más a este sector.

La agricultura en el Perú hoy en día no está aprovechando al máximo los recursos naturales que posee, por lo que es importante que se invierta en tecnología para lograr el desarrollo de este sector.

1.16 Síntesis sobre el asunto de estudio

La aplicación de una nueva tecnología tiene como objetivo lograr que la agricultura que se practica en el país no sea exclusivamente para el consumo interno, sino para que se extienda hacia mercados internacionales, lo cual ahora es de mayor importancia debido a los Tratados de Libre Comercio que están beneficiando al Perú. Por lo tanto la importancia de este sistema, radica tanto en el incremento del valor nutricional del plátano

para el consumo interno, como para la obtención de un producto de calidad para la exportación hacia mercados extranjeros.

Los parámetros básicos que involucran el desarrollo del plátano son la temperatura de su medio ambiente y la humedad con la que están en contacto.

Para lograr un producto de calidad se requiere un monitoreo de ambas variables, lo cual no es del todo factible si se trabaja con métodos agrícolas tradicionales.

En una red de sensores inalámbricos se puede controlar ambas variables mediante sensores electrónicos, en este caso de temperatura y humedad, los cuales están monitoreando continuamente los fenómenos que podrían afectar a la fruta en torno a estas dos variables. Estos sensores cuentan con una computadora que enviará la información hacia una estación base, en la cuál se podrá manipular la información para así tomar una decisión respecto al problema.

Como se puede inducir esta tecnología no es solo aplicable para el caso específico de los plátanos sino que tiene infinidad de campos de aplicación, tanto en la agricultura como en otros campos. Es por eso su gran importancia y la razón por la cual existe gran número de investigaciones en torno a las WSN.

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROCESO DE CULTIVO DE PLÁTANO EN MALA

Y PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA MEJORARLA

2.1 Estado del arte

2.1.1 Presentación del asunto de estudio

Hoy en día se pueden encontrar diversas aplicaciones tecnológicas en los diferentes aspectos diarios de nuestra vida, y sin duda alguna el propósito de estas aplicaciones es dar una mejor calidad de vida a todos los seres humanos. La electrónica juega un papel fundamental en este escenario, ya que es la que brinda las herramientas técnicas para resolver muchos de los problemas que enfrenta la humanidad.

Los sensores electrónicos se encuentran en gran cantidad de sistemas y dispositivos electrónicos. Una red de sensores logra la interacción entre ellos, creando así, un sistema inteligente para la captura de información. Gracias a las cualidades de cada sensor estos sistemas de red tienen infinidad de aplicaciones, tales como: aplicaciones agrícolas, sociales, militares, etc.

En los países en vías de desarrollo, la agricultura juega un rol muy importante, ya que permite el crecimiento económico y además, es una importante fuente de alimentos para los pobladores. Dado lo anterior, podemos deducir que este sistema tendría gran acogida en el Perú ya que permitirá lograr un desarrollo integral en la población del país.

En el campo de la agricultura existe gran variedad de productos agrícolas en el país; sin embargo, hay algunos que destacan más que otros. Un producto interesante hoy en día debido a su gran demanda en los países Europeos es el **PLÁTANO**, específicamente, el

plátano orgánico. La producción de esta fruta representa una gran oportunidad de negocio internacional, teniendo como principales compradores a varios países de Europa y a Estados Unidos.

Las características en el cultivo del plátano orgánico, es el uso de prácticas naturales y biológicas que preservan la fertilidad de los suelos y la diversidad genética de los ecosistemas. Para obtener plátanos con calidad de exportación, es necesario un cuidadoso tratamiento en el proceso de producción, estos cuidados comprenden también las condiciones en la que se desarrollan los plátanos, tales como; el clima, temperatura, plagas, enfermedades, agua y otros. Todos estos parámetros pueden ser detectados por los sensores, para luego ser procesados digitalmente y usados convenientemente por el usuario.

En el caso de la chacra de Mala se conformaría una LAN (Local Area Network) con los sensores y a la vez estos estarán conectados a una terminal base (puede ser una PC convencional), la cual se encontrará en un lugar estratégico en la misma chacra. Existe la posibilidad de que este terminal se conecte con el mundo a través de internet.

2.1.9 Estado de la investigación

Una red de sensores inalámbricos nos brindan la capacidad de monitorear variables físicas de cualquier tipo. Actualmente esta tecnología ha sido desarrollada por diversos laboratorios a nivel mundial, y se predice que esta causará una revolución tecnológica comparada a la aparición de Internet. La magnitud de esta revolución permite hablar de

redes de vigilancia global que abarcaría el planeta en su totalidad, estas redes serían capaces de registrar hábitos de la gente, monitorear el tráfico, entre otros. Si bien para esto todavía tendremos que esperar unos años, hoy en día existen proyectos para aplicar esta tecnología en diversos campos tales como la agricultura, el medio ambiente, entornos militares, y otros.

Para el diseño de una red de sensores inalámbricos, es necesario hacer un profundo análisis de los siguientes puntos de la red:

➤ **Plataforma de cada Nodo**

En esta plataforma; se encontrará el sensor, el dispositivo encargado de la adquisición y transmisión de datos además de la fuente de energía.

Para escoger que tipo de sensor se utilizará es necesario tener en cuenta el ambiente donde este funcionará. Debemos analizar variables tales como la temperatura, el nivel de humedad, entre otros.

➤ **Consumo de Energía**

Este es un aspecto muy importante, se requiere la mayor eficiencia posible en este.

➤ **Sincronización entre sensores**

Debido a que el objetivo es crear una “red inteligente” de sensores es necesario que se comuniquen entre ellos de una manera uniforme y precisa, por ello, es necesario que exista una eficiente sincronización entre ellos.

➤ **Cobertura de la Red**

Para poder cubrir toda la zona a estudiar es necesario que los sensores que conformen la red sean distribuidos de manera estratégica.

➤ **Protocolos de comunicación**

Es necesario escoger un protocolo para enviar información al medio y para acceder a este, además de buscar la mejor ruta para la transmisión de información. Los aspectos a tener en cuenta serían el rango de transmisión, tamaño de memoria y velocidad. Otro determinante importante también es la cantidad de nodos que soporta una red determinada.

2.1.10 Descripción del aporte tecnológico

Antes de describir a una red inalámbrica de sensores, abordaremos algunos conceptos necesarios para su comprensión:

A) Redes de área local (LAN)

Se define así a una red de computadoras en un espacio pequeño. Sus características principales son su alta tasa de transmisión y el reducido número de elementos que la pueden integrar.

B) Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Una red local inalámbrica es aquella en la que un usuario móvil se puede conectar a la red local a través de una conexión inalámbrica. Las tecnologías para LANs inalámbricas son especificadas por el IEEE 802.11.

C) Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Una red inalámbrica de área personal incluye redes inalámbricas de corto alcance que comúnmente cubren distancias del orden de los 10 metros como máximo, por lo que normalmente se utiliza para conectar varios dispositivos portátiles personales sin la necesidad de utilizar cables. Una de las mayores ventajas de este tipo de redes es que no requiere de altos índices de transmisión de datos, lo que conlleva a un bajo consumo de energía, lo cual resulta ideal para usarla en dispositivos de reducido tamaño. Las tecnologías principales WPAN son Bluetooth (802.15.1), Zigbee (802.15.4) y las conexiones infrarrojas.

A continuación se muestra la ubicación de las principales tecnologías inalámbricas en un diagrama de velocidad de datos comparado con el rango de alcance.

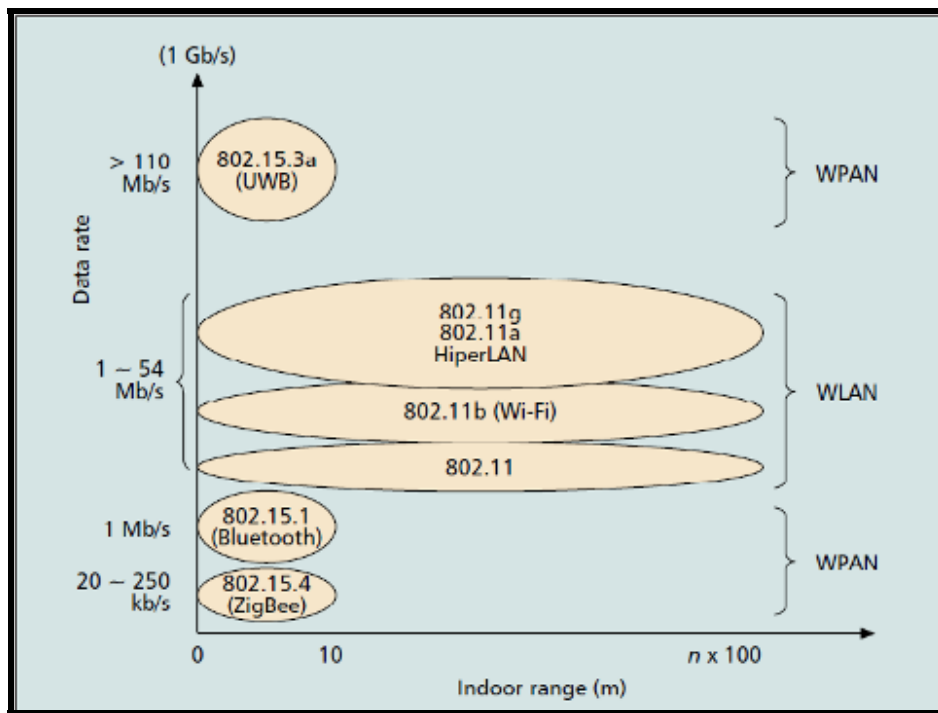


Fig 2.1 Principales tecnologías inalámbricas (comparación) [3]

D) Modulación y señalización en redes inalámbricas

Modulación, es el proceso de transmitir una señal de baja frecuencia sobre otra de alta frecuencia. Como resultado de este proceso, algunos parámetros de la señal de alta frecuencia (portadora) son modificados de manera proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia (moduladora).

Cuando varias señales se transmiten moduladas, estas pueden viajar de forma simultánea por el mismo canal, lo que significa un mayor aprovechamiento del canal de comunicación, además que se protege la información de posibles interferencias y/o ruidos. A continuación se mencionan otras razones por las que es necesario modular:

- 1) Si diferentes usuarios transmiten a la frecuencia de la señal original no será posible interpretar la información contenida en esta señal, debido a la interferencia entre las señales transmitidas.
- 2) Utilizando la multiplexación de frecuencias se aprovecha mejor el espectro electromagnético
- 3) A altas frecuencias se tiene mayor eficiencia en la transmisión de acuerdo al medio que se emplee.
- 4) En caso de transmisión inalámbrica las antenas tienen medidas más razonables.

La siguiente tabla relaciona cada estándar de comunicación con el tipo de modulación y codificación permitidos.

Technique	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.15.1	802.15.4
BPSK	✓					✓
QPSK	✓					
OQPSK						✓
DBPSK		✓	✓			
8DPSK					✓	
DQPSK		✓	✓		✓	
$\pi/4$ -DQPSK					✓	
GFSK					✓	
ASK						✓
16-QAM	✓		✓			
64-QAM	✓		✓	✓		
CCK		✓				
Alamouti				✓		
OFDM	✓		✓	✓		
DSSS		✓				✓
PSSS						✓
AFH					✓	

Tabla 2.1: Modulación y codificación utilizadas en los estándares de comunicación inalámbrica [4]

E) Asignación de frecuencias en las comunicaciones inalámbricas

Según el ministerio de transporte y comunicaciones existe un grupo de rangos de bandas que están destinadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, el cual se detalla a continuación:

- 13 553 – 13 567 kHz (frecuencia central 13 560 kHz).
- 26 957 – 27 283 kHz (frecuencia central 27 120 kHz).
- 40,66 – 40,70 MHz (frecuencia central 40,68 MHz).
- 902 – 928 MHz (frecuencia central 915 MHz).

- 2 400 – 2 500 MHz (frecuencia central 2 450 MHz).
- 5 725 – 5 875 MHz (frecuencia central 5 800 MHz).
- 24 - 24,25 GHz (frecuencia central 24,125 GHz).

Los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones.

F) Sensores Electrónicos

Un sensor es un dispositivo capaz de recibir una magnitud externa y convertirla en otra; estas variables deben estar directamente relacionadas. Esta operación se hace con la finalidad de acondicionar la variable para poder observarla y manipularla. Un sensor electrónico es el que convierte la señal recibida en una señal eléctrica. El funcionamiento de un sensor se ilustra en la Fig. 2.1.

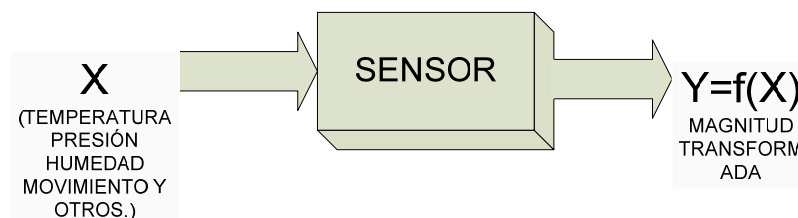


Fig. 2.2. Esquema de funcionamiento de un sensor [5]

En el mercado existe una gran variedad de sensores electrónicos, entre los principales tenemos:

- Sensores de temperatura.
- Sensores de Humedad.
- Sensores de presencia.
- Sensores de presión.
- Sensores de Velocidad.
- Sensores de caudal.
- Sensores de posición, otros.

G) Red de Sensores

Una red de sensores está conformada por varios terminales o nodos, cada uno de estos se encuentra equipado entre otras cosas con un sensor. Todos estos nodos se combinan para el desarrollo de una tarea común.

Este tipo de red trabaja de manera muy dinámica ya que cada nodo puede convertirse en emisor y receptor en diferentes intervalos de tiempo, además de esta importante característica cada nodo sirve como puente entre nodos y también puede almacenar la información adquirida por cada sensor

H) Red de sensores Inalámbrica (WSN)

Una red de sensores inalámbrica funciona de una manera “inteligente”, es decir que a diferencia de una red de sensores convencional la cual tiene una estructura fija y una administración centralizada, una WSN trabaja de una manera muy dinámica ya que cada nodo que conforma la red puede funcionar tanto como emisor y receptor; además cada uno de estos puede servir como puente entre dos nodos diferentes.

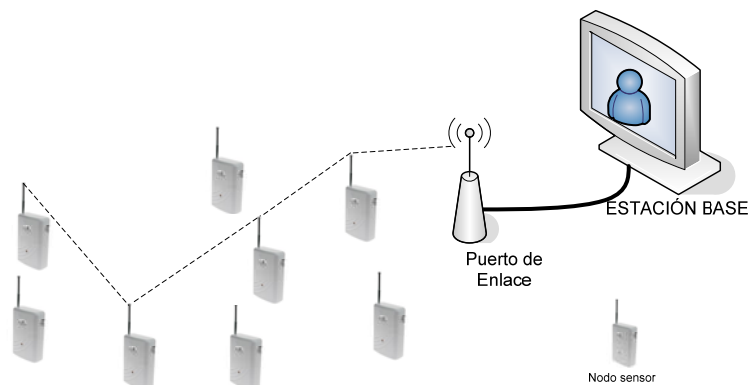


Fig. 2.3. Esquema de una WSN [Elaboración Propia]

En la figura se ilustra cómo puede actuar una red de sensores inalámbrica, como vemos los nodos que están trabajando son emisores y receptores en distintos tiempos.

En la actualidad las redes de sensores inalámbricas no están del todo desarrolladas, a pesar de la gran ventaja que representa, debido a las limitaciones que aún tiene. Algunas de estas limitaciones son:

- **La conservación de energía**, debido a que cada nodo funciona con una simple batería, la duración de la energía de cada nodo es muy limitada.
- **Ambientes no apropiados**, en su mayoría estas redes se van a encontrar en lugares con ambientes hostiles o de condiciones climáticas extremas, por ello los nodos deben ser cuidadosamente diseñados para superar esa barrera.
- **Escalabilidad**, una red de sensores debería estar conformada de cientos o miles de nodos para funcionar de la manera más óptima posible sin embargo en la actualidad esto aún no es posible.
- **Mercado limitado**, actualmente solo existen aplicaciones muy específicas para las redes de sensores inalámbricos, es por ello que no resulta muy rentable para una compañía desarrollar una tecnología la cual solo estarían dispuestos a adquirir unos pocos.

I) Topología de una red de sensores inalámbrica

La topología en este tipo de redes es más compleja de conformar que en una red cableada convencional, ya que los nodos que conforman la red inalámbrica pueden ser capaces de auto configurarse para formar determinada topología de acuerdo a las

condiciones en que se encuentren. Un problema para esta operación estaría relacionado con la escalabilidad ya que en medio de la red puede haber nodos que se dañen, que se queden sin energía o alguna otra razón que los saque de funcionamiento.

Si bien esta red será auto configurable es necesario tener en cuenta los diferentes tipos de topología que existen para conformar las redes.

Antes de empezar con la explicación detallada de cada topología presentaremos una breve definición de cada uno de los elementos que pueden conformar una red, en los cuales profundizaremos un poco más posteriormente:

- **Puerto de Enlace:** Recibe la información proveniente de la red. Sirve como interfaz entre la red de sensores y la red local donde se encontrará nuestra estación base.
- **Nodo sensor (puntos finales):** Encargados de recopilar toda la información.
- **Enrutador (Router):** Son los que extienden el área de cobertura en la red y además tienen la capacidad de generar rutas alternativas ante una falla inesperada en algún punto de la red. Un router puede funcionar como un Punto final.

a) Topología estrella

En una topología estrella cada nodo se conecta directamente al puerto de enlace como se muestra en Fig. 2.3.

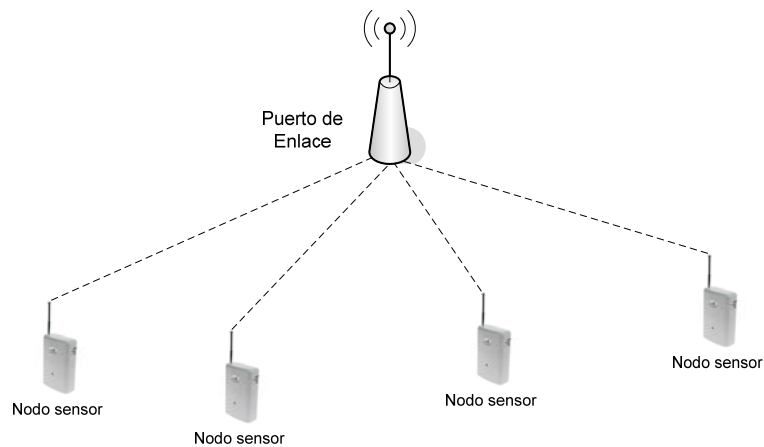


Fig. 2.4. Topología Estrella [Elaboración Propia]

Como se puede apreciar en esta topología los nodos no pueden intercomunicarse entre ellos debido a que su comunicación está limitada por el puerto de enlace.

Ventajas

- Debido a su simple estructura se tiene una fácil escalabilidad.
- Como la interacción es simple, las tareas que realiza cada nodo es mínima por lo que se genera un bajo consumo de energía.

Desventajas

- El camino que sigue la información siempre es el mismo. Esto no es del todo eficiente.
- Si un punto de la red falla no es seguro que un sistema con esta topología responda bien.

b) Topología de árbol

En una red con topología de árbol un grupo de nodos se encuentra conectado a un nodo que sirve como puente entre este grupo y al puerto de enlace (Fig. 2.4). Así es como la información viaja desde el nodo que se encuentra en la parte más baja del árbol hasta el puerto de enlace.

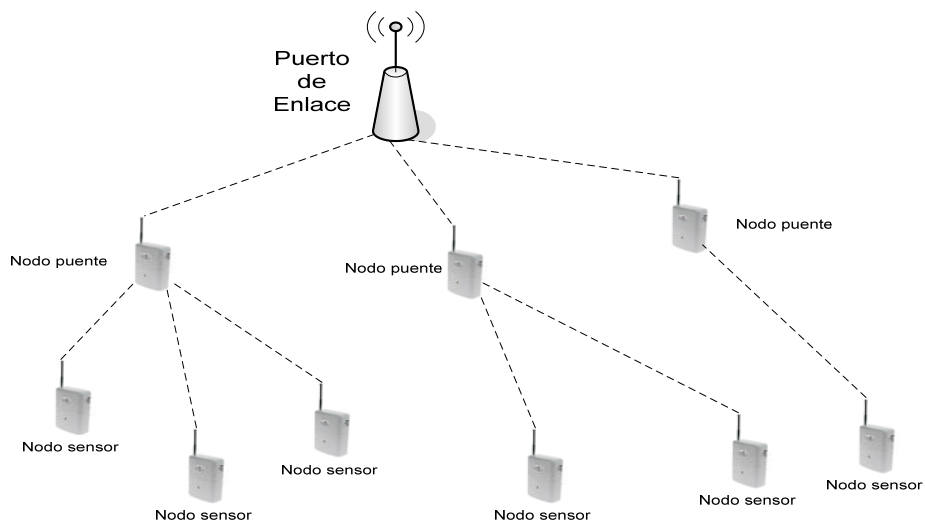


Fig. 2.5. Topología de árbol [Elaboración Propia]

Ventajas

- Fácil escalabilidad.
- Bajo consumo de energía.

Desventajas

- Si un nodo puente falla todos los sensores asociados a el quedarán incomunicados.

c) Topología de malla

Esta topología interconecta todos los nodos de la red logrando una dinámica interacción entre ellos. La información pasa por el camino que encuentre más adecuados en el momento del proceso. La configuración es como se muestra en Fig. 2.5.

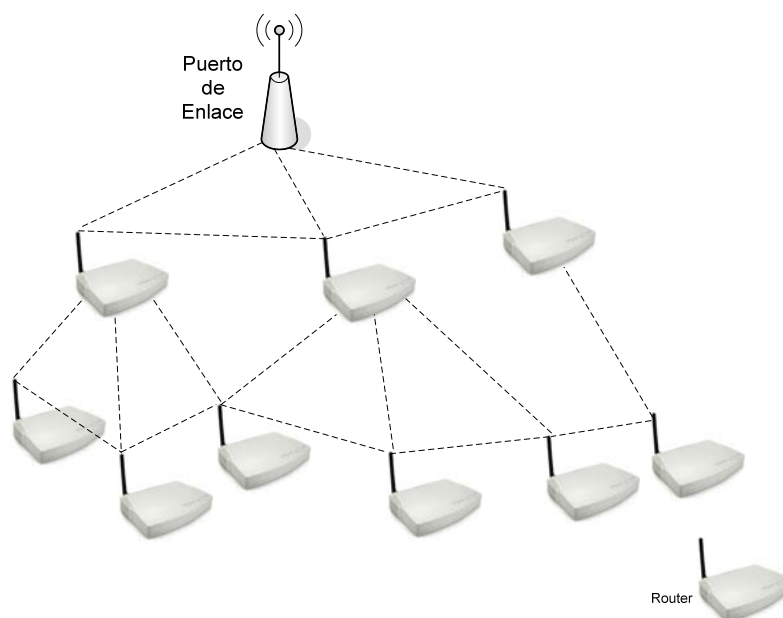


Fig. 2.6. Topología de malla [Elaboración Propia]

Como se aprecia en la grafica en una red con topología de malla los sensores de la red pueden comunicarse entre ellos lo cual logra un sistema mucho más dinámico.

Ventajas

- Si un punto de la red falla no afecta a la red total, ya que la información puede seguir otro camino.
- Fácilmente escalable.
- Gran rango de alcance gracias a que la información puede transportarse por toda la malla.

Desventajas

- Debido a que todos los elementos de la red están en continuo funcionamiento e interacción el consumo de energía es bastante alto.

d) Topología híbrida

La topología híbrida combina las topologías malla y estrella con la finalidad de sacar ventaja de la simplicidad de una topología estrella y el gran rango de alcance de una red

de malla. Los nodos sensor finales son los que conforman la estrella y los routers son los que conforman la malla.

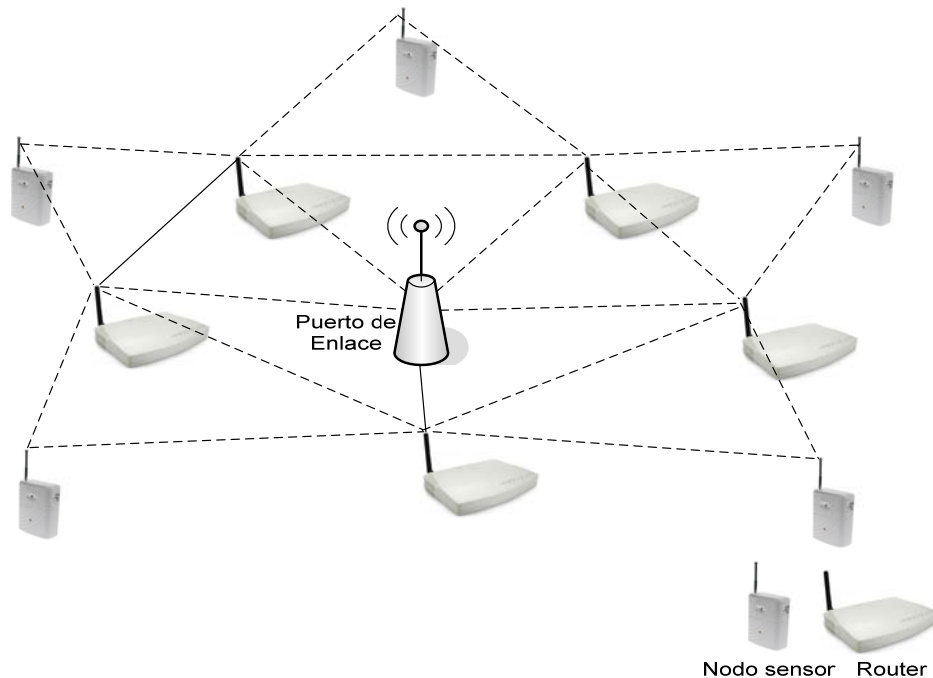


Fig. 2.7. Topología híbrida [Elaboración Propia]

Ventajas

- Gran rango de alcance; gracias a los routers que conforman una malla.
- Bajo consumo de energía, dado que el sistema también está conformado por una configuración estrella.
- Tolerancia a la falla de algún sensor, ya que ante esto la configuración de malla puede buscar algún camino alternativo para lograr que la información llegue a su destino.

Desventajas

- Debido a la complejidad de este sistema la escalabilidad se torna complicada cuando se trabaja con rango extendidos.

J) Protocolos de Comunicación

Existen varios protocolos utilizados en el campo de comunicaciones inalámbricas tales como Wimax, Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, etc. Sin embargo, al momento de elegir uno para una red de sensores, es necesario tener cuenta aspectos tales como: un bajo consumo de energía o que permita la mayor cantidad de nodos posibles en su sistema.

De los protocolos anteriormente mencionados los más adecuados para una red inalámbrica son Bluetooth y Zigbee. Sin embargo, ambos tienen su campo específico de aplicación; es decir que, mientras el Bluetooth es ideal para aplicaciones con teléfonos celulares (debido a su alta velocidad de transmisión de datos), Zigbee es el protocolo más adecuado para una WSN, debido a sus características.

A continuación se muestra una comparación entre ambos protocolos:

	ZigBee	Bluetooth
Numero de nodos	255	8

(Subred)		
Consumo de energía:		
Transmitiendo (mA.)	30	40
En reposo (mA.)	0.003	0.2
Velocidad	hasta 250 Kbps	hasta 1 Mbps

Tabla 2.2. Comparación entre Zigbee y Bluetooth

K) Estándar ZigBee

Es un estándar de comunicación inalámbrica entre dispositivos centrados en aplicaciones de bajo coste y consumo [6]. El protocolo 8011.15.4 o ZigBee tiene como ventaja sobre el Bluetooth que a diferencia de este, fue pensado con la posibilidad de poder ser usado por cualquier fabricante.

ZigBee se basa en las capas físicas y el control de acceso al medio, definidas por el estándar IEEE 802.15.4. La "ZigBee Alliance" proporciona la capa de red y el marco para la capa de aplicación.

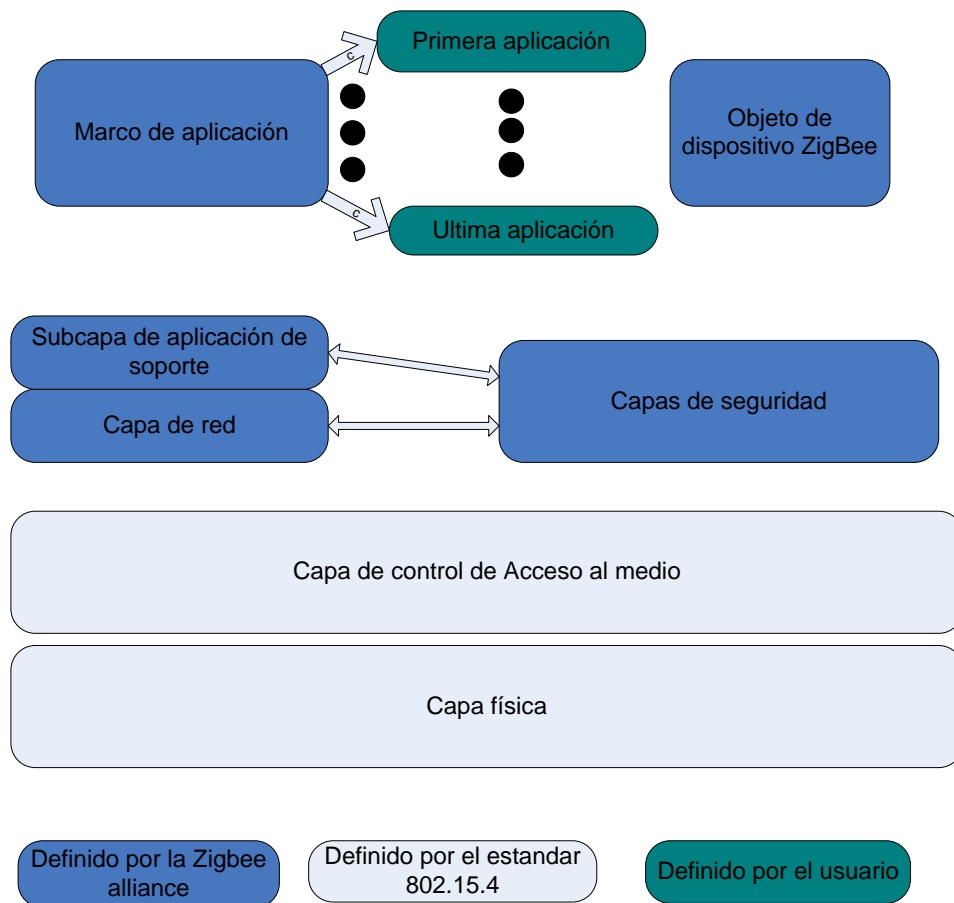


Fig. 2.8. Capas definidas en ZigBee [Elaboración Propia]

2.1.11 Puerto de Enlace

Un Puerto de enlace o Gateway es normalmente un equipo informático configurado para dotar a las máquinas de una red local: Local Area Network (LAN) conectadas a él de un acceso hacia una red exterior, realizando para ello operaciones de traducción de direcciones IP: Internet Protocol (NAT: Network Address Translation).

Esta capacidad de traducción de direcciones permite aplicar una técnica llamada IP Masquerading (enmascaramiento de IP), usada muy a menudo para dar acceso a Internet a los equipos de una red de área local, compartiendo una única conexión a Internet y por tanto, una única dirección IP externa. Se podría decir que un Gateway o Puerta de Enlace es un router que conecta dos redes [7].

2.1.12 Estación Base

Al referirse a una estación base se habla de un computador personal o una computadora portátil. No es necesario que sea de última tecnología, pero al menos debe tener la posibilidad de navegar en Internet y de permitir configuraciones de red.

2.1.13 Internet

Internet es un conjunto descentralizado de [redes de comunicación](#) interconectadas, que utilizan la familia de [protocolos TCP/IP](#), garantizando que las redes físicas [heterogéneas](#) que la componen, funcionen como una red lógica única de alcance mundial.

Sus orígenes se remontan a [1969](#), cuando se estableció la primera conexión de computadoras conocida como [ARPANET](#) entre tres universidades en [California](#) y una en [Utah, EE. UU.](#)

Uno de los servicios que más éxito ha tenido en Internet ha sido la [World Wide Web](#) (WWW, o "la Web"), hasta tal punto que es habitual la confusión entre ambos términos. La WWW es un conjunto de protocolos que permite, de forma sencilla, la consulta remota de

archivos de [hipertexto](#). Ésta fue un desarrollo posterior ([1990](#)) y utiliza Internet como [medio de transmisión](#).

Existen por tanto, muchos otros servicios y protocolos en Internet, aparte de la Web, el envío de [correo electrónico](#) ([SMTP](#)), la [transmisión de archivos](#) ([FTP](#) y [P2P](#)), las [conversaciones en línea](#) ([IRC](#)), la [mensajería instantánea](#) y presencia, la transmisión de contenido y comunicación multimedia -[telefonía](#) ([VoIP](#)), [televisión](#) ([IPTV](#)), los [boletines electrónicos](#) ([NNTP](#)), el [acceso remoto](#) a otras máquinas ([SSH](#) y [Telnet](#)) o los [juegos en línea](#). [8]

2.1.14 Tráfico

Proceso constituido por sucesos relacionados con la demanda de utilización de los recursos de una red de telecomunicaciones. [9]. En el caso de una red inalámbrica, este tema es más delicado, ya que la cantidad de terminales que pueden intentar conectarse a un solo dispositivo en un momento no es fija y puede sobrepasar la capacidad de este. En el caso de una WSN, se debe tener especial cuidado en el tráfico que maneja el puerto de enlace.

2.1.15 Conceptualizaciones Generales sobre el plátano

Definición: El plátano es una fruta perteneciente a la familia de las Musáceas, que tiene su origen en Asia Meridional con un elevado valor

energético, siendo una importante fuente de vitaminas A y C y de contener numerosas sales minerales; entre ellas las de hierro, fósforo, potasio y calcio [10].

Valor nutricional: El plátano maduro destaca por su alto valor energético (85 kcal/100 g de porción comestible) si se compara con otras frutas, aunque esto no debe presentar inconveniente alguno para su consumo si se tiene en cuenta las ventajas nutricionales que esta fruta aporta. El aporte calórico se debe a su contenido en hidratos de carbono, ya que el porcentaje de grasas y proteínas es casi inapreciable (0,27 g y 1,20 g/100 g de porción comestible, respectivamente).

Un 76% de su composición es agua, siendo su componente mayoritario; destaca su riqueza en hidratos de carbono (21 g/100 g). Los plátanos no maduros contienen almidón "resistente" que no es digerido en el intestino delgado y es fermentado en el intestino grueso por las bacterias intestinales, ocasionando con frecuencia flatulencia. En los plátanos maduros, su contenido en almidón (hidrato de carbono complejo) decrece mientras aumenta su contenido en hidratos de carbono simples o azúcares, como glucosa, sacarosa y fructosa, que son fácilmente digeridos y absorbidos por el organismo. En cuanto a proteínas y grasas estas se encuentran en pequeña cantidad (1,20 g de proteína y 0,27 g de grasa por 100 g de porción comestible) y no resultan significativas.

El plátano aporta vitamina A, C y pequeñas cantidades de vitamina E o tocofero, todas ellas con efecto antioxidante que protegen las células del organismo de la acción de los radicales libres, responsables, entre otras, del envejecimiento y de muchas enfermedades degenerativas.

También contiene ácido fólico, fundamental para prevenir ciertos tipos de anemias y malformaciones en el feto (espina bífida), por lo que el consumo de plátano es muy

recomendable para embarazadas. Además de otras vitaminas del grupo B, como la piridoxina o vitamina B6, que favorecen las funciones nerviosas.

El plátano destaca asimismo por su aporte en potasio, magnesio y fósforo, entre otros minerales.

El potasio, es necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular, además de favorecer la función renal.

El magnesio, es muy importante para el correcto funcionamiento del sistema nervioso, para la contracción muscular, el sistema de defensa del organismo y posee un suave efecto laxante.

El plátano aporta mucha fibra, tanto soluble como insoluble. Dentro de la fibra soluble, destaca su contenido en fructooligosacáridos (FOS). Los FOS son hidratos de carbono complejos que llegan al intestino grueso sin digerir y son fermentados por las bacterias intestinales, favoreciendo la proliferación de las mismas, especialmente de las bífidobacterias o lactobacilos que colonizan el colon, que ejercen acciones beneficiosas para el organismo[11].

Estándares internacionales mínimos para el plátano: [12]

- Estar enteros (tomando el dedo como referencia).
- Estar sanos, deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo.
- Estar limpios, y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible.

- Estar prácticamente exentos de plagas que afecten al aspecto general del producto.
- Estar prácticamente exentos de daños causados por plagas.
- Estar exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica y los bananos (plátanos) envasados en atmósfera modificada.
- Estar exentos de cualquier olor y/o sabor extraños.
- Ser de consistencia firme.
- Estar exentos de daños causados por bajas temperaturas;
- Estar prácticamente exentos de magulladuras.
- Estar exentos de malformaciones o curvaturas anormales de los dedos.
- Estar sin pistilos.
- Estar con el pedúnculo intacto, sin estar doblados ni dañados por hongos o desecados. [12]

Enfermedades del plátano: A continuación se presentan las principales enfermedades que puede sufrir el plátano:

a) Sigatoka Negra

Capaz de atacar a todas las variedades importantes de plátanos y llantenes, el Sigatoka negro gira las hojas de las plantas y les da unos tonos amarillos, marrones y negros, impidiéndoles así la fotosíntesis. Desprovista de sus reservas de energía, la planta recorta su producción de fruta, a veces hasta la mitad. Para los exportadores, el Sigatoka negro conlleva la ruina: la enfermedad también causa la maduración prematura de la fruta.

Aunque parecen normales, los plátanos de las plantas afectadas maduran y se estropean antes de llegar a los mercados.

La Sigatoka negra es causado por el hongo *Mycosphaerella fijensis* Morelet var. *Difformis*. Los primeros síntomas son visibles a simple vista en la superficie inferior de la hoja, como puntos café rojizos. Los puntos se alargan y forman estrías café rojizas. La estría se alarga ligeramente y hay un cambio de color de café rojizo a café oscuro o casi negro. Las estrías se agrandan, se hacen más anchas y adquieren forma elíptica, rodeándose de un borde café claro alrededor de la mancha. Este es el estado de manchas. En la parte superior de la hoja las manchas son café oscuro con borde amarillo. La hoja termina por ponerse negro y muere. El daño económico del hongo reside precisamente en que reduce la capacidad fotosintética de la planta con reducciones en rendimiento como consecuencia. Una planta de banano debe de tener por lo menos 7 a 8 hojas funcionales a la floración para impedir perdidas en la calidad de la fruta (González, 1987).

El hongo se propaga a través de agua y viento. El riego por aspersión ayuda a propagar la enfermedad en el plantío. La Sigatoka negra no es percibida por todos los productores, esto se debe a que la enfermedad no afecta directamente la producción. Todas la variedades comerciales, es decir el plátano cuerno y el banano de exportación, son susceptibles a la Sigatoka negra.

El control de la Sigatoka tradicionalmente consiste en aplicación de fungicidas. Existen varios productos para ello en el mercado, pero se han reportado varios casos de resistencia a estos. El control químico de la enfermedad en las plantaciones comerciales eleva fuertemente los costos de producción y no es tan accesible para los pequeños productores.

No existe realmente un control biológico de la enfermedad. El manejo de la enfermedad consiste más bien en tratar de minimizar su propagación en el plantío eliminando brotes de inóculo a través del deshoje de hojas afectadas por Sigatoka y mejor aun quemándolas. Pero como el hongo se propaga con el viento el manejo se dificulta cuando los vecinos no hacen lo mismo. Otra recomendación, es sembrar de forma intercalada variedades resistentes con variedades susceptibles y sembrar en general cortinas rompe vientos. Sin embargo no se conoce realmente el impacto de estas medidas en la incidencia de la enfermedad. Sembrar variedades resistentes parece ser de momento la única opción de control biológico.

b) Moko

El organismo causal de la enfermedad es una bacteria denominada *Ralstonia solanacearum* E. F. Smith Sin. *Pseudomonas solanacearum*.

En los cultivos de cambur y plátano, la bacteria se desarrolla y multiplica en gran escala dentro de los vasos conductores de la savia, por cuyo bloqueo la planta presenta señales de amarillamiento y marchitez semejantes a los que manifiesta cuando sufre sequía. Todas las variedades de cambur o plátano son susceptibles al hereque, aunque en diferentes grados.

Entre las más afectadas por la enfermedad se hallan el cambur 'manzano' y el 'topocho'.

Sintomatología: Las plantas infectadas por hereque muestran amarillamiento normal en las hojas más bajas, que se va acentuando al mismo tiempo que se propaga a las

superiores. El follaje afectado se marchita y dobla, quedando las hojas colgadas y adheridas a la planta. En estados avanzados de la enfermedad, el amarillamiento invade también las hojas cogolleras, las cuales finalmente se doblan y cuelgan. Los "hijos" de las cepas infectadas presentan también amarillamiento, marchitez con secamiento y más tarde arrugamiento en el follaje. Si al adquirir la planta esta enfermedad, el racimo está joven, los frutos tardan en crecer, su desarrollo es anormal y pueden ennegrecerse y torcerse. Cuando el hereque aparece al estar el racimo desarrollado, se origina una pudrición de la pulpa en algunos dedos de ciertas manos. Dicha pudrición puede observarse fácilmente al cortar los dedos de una mata enferma, aunque algunas veces los dedos afectados se detectan por su amarillamiento prematuro.

Por otra parte, la planta presenta internamente síntomas que ayudan a reconocer la enfermedad. En un vástago infectado se notan una serie de puntos, que pueden ser de color amarillo o marrón oscuro a casi negros, y con mucha frecuencia áreas blandas de color oscuro. Tales puntos no son otra cosa que el corte de las venas internas conductoras de la savia, las cuales han sido coloreadas por la acción tóxica de los agentes patógenos. En corto tiempo, aparece en algunos de estos puntos un líquido espeso, a manera de gotas, que es el exudado de las bacterias causantes del hereque.

Propagación de la enfermedad: La manera más importante de propagarse el hereque es mediante los implementos utilizados en el trabajo.

En efecto, con cualquier corte que se dé en una planta infectada, ya sea cosechando, "desbarajando", "deshijando" o en otra actividad, el implemento utilizado se impregnará de exudado bacteriano. En consecuencia, los cortes sucesivos practicados en plantas sanas introducirán el agente patógeno en las mismas, apareciendo los síntomas en la planta dos o tres semanas después, aunque a veces puede tomar más tiempo. Asimismo, ciertos

tipos de insectos, como el gorgojo negro, pegones y avispas, son capaces de transmitir la enfermedad de una planta enferma a plantas sanas.

Erradicación: Aísle inmediatamente el sitio y de aviso al ICA quien orientará la forma de erradicación. Inyecte con glifosato (Roundup) al 20% al seudotallo de las plantas enfermas y todas las que estén a su alrededor en un radio de 6 metros. Aplicando entre 5 y 50 c.c. según el tamaño de la planta. Encale el sitio y repique el suelo si el foco es pequeño, solarice el área (plástico transparente) durante dos meses incorpore materia orgánica y/o abonos verdes. Siembre cultivos no susceptibles al moko como café, yuca o maíz.

2.2 Modelo teórico.

La agricultura significa uno de las mayores fuentes de ingresos para el Perú, específicamente el plátano representa una gran oportunidad de negocio para el país. Si queremos competir con los principales exportadores de plátano y posicionarnos como el principal exportador en Latinoamérica; es necesario incrementar la calidad de nuestro producto.

El estándar internacional indica que el plátano es óptimo para ser exportado, si no se hace uso de pesticidas durante su cultivo, lo cual es muy difícil en nuestro país, debido a que en la mayoría de casos es el único medio con el que contamos para combatir las plagas que atacan a las plantaciones. Otro factor para garantizar su calidad es asegurarnos que nuestras plantaciones se encuentren en las condiciones climáticas óptimas, para lo cual es necesario llevar un control constante y exacto de la temperatura

del ambiente y el nivel de humedad que están en contacto directamente con las plantaciones lo cual es imposible o muy difícil con las precarias herramientas con las que cuentan la mayoría de los agricultores en el país.

El sistema presentado (WSN) consta de gran cantidad de sensores ubicados estratégicamente en toda el área de la parcela, con la finalidad de monitorear en todo momento las condiciones climatológicas de la plantación, tanto la temperatura del ambiente como el nivel de humedad que está en contacto con las plantaciones. Esta información estará a disposición del encargado de la parcela, así ante cualquier eventualidad puede tomar alguna decisión para solucionar el problema por el mismo o podría necesitar de la ayuda de profesionales como ingenieros agrónomos, biólogos, etc.

Este sistema está formado por gran cantidad de sensores ubicados estratégicamente en la zona de cultivo; cada uno de estos sensores estará ubicado en una plataforma en la cual se encontrarán un procesador, un transmisor/receptor y su respectivo sistema operativo para las labores de transmisión de información, ahorro de energía y adquisición de datos. Cada uno de estos nodos estarán interconectados entre sí formando una red inteligente, logrando así enviar la información útil para mejorar la zona de cultivo hacia una estación base.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

3.3 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

Diseñar una red de sensores inalámbricos para monitorear las variables sensibles en el crecimiento y desarrollo de los frutos de una parcela de plantaciones de plátanos, la cual está ubicada en el distrito de Mala. Dichas variables, aparte de ser analizadas en el mismo lugar donde se encuentra la parcela, podrían ser monitoreadas de manera remota desde la ciudad Lima, a través de una conexión vía línea telefónica. La finalidad del análisis de estas variables, es poder tomar una decisión rápida para solucionar los problemas que afecten a las plantaciones de manera rápida y eficaz para así poder obtener un producto final con calidad de exportación.

3.1.2 Objetivos específicos

- 1) Diseñar la red de sensores inalámbricos para poder monitorear las variables temperatura y humedad, de modo que podamos evitar que las plantaciones se vean afectadas por condiciones extremas del clima, además de evitar que sea atacada por plagas.
- 2) Lograr que la red no se vea afectada por las condiciones climáticas extremas tales como viento, nieve, lluvia, etc.
- 3) Obtener un producto que cumpla con los estándares internacionales para poder competir con los productores más grandes en el campo del cultivo de plátanos.

3.2 Hipótesis

3.2.1 Hipótesis principal

La calidad del producto (plátano) depende principalmente de las condiciones climatológicas a las que están expuestas las plantaciones y a la oportuna intervención del agricultor ante cualquier evento que pueda dañar al fruto; entonces la red de sensores inalámbricos provee datos en tiempo real y con una gran precisión, esto con la finalidad de monitorear su continuo desarrollo para obtener un producto con calidad de exportación.

3.2.2 Hipótesis secundarias

- 1) Para controlar las variables críticas en una plantación de plátanos, es necesario contar con los sensores adecuados para monitorearlas, en este caso estos sensores son de temperatura y humedad tanto del ambiente como del suelo.

- 2) Los nodos sensores ofrecidos por la mayoría de compañías a nivel mundial tienen preparado un empaque especial para lograr que los circuitos electrónicos en si que puedan dañarse debido a un fenómeno climático extremo, se mantengan en condiciones intactas.

3) El Perú cuenta con las condiciones climatológicas ideales además, también posee un suelo que permite el óptimo desarrollo de los cultivos; sin embargo, debido a que la mayoría de agricultores en el país realiza sus actividades aún de manera tradicional, los cultivos no obtienen un alto nivel de calidad tal como para entrar en competencia internacional. Por esta razón es necesario obtener información en tiempo real de las variables que pueden afectar a las plantaciones, para poder tomar acciones necesarias tales como, nivelar la temperatura del suelo o de la misma planta, estos datos pueden ser proporcionados por la red de sensores inalámbricos.

4.3 Metodología de investigación

4.3.1 Universo y muestra

El universo de la investigación es la parcela donde se ubicará la red de sensores inalámbricos, los cuales estarán estratégicamente ubicados a lo largo de esta.

La muestra se encuentra en la estación base donde se almacenarán las variables analizadas.

4.4 Estudio de la zona de cultivo

4.4.1 Dimensiones de la parcela

La parcela cuenta con un área de 6,282.44 metros cuadrados repartidos de manera irregular como se muestra en el capítulo 1. Los platanales no ocupan la totalidad de la parcela como se puede apreciar en la figura 3.1. Esto representa un problema ya que de esta manera el monitoreo no será del todo eficaz, para solucionar este problema es necesario ubicar los platanales en una área que sea lo más simétrica posible para optimizar los resultados obtenidos con el sistema de monitoreo.

4.5 Planeamiento técnico de la red

4.5.1 Elección de los componentes de la red

Los componentes que se utilizaran en el sistema de monitoreo son los que se detallan a continuación:

Nodos sensores: Son los encargados de percibir, procesar y transmitir los fenómenos físicos que analizaremos, en este caso temperatura y humedad. Cada nodo sensor contará con una tarjeta para el proceso de información, otra tarjeta para la conexión de los sensores si es que no los tiene integrados y además con otra tarjeta que se encargará de transmitir los datos inalámbricamente.

Puerto de enlace: Para que la red se comunique con el terminal que se encontrara en la parcela es necesario un enlace inalámbrico. El puerto de enlace se encargará de

comunicar la red de sensores con la red que se pueda formar a partir del terminal antes mencionado.

Estación base: Terminal donde se analizará los datos recogidos por la red inalámbrica de sensores.

4.5.2 Elección del Protocolo de comunicación

El protocolo de comunicación escogido debe tener entre sus principales características el bajo consumo y una fácil integración en nodos tan pequeños como los son los nodos que conforman la red. Actualmente, el protocolo más indicado para una red inalámbrica de sensores es el basado en el estándar IEEE 802.15.4, Zigbee. Esta tecnología inalámbrica cuenta con velocidades entre 20 Kbps y 250 Kbps y rangos de alcance de 10 a 100m de acuerdo a la potencia del dispositivo y al entorno donde este se encuentra. Zigbee utiliza las bandas libres ISM de 2,4 GHz.

4.6 Planeamiento físico de la red

4.6.1 Elección de la Topología

A lo largo de toda la parcela se ubicarán todos los nodos sensores, la comunicación entre ellos debe ser lo más dinámica posible para no perder ningún tipo de información.

La topología más adecuada sería la de malla; ya que como tratamos en el capítulo dos, esta presenta una interacción bastante dinámica entre los nodos que conforman la red, facilita una gran cobertura y brinda mayor seguridad en el proceso de comunicación.

3.7 Elección de equipos

3.9.1 Criterio para la selección de equipos

Para poder escoger entre equipos, es necesario tomar en cuenta cual es la tecnología que este posee, la energía que consumen, así mismo fijarnos si soporta el protocolo elegido, si es adecuado para la aplicación que estamos desarrollando; es decir la agricultura de precisión, además también debemos tener en cuenta el factor económico, tráfico, cantidad de plátanos o parcelas.

3.9.2 Criterios de elección para la plataforma del nodo sensor

Para la elección de la plataforma es necesario tener en cuenta los elementos que la componen; empecemos con el microcontrolador. Debemos tener en cuenta la memoria disponible, además de la energía que consume en estado de funcionamiento e

hibernamiento. En cuanto a la tarjeta de comunicación, hay que tener en cuenta la tecnología que soporta y el alcance que se puede obtener.

Con relación a las baterías, debemos buscar una plataforma que utilice baterías comerciales para que sean fácilmente reemplazadas además, que brinde un eficiente manejo de la energía consumida. Como último criterio debemos verificar las capacidades mínimas y máximas de la plataforma para futuras extensiones de la red.

3.9.3 Criterios de elección para los sensores

El criterio de elección para un sensor básicamente es su capacidad para trabajar bajo situaciones climáticas adversas, ya que la mayoría de sensores trabajan de la misma manera, otro factor importante sería el económico.

Para esta aplicación se necesitan dos tipos de sensores; como sensores de temperatura y de humedad, muchas plataformas ya tienen incluidos ciertos tipos de sensor pero si no es así, es necesario instalarlos.

3.9.4 Criterios de elección para el Puerto de enlace

En la elección de un puerto de enlace se tiene en cuenta su alcance , ya que este es inalámbrico, también es importante la capacidad que tiene, se debe verificar el número de

nodos que soporta en una red y cuantos nodos más se pueden agregar sin que haya ningún problema.

3.10 Posibles proveedores

A) Sentilla: Entre los productos que ofrece este proveedor destacamos su plataforma de nombre “Sentilla JCreate”, la cual es una plataforma para aplicaciones informáticas. Cada una de estas plataformas está compuesta por un microprocesador de la compañía Texas Instruments con código MSP430 y un transmisor inalámbrico identificado como TI/Chipcon CC2420. Cada uno de estas plataformas necesita para funcionar dos pilas del tipo AAA. Adicionalmente, cada JCreate tiene dos conectores estándar, que permiten agregar más sensores de una manera rápida y sencilla, así como un conector de expansión para una gran flexibilidad y para que sea actualizable.

Cada JCreate incluye una versión especial de “Sentilla Point”, un software basado en Java que es usado exclusivamente con este dispositivo y no es de uso comercial. [13]

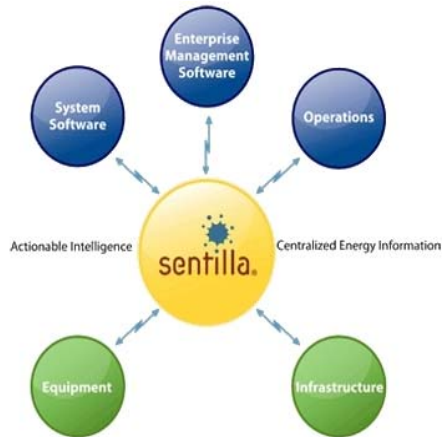


Figura 3.1. Esquema Sentilla [13]

B) Memsic: “Memsic technology” ha estado siempre a la vanguardia en tecnología de sensores inteligentes por más de una década, y ha abastecido con cientos de miles de sensores inteligentes a más de 4000 clientes alrededor del mundo. Hoy en día, Memsic es el distribuidor líder de tecnologías de sensores inalámbricos y sensores MEMS de inercia para navegación y control. [14].

Cabe destacar que la empresa memsic ofrece una aplicación tecnológica especialmente para ser aplicada a la agricultura de precisión. Esta propuesta es denominada “eko Technology” y se trata de un sistema inalámbrico encargado de sensor zonas agrícolas y además, el medio ambiente para el monitoreo de la cosecha.

eKo introduce a la vez, una nueva generación de integración de sensores y además con tecnología inalámbrica.



Figura 3.2. Sistema eKo [14]

Memsic ofrece el siguiente "Kit":

- eKo sensor nodes (EN2100).
- 1 eKo base radio (EB2110).
- 1 eKo gateway w/ built-in eKoView web application.

C) Bt nodes: El btnode ha tenido varias versiones y actualmente se está ofreciendo la versión 3.



Figura 3.3. Btnode rev3 [15]

El Btnode es versátil, posee comunicación inalámbrica autónoma y una plataforma de cómputo basada en un radio Bluetooth, un segundo radio de bajo consumo de energía y un microcontrolador. El radio de bajo consumo es el mismo que se usa en los Mica2motes de Berkeley, haciendo del BTnode rev3 una fusión entre ambos. Ambas radios pueden ser operadas simultáneamente o pueden ser apagadas simultáneamente cuando no están en uso, reduciendo considerablemente el consumo de energía del dispositivo [15].

D) Digi International: Fue fundada en 1985 como DigiBoard. La compañía se volvió pública como Digi International en 1989 y es conocida en el mercado nacional NASQAD bajo el símbolo DIGI.

Digi® tiene su sede en Minnetonka, Minnesota, con oficinas en los Estados Unidos, Europa y Japón. Sus dispositivos son conocidos en el mercado como “the Digi and Rabbit Brands.”

Características Resaltantes:

- Compatibilidad con dispositivos Zigbee de otros fabricantes.
- Auto-Recuperación para lograr estabilidad en la red.
- No hay necesidad de configuración del sistema de comunicación RF.



Figura 3.4. Chip de Digi [16]

3.11 Análisis de las características de los equipos ofrecidos por los posibles proveedores

En la descripción hecha de cada uno de los proveedores, se puede apreciar que tienen equipos que pueden ser útiles para el desarrollo de una red de sensores inalámbricos para la agricultura. Sin embargo, debemos tener en cuenta cuál de ellos es el que más se ajusta a nuestra aplicación.

En primer lugar, Sentilla, esta compañía nos ofrece como elemento principal el Sentilla JCreate el cual tiene varias características bastante útiles para nuestra aplicación tales como, el tipo de baterías que usa, dos pilas de tipo AAA y los conectores que posee para conectar de una manera sencilla y rápida más sensores. Adicionalmente Sentilla nos ofrece un “kit” o paquete, el cual es bastante adecuado para la presente aplicación, ya que con los ocho nodos que posee se logra una cobertura total de la zona agrícola. Sin embargo, el precio de este paquete es bastante elevado, (5000 dólares americanos).

En segundo lugar, mencionaremos a Btnodes que nos ofrece el Btnode, el cual es un dispositivo bastante versátil, ya que posee dos radios: uno normal y otro de bajo consumo; sin embargo este radio trabaja con tecnología Bluetooth, lo cual no es adecuado para nuestra aplicación por razones ya expuestas anteriormente que nos llevaron a elegir el protocolo Zigbee.

Digi International entre sus productos ofrece una línea que trabaja con tecnología Zigbee. Se tiene adaptadores externos, puentes, extensores de red y los módulos Zigbee y Zigbee Pro. De este último existen cuatro versiones: el módulo XBee & XBee-PRO DigiMesh 2.4 RF, el módulo XBee & XBee-PRO ZB Zigbee PRO RF, el XBee-PRO DigiMesh 900 Mesh Rf y el módulo XBee & XBee-PRO ZNet 2.5 Mesh RF.

Las principales características de estos módulos son principalmente la estabilidad que brindan a la red, además de extender la vida operacional de la batería mediante características avanzadas de red tales como la técnica de nodos dormidos.

Todos estos módulos trabajan con la tecnología Zigbee.

Como último tenemos a la compañía Memsic, la cual ofrece una tecnología especializada en el monitoreo de zonas agrícolas, la denominada "eko Technology".

El elemento principal de este sistema es el nodo sensor inalámbrico eN2100 o "eko node". Cada uno de estos nodos tiene como principales características los puertos de conexión para los sensores, los cuales permiten una fácil y rápida conexión de estos además de una gran cobertura. Lo más resaltante es que cuenta con tres baterías recargables del

tipo NiMH, que tienen la posibilidad de ser recargadas en el mismo dispositivo con energía solar, gracias a que cada nodo cuenta con un circuito de celdas solares.

Memsic también recomienda un paquete especial, el cual se adecua bastante bien a los requerimientos de la red de sensores para la parcela de plátanos. El precio de este paquete es tres mil trescientos cincuenta y nueve dólares americanos.

En conclusión, se puede observar que la compañía que presenta más ventajas para la presente aplicación es Memsic, por el eficiente uso de la energía de funcionamiento, gran cobertura, factor económico y por una tecnología especialmente para la agricultura.

Por estas razones se escoge a Memsic como proveedor para desarrollar la red de sensores inalámbricos en la parcela de Mala.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

4.1 Preparación del terreno para la implementación de la red.

4.1.1 Reubicación de los platanales.

La ubicación actual de los platanales no es del todo favorable para el trabajo de la red inalámbrica de sensores, ya que como se puede apreciar en la figura 1.4, estos están distribuidos en un extremo y en el fondo de la parcela. Para que el trabajo de la red inalámbrica de sensores sea del todo eficiente, la ubicación debe estar distribuida en toda la extensión de la parcela y de la manera más simétrica posible. Las consideraciones que se deben tener para este cambio son las siguientes:

- Después de plantado el platanal, su crecimiento depende de la época en que se encuentra en ese momento.
- En invierno demora aproximadamente un año en crecer totalmente.
- Si se planta en época de verano, la planta crece totalmente en aproximadamente 8 meses.
- Después de que haya crecido totalmente empieza a dar sus primeros frutos.

- Cada una de las plantas produce cuatro cabezas de plátano al año aproximadamente.
- El área total del terreno permite un total de 150 plantaciones de plátano, considerando que cada planta necesita un área de 36 m² para su crecimiento.

El objetivo final es que los platanales queden distribuidos de la manera como se muestra en la figura 4.1.

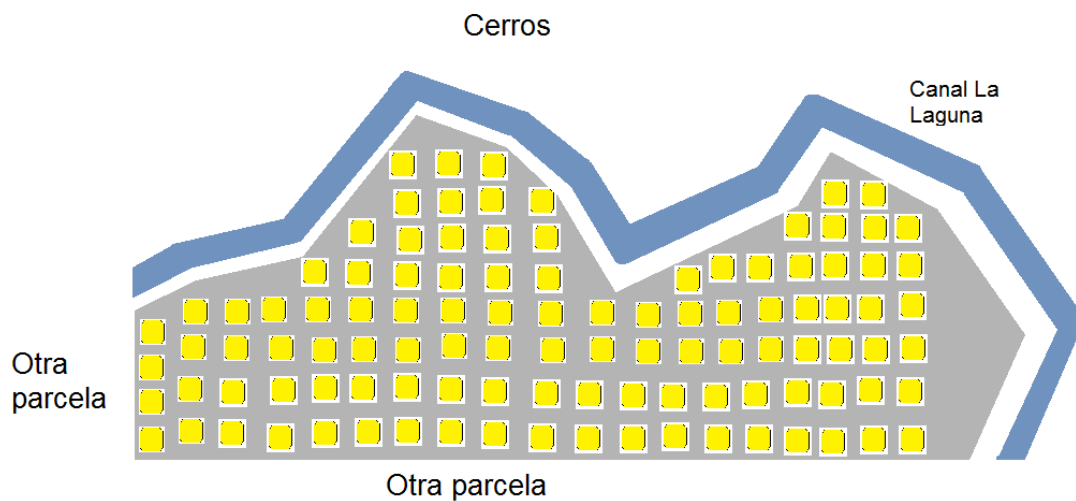


Figura 4.1. Organización proyectada de los plátanos. [Elaboración Propia]

4.2 Identificación de los componentes del sistema eKo

El sistema eKo está constituido principalmente por los siguientes componentes:

1) El nodo sensor inalámbrico eN2100



Figura 4.2. Nodo sensor inalámbrico eN2100. [Documentos técnicos del proveedor]

Cada nodo está conformado por lo siguiente:

- Cuatro puertos para la conexión de sensores los cuales pueden ser:
 - a. Sensor de humedad de suelo y temperatura (eS1101).



Figura 4.3. Sensor de humedad de suelo y temperatura (es1101). [Documentos técnicos del proveedor]

b. Sensor de temperatura y humedad del ambiente (eS1201).



Figura 4.4. Sensor de temperatura y humedad del ambiente(eS1201). [Documentos técnicos del proveedor]

- Un modulo radio/procesador de 2.4 GHz de la familia IRIS cuyas características son:
 1. Utiliza el software de interconexión de red de Memsic que le brinda bajo consumo de energía y tecnología multi-salto.
 2. Un rango de radio de 152 a 457 metros de acuerdo a su despliegue.
 3. Potencia de salida del radio de 4mW.
 4. Antena dipolo.

- Un circuito de celdas solares recargables y tres baterías NiMH.
- Monitoreo interno de voltaje solar, voltaje de las baterías y temperatura interna.

Es importante resaltar que el radio del nodo eko funciona en el rango de frecuencias de 2.405 a 2.480 GHz, el cual se encuentra dentro del grupo de rangos de bandas de libre disposición especificadas en documento de asignación de frecuencias en las comunicaciones inalámbricas del ministerio de transporte y comunicaciones del Perú que se detalla en el capítulo 2.

Otro punto importante es que este también utiliza la técnica de modulación de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS: Direct Sequence spread Spectrum) especificada en el estándar Zigbee (IEEE 802.15.4).

2) Radio base(eB2110) y Puerto de enlace(eG2100)



Figura 4.5. Radio base y Puerto de Enlace. [Documentos técnicos del proveedor]

A. eB2110 eKo radio base

- Un modulo radio/procesador de 2.4 GHz de la familia IRIS para administrar la red de nodos eKo. La radio base retransmite todos los mensajes de radio desde la red eKo hacia el Puerto de Enlace.

B. eB2100 puerto de enlace

- Controla la estación de la radio base.
- Ejecuta el código del Memsic's Xserve, el administrador de red.
- Brinda servicios de red para la supervisión remota de datos y del bienestar de la red.
- Se conecta con la radio base a través de un cable USB y también se conecta a Ethernet a través de un conector RJ45.

C. ekoView, software de interfaz



Figura 4.6. Vista del software de interfaz ekoview. [Documentos técnicos del proveedor]

eKoView ofrece un familiar e intuitivo interfaz basado en un navegador de Internet (i.e. Internet Explorer, Firefox, etc) para la visualización de la información adquirida de la red de sensores. Sus características son:

- Vista de mapa para visualizar la topología de la red y los datos de los sensores en relación a un mapa de fondo.
- Chart Wizard para crear cuadros de tendencia de los múltiples sensores en lapsos de tiempo ya predeterminados.
- Herramientas de diagnóstico de la red para el funcionamiento correcto de la red y el bienestar de los nodos individualmente.
- Usando “Data view”, tenemos un en forma tabulada una vista de acceso de la información.

- Un administrador de alertas para configurar los niveles de alarmas y notificar vía email.

4.3 Identificación de los puntos donde se ubicarán los elementos de la red.

4.3.1 Ubicación e instalación de los nodos con sus respectivos sensores en la parcela.

Una vez establecida la ubicación de las plantas dentro de la parcela, se puede determinar los puntos donde se instalarán los elementos de la red.

Para determinar la ubicación de los nodos en la parcela es necesario tener en cuenta la máxima cobertura que tienen en este tipo de terreno, según la hoja técnica que brinda Memsic, cada nodo es capaz de alcanzar una cobertura de 100,000 metros cuadrados en terrenos planos y un cobertura de 20,000 en terrenos sinuosos. La parcela es considerada un terreno plano es por esto que pocos nodos seria necesarios para cubrir toda la extensión. Como se menciona anteriormente la extensión del terreno es de 6,282.44 metros cuadrados, es decir solo bastaría con un solo nodo para cubrir toda la extensión, sin embargo esto no sería el todo eficiente ya que solo se tomaría datos en un solo punto de la parcela.

Los nodos deben estar ubicados preferentemente con línea de vista entre ellos para asegurar que la información llegue a su destino. La altura de las plantas de la parcela es de aproximadamente de 2.5 metros a 3 metros, por lo que sí se puede colocar una estaca

por encima de esta altura ya que el cable de los sensores superan esta altura [Sensor de humedad de suelo y temperatura (4.8 m) y Sensor de temperatura y humedad del ambiente (6m)]. Cada nodo tiene en la parte posterior un soporte (figura 4.7) que permite sujetarlo a la estaca que instalaremos a lo largo de toda la parcela en los puntos designados tal y como se muestra en la figura 4.8

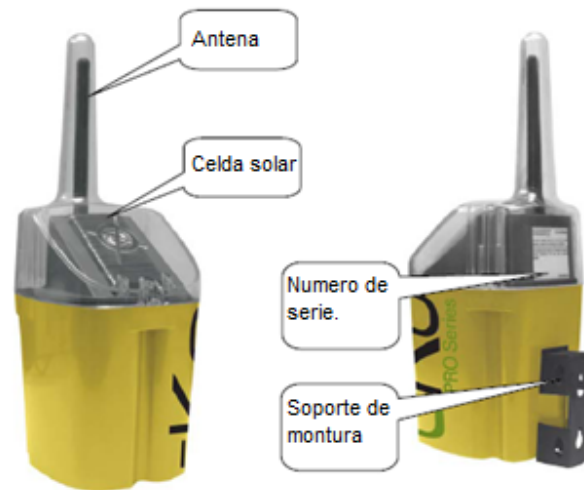


Figura 4.7. Partes del nodo sensor. [Documentos técnicos del proveedor]



Figura 4.8. Un nodo correctamente instalado. [Documentos técnicos del proveedor]

Después de haber visto como se instalará cada nodo en su estaca, veremos la ubicación de estos a lo largo de toda la red. Para determinar la ubicación de los nodos en la parcela, es necesario tener en cuenta la máxima cobertura que tienen en este tipo de terreno. El terreno en el cual estamos trabajando es plano, entonces la cobertura de cada nodo sería aproximadamente de 100,000 metros cuadrados, lo que es adecuado para la parcela. Además de la cobertura, se debe asegurar tomar datos en la mayor cantidad de puntos posibles de la parcela, es decir que los sensores deben ser los suficientes para tener una recolección de datos precisa y confiable. Teniendo en cuenta la forma de la parcela debemos organizar los nodos de una manera que se cubra toda el área, como no existe problema en la cobertura de señal debemos preocuparnos principalmente en lograr que los sensores trabajen en la mayor cantidad de puntos posibles. Es por esto que una manera de organizarlo es colocarlos simétricamente repartidos en el polígono que forma la parcela. Como podemos observar en la figura 4.9 se ha tratado de dividir la parcela en cuatro partes de áreas iguales, cada una de estas separada por un pequeño canal de

agua proveniente de el gran canal de la parcela y en cada una se ha colocado un nodo, esto teniendo en cuenta que la proporción de humedad en el suelo y en el ambiente se divide uniformemente entre estas cuatro áreas de manera simétrica.

En este proceso se ha tratado de minimizar el número de nodos y sensores; sin embargo, se necesitarían dispositivos adicionales al paquete ofrecido por la compañía. Los dispositivos adicionales que se necesitarían son un nodo, tres sensores de temperatura y humedad del ambiente y dos sensores de humedad de suelo y temperatura.

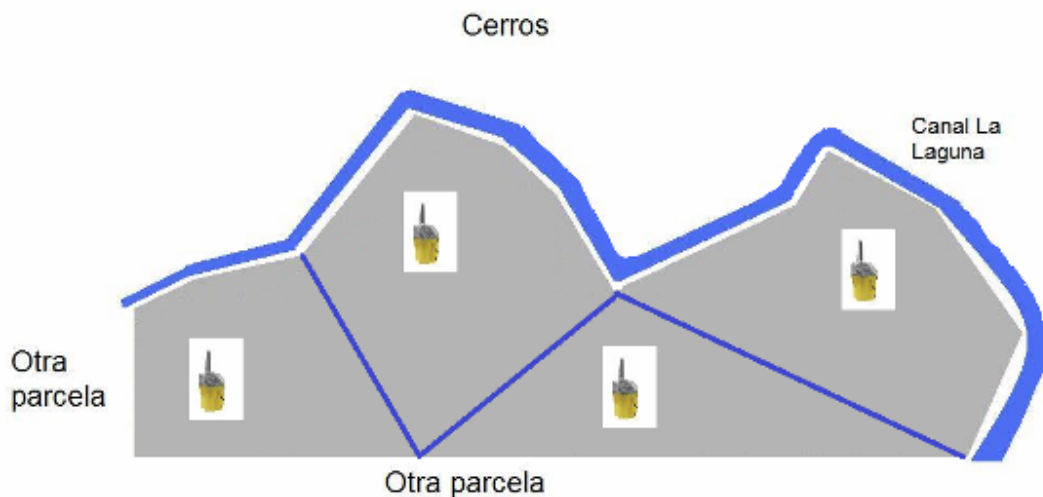


Figura 4.9. Organización de los nodos [Elaboración Propia]

La ubicación de los sensores en la parcela será de tal manera que se logre cubrir los puntos estratégicos en cada zona, con la finalidad de no dejar ningún área descubierta tal y como se muestra en la figura 4.10.

La configuración del eko nodo se explicará posteriormente ya que para esto es necesario que este instalado el Puerto de enlace. La razón de que se instalen dos sensores de

humedad y temperatura de suelo en cada nodo se explicará más adelante en el capítulo donde se trata el significado de la gráfica de este sensor.

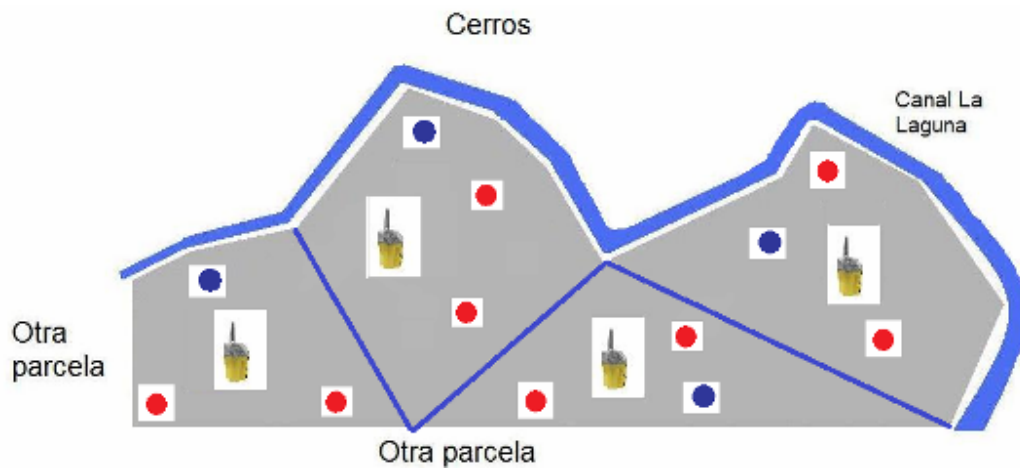


Figura 4.10. Ubicación de los sensores [Elaboración Propia]

4.3.2 Ubicación e instalación del puerto de enlace y la radio base.

La ubicación del puerto de enlace será en el interior del salón donde se encontrará la estación base, donde se visualizará la información que envían los nodos.

Son tres pasos principales que se deben seguir para la instalación y la configuración del puerto de enlace:

1. Instalar el puerto de enlace eKo.
2. Instalar el radio base eKo.

3. Iniciar el sistema e ingresar en el “eKoView”.

En primer lugar se deben identificar todas las partes del puerto de enlace tales como el puerto Ethernet, la ranura Disk 1, la ranura Disk 2 y el puerto de poder (figura 4.11). La ranura Disk 1 es para instalar el disco USB FLASH que viene incluido con el paquete. El puerto Ethernet se utiliza para conectar el puerto de enlace con el segmento de red que se requiera. En el paquete viene incluido un cable CAT5 directo si es que se va a conectar a través de un enrutador, si es que se quiere conectar directamente a una PC será necesario un cable cruzado.



Figura 4.11. Partes del Puerto de Enlace. [Documentos técnicos del proveedor]

En el paquete también viene incluido un cable USB el cual sirve para conectar el puerto de enlace con la radio base. Se debe conectar un extremo en la ranura etiquetada con “Disk 2” y el otro extremo al conector USB del radio base eKo (figura 4.12).



Figura 4.12. Conexión del Puerto de Enlace con la Radio Base. [Documentos técnicos del proveedor]

La ubicación del Radio Base puede ser cualquiera, siempre y cuando esté al alcance de los nodos y que no esté a más de dos metros del puerto de enlace ya que esta es la longitud del cable que une a ambos. Es recomendable colocarlo en un área externa para asegurar una mayor cobertura tal y como lo muestra la figura 4.13.



Figura 4.13. Rango de alcance de una antena en el exterior. [Documentos técnicos del proveedor]

Una vez instalados el Puerto de Enlace y el Radio Base procederemos a iniciar el sistema.

En primer lugar es necesario conectar el cable de poder en el Puerto de Enlace eKo para conectarlo a la corriente eléctrica. Después de realizada esta operación el Puerto de Enlace eKo se encenderá automáticamente, el botón de “power-on” ahora estará encendido y tomaran dos minutos a partir de este momento para que el Puerto de Enlace este totalmente operacional (Figura 4.14).



Figura 4.14. Indicadores del Puerto de Enlace eKo. [Documentos técnicos del proveedor]

Después de haber encendido el Puerto de Enlace se deberá observar los indicadores frontales y se deberá seguir el siguiente patrón:

Indicador	Color	Estado
Botón de poder	Verde	Sistema encendido

Listo/Estado	Verde/Amarillo parpadeante	Sistema funcionando
	Amarillo luego Verde parpadeante	Autoarranque del sistema
Ethernet	Verde parpadeante	Actividad de red
Disk2	Verde solido	Xserve funcionando
Disk1	Verde	Disco USB funcionando

Tabla 4.1. Patrón de los indicadores frontales del Puerto de Enlace. [Documentos técnicos del proveedor]

Se deberá esperar que el Led "Disk1" se torne verde, esto demorara de 1 a 2 minutos.

Por último se instalará el eKoView. Los requerimientos de sistema para este software son:

- PC con conexión a Internet.
- Navegador de Internet (Microsoft Internet Explorer o Mozilla Firefox).
- Flash Player 9.x de Adobe. Si no esta instalado se puede hacer a través de la pagina: <http://www.macromedia.com/software/flash/about/>

Una vez verificados los requerimientos se procede a ingresar al URL del eKoView. Para esto el usuario necesitara la dirección URL del eKoView, la cual tiene la siguiente estructura: <http://<hostname>> en donde el "hostname" puede ser el número de serie del puerto de enlace con la palabra eKo, es decir el "hostname" quedaría de la siguiente manera: "eKo-número de serie". Este número de serie está escrito en un sticker en el fondo del dispositivo.

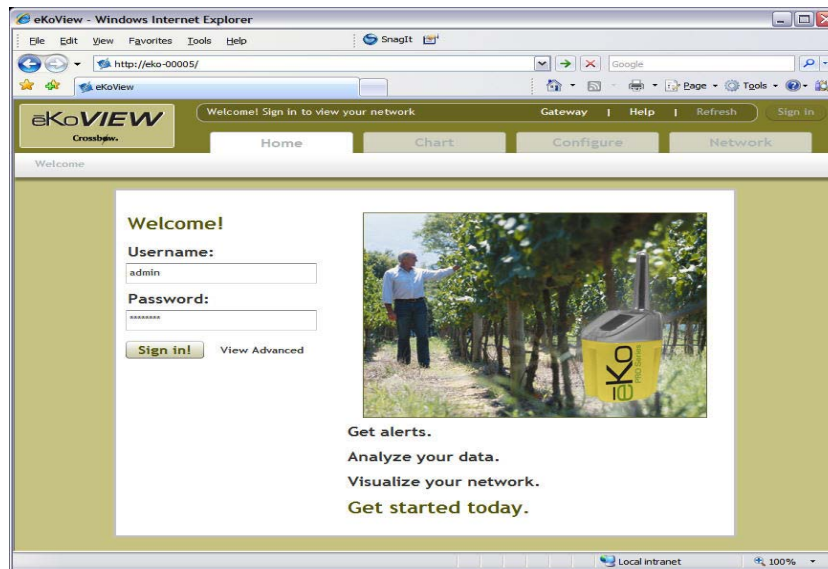


Figura 4.15. Pantalla de inicio del eKoView. [Documentos técnicos del proveedor]

Es posible que no se pueda ingresar con el “hostname”, en este caso será necesario que se ingrese con la dirección IP del puerto de enlace. La obtención de esta dirección IP se hará a través de la aplicación “Gateway Finder”, la cual viene en el CD de instalación. Después de la instalación del sistema se realizará la configuración del eKoView, ya que es necesario que todos los dispositivos estén conectados.

4.4 Puesta en marcha de los nodos eKo.

4.4.1 Pre-comisión

- Encender el puerto de enlace eKo y luego ingresar en el eKo View para registrarse como se indico en el punto anterior.

- Posicionar uno de los nodos eKo a 6 metros del radio base eKo y presionar el botón de encendido. Debemos apreciar que el nodo explorará todos sus puertos de sensor, los cuales están representados por cuatro LEDs de color rojo parpadeantes, cada LED parpadeante representa un sensor desconectado. Si se tiene algún sensor conectado, su LED correspondiente parpadeará de color verde.
- Después de que el nodo termine la exploración de sus cuatro puertos se debe observar una serie de rápido parpadeo de LEDs blancos. Es aquí donde el nodo eKo intenta la comunicación con el radio base. El LED debe seguir la siguiente estructura (sin ningún sensor conectado) durante el proceso de comisión.

LED Sequence	1 st Flash	2 nd Flash	3 rd Flash	4 th Flash	Repeated Flashes
LED On Period	2 sec	2 sec	2 sec	2 sec	1 sec
LED Color				
Operation	Scan Port 1	Scan Port 2	Scan Port 3	Scan Port 4	Trying to commission

Tabla 4.2. Estructura del LED durante el proceso de comisión. [Documentos técnicos del proveedor]

4.4.2 Comisión

- Cuando se inicie el eKo View aparecerá un mensaje de notificación en la parte baja derecha de la pantalla diciendo “Nuevos nodos están intentando unirse a la red. Dirigirse a ‘Configuración’ para verlos”. Esta notificación desaparecerá en 5 segundos.

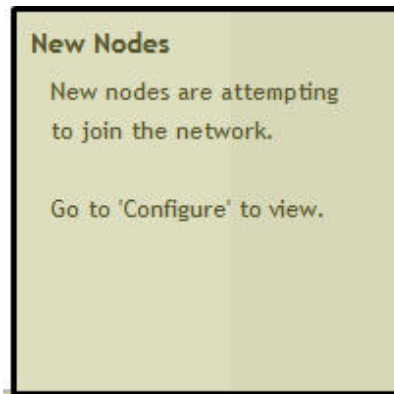


Figura 4.16. Notificación de nuevos nodos. [Documentos técnicos del proveedor]

- Dirigirse hacia la pestaña "Configurar" en la parte de arriba y hacer click sobre el enlace “Configurar Nodos”. Esto nos dirigirá hacia la página para configurar los nodos. En la parte que indica el número de serie de los nuevos nodos detectados, se deberá apreciar el número de serie que corresponde al nodo que se acaba de encender.

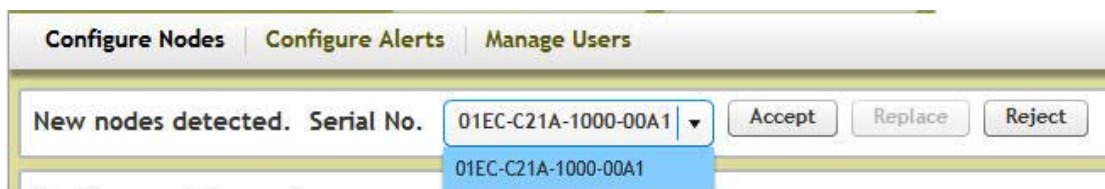


Figura 4.17. Numero de serie el nodo. [Documentos técnicos del proveedor]

- Se debe seleccionar el número de serie que corresponde al nodo con el que estamos trabajando y hacer click en el botón de Aceptar. Ahora el nodo desaparecerá de esta sección y lo podremos observar en la tabla de “Configurar nodos existentes”. Cada nodo recibe un ID (el cual va incrementándose) que es auto-designado por el puerto de enlace.

The screenshot shows a web interface with a navigation bar containing three tabs: "Configure Nodes", "Configure Alerts", and "Manage Users". Below the navigation bar, there is a section for "New nodes detected" which includes a dropdown menu for "Serial No." and three buttons: "Accept", "Replace", and "Reject". Below this section is a table titled "Configure existing nodes" with the following data:

Name	ID	Serial No.	Description
Node 2	2	01EC-C21A-1000-00A1	
Node 0	0		

Figura 4.18. Configuración de nodos existentes. [Documentos técnicos del proveedor]

Cada nodo viene con un sticker para poder pegarle su respectivo ID para su fácil identificación.

- Una vez que el nodo sea aceptado, se deberá apreciar un LED azul parpadeando rápidamente por un minuto, seguidamente un LED amarillo por 20 segundos. Esto indica que existe una buena conexión con el radio base. Si se tiene funcionando otro nodo eKo cerca y conectado a la red (y ya ha sido comisionado) se apreciara un LED verde, que indica que existen al menos 2 buenas conexiones. El siguiente cuadro muestra el modelo que se debe seguir una vez que un nodo es aceptado y comisionado (con ningún sensor conectado).

LED Sequence	1 st Flash	2 nd Flash	3 rd Flash	4 th Flash	Repeated Flashes	Solid On
LED On Period	2 sec	2 sec	2 sec	2 sec	1 sec	20 sec
LED Color				2+ connections	
					1 connection	
					No connections	
Operation	Scan Port 1	Scan Port 2	Scan Port 3	Scan Port 4	Scanning the network	Results of network scan

Tabla 4.3. Modelo a seguir después de la comisión. [Documentos técnicos del proveedor]

4.4.3 Post-comisión de los nodos eKo

- Después que el nodo se haya unido a la red este enviará datos cada 30 segundos durante los primeros 60 minutos para permitir a los usuarios analizar los datos del sensor. Después de este período, la tasa de datos se reduce a una muestra cada 15 minutos.
- Apagar el nodo presionando el botón OFF. El estado de apagado estará indicado por el parpadeo del LED rojo.
- Si un numero serial de la lista no coincide con ninguno de los nodos se podrá remover este con el botón de “desechar”.

- Si accidentalmente se desecha un nodo que si está debidamente reconocido y se desea recuperarlo, se puede hacer mediante el botón “Avanzado” que se encuentra en parte baja a la derecha de la página. Ahora en la ventana de comisionamiento avanzado se puede seleccionar y resaltar el nodo que se desea recuperar y click en el botón “Undo”.

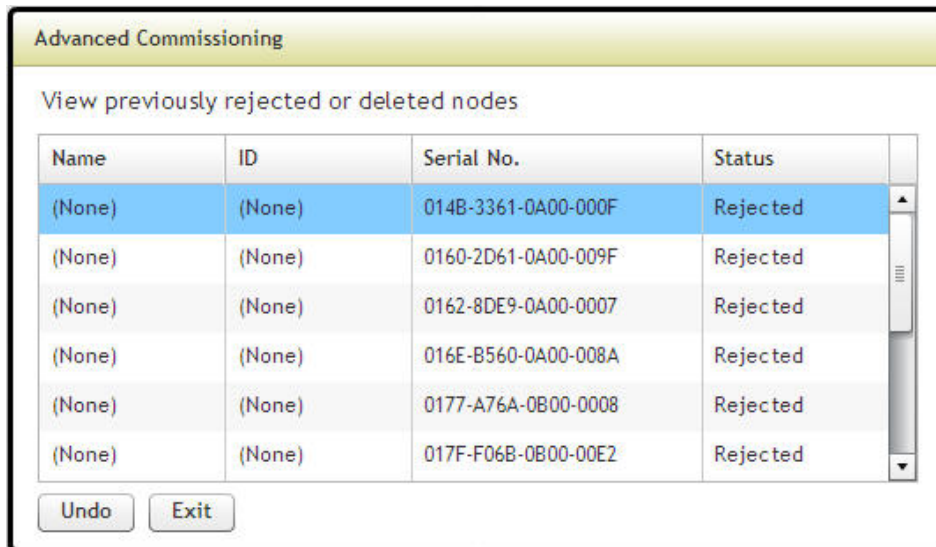


Figura 4.19. Comisionamiento avanzado. [Documentos técnicos del proveedor]

- El software eKo View permite a los usuarios cambiar el nombre/descripción de los nodos comisionados. Esto nos permitirá identificar fácilmente los nodos cuando se realice el despliegue de la red en el campo. Esto puede ser hecho después del despliegue del nodo.
- Si se va a la etiqueta del sensor, se debe apreciar el icono del nodo eKo con su respectivo ID en el lado izquierdo del panel mapa. El ID debe corresponder al que fue etiquetado con el sticker correspondiente. El nodo 0 representa el radio base.

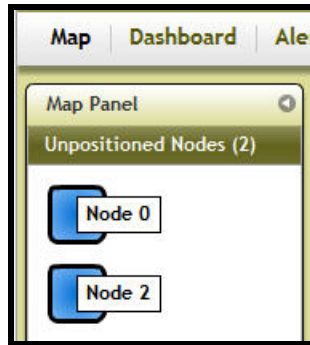


Figura 4.20. Panel mapa. [Documentos técnicos del proveedor]

4.4.4 Modo reinicio de fábrica

El nodo eKo también brinda un método de reinicio de fábrica, con el cual toda la información almacenada en la memoria del nodo puede ser eliminada. Para hacer esto debemos presionar y mantener presionado el botón de OFF por 30 segundos. Se podrá observar el LED rojo encendido durante 10 segundos y después empezara parpadear rápidamente por 5 segundos. Después de esto el LED blanco se activará indicando que el nodo está listo para el reinicio de fábrica. Soltar el botón de OFF, la unidad estará reiniciada con las condiciones de fábrica. A continuación mostraremos el modelo que seguirá el LED durante la operación de reinicio de fábrica.

LED Sequence	1 st Flash	Repeated Flashes	Solid On
LED On Period	10 sec	1 sec	20 sec
LED Color		

Operation	Power-down the unit if OFF button is released.	About to reset to factory defaults	Factory reset when OFF button is released
------------------	--	------------------------------------	---

Tabla 4.4. Modelo durante el reinicio de fábrica. [Documentos técnicos del proveedor]

4.5 Despliegue del Sistema

4.5.1 Despliegue del puerto de enlace y el radio base

El primer punto que se debe tomar en cuenta es el alcance que debe tener el radio base. Para mejorar su alcance tenemos varios tipos de antena que se pueden adaptar al radio base que son ofrecidos por Memsic, sin embargo el área de la parcela no es demasiado grande así que bastará con la antena estándar del radio base. Para asegurar el rango de alcance del radio base será apropiado ubicarlo en un lugar despejado.

4.5.2 Reserva de batería para el puerto de enlace

Para una mayor fiabilidad se recomienda utilizar un UPS (reserva de batería) para mantener el puerto de enlace energizado durante cortes de energía eléctrica. El puerto de enlace eKo es un dispositivo de bajo consumo ya que solo consume 4 watts de poder, es por esto que un UPS de bajo consumo puede reemplazar a la batería por

aproximadamente 4 días. El puerto de enlace eKo tiene pre instalado un controlador que es compatible con el UPS APC 325VA [17].



Figura 4.21. UPS APC 325VA. [Documentos técnicos del proveedor]

4.5.3 Instalación de los sensores

La instalación de cada uno de los sensores es realmente sencilla, como se menciona anteriormente el nodo sensor reconoce automáticamente los sensores conectados a sus puertos. Para llevar un control del reconocimiento de los sensores se debe seguir el modelo presentado en el siguiente cuadro.

LED Sequence	1 st Flash	2 nd Flash	3 rd Flash	4 th Flash	Repeated Flashes	Solid On
LED On Period	2 sec	2 sec	2 sec	2 sec	1 sec	20 sec
LED Color	●	●	●	●	● ● ● ●	● 2+ connections ● 1 connection ● No connections
Operation	Scan Port 1	Scan Port 2	Scan Port 3	Scan Port 4	Scanning the network	Results of network Scan

Tabla 4.5. Patrón en la instalación de sensores. [Documentos técnicos del proveedor]

Después de conectar todos los sensores y encender el nodo, este verifica todos sus puertos para observar los que están conectados. Esta verificación se hará puerto por puerto empezando por el primero y terminando en el cuarto, cada verificación estará representada por el parpadeo del LED, siguiendo el modelo de la tabla 4.5.

- a) **Instalación del sensor eS1101.** Este dispositivo consiste de un sensor de humedad de suelo de marca de agua y un sensor de temperatura de suelo cuya temperatura compensa la marca de agua del sensor. Se pueden conectar hasta cuatro sensores eS1101 al nodo eKo para medir la humedad del suelo a profundidades diferentes. Antes de instalarlo sería ideal que se remoje los sensores de humedad de suelo de la noche a la mañana e instalarlo mojado. Esto porque si se instalan las sondas secas podrían ocasionar lecturas incorrectas y/o invalidas. Después de esto se debe hacer un hueco para el sensor de humedad de suelo con la profundidad deseada con una barra de 7/8" de diámetro. La profundidad depende de cómo se encuentre la raíz de la planta. Llenar el agujero con agua y colocar el sensor hasta que este toque fondo. Rellenar el agujero hasta que el sensor este cubierto unos cuanto centímetros. Colocar el sensor de temperatura y continuar rellenando el agujero hasta que ambos estén enterrados.

- b) **Instalación del eS1201.** El eS1201 mide humedad relativa y la temperatura del aire. Estas lecturas son también utilizadas para medir el punto de rocío. El empaque del sensor lo protege de daños mecánicos y un filtro de su membrana lo protege del polvo, la suciedad y el rocío de agua. Para asegurar una lectura exacta el eS1201 debe estar protegido de la luz solar directa y de otras fuentes de calor reflejado o irradiado. Existen varios productos útiles para esto, uno de ellos es el

escudo solar, Davis 7714. Existen otros productos más baratos tales como tubos de cloruro de polivinilo que también pueden ser usados. La lectura del eS1201 es en el rango de -40 a +60C así que si se obtienen lecturas fuera de este rango estas serán inválidas.

4.6 Configuración del eKoView.

En primer lugar el eKoView ubicar un mapa personalizado en la vista de mapa. Los pasos para personalizar la vista son los siguientes:

- Elaborar la imagen personalizada del lugar, es importante que esta imagen se encuentre en formato jpeg.
- En el eKoView hacer click en el botón Map y luego en botón cargar (upload) en la parte derecha de la ventana, aquí se busca la imagen jpeg guardada y se hace click en abrir (open).
- La próxima vez que se ingrese al eKoView se deberá apreciar esta imagen en la vista de mapa.

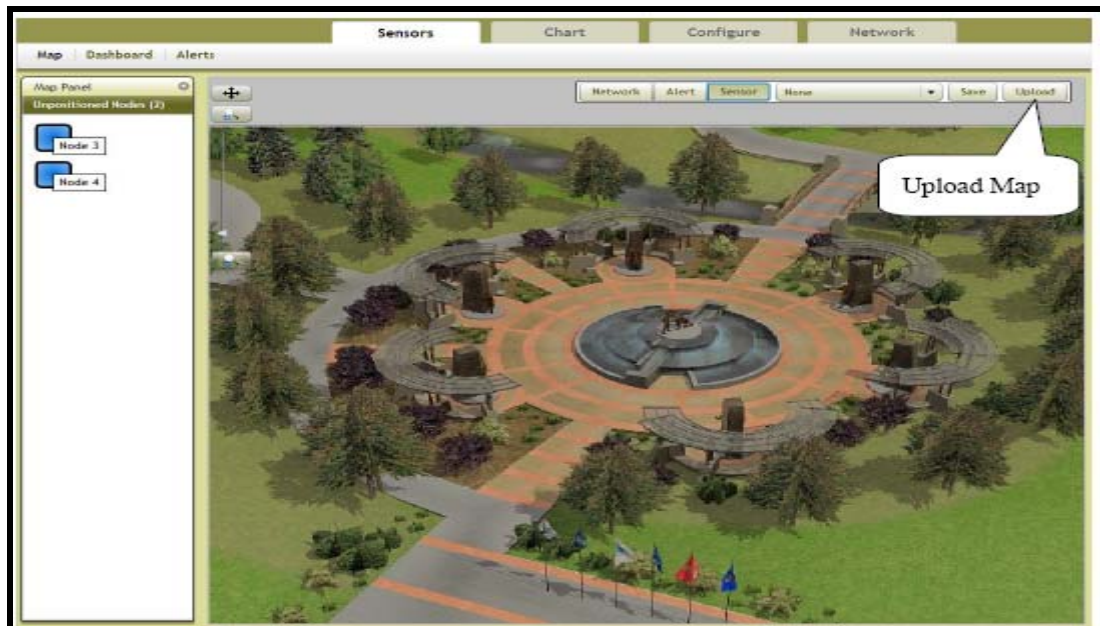


Figura 4.22. Personalizar mapa. [Documentos técnicos del proveedor]

4.6.1 Posicionando los nodos comisionados en el eKoView.

Los nuevos nodos que han sido comisionados en la red aparecerán en la ventana de nodos no posicionados (Un-positioned nodes). Para posicionar cada uno de ellos en el mapa creado solo basta con arrastrarlos a su respectiva ubicación en el mapa creado. Una vez que están posicionados todos, presionar el botón guardar (save) para almacenar los cambios.



Figura 4.23. Posicionamiento de nodos. [Documentos técnicos del proveedor]

4.6.2 Configurando los nodos y los sensores en el eKoView.

Cuando la información de un nuevo nodo eKo aparece por primera vez en el puerto de enlace, el eKoView les asignará al nodo y a los sensores asociados un nombre por defecto. El nodo será etiquetado como Nodo xxx (Node xxx) donde xxx es su dirección de red. Un sensor eS1101 tendrá por defecto el nombre “eS1101 Soil Moisture: Port x”, donde x es el número del puerto del nodo eKo en donde el sensor está conectado. El eKoView permite a los usuarios cambiar de nombre tanto a los sensores y a los nodos. Se puede acceder a esta página de configuración haciendo click en el botón de Configurar

nodos (Configure Nodes). Los nodos ya comisionados aparecerán en la lista de configurar nodos existentes.

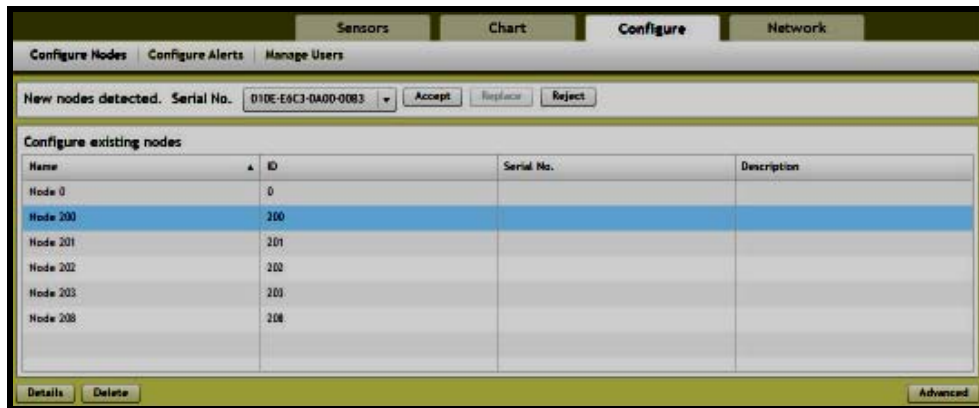


Figura 4.24. Configuración de nodos. [Documentos técnicos del proveedor]

Seleccionar el nodo que se desea configurar y hacer click en el botón de detalles (Details) en el fondo de la página. Esto nos llevara a la ventana de detalles del nodo (Node Details). En esta ventana se edita el nombre y la descripción tal y como el usuario lo desee y luego se hace click en el botón de guardar (Save).

Node Details

Node

Name: Node 200
 Unique Id:
 Description:
 Network Id: 200
 Group Id: 19
 Model: MEP600

Attached Devices

Port	Model	Name
Port 1	EKO102 Soil Moisture	EKO102 Soil Moisture : Port 1
Port 2	EKO202 Ambient TempHum	EKO202 Ambient TempHum : Port 2
Port 3	(None)	
Port 4	(None)	

Save Cancel Restore Defaults

Figura 4.25. Detalles de los nodos.[Documentos técnicos del proveedor]

Como se puede apreciar la puesta en marcha de los equipos es bastante sencilla gracias a la didáctica explicación que nos brinda el proveedor Memsic en el manual para el usuario, donde nos detallan los pasos a seguir para la instalación y configuración de sus dispositivos, los cuáles hemos resumido en los puntos anteriores.

4.7 Funcionamiento de la red una vez instalada.

4.7.1 Funcionamiento en condiciones normales.

La parcela es relativamente pequeña, por lo cual los dispositivos tienen una cobertura total entre ellos. Como se puede deducir todos tienen alcance entre ellos a excepción del

nodo que se encuentra entre los cerros, sin embargo este tiene dos rutas posibles para la información. Todos a excepción del nodo entre los cerros tienen una ruta de comunicación directa con el radio base del puerto de enlace lo cual es bastante favorable ya que cada nodo en el peor de los casos se comunicaría directamente con el puerto de enlace.

En la figura 4.26 se muestra el funcionamiento de la red en condiciones normales, las flechas indican la ruta que seguirá la información.

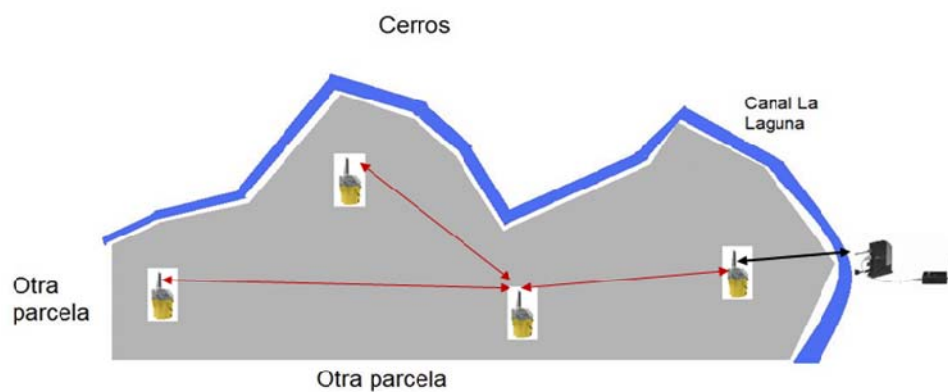


Figura 4.26. Funcionamiento en condiciones normales [Elaboración Propia]

4.7.2 Funcionamiento en caso de que alguna ruta salga de servicio.

Para analizar cómo responde la red ante la salida de servicio de un nodo se asume que uno de ellos deja de funcionar.

En la figura 4.27 podemos apreciar lo que sucede cuando uno de los nodos deja de funcionar, los demás nodos encuentran una ruta para la información logrando comunicarse con el puerto de enlace. Esto se repite para la salida de servicio de cualquiera de los nodos.

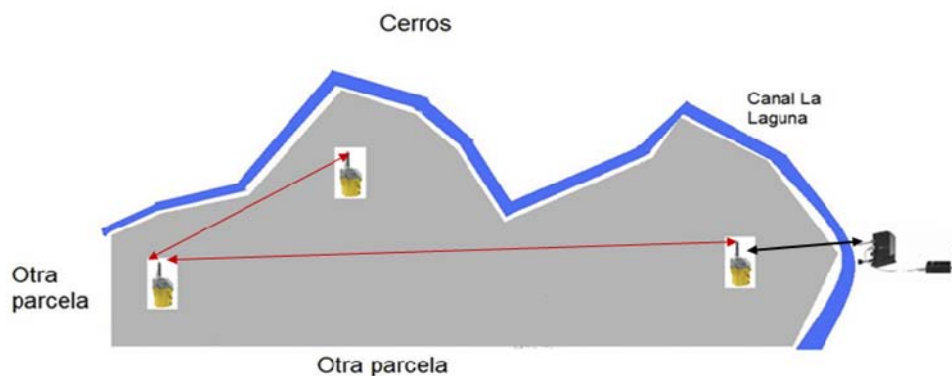


Figura 4.27. Funcionamiento de la red si un nodo sale de servicio. [Elaboración Propia]

4.8 Interpretación de los datos obtenidos.

Finalmente la información tomada por cada uno de los sensores será analizada en el terminal base, es aquí donde se visualizarán los resultados del monitoreo y se tomarán las decisiones en base a estos.

A continuación se muestra la simulación hecha en base a una red implementada por la compañía Memsic.

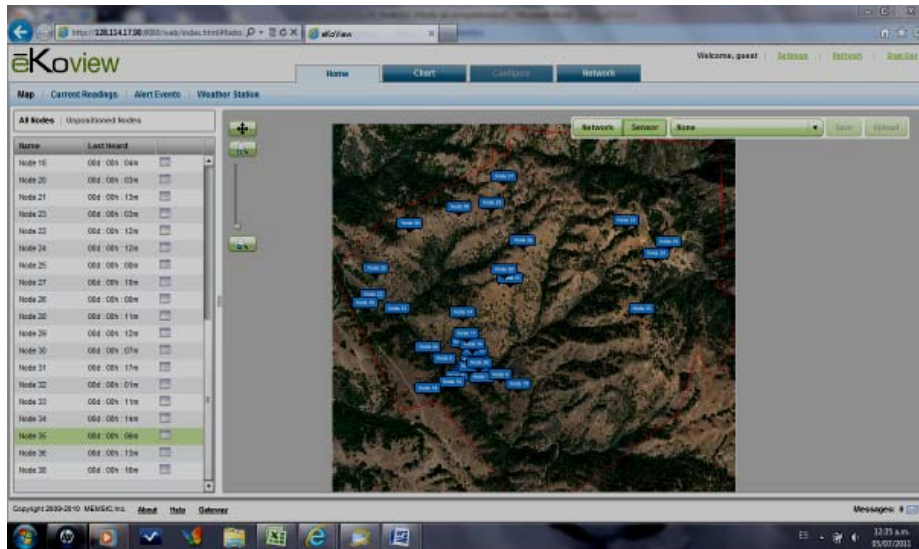


Figura 4.28 Ventana principal eKo View [simulación]

4.8.1 Creación de un cuadro de visualización

El primer paso para la visualización de los datos obtenidos es la creación de un cuadro, para esto es necesario entrar en el menú chart y hacer click en nuevo cuadro (New Chart).



Figura 4.29. Creando un nuevo cuadro de visualización.[Simulación]

Después de esta operación aparecerá una ventana que nos ayudará con la configuración del cuadro de visualización.

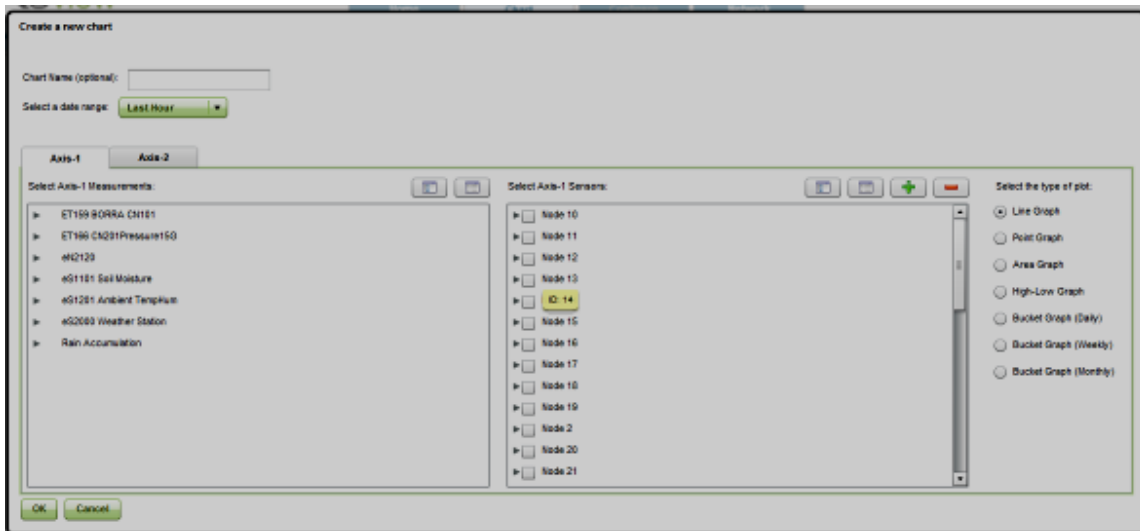


Figura 4.30 Menú completo de nuevo cuadro (Simulación)

En primer lugar se tiene la opción de colocar un nombre al cuadro (opcional).

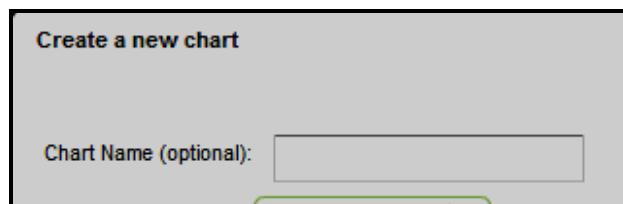


Figura 4.31. Nombrar el nuevo cuadro. [Simulación]

En segundo lugar se tiene la posibilidad de configurar el rango de la información que se apreciara tal y como se muestra en la figura 4.31.

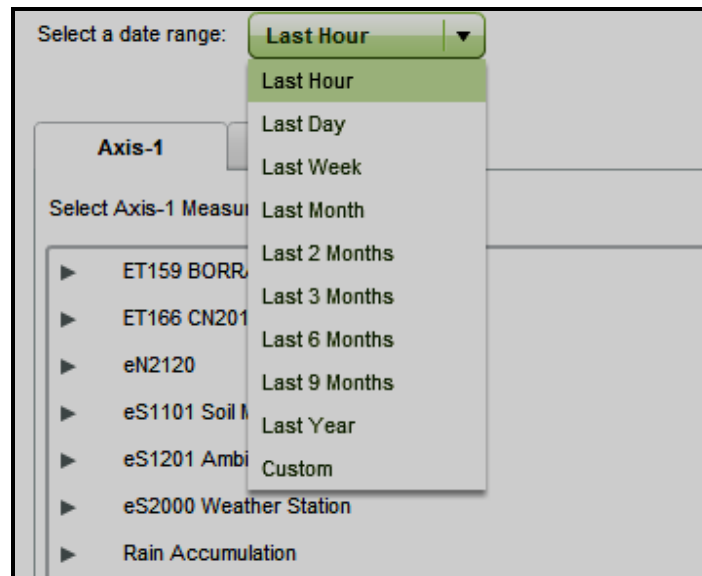


Figura 4.32. Configuración de rango de la información. [Simulación]

En tercer lugar se tiene la posibilidad de escoger las medidas mostradas en el cuadro de visualización en el eje primario (Axis-1).

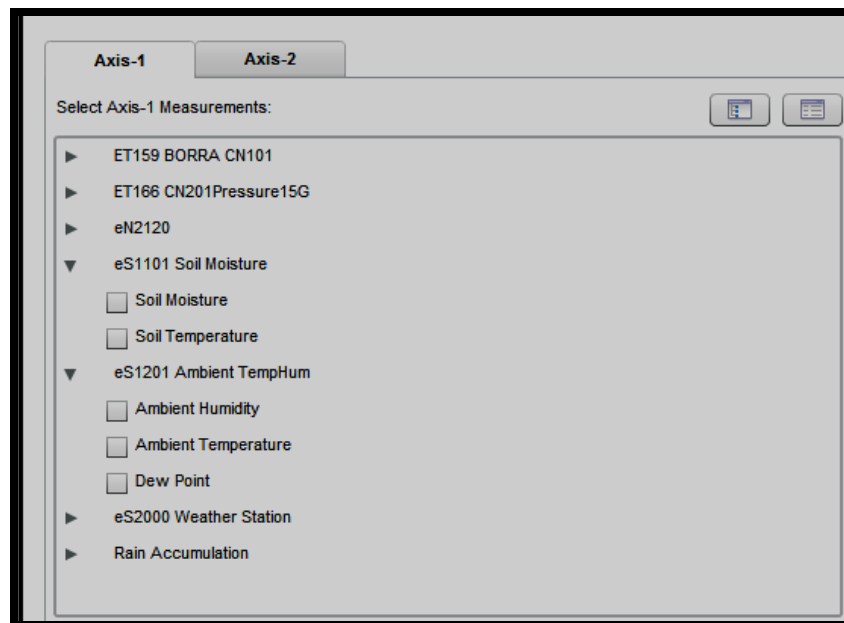


Figura 4.33. Escogiendo tipo de medidas en el eje 1 [Simulación]

Después de escoger el tipo de medida, el eKoView eliminará de la lista de sensores todos los nodos eKo que no contengan un sensor con el tipo de medida seleccionado. Los usuarios pueden ahora seleccionar de la lista de nodos eKo, mostrados en la parte derecha de la ventana, los que se quieran mostrar.

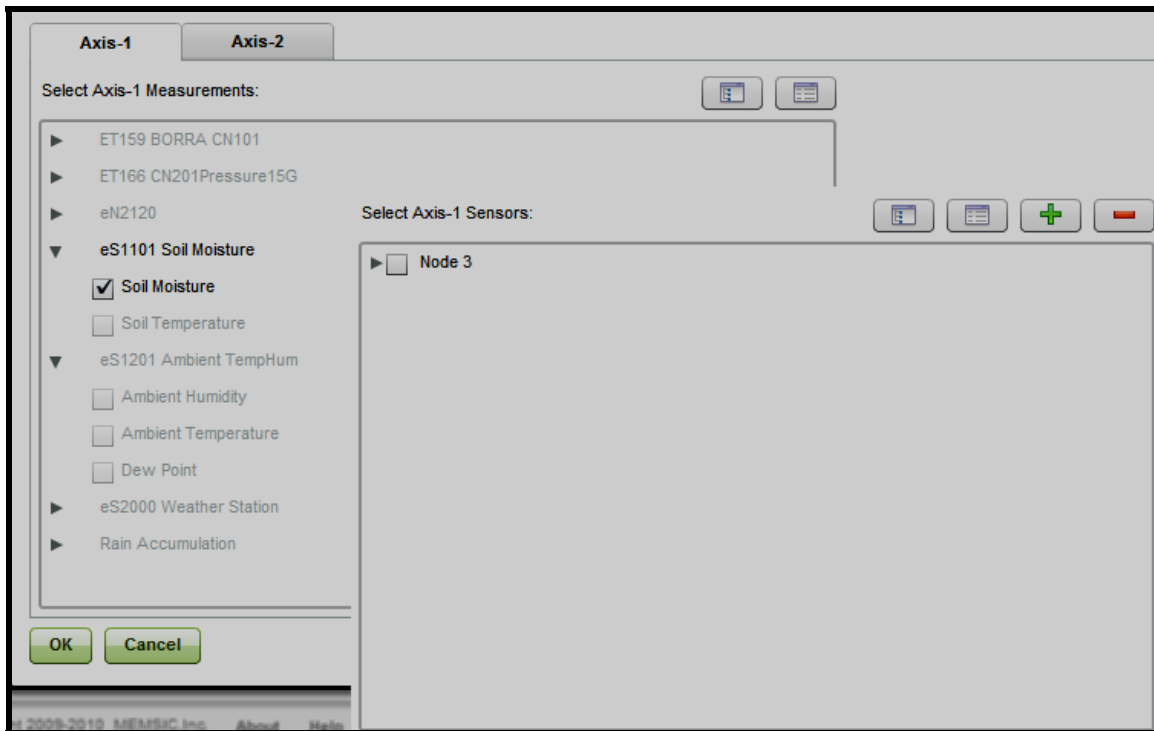


Figura 4.34. Selección de nodos a mostrar [Simulación]

Las utilidades de los botones que se muestran en la parte derecha son las siguientes:





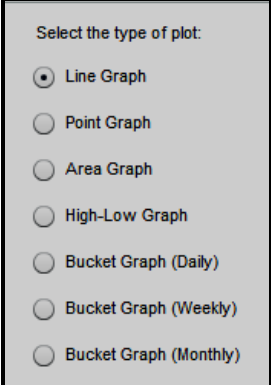
Menú de íconos	Descripción
	Expandir todos los íconos.
	Colapsar todos los íconos.
	Seleccionar un ícono.
	Deseleccionar un ícono.

Figura 4.35. Botones útiles en la selección de nodos [Simulación]

También se puede escoger el tipo de visualización de las graficas:

- Gráfica de líneas: Conecta los puntos de información con líneas.
- Gráfico de puntos: Tan solo muestra los puntos de información.
- Gráfica de máximo y mínimo: muestra el máximo y el mínimo de los datos para datos agregados.
- Gráfica de cubos: muestra los datos acumulados o promedio en forma de barras (en frecuencias diaria, semanal y mensual)



Formulario de selección de tipo de gráfico. El título es "Select the type of plot:". Hay siete opciones con botones de radio:

- Line Graph
- Point Graph
- Area Graph
- High-Low Graph
- Bucket Graph (Daily)
- Bucket Graph (Weekly)
- Bucket Graph (Monthly)

Figura 4.36. Selección del tipo de visualización de gráficas [Simulación]

La pestaña de eje secundario (Axis-2) funciona de similar manera que el eje primario pero muestra la información en el eje secundario.

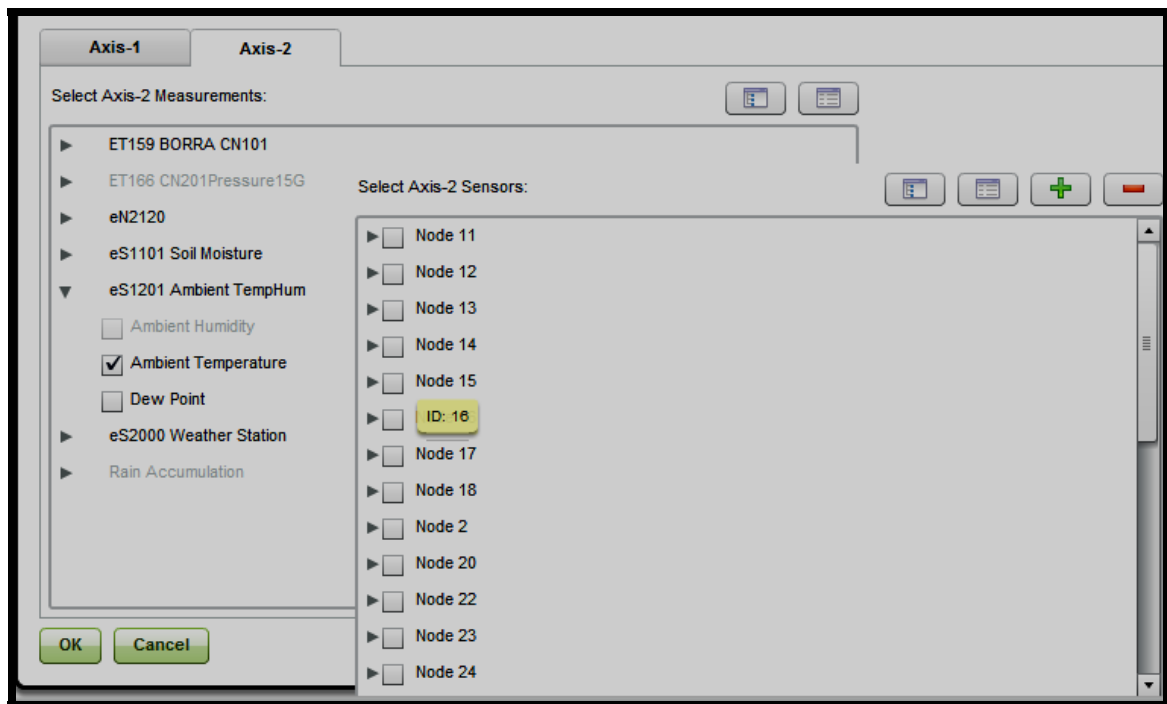


Figura 4.37. Configuración del eje secundario [Simulación]

Finalmente hacer click en el botón OK. El eKoView guardara los datos especificados y mostrará el cuadro de visualización configurado.

4.8.2 Significado de la grafica del sensor eS1101

La marca de agua mide la tensión o succión del agua en el suelo la cual es un indicador directo de cuan fuerte tiene que trabajar la raíz de la planta para extraer agua del suelo. Mientras más seco este el suelo mayor será la lectura. Con el monitoreo de los sensores entre irrigaciones, es posible darse cuenta cuando el suelo se está secando. Por eso es

tan importante la tasa de cambio como la lectura actual para determinar cuándo se debe irrigar el piso para evitar el esfuerzo extremo de la raíz para extraer agua del piso.

La planta no puede extraer toda la humedad que se encuentra en el suelo, tan solo una parte la que se reconoce como la humedad disponible. La regla general para saber cuándo irrigar es que se debe hacer una vez que el 50% de la humedad disponible en el suelo sea agotada. La figura 4.36 muestra la tensión de humedad de suelo cuando se tiene el 50% de la humedad disponible.

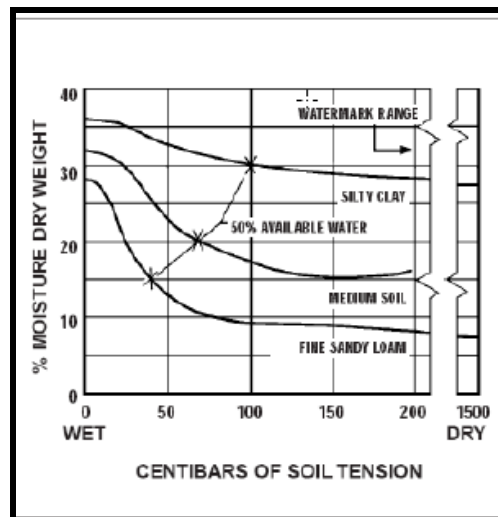


Figura 4.38. Capacidad de almacenamiento de agua para diferentes tipos de piso [Documentos técnicos del proveedor]

De acuerdo a esta gráfica, asumiendo un tipo de suelo medio (ni tan pesado ni tan arenoso) el 50% de humedad disponible ocurre alrededor de los 60 y 70 Centibars.

A continuación se muestra la lectura que obtenemos del sensor es1101:

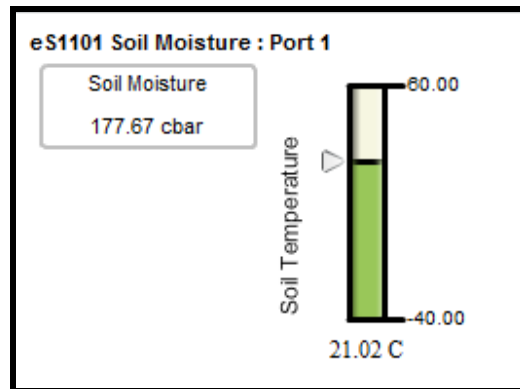


Figura 4.39 Humedad en el suelo es1101 (Simulación)

En la gráfica 4.39, obtenida en el programa de simulación, se aprecia 177.67 cbar de humedad en el suelo, lo que indica que aun no es necesario irrigar ya que, según lo mencionado anteriormente nos encontramos con un suelo cuya humedad disponible está por encima del 50%.

Después de saber cuándo irrigar el suelo es necesario saber cuánto. Con sensores de marca de agua debidamente colocados, uno en la parte superior (a 30 centímetros) y otro en la parte del fondo (a 60 centímetros) podremos hacerlo, comparando sus graficas podemos verificar cual es la parte del suelo que esta secándose, la alta o la profunda. Por ejemplo si la lectura de la parte superior es 60 y la de la parte profunda es 10, se debe aplicar suficiente agua para remojar la sonda de la parte superior. Por lo contrario si la medida de la zona profunda es mucho menor que la de la zona superior se debe aplicar una buena cantidad de agua hasta que la sonda inferior se remoje nuevamente.

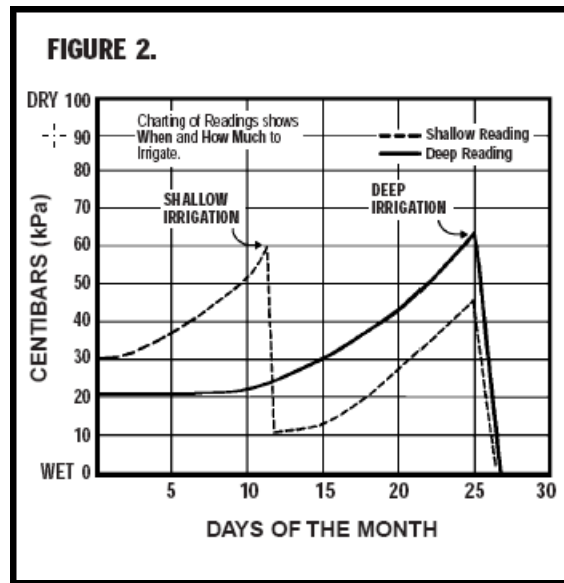


Figura 4.40. Cuanto irrigar el piso[Documentos técnicos del proveedor]

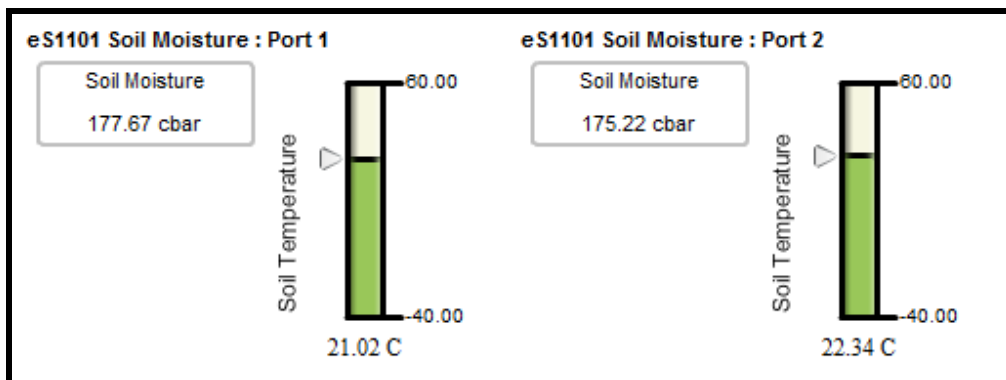


Figura 4.41 Lectura de dos sensores es1101.[Simulación]

4.8.3 Significado de la gráfica del sensor eS1201

En nuestro medio ambiente, el aire siempre contiene humedad. El número de moléculas de agua en el aire puede variar considerablemente, es por esto que existe un nivel máximo para la cantidad de humedad que el aire puede aguantar a una temperatura dada, después de este nivel máximo ocurre una saturación. Si por alguna razón el nivel de humedad sobrepasa este límite ocurre una condensación y se formara niebla o pequeñas gotas de agua.

La humedad relativa nos dice cual es el porcentaje de esta cantidad máxima que está presente en el aire. En contraste con a la humedad relativa la humedad absoluta muestra la cantidad de humedad en el aire, independientemente del nivel de saturación, expresado como el total de moléculas de agua por volumen de aire.

Si la temperatura aumenta o disminuye en un sistema cerrado, el vapor de saturación se incrementara o disminuirá. Como consecuencia de esto, la humedad relativa disminuirá o aumentara.

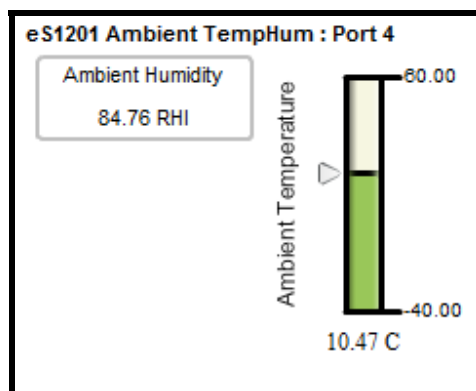


Figura 4.42 Humedad en el ambiente(Simulación)

4.9 Análisis de Costos

El presente estudio económico se basará en la búsqueda del punto de equilibrio de la inversión, es decir en qué momento las ganancias empiezan a ser positivas.

Se iniciará con el precio del paquete ofrecido por el proveedor escogido, el cual se detalla a continuación:

Numero de Parte	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
EK2110	1	eKo Outdoor Wireless Monitoring System ~ . 4 eKo sensor nodes (EN2100) . 1 eKo base radio (EB2110) . 1 eKo gateway w/ built-in eKoView web application	\$ 2995.00	\$ 2995.00
El precio es en dólares americanos.				

Tabla 4.6. Precios de paquete ofrecido por Memsic [Elaboración Propia]

Como segundo punto se tiene los elementos adicionales necesarios para completar la red.

Numero de Parte	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
ES1100	8	Sensor de humedad y temperatura de suelo	\$89.00	\$712.00
ES1201	4	Sensor de temperatura y humedad de ambiente	\$199.00	\$796.00
-----	1	Computador Personal	\$400.00	\$400.00
El precio es en dólares americanos.				

Tabla 4.7. Equipos adicionales para la red [Elaboración Propia]

El Precio total de los equipo es de 4903 dólares americanos, el cual está sujeto a los controles aduaneros del Perú además del régimen tributario aplicado a las importaciones en el Perú.

Debido a la naturaleza de los equipos estos están sujetos al pago de los siguientes tributos:

- **Derechos de importación:** De acuerdo al decreto supremo N°035-97-EF la tasa por conceptos arancelarios ad valórem CIF será de 12%. [18]

- **Impuesto General a las Ventas:** Toda importación de mercancías está gravada con el impuesto general a las ventas, con la tasa de 16%. La Base Imponible es el valor CIF, más los derechos arancelarios y demás impuestos que gravan la importación. Están exoneradas de este impuesto las importaciones de bienes que se destinen a Empresas Industriales ubicadas en la zona de frontera o de selva, en virtud del Art. 71 de la Ley General de Industrias, Ley 23407. [19]

- **Impuesto de Promoción Municipal:** Las importaciones afectadas por el Impuesto General a las Ventas, también están gravadas con el Impuesto de Promoción Municipal, de acuerdo a las siguientes tasas: 2% para las importaciones en general. [20]

Por lo tanto el precio final de los equipos una vez aplicados el pago de tributos sería de 6497.38 dólares americanos.

El personal necesario para el presente proyecto estará compuesto por un ingeniero más un técnico.

Cantidad	Perfil	Salario Individual	Salario Total
1	Ingeniero	\$428.57	\$428.57
1	Técnicos	\$178.57	\$178.57
Salario en dólares americanos			

Tabla 4.8. Personal para el proyecto [Elaboración Propia]

Considerando, para el presente análisis económico, tan solo los árboles ya existentes pero esta vez con un fruto de mayor calidad, obtenemos nuestra ganancia de acuerdo al siguiente cuadro:

	Cantidad de Plantas	Cantidad de platanos por cosecha	Cosechas al año	Precio por banano en el mercado	Ganancias anuales
Antes del proyecto	80	9600	2	0.075	720
Después del proyecto	80	9600	2	0.9	8640

Tabla 4.9. Comparación de ganancias [Elaboración Propia]

Flujo Neto

Descripción	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
BENEFICIOS						
Aumento de Ganancias	\$0.00	\$8,640.00	\$8,640.00	\$8,640.00	\$8,640.00	\$8,640.00
COSTOS						
Equipos	\$6,497.38	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Profesionales	\$2,510.00	\$2,142.84	\$2,142.84	\$2,142.84	\$2,142.84	\$2,142.84
Gastos en Parcela	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00	\$400.00
Flujo Neto	-\$9,407.38	\$6,097.16	\$6,097.16	\$6,097.16	\$6,097.16	\$6,097.16

Tabla 4.10. Flujo neto en base a cinco años [Elaboración Propia]

El siguiente gráfico demuestra el flujo que sigue la inversión. Como se puede observar en el diagrama el punto de equilibrio se alcanza después de aproximadamente 18 meses de iniciado del proyecto, es decir en la mitad del segundo año de cosecha.

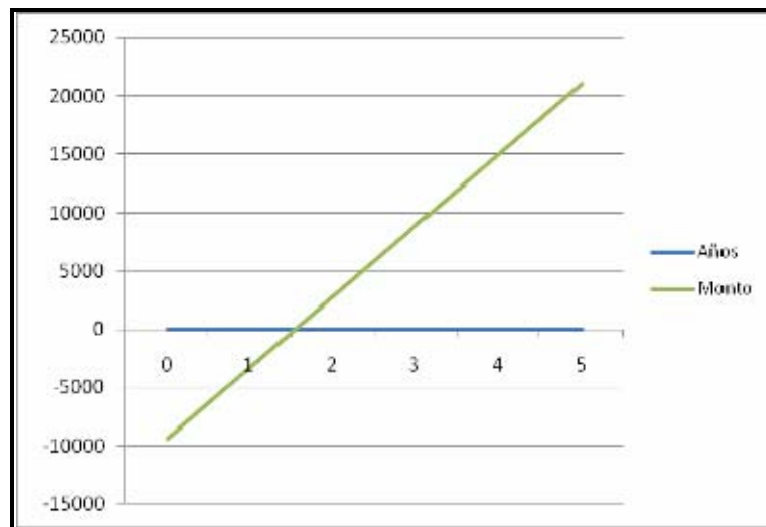


Figura 4.43. Flujo de la inversión [Elaboración Propia]

Valor Actual Neto (VAN)

$$\text{V.A.N.} = \sum_{t=1} \frac{FN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde:

FN: Flujo Neto

Io: Inversión inicial = \$ 9,407.48

i: Tasa de interés = 4.00%

t: Tiempo del proyecto a calcular= 5 años

V.A.N. = 3004.07

El haber obtenido un valor positivo manifiesta que el proyecto está en condiciones de devolver el capital invertido pagando una tasa anual del 4%, generando excedentes por un monto de 3,004.07 dólares americanos. Este cálculo es sin considerar las plantas adicionales.

CONCLUSIONES

1. Entorno social

a) La implementación de esta propuesta tecnológica en la parcela de Mala brindará un adelanto significativo a la agricultura en el país ya que el monitoreo de las variables críticas en el desarrollo de cualquier producto permitirá que este tenga una calidad bastante alta y que este apto para su exportación lo cual favorecerá a todos los sectores socio-económicos involucrados en este rubro, comenzando por el agricultor, cuya ganancia actualmente se encuentra bastante por debajo de la obtenida en cualquier otra actividad. Si es que el agricultor no trabaja directamente con el cliente, los intermediarios también se favorecerán con esta propuesta tecnológica y por supuesto los consumidores tanto nacionales como internacionales se favorecerán con un producto de máxima calidad.

b) El empleo de la energía solar nos permite demostrar que se pueden implementar avances tecnológicos sin afectar el normal desarrollo de la naturaleza, lo cuál debe ser tomado en cuenta por las industrias que tanto atentan contra el medio ambiente.

2. Entorno económico

a) En primera instancia el costo de implementación de la red de sensores inalámbricos en la parcela de Mala asciende a 4903 dólares. Asumiendo que el cien por ciento de la producción sea para Europa donde el precio del plátano es de 0.63 euros (aproximadamente 0.9 dólares) el kilogramo (aproximadamente 5 plátanos), sin tener en cuenta los plátanos adicionales, producidos al año, se tendría una ganancia adicional de

8640 dólares al año. Haciendo los cálculos necesarios podemos ver que lo invertido se recuperara en aproximadamente 18 meses después de iniciado el proyecto.

3. Entorno tecnológico

a) Queda expuesto que el monitoreo de las variables críticas en el desarrollo de los platanales mejoraría en gran medida la calidad de sus frutos.

b) La conexión remota nos permitiría un monitoreo en tiempo real desde cualquier parte del mundo a través de internet, lo cual aparte de eficaz convierte a esta red en una solución eficiente.

c) El diseño de una red de sensores inalámbricos con los dispositivos que nos proporciona la compañía Memsic nos brindará un gran aporte a la agricultura en el Perú, ya que es un avance tecnológico en esta actividad y además debido a que usa energía solar también apoya a la protección del medio ambiente.

d) Gracias a su robusto empaque cada uno de los eKo nodos puede soportar casi cualquier condición climática extrema a la que se enfrente.

e) Con el control de la humedad y la temperatura a la que están expuestos los platanales, además de controlar el crecimiento óptimo del fruto se evita el ataque de las plagas hacia la planta, ya que los virus que la provocan crecen en un rango determinado de temperatura y humedad, el cual evitaríamos.

RECOMENDACIONES

1. La red inalámbrica de sensores detectará en tiempo real cualquier eventualidad en la parcela, sin embargo ante esto se recomienda contar con un especialista en agricultura para tomar la mejor decisión.
2. Es necesario darle mantenimiento a los equipos eventualmente, sin embargo este no es demasiado complicado y tan solo bastará con capacitar a los trabajadores de la parcela.
3. Si bien el monitoreo se va a realizar en la misma parcela es bastante recomendable monitorear la red de manera remota. Lo que es posible mediante cualquier método de salida hacia internet, es decir, ya sea mediante la adición de un enrutador para tener acceso a la red de datos de cualquier proveedor o en todo caso el uso del internet móvil ofrecido por los principales operadores telefónicos del país.
4. En el presente trabajo se contempla un análisis de costos que resulta claramente favorable para el proyecto, sin embargo sería ideal contar con un asesoramiento en el flujo de dinero al menos hasta que haya un residuo positivo de dinero y este sea estable.
5. Si bien se ha tratado de no cometer alguna falta en el aspecto legal, es altamente recomendable la asesoría legal para evitar cualquier intento de beneficio propio de terceros a través del proyecto.

GLOSARIO

WSN: Wireless Sensor Network (Red inalámbrica de sensores)

PEA: Población Económicamente Activa

Zigbee: Protocolo de comunicación

MEMS: Sistemas microelectromecánicos

RAM: Memoria de acceso aleatorio

ROM: Memoria de solo lectura

EPROM: Memoria de solo lectura y programable

EEPROM: Memoria de solo lectura programables eléctricamente

Win: Microsoft Windows

Linux: Sistema operativo de código abierto

MacOS: Sistema operativo Mac

AVR: Familia de microcontroladores de ATMEL

ISP: proveedor del servicio de internet

FPGA: Bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad se puede programar

RF: Radiofrecuencia

CAT5: Categoría 5

USB: Universal Serial Bus

PC: Computadora personal

CD: Disco Compacto

UPS: Reserva de batería

FUENTES

[1] Consejo Nacional de Producción

2008 "Portal del Consejo Nacional de Producción"

<http://www.cnp.go.cr>

[2] Municipalidad Distrital de San Pedro de Mala

Página web de la municipalidad de Mala

<http://www.munimala.gob.pe>

[3] Jianliang Zheng and Myung J. Lee, The City College of CUNY

Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality?: A Discussion on a Potential Low Power, Low Bit Rate Standard.

http://www-ee.ccny.cuny.edu/zheng/papers/paper7_wpan_ubiquitous.pdf

[4] Comparison of the IEEE 802.11, 802.15.1, 802.15.4 and 802.15.6 wireless standards

<http://janmagnet.files.wordpress.com/2008/07/comparison-ieee-802-standards.pdf>

[5] Universidad de Alcalá - Departamento de Electrónica

2002 "Ingeniería Eléctrica y Electrónica": Sensores y Transductores

<http://www.depeca.uah.es/wwwnueva/docencia/IT-INF/ctr-eco/Tema1.pdf>

[6] Maria navarro, Joan Vila, Jordi Muñoz y Javier Calpe

2004 "Mundo electrónico": Zigbee nuevo estándar de tecnología

inalámbrica

[7] Web de Recursos de programación

<http://www.davidsuarez.es/2008/01/%c2%bfque-es-una-puerta-de-enlace-o-gateway/>

[8] Wikipedia: Acceso a Internet

<http://es.wikipedia.org/wiki/Internet>

[9] Términos y Referencias de Ingeniería de tráfico

http://es.wikitel.info/wiki/T%C3%A9rminos_y_definiciones_de_ingenier%C3%ADa_de_tr%C3%A1fico

[10] Infoagro

2007 “El Cultivo del Plátano”

http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm

[11] Puleva salud: portal dedicado a información para el bienestar del ser humano

<http://www.pulevasalud.com>

[12] Normas Internacionales de calidad para el platano

Codex Stan 205- Norma del Codex para el banano (plátano)

[13] Esquema de trabajo de Sentilla

<http://www.sanhealthcheck.com>

[14] Portal de memsic

[http:// www.memsic.com/](http://www.memsic.com/)

[15] Portal de BTnodes

<http://www.btnode.ethz.ch/>

[16] Portal de Digi

<http://www.digi.com>

[17] Pagina web APC

<http://www.apc.com/>

[18] Gobierno del Perú

Decreto supremo N° 035-97-EF

<http://www.mincetur.gob.pe/comercio/Legal/DS-035-97-EF.htm>

[19] Normas y trámites en el Perú para la importación

<http://www.deperu.com/abc/articulo/264/normas-y-tramites-en-el-peru-para-la-importación>

[20] Torres Lozada, Víctor

2004 “La agricultura peruana en los tiempos del TLC”, Documento de trabajo para el X congreso nacional