

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
Sección de Electricidad y Electrónica



**“Diseño de una red de sensores inalámbrica  
para un área de cultivo frutícola en una ONG”**

**Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico**

Presentado por

**Fernando Edison Huapaya Silva**

Lima Perú

2007

## ÍNDICE

	<b>PAG</b>
<b><u>INTRODUCCIÓN</u></b>	<b>8</b>
<b><u>CAPITULO 1 : SISTEMA DE INFORMACIÓN EMPÍRICO EN EL</u></b>	
<b><u>CULTIVO DE FRUTAS DE UNA ONG</u></b>	
1.1 Ubicación y generalidades de la ONG	13
1.2 Factores externos que influyen a los cultivos de frutas de la ONG	14
1.3 Sistema de información empírico en el riego de la ONG	18
<b><u>CAPÍTULO 2 : TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN EN LA</u></b>	
<b><u>AGRICULTURA</u></b>	
2.1.1 Estado del arte	22
2.1.1 Presentación del asunto de estudio	22
2.1.2 El estado de la investigación	23
2.1.2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	23
2.1.2.2 Sistema de posicionamiento global (GPS)	26
2.1.2.3 Banderillero Satelital (LightBar)	28
2.1.2.4 Percepción remota	31
2.1.2.5 Dosis variable de fertilizantes y densidad de siembra variable	32
2.1.2.6 Red de sensores inalámbrica	34
2.1.2.7 Síntesis de las herramientas tecnológicas	36
2.1.2.8 Elección de la herramienta tecnológica	37
2.2 Conceptualizaciones generales	38
2.2.1 Redes de datos	38
2.2.1.1 Clasificación	38
2.2.2 Redes inalámbricas	40

2.2.2.1	Clasificación	40
2.2.2.2	Tipos de topología	41
2.2.2.3	Tecnologías inalámbricas	44
2.3	Modelo teórico de la solución tecnológica	45

### **CAPÍTULO 3 : DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA**

#### **PARA UN ÁREA DE CULTIVO DE FRUTAS**

3.1	Técnicas para la recolección de la información	48
3.2	Características del diseño de la red de sensores inalámbrica	49
3.3	Descripción del sistema	50
3.3.1	Arquitectura de un nodo remoto inalámbrico	51
3.4	Empresas fabricantes de nodos de sensado inalámbrico	54
3.5	Entorno de trabajo para el diseño de la red de sensores inalámbrica	56
3.5.1	Software para el monitoreo de la red de sensores	57
3.5.2	Software para el nodo remoto e interfaz gráfica de monitoreo	58
3.5.3	Eventos comandos y tareas	58
3.6	Elección de las tarjetas electrónicas de la red de sensores inalámbrica	58
3.7	Descripción de las tarjetas electrónicas	58
3.7.1	Tarjeta electrónica de la puerta de enlace - MIB520	61
3.7.2	Tarjeta electrónica del radio procesador - MPR410	62
3.7.3	Tarjeta electrónica de adquisición de datos - MDA300	67
3.8	Empaque de las tarjetas electrónicas	71
3.9	Impacto ambiental del diseño de la red de sensores inalámbrica	72

**CAPÍTULO 4 : EVALUACIÓN DE COSTOS Y PRESENTACIÓN DEL**

**DISEÑO DE LA RED SENSORES**

**INALÁMBRICA**

4.1	Diagrama del diseño de la red de sensores inalámbrica	73
4.2	Relación de precios del diseño de la red de sensores inalámbrica	74

CONCLUSIONES	80
--------------	----

RECOMENDACIONES	82
-----------------	----

BIBLIOGRAFÍA	83
--------------	----

ANEXOS	
--------	--

**INDICE DE FIGURAS**

	PAG
Figura 1.1. Mapa geográfico de la zona de estudio	13
Figura 1.2. Factores externos que influyen en los cultivos de frutas de la ONG	17
Figura 1.3. Diagrama del sistema de información mecanizado en la ONG	19
Figura 2.1. Variabilidad de un terreno	26
Figura 2.2. Mapas de rendimiento usando GPS	28
Figura 2.3. Equipo automático y rutas del banderillero satelital	31

Figura 2.4. Imágenes satelital usando percepción remota	32
Figura 2.5. Componentes usados en dosis variable de fertilizante	33
Figura 2.6. Distribución de los nodos remotos en el Viñedo Pickberry	35
Figura 2.7. Topología Estrella con la descripción de sus elementos	42
Figura 2.8. Topología Malla	43
Figura 2.9. Topología Estrella-Malla	43
Figura 2.10. Representación Gráfica del Modelo Teórico	46
Figura 3.1. Esquema general del sistema de la red de sensores	51
Figura 3.2. Diagrama de bloques de un nodo inalámbrico	52
Figura 3.3. Tarjetas electrónicas de la red de sensores inalámbrica	61
Figura 3.4. Tarjeta electrónica MIB520	62
Figura 3.5. Diagrama de bloques de la tarjeta MPR2400CA	63
Figura 3.6. Tarjeta electrónica MPR2400CA	64
Figura 3.7. Antena monopolo 2.4GHz – 3.5cm	66
Figura 3.8. Tarjeta de sensado MDA300	68
Figura 3.9. Conexión del sensor de humedad del suelo	68
Figura 3.10. Conexión del sensor de temperatura	69
Figura 3.11. Conexión del sensor de humedad	70

Figura 3.12. Conexión del sensor de luz	70
Figura 3.13. Empaque MDH300CA	71
Figura 4.1. Área de cultivo de frutas y la oficina administrativa de la ONG	74
Figura 4.2. Topología malla de la red de sensores inalámbrica	75
Figura 4.3. Estacas del área de cultivo	77
Figura 4.4. Tarjetas electrónicas MDA300 – MPR2400 – Sensor EC-10	78
Figura 4.5. Tarjetas de la puerta de enlace y ubicación de las mismas	79

### INDICE DE TABLAS

	<b>PAG</b>
Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de las herramientas tecnológicas	37
Tabla 2.1. Tecnologías inalámbricas	44
Tabla 3.1. Cuadro comparativo de tarjetas de puerta de enlace	59
Tabla 3.2. Cuadro comparativo de tarjetas de radio procesador	59
Tabla 3.3. Cuadro comparativo de tarjetas de sensado	60
Tabla 3.4. Corriente de operación de componentes de la tarjeta MPR2400CA	65
Tabla 3.5. Niveles de potencia del componente CC2420	66
Tabla 4.1. Coordenadas de la parcela de cultivo	76
Tabla 4.2. Precios de las tarjetas electrónicas y accesorios	80

## RESUMEN

Los sistemas de información que se usan en la agricultura peruana, para obtener medidas de temperatura e humedad son empíricos, ello se basan en la experiencia de los trabajadores.

En ese contexto una red de sensores inalámbrica, en la que un equipo remoto pueda transmitir medidas de humedad ambiental, temperatura ambiental, luz ambiental, la temperatura y humedad del suelo, en tiempo real a una estación central, tendría un papel importante en el rendimiento de la producción ya que se tendría un monitoreo del área de cultivo, se podrá obtener como responde los cultivos frente al clima cómo también una curva del *punto de marchitez* y *capacidad de campo*, lo que dará un mejor cuidado al cultivo de frutas y se optimizaría el uso de recursos naturales como el agua y el *mulch*.

Los medios de acceso de información que poseen los agricultores son limitados, pues la tecnología no se encuentra desarrollada en ese medio.

Por ello dado que en la ONG, el proceso de producción del cultivo de frutas, se basa en tecnologías de información empírica, limita el rendimiento de la producción y el uso de recursos como el agua proveniente del sistema de riego por goteo.

Entonces el diseño de una red de sensores inalámbrica para el cultivo de frutas, permitirá la transmisión de variables como la humedad, temperatura, luz del ambiente, la temperatura y humedad del suelo, la muestra de datos serán enviados inalámbricamente por radio frecuencia hacia la estación base de la ONG, con la información recaudada se podrá estudiar como responden los cultivos de frutas frente al clima y determinar su *punto de marchitez* y *capacidad de campo*.

La investigación esta desarrollada en cuatro capítulos. En el primer capítulo se analiza la problemática que envuelve el sistema de información empírico con el que cuenta la ONG. En el segundo capítulo, se muestra las tecnologías de la información aplicadas en la agricultura y se define los conceptos base, los cuales ayudarán a modelar teóricamente la solución planteada. En el tercer capítulo, se muestra la metodología y procedimiento seguido para diseño de la red de sensores inalámbrica. En el cuarto capítulo se presenta el área cultivo para el diseño de la red de sensores inalámbrica, la topología lógica de la red y la inversión que debe realizarse para poder implementarla.

Como conclusión principal de la presente investigación, se obtiene el diseño de una red de sensores encaja de manera ideal a la monitorización ambiental, ya que las variables a ser monitorizadas como la temperatura ambiental, humedad ambiental, luz ambiental, temperatura y humedad del suelo servirán para estudiar como responde el cultivo de frutas frente al clima y jugará un rol estratégico en los procesos de modernización de la empresa agropecuaria, ya que la incorporación del diseño de la red de sensores inalámbrica agrega capacidades de control de la gestión y da acceso a información clave para la toma de decisiones.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la información recolectada de la base de datos de la universidad y la Internet es posible afirmar que las nuevas tecnologías están llamadas a jugar un rol estratégico en los procesos de modernización de la actividad agropecuaria, en la medida en que su incorporación agregue capacidades de control de la gestión y de acceso a información clave para las decisiones. En los últimos años, países como Brasil, Argentina y Chile, por citar algunos ejemplos en Latinoamérica, han desarrollado su propia tecnología aplicada a la agricultura.

Sin embargo la tecnología actual en nuestro país, no permite poder gestionar ciertos recursos como el agua en la agricultura. Este último recurso es importante en el desarrollo de los cultivos puesto que tratan de utilizarlo de la mejor manera y no desperdiciarlo.

Debido a la necesidad de mejorar la calidad de los sistemas de información en la agricultura. A nivel internacional se están usando tecnologías como los sistemas de información geográfica, sistemas de posicionamiento global, redes de sensores inalámbricas entre otras. En ese contexto las redes de sensores inalámbricas son un

elemento importante, pues se encargan de tomar datos de parámetros como la temperatura, humedad y luz ambiental en la zona de cultivo, los cuales son transmitidos inalámbricamente a una computadora para ser monitoreados.

En nuestro país los métodos para determinar, la temperatura y humedad que debe tener un cultivo para un mejor desarrollo, son empíricos por parte de los trabajadores agrícolas

La presente investigación plantea como hipótesis que dado que en la ONG, el proceso de producción del cultivo de frutas se basa en tecnologías de información empírica para obtener parámetros como la temperatura, humedad y luz, ello resulta una limitante para el rendimiento de la producción y el uso de recursos como el agua proveniente del sistema de riego por goteo.

Entonces el diseño de una red de sensores inalámbrica para un cultivo de frutas, permitirá la transmisión de variables como la humedad, temperatura y luz ambiental, la muestra de datos serán enviados inalámbricamente por radio frecuencia hacia la estación base de la ONG, con la información recaudada se podrá hacer un estudio de como responden los cultivos de frutas frente al clima como también obtener una curva de la *capacidad de campo* y el *punto de madurez* del cultivo de frutas. Ello permitirá que el personal de investigación de la ONG tenga herramientas y facilidades adicionales en sus trabajos como monitorear desde una computadora los parámetros ambientales y del suelo provenientes de la red de sensores, con ello la necesidad de ir a campo disminuirá ahorrando tiempo y esfuerzo.

El objetivo de esta tesis es el diseño de una red de sensores inalámbrica para un área de cultivo de frutas en una ONG.

La metodología empleada considera una investigación sobre las distintas tecnologías aplicadas en la agricultura en la actualidad, así como también el conocimiento de ciertos términos en la agricultura, como la *capacidad de campo* ( excesiva humedad, los nutrientes se dispersan ) , *punto de marchitez* ( poca humedad, la planta se marchita ), los cuales fueron brindados por personal de la ONG cuando se realizó la visita a campo.

Dado que el tema de la presente investigación se encuentra en un constante desarrollo, el principal medio de información se encuentra en las bases de datos Ebsco Host y ProQuest, como también en la Internet.

La investigación esta desarrollada en cuatro capítulos. En el primer capítulo se analiza la problemática que envuelve al sistema de información empírico con el que cuenta la ONG.

En el segundo capítulo, se muestran las tecnologías de la información aplicadas en la agricultura y se definen conceptos básicos, los cuales ayudarán a plantear una solución tecnológica.

En el tercer capítulo, se presentan los elementos necesarios para el diseño de la red de sensores, que se comunicarán inalámbricamente con la unidad de procesamiento central.

En el cuarto capítulo se presenta el área cultivo para el diseño de la red de sensores inalámbrica, la topología lógica de la red y la inversión que debe realizarse para poder implementarla.

Como conclusión principal de la presente investigación, se obtiene el diseño de una red de sensores encaja de manera ideal a la monitorización ambiental, ya que las variables monitoreadas como la temperatura ambiental, humedad ambiental, luz ambiental, la temperatura y humedad del suelo servirán para estudiar como responde el cultivo de frutas al clima y jugará un rol estratégico en los procesos de modernización de la empresa agropecuaria, ya que la incorporación del diseño de la red de sensores inalámbrica agrega capacidades de control de la gestión y da acceso a información clave para la toma de decisiones.

**Para finalizar quiero agradecer a Dios, mi familia, profesores, amigos y a todas aquellas personas que me estuvieron apoyando todo este tiempo durante la realización de la tesis.**

**CAPÍTULO 1**  
**SISTEMA DE INFORMACIÓN EMPÍRICO EN EL CULTIVO DE FRUTAS DE UNA**  
**ONG**

La demanda de una mayor producción conservando la calidad de los cultivos es una realidad que afrontan muchos productores en el país y en el mundo, por ello el interés de mejorar sus tecnologías de producción va en aumento.

En los últimos años los sistemas de información son cada vez más usados en aplicaciones agrícolas, podemos citar en Latinoamérica a Brasil, Argentina y Chile donde el uso de herramientas tecnológicas es una realidad.

En el presente trabajo de investigación, se analizará la problemática que se centra en un sistema de información empírico utilizado en la ONG. El análisis se divide en tres partes, ubicación y generalidades de la ONG, factores externos a los cultivos de frutas

y el tipo de sistema de riego utilizado. Luego de este análisis se ve la necesidad del uso de una herramienta tecnológica para mejorar el sistema de información existente en la ONG.

### 1.1 Ubicación y generalidades de la ONG

La ONG donde se realiza la presente investigación, se encuentra ubicada en el valle de Mala, desarrollan una agricultura totalmente ecológica ya que no se utilizan componentes químicos que puedan dañar el medio ambiente y la salud de los agricultores, con esa premisa los miembros de la ONG, capacitan a los agricultores promoviendo una agricultura sostenible. A continuación la siguiente figura 1.1 se muestra la ubicación geográfica de la zona donde se realizó la presente investigación.



Fuente <http://www.cnd.gob.pe/>

Figura 1.1. Mapa que muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio

## 1.2 Factores externos que influyen en los cultivos de frutas de la ONG

En los últimos años, el desarrollo de la agricultura ecológica ha contribuido en la toma de conciencia por parte de los consumidores en cuestiones relacionadas a la seguridad alimenticia y a los problemas medioambientales, ello generó un acelerado incremento de consumidores demandantes de productos ecológicos. Frente a los fraudes o alteraciones dentro de la cadena productiva ecológica surgió la necesidad de elaborar normas a nivel internacional. Las cuales ayudan a garantizar la calidad ecológica de los productos para los consumidores, que incluso llegan a pagar precios altos y diferenciados, en comparación con los productos convencionales.

La Federación Internacional de Movimiento de Agricultura Ecológica (IFOAM), tiene como principal función la elaboración y actualización de las normas básicas para la producción y procesamiento ecológicos, además se encarga de promocionar la implementación de la producción ecológica en todo el mundo, donde forman parte de diferentes organizaciones ambientalistas y ecologistas, productores, ONG y consumidores, inmersos dentro la producción ecológica.

Por ello, para ser un productor ecológico, se debe cumplir con normas o reglamentos de producción ecológica en forma obligatoria, aspecto que se verifica mediante la certificación por parte de una certificadora externa acreditada ante las autoridades pertinentes, el cual después de un proceso de inspección de los sistemas de producción emite el correspondiente certificado, que avala la calidad de los productos como ecológicos, luego de ello recién se podrán comercializar como ecológicos.

En el año 2003, quince millones de hectáreas han sido certificadas a nivel mundial. En el Perú, recién nueve mil, son los agricultores certificados y el mercado aún es

pequeño. Los organismos certificadores ecológicos en el país son SKALL, RAE y BIOLATINA, esta última acredita a la ONG donde se realiza la presente investigación.

Los consumidores de los productos de la ONG son principalmente los del sector aledaño a la zona, sin olvidar que sus productos son comercializados en una feria ecológica en la ciudad de Lima, en la que compiten con otros productores ecológicos, ello supervisado por La Comisión Nacional de Productores (CONAPO) que es el ente asesor y consultivo del Ministerio de Agricultura respecto a la agricultura ecológica en el país.

Otro aspecto importante a considerar, es que en los mercados internacionales; son cada vez más los países que exigen este tipo de agricultura. Un 30% de la comunidad europea ya consume estos productos y Alemania en cinco años el 25% de la agricultura será orgánica.

Los productos orgánicos garantizan la posibilidad de nuevos mercados y el poder vender los alimentos a mejores precios. Esto es garantía de una mejor vida para el campesino y del país en general. En nuestro país la mayor producción se da para la exportación, como el caso del café, algunos frutales y limones.

Por otro lado, la ONG carece del número de hectáreas suficiente para poder alcanzar un nivel de exportación. La infraestructura es sobre un material como el ladrillo, en cuanto su tecnología cuentan con un sistema de telemetría y un sistema de riego por goteo, los cuales son un aporte importante puesto que en la actualidad las herramientas tecnológicas como los sistemas de información geográfica, mapeo de suelos, percepción remota, redes de sensores entre otras, son cada vez más usadas en los países desarrollados.

En cuanto al personal que labora es capacitado y competente, además se encargan de capacitar a las personas con técnicas ecológicas formando lo que ellos denominan promotores agrícolas, ello es totalmente gratuito, por consiguiente en la actualidad su situación económica no es la mejor. Para solucionar ello, presentan proyectos a organizaciones nacionales o internacionales en busca de apoyo, como en sus inicios lo hicieron con organizaciones de España y Estados Unidos, actualmente tienen relaciones con organizaciones en Holanda y Suiza.

A continuación la figura 1.2 muestra los factores anteriormente descritos que influyen en los cultivos de frutas de la ONG.

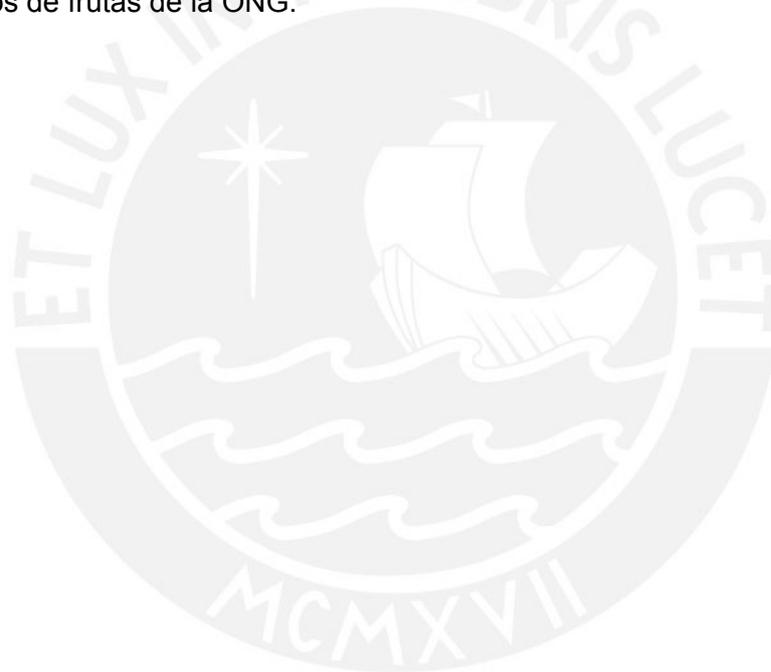




Figura 1.2. Factores externos que influyen en los cultivos de frutas de la ONG

### 1.3 Sistema de información empírico de la ONG

El sistema de riego utilizado en la ONG es el de riego por goteo que consiste en suministrar el agua a las plantas para que estas reciban la humedad suficiente con el fin de que esas mismas plantas se desarrollen y optimicen su ciclo vital.

A diferencia del riego tradicional y de la aspersion, el agua del centro se bombea de un tanque elevado de abastecimiento que a través de tuberías llega a su destino y libera gota a gota en el lugar donde se ubica la planta.

A pesar de ser una ventaja, en el ahorro del agua, en la conservación del suelo y en la mejora en la calidad de los productos cosechados, la manera de utilizar ese recurso sigue siendo empírico.

La información de los parámetros en un área de cultivo como la humedad, temperatura y variaciones de la luz en el ambiente son necesarios para el seguimiento de las condiciones ambientales durante todo el proceso de producción y controlar el clima necesario que deben tener los cultivos. En la ONG, los parámetros mencionados se obtienen de manera empírica por parte de los trabajadores, ya que poseen años de experiencia en el trabajo de campo. En situaciones donde necesiten preservar la humedad se hacen uso del *mulch*, que consiste en extender una capa de materia orgánica sobre el suelo alrededor de las plantas.

El sistema de información utilizado carece de confiabilidad para el control de parámetros ambientales de los cultivos de frutas y poder medir la *capacidad de campo* y *punto de marchitez*, con estos últimos se podría determinar la dosis correcta de agua, lo que traería como consecuencia un ahorro importante de ese recurso como

también una mejor producción en los cultivos. La figura 1.3 muestra el sistema de riego empírico en la ONG.

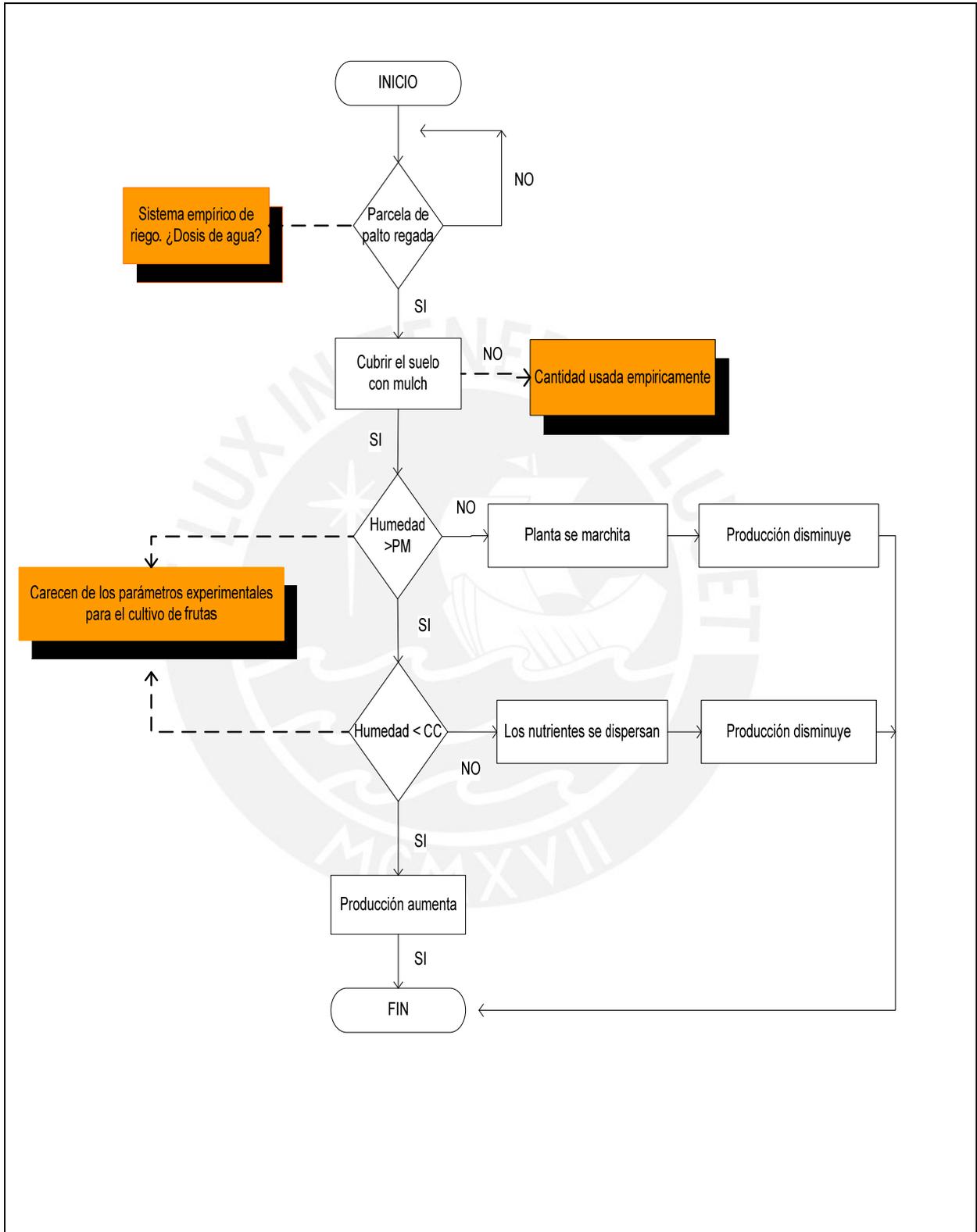


Figura 1.3. Diagrama del sistema de riego empírico en la ONG

### Conclusión

Actualmente el sistema de información con el que cuenta la ONG cumple una función importante en el desarrollo de los cultivos de frutas, pero aún así presenta inconvenientes puesto que los parámetros obtenidos de manera empírica hacen inadecuada la dosis de agua que se suministra y no contribuyen a las condiciones ambientales del cultivo, ello se puede optimizar con la adopción de nuevas tecnologías que en conjunto con el sistema actual permitirán obtener parámetros como la *capacidad de campo* y el *punto de marchitez* para un cultivo en particular los cuales beneficiarán a un mejor rendimiento de la producción agrícola.



## CAPÍTULO 2

### TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN EN LA AGRICULTURA

Encontrada la necesidad de ofrecer otra alternativa para el conocimiento de los parámetros ambientales en los cultivos de la ONG, se plantea un sistema de información tecnológico que brinde los parámetros con precisión.

En el presente capítulo se inicia presentando el estado del arte de las tecnologías como los sistemas de información geográfica, sistemas de posicionamiento global, percepción remota, dosis variable de fertilizantes, banderillero satelital y las redes de sensores inalámbrica, sobre la agricultura, brindando un panorama general del uso de ellas en la actualidad.

Posteriormente se presenta un cuadro comparativo entre las distintas tecnologías y se determina que una red de sensores inalámbrica es la solución ante la necesidad planteada. En base a ello se definen los conceptos básicos para abordar el tema, como también el modelo teórico de la solución tecnológica.

## 2.1 Estado del arte

### 2.1.1 Presentación del asunto de estudio

La adopción de nuevas tecnologías es un elemento clave para el desarrollo sostenible y para las siempre crecientes necesidades de la población mundial. El uso de las tecnologías ayuda no sólo a una mejor pre y posproducción empresarial, sino también a un desarrollo rural sostenible en un contexto a largo plazo. La producción por encima de los niveles de subsistencia es una actividad económica competitiva, un ajuste preciso del sistema de producción mediante mejoras tecnológicas es fundamental para los productores, para la economía y para el desarrollo sostenible. Por lo general, el desafío no consiste en lograr una producción óptima de un producto aislado, sino en promover enfoques globales de los sistemas y reconocer los aspectos económicos y sociales, relacionados con la transferencia y adopción de tecnologías apropiadas.

La agricultura moderna con un ajuste de manejo mediante tecnologías de información nos define la agricultura de precisión, que no se trata de una agricultura en la que los satélites indican lo que hay que hacer en el campo, sino que permite a través de ciertas herramientas dar a cada zona de campo cultivado el tratamiento agrónomo más apropiado, tanto desde el punto de vista económico-productivo como del ambiental, permitiendo: reducir los costos en la producción, usar de manera más eficiente los insumos, y aumentar la productividad. Los avances y desarrollos tecnológicos en el mundo de las telecomunicaciones, ofrecen amplias y permanentes oportunidades de progreso, efectividad y mayor calidad en la producción agropecuaria, permitiendo transferir información muy variada, desde un punto hacia distintos puntos geográficos, relacionándolos entre sí.

En ese contexto actual la presente investigación tiene como propósito plantear una solución tecnológica de telecomunicaciones adecuada para un área de cultivo en estudio, acorde con nuestra realidad nacional.

En las siguientes líneas repasaremos el estado del arte en la agricultura de precisión.

### **2.1.2 El estado de la investigación**

Actualmente la agricultura de precisión tiene un conjunto de herramientas tecnológicas, tales como:

Sistema de información geográfica.

Sistema de posicionamiento global.

Percepción remota.

Dosis variable de fertilizantes

Banderillero satelital.

Redes de Sensores inalámbrica.

A continuación se presentan estas herramientas tecnológicas en distintos escenarios de la agricultura.

#### **2.1.2.1 Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

Investigaciones de sitios especializados en agricultura mencionan que la agricultura de precisión es un camino para el crecimiento producción agrícola, que tiene en cuenta la variabilidad dentro de un lote, esta variabilidad se puede resumir en tres clases : natural (tipo de suelo y topografía) , aleatoria (precipitaciones) , inducidas (aplicación de fertilizantes y a la densidad de siembra). En ese contexto los sistemas de información geográfica [1] permiten generar complejas vistas sobre los campos y contribuyen a la toma de decisiones agro-tecnológicas frente a esta variabilidad.

Esta tecnología se aplicó en el planeamiento regional de irrigación en el valle de Río Grande en Texas, ya que varios años de sequías habían causado escasez de agua, generando que los granjeros de la zona mas baja del valle experimenten perdidas en sus cosechas y en sus rentas, surgiendo un conflicto entre los Estados Unidos y México. Santhi. C ,Muttiah. R ,Arnold.J ,Srinivasan. R [2] señalan que para solucionar ese problema se utilizó un sistema de información geográfico basado en un modelo hidrológico que fue configurado como una herramienta de planeamiento regional, con un canal de irrigación capaz de estimar la demanda de irrigación, simulando el proceso hidrológico asociado con la interacción del suelo, planta y agua, capturando la variabilidad espacial y temporal de los principales factores. Los resultados de este estudio demuestran ahorros potenciales del agua en el valle más bajo de Río Grande, ya que provee mejores métodos para la irrigación en los diversos sistemas del cultivo. Finalizando que el modelo desarrollado puede ser una útil herramienta para otros sistemas de irrigación.

Las tendencias en la actualidad es lograr una integración total entre los sistemas de información geográfica y el diseño asistido por computadora [3] en una base de datos corporativa, es un cambio aún en proceso. Las empresas que proveen soluciones CAD y GIS, necesitan tomar el control de ese cambio; por otro lado los profesionales en tecnologías de información aprenden cada vez más sobre el manejo de información geo-espacial.

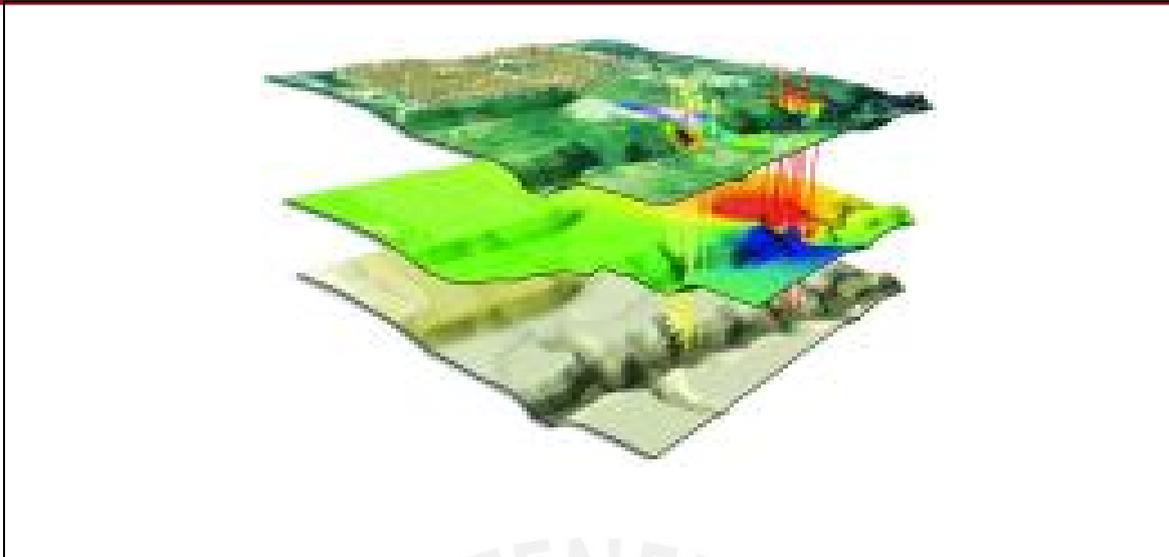
Otros alcances que resultan de los recientes desarrollos de las tecnologías en comunicaciones en los últimos años, han abierto una nueva dimensión para los sistemas de información geográfica. Esa nueva dimensión es la movilidad. Ello simplifica la recolección de datos, procesamiento y presentación independiente del área en aplicación. Una nueva meta es la geo-información inalámbrico, que está

basada en sistemas de comunicaciones inalámbricos, computadoras móviles, sistemas de posicionamiento global y sistemas de información geográfica.

Existen algunos software GIS propietarios para las Pocket Pc en el mercado, pero Jan Stankovic, Markus Neteler, Roberto Flor [4], en su estudio nos propone una implementación móvil libre, de fácil expansión con el GRASS GIS software en combinación con el sistema operativo GNU/Linux corriendo en Pockets Pcs.

Bob Hill [5], Paul Schrimpf [6], Stoleson, Scott H, Kirschbaum, Kari Jensen, Frank, Jack, Atwood, Chad J [7], Alfredo Flores [8] refuerzan esta nueva dimensión de movilidad, los PDA ( Personal Digital Assistants ) son valiosos como instrumentos en la agricultura, los granjeros podrían salir a sus campos, descargar imágenes aéreas, descargando mapas de rendimiento de las maquinarias y utilizar las coordenadas geográficas para localizar rápidamente áreas problemáticas; en Pennsylvania se han usado Pockets Pc que han integrado funciones de GPS y GIS. El desarrollo de software para los PDA es muy variado, como por ejemplo el Trac Mate, que permite guardar historia de los campos, registros químicos entre otros.

A continuación la figura 2.1 como mediante el un sistema de información geográfica se pueden dividir un terreno en capas y poder determinar la variabilidad del mismo.



Fuente [www.gis.com/whatisgis](http://www.gis.com/whatisgis)

**Figura 2.1. Variabilidad de un terreno**

#### **2.1.2.2 Sistema de posicionamiento global (GPS)**

Su utilidad en la agricultura de precisión es posicionar una máquina exactamente en tiempo real, por ejemplo elaboración de mapas de rendimiento, que es la representación gráfica de una serie de datos geoposicionados de rendimiento y humedad de granos obtenidos mediante una cosechadora equipada con un monitor de rendimiento y un receptor DGPS. Los GPS permiten navegar por un lote ubicando los sitios, lo que nos permite llegar a un punto con precisión (muestreo de suelo dirigido), o ubicar una máquina en movimiento variando la dosis al llegar a un determinado punto marcado a través de un mapa de aplicación.

Esta tecnología fue utilizada en la agricultura de precisión y siembra variable de insumos en tiempo real [9], que puede realizarse en forma automática con el uso del GPS o en forma manual por medio de un operario conocedor de la variabilidad espacial del lote. En la Argentina existen empresas que han diseñado modelos de sembradora totalmente nacionales que reducen el costo de esa herramienta y así

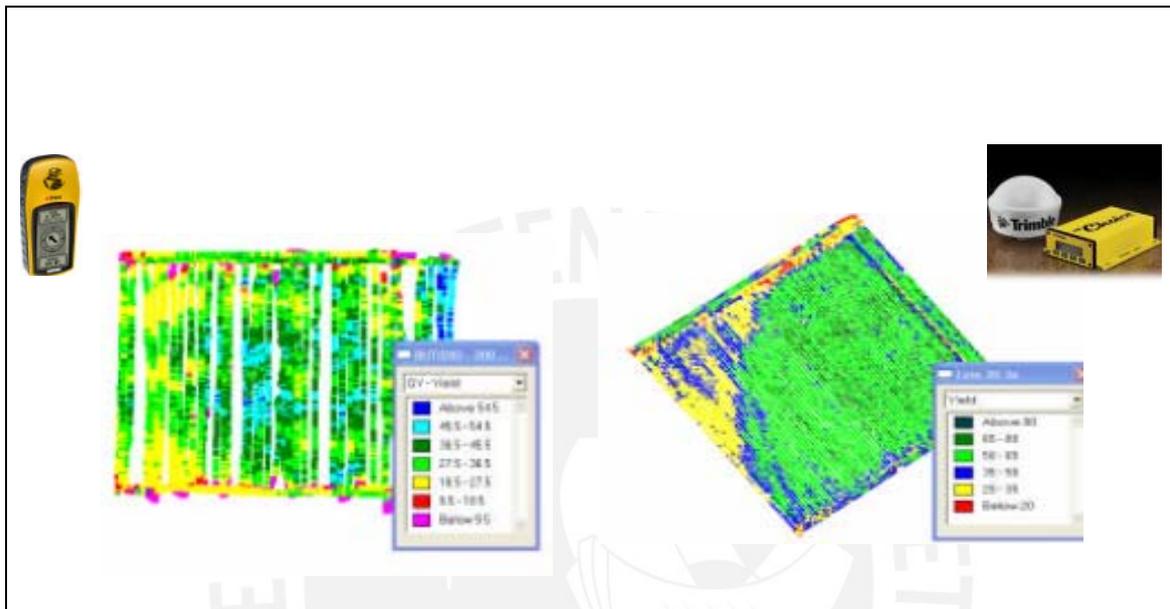
ofrecerla al alcance de sus agricultores. Un ejemplo de una empresa que desarrolló el equipamiento necesario es la firma Verión que en convenio con Agrometal creó un equipo de avanzada tecnología que puede variar de manera simultánea e independiente la densidad de siembra y la dosis de dos tipos de fertilizante (tanto en la línea como al costado) mediante un monitor con GPS que trabaja como navegador y actuador de tres motores hidráulicos permitiendo la triple variación de insumos (semilla, fertilizante en la línea y al costado).

Si bien es cierto, los receptores del GPS se han utilizado extensamente como sensores de posición en la agricultura de precisión, los datos de exactitud que divulgan los fabricantes sobre los GPS son en base a pruebas inmóviles [10], pero en la mayoría de los usos agronómicos, tales como plantaciones, labranza, cosechas, los receptores GPS se encuentran bajo condiciones dinámicas. Se realizaron estudios con ocho receptores comercialmente disponibles que fueron probados durante varios días, a diferentes velocidades de recorrido, debido a que no existen estándares dinámicos para la prueba de los receptores [11].

Para ello se usó el método de interpolación de Voronoi con el cual se generaban datos uniformemente espaciados para un análisis de Fourier, obteniéndose como resultado que el funcionamiento dinámico del receptor era extremadamente variable.

Existe un nuevo software para los equipos GPS [12] que soluciona el problema de la degradación de la exactitud y confiabilidad que sufre el receptor cuando se encuentra a distancias lejanas, esta solución entrega la capacidad de repetición, que una señal diferencial, basada en los satélites de corrección no puede alcanzar cuando la señal de la estación base se interrumpe y no alcanza el receptor del vehículo, el RTK extendido sostiene la exactitud del RTK por 15 minutos, teniendo tiempo para que la comunicación se retome, el problema se supera gracias a que continuamente tanto el

RTK y el StarFire se encuentran tomando datos; esto significa que obstrucciones temporales tales como árboles, colinas, estructura de la máquina no puedan causar un tiempo sin señal, como ocurre en otros sistemas de RTK. A continuación la figura 2.2 nos muestra los mapas de rendimiento descritos anteriormente.



Fuente [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

**Figura 2.2. Mapas de rendimiento usando GPS**

### 2.1.2.3 Banderillero Satelital (LightBar)

Esta tecnología es útil en aplicaciones terrestres o aéreas de agroquímicos [13]. El operario es guiado a través de un sistema de luces, que facilitan mantenerse al medio de cada pasada e indican desvíos de la recta de trabajo y los puntos de cabecera que debe entrar. Estas señales permiten disminuir considerablemente el daño por un mal control ocasionado por el solapamiento o áreas sin aplicar, sumado al efecto de fototoxicidad por sobre dosis.

En la Argentina se utilizó el banderillero satelital DGPS como guía de pulverizadoras, fertilizadoras y sembradoras [14], el sistema incluía un receptor DGPS, su respectiva

antena, una barra guía de luces y opcionalmente un control remoto con las funciones principales.

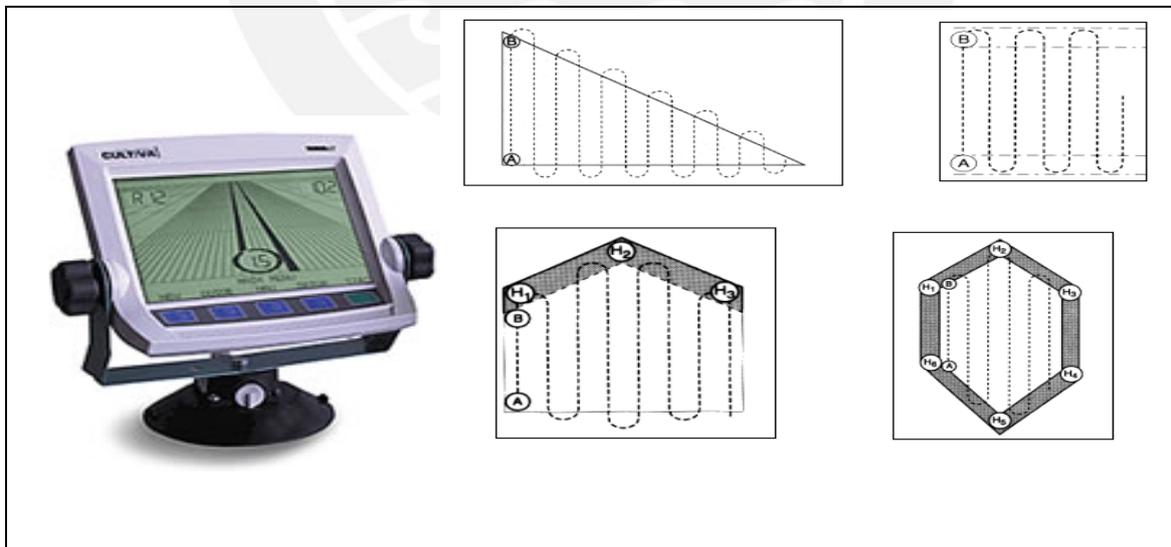
Cuando se comienza a pulverizar un lote, con ese sistema, se ubica la pulverizadora en un punto de comienzo, preferentemente contra un alambrado o camino, y se ingresa a este como punto A en el receptor. Luego se va hasta el final del lote, haciendo la primera pasada paralela al alambrado, se ingresa el punto B. Hecho esto, previo ingreso del ancho de trabajo, la computadora traza infinitas líneas paralelas a la original A-B, con una separación igual al ancho de trabajo de la maquinaria utilizada, dato que será ingresado al equipo por el operador. Al girar el equipo hacia la otra pasada el display indica la distancia que falta y con la barra de luces indica la dirección para encontrar la próxima pasada. Una vez encontrada la línea correspondiente se prenden las tres luces centrales de la barra guía, que son verdes, e indican que la pulverizadora va sobre la línea correcta. Si se desvía hacia cualquiera de los lados se prenden las luces rojas hacia el lado correspondiente, cada luz indica una distancia determinada de desvío que se debe programar con anticipación, por ejemplo cada luz puede indicar un desvío de 1m, 0,5m o 0,1m, o la que le parezca conveniente al usuario, lo más común para maquinaria autopropulsada es de 0,3m.

Recientemente, estos banderilleros han recibido una actualización en su programa, permitiendo trabajar en un modo que el equipo puede grabar exactamente el recorrido inicial y luego hacer líneas imaginarias paralelas a una distancia igual al ancho de la máquina. Esto posibilita trabajar en círculos siguiendo curvas de nivel paralelas, teniendo una buena utilidad para aplicaciones en círculos de riego.

La empresa Trimble ha desarrollado un avance muy importante en el control automático de dirección, con precisión repetible de una pasada a otra a menos de 2.5 cm. El equipo AgGPS EZ – Guide Plus lightbar, presenta la función de piloto automático. [15]

La empresa chilena neoAg, representante de la empresa Trimble en ese país, nos describe características de este equipo [16]. Para poner el piloto automático en funcionamiento, simplemente se presiona un botón y luego quitar las manos del volante. Uno podrá concentrarse en la labor que está haciendo, en lugar de conducir. El piloto automático conduce el tractor de modo más seguro y recto, con menos tensión para el operador. Para reanudar el control manual en cualquier momento, se gira el volante; el sistema desengancha el piloto automático con seguridad. A diferencia de otros sistemas de dirección automatizada, los sistemas piloto automático de Trimble funcionan en pendientes o laderas así como también en terrenos nivelados. En terrenos inclinados, el controlador de navegación corrige la inclinación lateral y frontal del vehículo para colocarlo en el lugar donde quiere estar, incluso al cultivar.

A continuación en la siguiente figura 2.3 se muestra un equipo de control automático de dirección que permite programar la ruta de trabajo en el campo.



Fuente <http://www.agrolavalle.com.uy>

**Figura 2.3. Equipo automático y rutas del banderillero satelital**

#### 2.1.2.4 Percepción remota

Una de las investigaciones que se realizó usando la percepción remota ha sido determinar la concentración orgánica del carbono en la superficie del suelo [17], se sabe que ella se utiliza como fertilizantes en campos agrícolas, lo que recae en la producción vegetal. El carbono es a menudo muy variable espacialmente, el objetivo de esa investigación fue demostrar la viabilidad de obtener un mapa de carbón orgánico del suelo. Se realizaron pruebas en tres campos, usando imágenes detectadas remotamente de los campos en superficies descubiertas como se observa en la figura 2.4. En las imágenes detectadas se obtuvo una relación satisfactoria entre el contenido del carbono y los valores orgánicos de la reflexión de la imagen. Las ecuaciones de la regresión fueron diferentes entre los campos, pero dieron relaciones altamente significativas con valores de 0.93, 0.95, y 0.89 respectivamente. Luego de ello la superficie del suelo fue sometida a dos tipos de métodos para medir el contenido de carbono. La comparación de las veintiún muestras tomadas en uno de los campos frente a los resultados de ambos métodos fue altamente satisfactoria.

Un estudio adicional podría indicar si la ecuación que relacionaba carbono orgánico con los valores de la intensidad de la imagen en un campo, se podría aplicar con éxito a los campos próximos para describir la variabilidad espacial del carbono orgánico. Esto debe ser posible si los campos son bastante similares, la investigación adicional es necesaria para evaluar la semejanza de campos y probar esa posibilidad. Si se puede lograr con una buena exactitud, el método se podría ampliar a los campos múltiples del mapa con una sola imagen remotamente detectada y un sólo sistema de muestras del suelo. El costo de recolección y de análisis de información se vería muy reducido. Actualmente se vienen realizando estudios para el nitrógeno orgánico. [18]



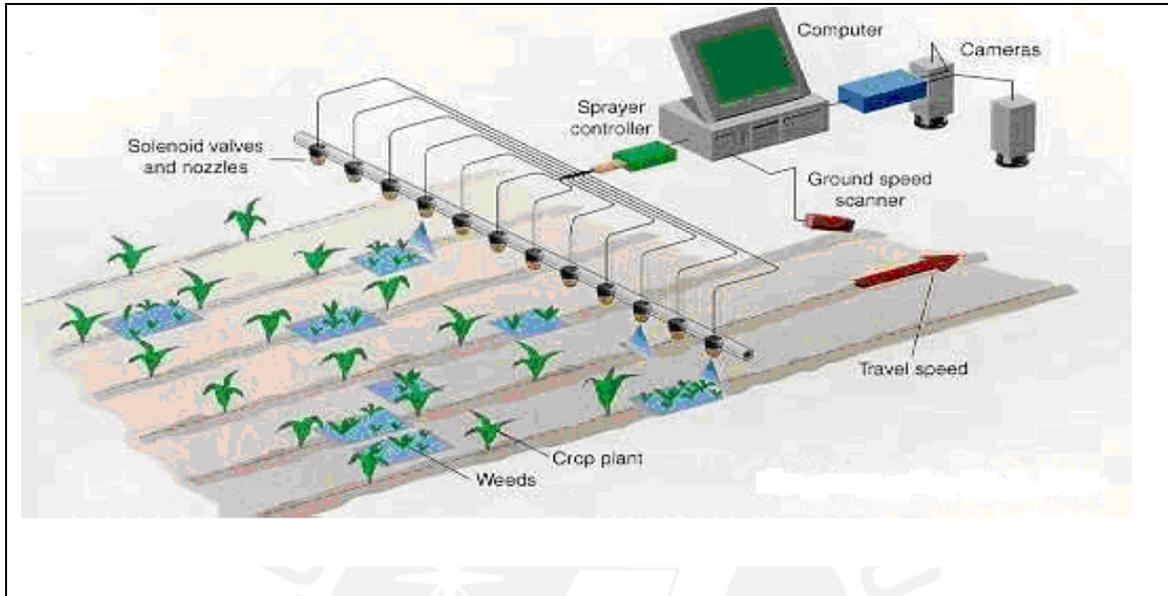
Fuente <http://age-web.age.uiuc.edu>

**Figura 2.4. Imágenes satelital usando percepción remota**

#### 2.1.2.5 Dosis variable de fertilizantes y densidad de siembra variable

En este campo se ha desarrollado un sensor de precisión para la aplicación de herbicidas, este sensor se utiliza en las maquinarias que se encargan de brindar la dosis de herbicida, conocido como rociador de fertilizante inteligente. Tian Lei [19] menciona que objetivos a largo plazo de ese proyecto son desarrollar nuevas tecnologías para estimar densidad y tamaño de la mala hierba en tiempo real, realizando un control de posición específica de la mala hierba y reducir con eficacia la cantidad de herbicida aplicada a los campos de la cosecha. Esta investigación integró una visión en tiempo real de la máquina y el inyector individual de herbicida para crear un sistema de detección y de rociadura inteligente. El sistema de la visión de la máquina fue diseñado especialmente para trabajar bajo condiciones variables, al aire libre. Los sensores múltiples de la visión fueron utilizados para cubrir el área en estudio. Para aumentar la exactitud de la entrega, cada inyector de aerosol individual fue controlado por separado. El sistema integrado fue probado para evaluar la eficacia y el funcionamiento frente a las variaciones del campo. Usando un DGPS, los mapas químicos geo-referenciados (equivalentes a los mapas de la mala hierba) también

fueron registrados en tiempo real. A continuación la figura 2.5 nos muestra el sistema completo utilizado en una maquina rociadora.



Fuente <http://age-web.age.uiuc.edu>

**Figura 2.5. Componentes usados en dosis variable de fertilizante**

#### 2.1.2.6 Red de sensores inalámbrica

Una de las tecnologías que cambiarán el mundo según MIT Technology Review [20] son las redes de sensores inalámbricas, que consisten en nano aparatos autónomos, que combinan sensores, controladores, baterías, transceivers y antenas. [21]

La diferencia entre los sensores que todos conocemos y la nueva generación de redes de sensores inalámbricos es que estos últimos son inteligentes (es decir, son capaces de poner en marcha una acción según la información que vayan acumulando) y no son limitados por un cable.

Las redes de sensores pueden utilizar distintas tecnologías de inalámbricas, incluyendo IEEE 802.11, LANS inalámbricas, Bluetooth y identificación de la frecuencia de radio. Actualmente se trabaja con radios de baja frecuencia con un alcance de hasta cien metros y velocidades de hasta 300 Kb/segundo.

Aunque la tecnología relacionada con las redes de sensores inalámbrica está todavía en su primera fase, equipos de investigación en la Universidad de California Berkeley ya han fabricado una caja que se puede adaptar a muchos tipos de sensores. Los científicos utilizan los sensores inalámbricos para encontrar y controlar microclimas y plagas en plantaciones de uva, para estudiar los hábitos de aves y para controlar sistemas de ventilación y calefacción. En la Universidad de California, investigadores utilizan las redes de sensores inalámbricas para recibir información detallada sobre el efecto de los movimientos sísmicos en los edificios.

En la montaña de Sonoma de California, el viñedo de Pickberry [22] produce vino Cabernet Sauvignon y el vino Merlot de una muy buena calidad. Desde principios de 2004, treinta sensores sobre el tamaño de las latas no alcohólicas han supervisado la humedad del suelo, la temperatura y otras variables en el viñedo Pickberry. Los sensores sin hilos de Pickberry requieren tan poca energía que pueden funcionar con baterías, y en vez de hablar con una estación base, envían la información de sensor a sensor, luego a una computadora portátil en el campo y en última instancia, vía una red de datos inalámbrica a un servidor. En la computadora se pueden comprobar los datos del sensor del viñedo, observar la variación de la temperatura y humedad del suelo [23]. Esta tecnología permite que se consiga un cuadro digital más rico del mundo físico teniendo una mejor comprensión de lo que esta sucediendo.

Las redes de sensores inalámbricas permiten monitorizar entornos hostiles como el proyecto de la NASA en la Antártida o en Marte [24]. Un proyecto de monitorización

en entornos hostiles, es el GLACSWEB [25] que monitoriza el comportamiento de las capas de hielo y glaciares. A continuación en la figura 2.6 se muestra una toma aérea del Viñedo Pickberry donde se observan puntos verdes, los cuales denotan a los nodos remotos inalámbricos distribuidos en el campo.



**Figura 2.6. Distribución de los nodos remotos en el Viñedo Pickberry**

#### **2.1.2.7 Síntesis de las herramientas tecnológicas**

Los sistemas de información geográfica, funcionan como una base de datos con información geográfica, generan complejas vistas sobre los campos y gracias a ello es posible tomar decisiones agro-tecnológicas frente a la variabilidad de la zona agrícola.

El control automático de una maquinaria es una realidad en experimentación gracias al desarrollo de los sistemas de posicionamiento global al igual que los dispositivos de control.

La dosis variable de fertilizantes se hace con efectividad debido al desarrollo de sensores de precisión, generando un ahorro económico para el productor.

Los sistemas de posicionamiento global en muchos casos es la base para implementar una solución tecnológica en la agricultura de precisión como por ejemplo los monitores de rendimiento y el muestro dirigido de los suelos. Estos sistemas presentas ciertas deficiencias pero se van corrigiendo con el desarrollo tecnológico.

La percepción remota vía aérea o vía satelital, nos proporcionan imágenes que sirven para los estudios de concentración de componentes químicos, como por ejemplo el carbono.

La tendencia a la geo-información inalámbrica móvil, ha desarrollado que computadoras personales de bolsillo, cuenten con mayor desarrollo tecnológico, como la integración de GPS y GIS en ellos.

Las redes de sensores inalámbricas requieren tecnologías de tres áreas de investigación diferentes: detección, comunicación y computación. Estas redes son usadas para monitorear parámetros de un proceso como lo son la temperatura en el ambiente, humedad relativa, presión barométrica, radiación solar, humedad y temperatura entre otros.

#### **2.1.2.8 Elección de la herramienta tecnológica**

A continuación la tabla 1.1 muestra las ventajas y desventajas de las herramientas tecnológicas antes mencionadas.

	Ventaja	Desventaja
Sistemas de información geográfica	Generan complejas vistas sobre la variabilidad de los terrenos de área extensa	Software costoso
Sistemas de posicionamiento global	Permiten conocer el posicionamiento de maquinarias pesadas en tiempo real	Funcionamiento dinámico del receptor, extremadamente variable por ello existe una degradación en la exactitud y confiabilidad
Percepción remota	Permite conocer la concentración orgánica de carbono en la superficie del suelo, trabaja en base a un posicionamiento de imágenes	Se encuentra investigación para otras concentraciones orgánicas como el nitrógeno
Dosis variable de fertilizante	El uso de una computadora, cámaras y sensores de precisión contribuyen a que la dosis de herbicida sobre las plantas sea la correcta	Tecnología de un precio elevado
Banderillero satelital	Control automático de dirección de maquinaria, con ello se pueden programar rutas sobre el terreno	Tecnología de un precio elevado
Redes de sensores inalámbrica	Nanoaparatos inteligentes que combinan sensores, controladores, baterías entre otros para poder controlar microclimas, plagas en plantaciones etc. Consumen energía de manera inteligente, funcionamiento remoto. Costos de mantenimiento reducidos.	Si un nodo remoto falla para brindar una mejor seguridad en la información los otros nodos reestructuran sus rutas y consumen mas energía

**Tabla 1.1 Cuadro de ventajas y desventajas de las herramientas tecnológicas**

De las tecnologías antes expuestas se concluye que las redes de sensores inalámbricas presentan una solución a la problemática planteada ya que permiten poder controlar microclimas y medir la humedad en el suelo, los cuales contribuyen a un mejor tratamiento de los cultivos de frutas. A diferencia de los sistemas de información geográfica que es una tecnología que se utiliza sobre terrenos de varias hectáreas o de los sistemas de posicionamiento global, dosis variable de fertilizante y

banderillero satelital que se utilizan sobre maquinarias pesadas y sobre terrenos de área extensa, actualmente la ONG no cuenta con ese tipo de maquinarias y las áreas de cada cultivo son pequeñas.

## 2.2 Conceptualizaciones generales

### 2.2.1 Red de datos

Una red de datos es un conjunto de computadores, equipos de comunicaciones y otros dispositivos que se pueden comunicar entre sí, a través de un medio en particular, teniendo como uno de sus objetivos principales que la información sea entregada de manera confiable y sin daños. [34]

#### 2.2.1.1 Clasificación

##### Según su extensión geográfica

**Redes LAN :** Las redes de área local (Local Area Network) son redes de ordenadores cuya extensión es del orden de entre 10 metros a 1 kilómetro. Permiten a las empresas aplicar tecnología informática para compartir localmente archivos e impresoras de manera eficiente, y posibilitar las comunicaciones internas. Algunas tecnologías comunes de las redes de área local son: Ethernet, Token Ring, FDDI. [34]

**Redes MAN :** Las redes de área metropolitana (Metropolitan Area Network) son redes de ordenadores de tamaño superior a una LAN. Una MAN generalmente consta de una o más LAN dentro de un área geográfica común. Por ejemplo, un banco con varias sucursales puede utilizar una MAN. Normalmente, se utiliza un proveedor de servicios para conectar dos o más sitios. [34]

**Redes WAN :** Las redes de área amplia (Wide Area Network) tienen un tamaño superior a una MAN, y consisten en una colección de host o de redes LAN conectadas por una subred. Esta subred está formada por una serie de líneas de transmisión interconectadas por medio de routers, aparatos de red encargados de rutear o dirigir los paquetes hacia la LAN o host adecuado, enviándose éstos de un router a otro. [34]

### Según su topología

**Anillo:** Topología de red en la que las estaciones se conectan formando un anillo. Cada estación está conectada a la siguiente y la última está conectada a la primera. Cada estación tiene un receptor y un transmisor que hace la función de repetidor, pasando la señal a la siguiente estación del anillo. En este tipo de red la comunicación se da por el paso de un token o testigo, que se puede conceptualizar como un cartero que pasa recogiendo y entregando paquetes de información, de esta manera se evita pérdida de información debido a colisiones. [35]

**Estrella :** Topología de red en la cual las estaciones están conectadas directamente al servidor u ordenador central y todas las comunicaciones se han de hacer necesariamente a través de él. Todas las estaciones están conectadas por separado a un centro de comunicaciones, concentrador o nodo central, pero no están conectadas entre sí. Como ejemplos de topología estrella tenemos 10BASE-T Ethernet y Fast Ethernet. [35]

**Malla :** Es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más de los otros nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos. La topología de malla se implementa para proporcionar la mayor protección posible para evitar una interrupción del servicio. El uso de una topología de

ma en los sistemas de control en red de una planta nuclear sería un ejemplo excelente. [35]

**Bus** : Una topología de bus consiste en que los nodos se unen en serie con cada nodo conectado a un cable largo o bus, formando un único segmento. A diferencia del anillo, el bus es pasivo, no se produce regeneración de las señales en cada nodo. Una rotura en cualquier parte del cable causará, normalmente, que el segmento entero pase a ser inoperable hasta que la rotura sea reparada. Como ejemplos de topología de bus tenemos 10BASE-2 y 10BASE-5. [35]

## 2.2.2 Redes inalámbricas

### 2.2.2.1 Clasificación

**Redes Infrarrojas** : Las ondas infrarrojas se usan para comunicaciones de corto alcance no atraviesan los objetos sólidos lo cual ofrece una ventaja de no interferencia. Las redes de luz infrarroja están limitadas por el espacio y casi generalmente la utilizan redes en las que las estaciones se encuentran en un solo cuarto o piso, algunas compañías que tienen sus oficinas en varios edificios realizan la comunicación colocando los receptores/emisores en las ventanas de los edificios. [36]

**Red por microondas** : Es un tipo de red inalámbrica que utiliza microondas como medio de transmisión. El más normal es el 802.11b y transmite a 2.4 Ghz alcanzando velocidades de 11 Megabits por segundo. La otra red es en el rango de 5,4 a 5,7 Ghz para el 802.11a. [36]

**Red por radio** : Es aquella que emplea la radiocomunicación como medio de unión de las diversas estaciones de la red. Es un tipo de red muy actual, usada en distintas

empresas dedicadas al soporte de redes en situaciones difíciles para el establecimiento de cableado, como es el caso de edificios antiguos no pensados para la ubicación de los diversos equipos componentes de una red de computadoras. [36]

### 2.2.2.2 Tipos de Topología

**Topología estrella :** En esta configuración cada sensor se encuentra en directa comunicación con su base (sistema de un solo salto) o estación monitora llamada Gateway. Entre las ventajas de esta topología se encuentra el bajo consumo de energía de cada sensor sin embargo se ve limitada por el radio de cobertura que es tan solo de entre 30 a 100 metros de distancia del gateway, ideal para instalaciones en las que el consumo de energía es esencial y se encuentran limitadas por el espacio. A continuación en la figura 2.7 se muestra la topología estrella.

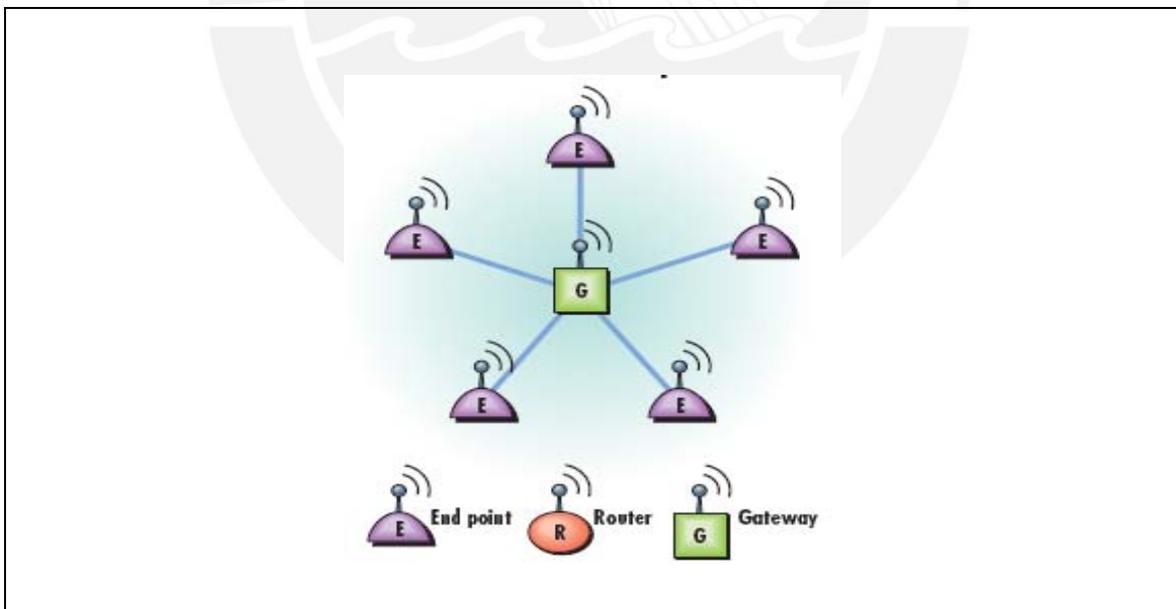


Figura 2.7. Topología Estrella con la descripción de sus elementos

**Topología malla** : Esta configuración es un sistema multi-saltos (multi-hopping). En esta configuración los sensores “hacen saltar” la data de un sensor a otro en busca del gateway incluso logrando auto-configurarse para encontrar el mejor camino aún cuando un nodo o router (que en este caso sería un sensor a la vez) se encuentre defectuoso. Entre las ventajas de esta configuración se encuentra que es altamente inmune a errores, además que la técnica multi-saltos le da un mucho mayor rango de cobertura pero en contraparte consume más energía en comparación con la topología estrella y su latencia es elevada. A continuación en la figura 2.8 se muestra la topología malla.

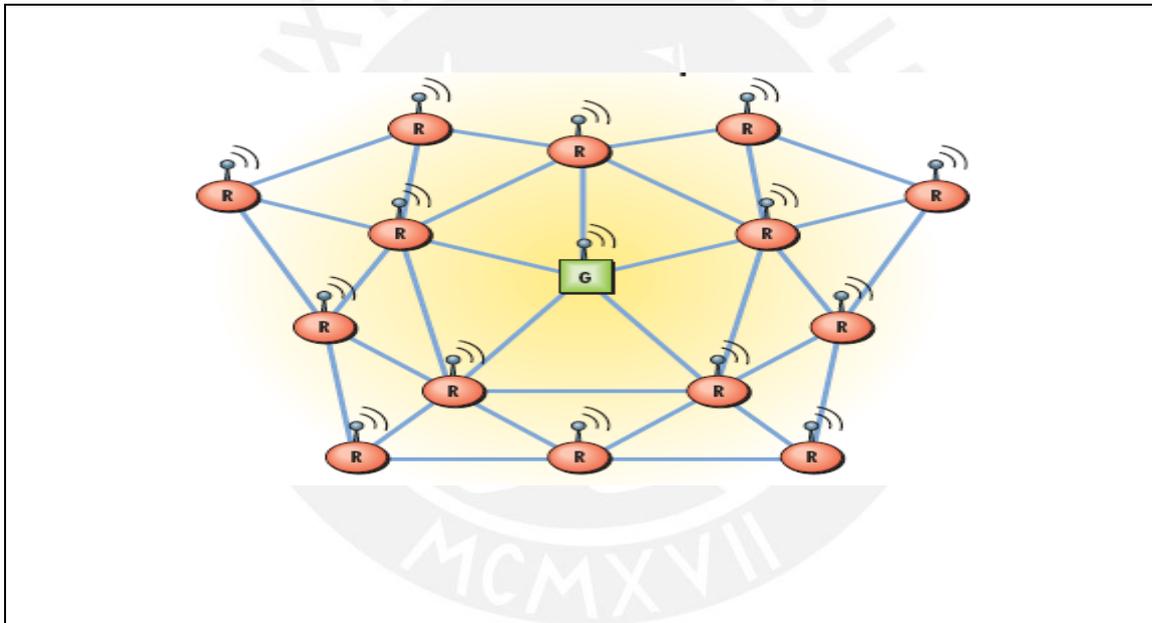


Figura 2.8. Topología Malla

**Topología estrella – malla :** Es un híbrido de los 2 casos anteriores, combina el bajo consumo y simplicidad de la configuración estrella con el amplio rango de cobertura e inmunidad a errores de la configuración malla. . A continuación en la figura 2.9 se muestra la topología estrella.

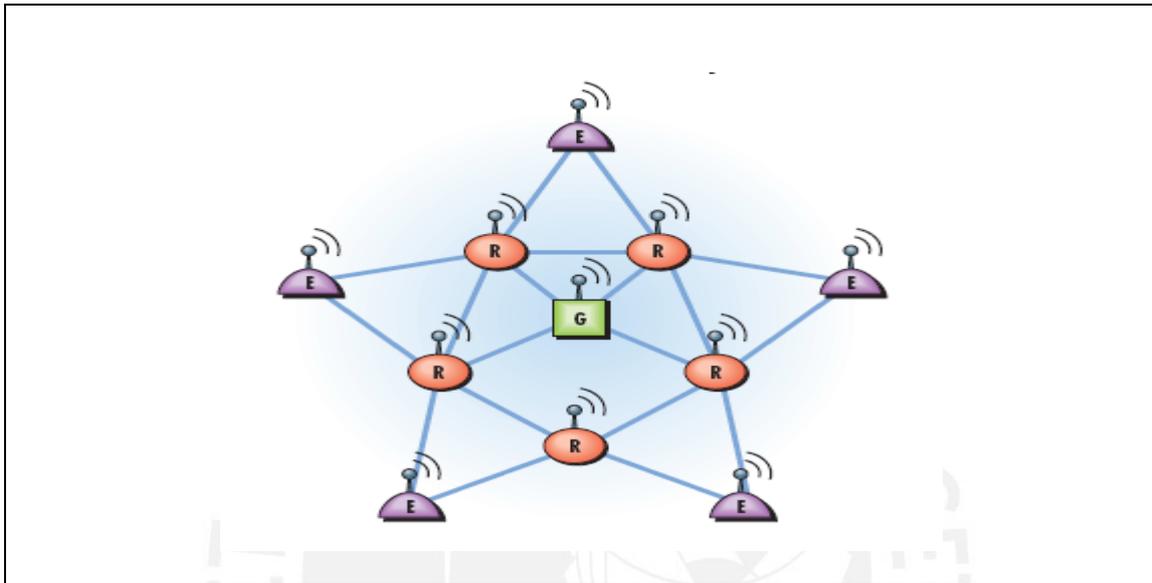


Figura 2.9. Topología Estrella-Malla

2.2.2.3 Tecnologías inalámbricas

TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS		Estándar	Uso	Capacidad de Proceso	Alcance	Frecuencia
	Bluetooth	802.15.1	WPAN	Hasta 720 Kpbs	Hasta 10 metros	2,4 GHz
	Zigbee	802.15.4	WSN	Hasta 250 Kbps	Hasta 70 metros	2,4 GHz
	Wi-Fi	802.11a	WLAN	Hasta 54 Mbps	Hasta 100 metros	5 GHz
	Wi-Fi	802.11b	WLAN	Hasta 11 Mbps	Hasta 100 metros	2,4 GHz
	Wi-Fi	802.11g	WLAN	Hasta 54 Mbps	Hasta 100 metros	2,4 GHz
	WiMAX	802.16d	WMAN fija	Hasta 75 Mbps (20 MHz AB)	Aprox. de 6 a 10 Km.	Sub 11 GHz
	WiMAX	802.16e	WMAN portátil	Hasta 30 Mbps (10 MHz AB)	Aprox. de 1,5 a 5 Km.	De 2 a 6 GHz
	Edge	2.5G	WWAN	Hasta 384 Kbps	Aprox. de 1,5 a 8 Km	1900 MHz
	CDMA2000/1 x EV-DO	3G	WWAN	Hasta 2,4 Mbps (aprox. de 300 a 600 Kbps)	Aprox. de 1,5 a 8 Km.	400, 800, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz
WCDMA/UMTS	3G	WWAN	Hasta 2 Mbps(hasta 10 Mbps con tecnología HSDPA)	Aprox. de 1,5 a 8 Km.	1800, 1900, 2100 MHz	

Tabla 2.1. Tecnologías inalámbricas

### 2.3 Modelo teórico de la solución tecnológica

En la actualidad la tecnología ha alcanzado un nivel que le permite al productor medir, analizar y manejar la variabilidad dentro de los lotes, que era conocida pero que no se podía manejar. La posibilidad de manejar variaciones en la productividad dentro del lote y maximizar los rendimientos han sido siempre los deseos de los productores. El reciente desarrollo de microprocesadores y otras tecnologías electrónicas son nuevas herramientas disponibles para ayudar a los productores a alcanzar su meta.

Teniendo en cuenta lo anterior, el desarrollo de las nuevas tecnologías no puede ser ajeno a la agricultura en nuestro país, sin olvidar que el uso tecnologías también contribuye al desarrollo rural de la nación.

Una red inalámbrica aplicada sobre una zona agrícola permitirá transmitir datos como la temperatura ambiental, luz ambiental, temperatura y humedad del suelo, proveniente de una red de sensores, que se comunicarán con una tarjeta de radio, la cual transmitirá inalámbricamente la información, el medio elegido es el inalámbrico por su simplicidad de instalación, su bajo costo de mantenimiento a diferencia de una red cableada y su escalabilidad, que permitirá desarrollar el diseño en otras zonas agrícolas.

Se espera obtener que los productores puedan contar poco a poco con mayor capacidad para controlar más aspectos referidos a su producción agrícola, en este caso la dosificación correcta de agua en sus cultivos, ya que desde su centro de trabajo por medio de una computadora podrán supervisar sus parcelas de cultivo contribuyendo a una mejor toma de decisiones.

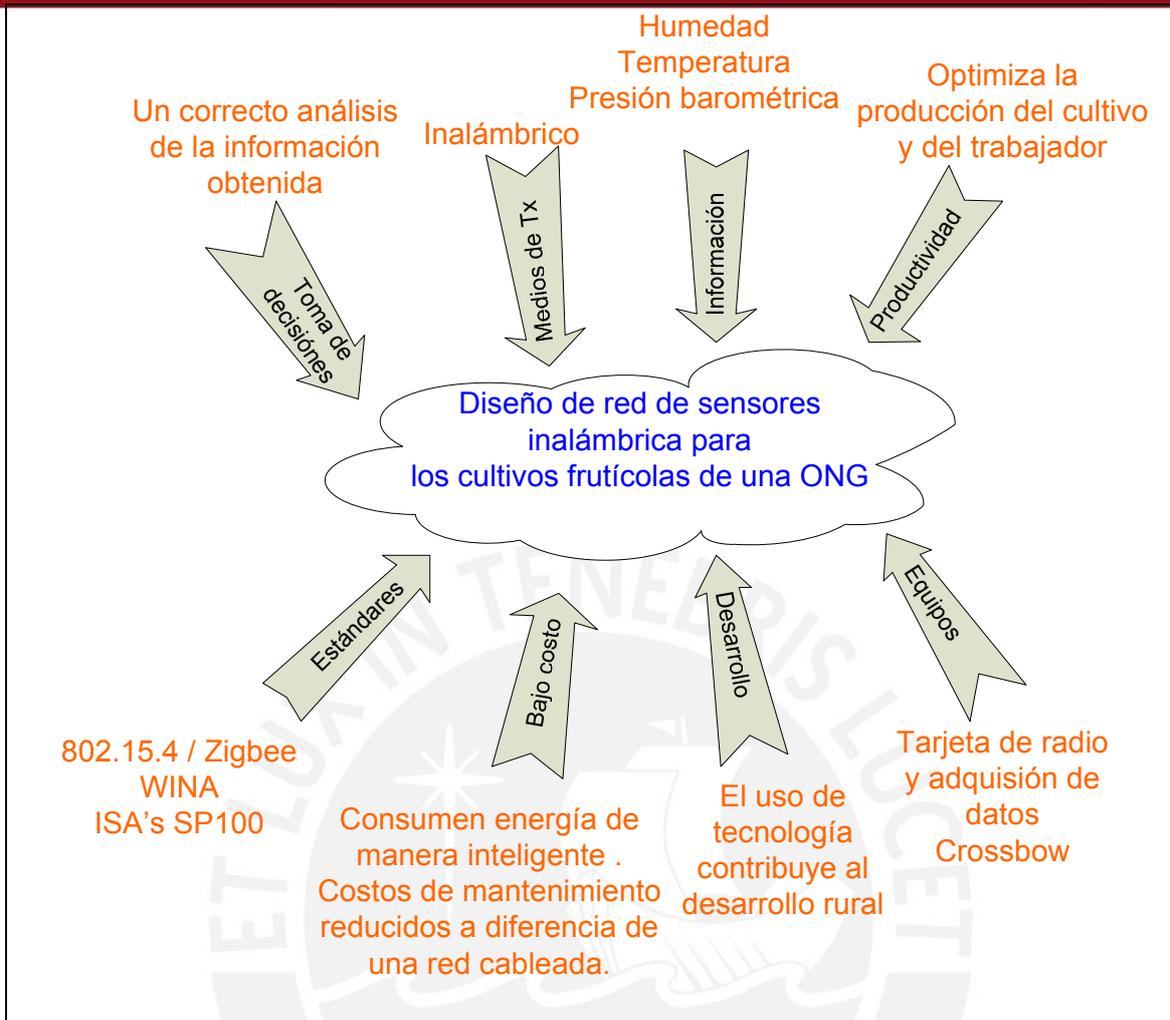


Figura 2.10. Representación Gráfica del Modelo Teórico

## Conclusión

La agricultura está pasando rápidamente de ser una actividad tradicionalmente artesanal, de trabajo extensivo, a transformarse en un sector sofisticado de la economía mundial donde la tecnología y la información juegan un papel esencial y donde el acceso a la información y las modernas tecnologías de comunicaciones se han convertido en una necesidad para los agricultores de todo el mundo, en especial para los de los países en desarrollo.

La agricultura en varios países ya cuenta con sistemas de producción más eficaces y sostenibles, que perfeccionan el uso de la tierra, del agua y de otros recursos naturales. La producción sostenible de alimentos dependerá cada vez más de la gestión de la información agraria y de las tecnologías de la comunicación.

Una red inalámbrica de sensores se presenta como una buena alternativa para mejorar el sistema de información con el que cuenta la ONG.

### **CAPÍTULO 3**

## **DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICA PARA UN ÁREA DE CULTIVO FRUTÍCOLA**

El presente capítulo se desarrolla el procedimiento para obtener el diseño de la red de sensores que se comunica inalámbricamente con la unidad de procesamiento central. El proceso de diseño involucra la selección de los sistemas de adquisición de las variables de interés, los sistemas que permiten la digitalización, su envío, su procesamiento y almacenamiento. El proceso de diseño también implica la generación de un diagrama de la red con la selección de equipos además de un diagrama de flujo que permitan que el usuario pueda interpretar los datos recogidos y tomar decisiones útiles para lograr su objetivo final, producir más y mejor, a un costo menor.

La descripción del diseño está centrada en las principales características que debe tener la red de sensores inalámbrica, la descripción del sistema y el entorno de trabajo para el diseño de la red de sensores inalámbrica.

### **3.1 Técnicas para la recolección de la información**

Se conversó con personal administrativo de la ONG en Lima, con el objetivo de conocer sus procedimientos en el área de cultivo y las necesidades que presentan como medir la *capacidad de campo*, el *punto de marchitez*, el acceso a la Internet, entre otras.

Se realizaron visitas a la ONG, se apreció la diversidad de sus cultivos y su laboratorio de experimentación, en base al método de observación directa se recolectó información para realizar el diseño de la red de sensores.

### 3.2 Características del diseño de la red de sensores inalámbrica

Los sistemas de control y monitoreo son cada vez mas sofisticados de acuerdo a la demanda del usuario final, por ello se busca que el diseño de la red de sensores sea una solución factible para cubrir las expectativas. Con este diseño se podrá recolectar información de los parámetros climáticos gracias a unos nodos capaces de sensar, procesar y comunicar de manera inalámbrica a una estación central.

Si se desea realizar el diseño de una red de sensores inalámbrica con los fines descritos anteriormente, debe realizarse de tal modo que pueda cumplirse con los siguientes requerimientos:

1. Que pueda medir al menos las variables de temperatura, humedad.
2. Que tenga una cobertura de  $70\text{m}^2$  alrededor de una parcela de  $900\text{m}^2$ .
3. Que el sistema de adquisición sea de fácil instalación, fácil manejo y uso, bajo costo, de reducido tamaño y que en lo posible autónomo.
4. Que los datos estén disponibles en todo instante para ser almacenados y procesados en forma centralizada.
5. Que los datos obtenidos sean significativos y fácilmente interpretados por el usuario.
6. Que los datos recolectados sean confiables.
7. Que sea de fácil instalación y mantenimiento.

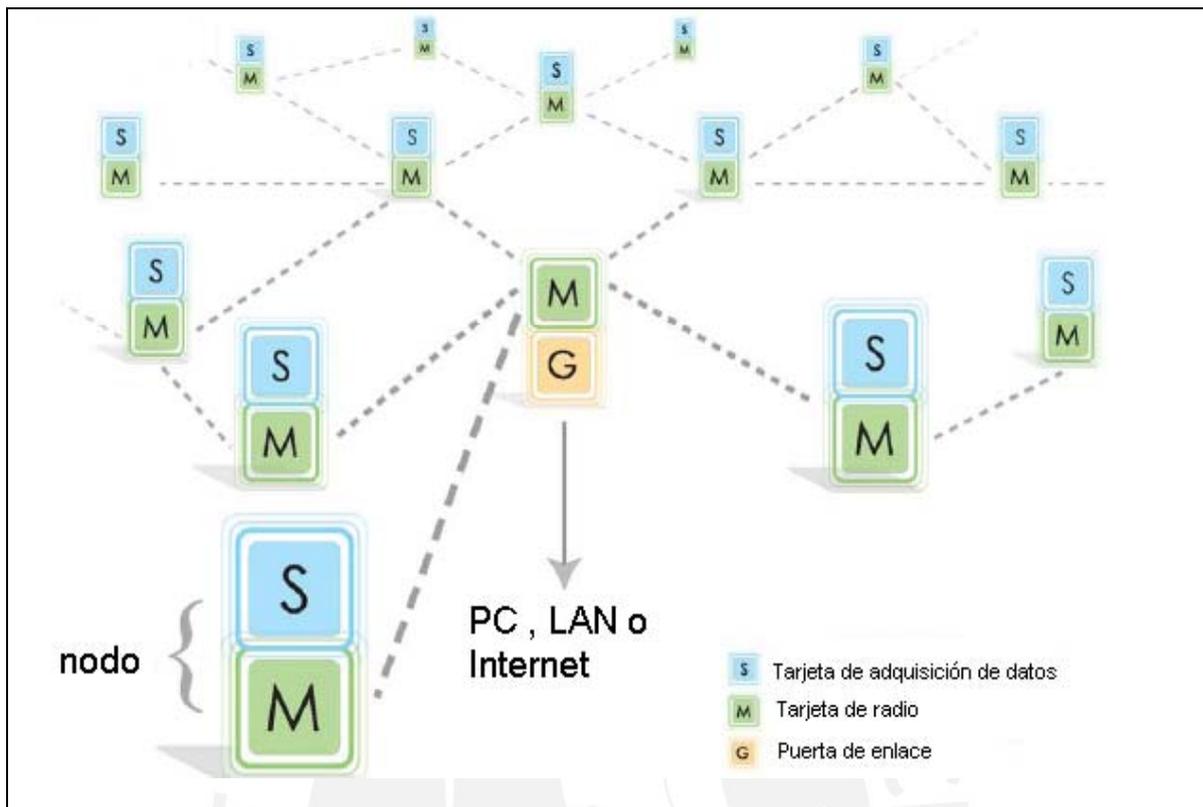
### 3.3 Descripción del sistema

Tomando en cuenta las consideraciones de diseño anteriores, resultaron en un sistema que puede ser representado en la figura 3.1, se observa que el sistema consta de un nodo central y varios nodos remotos. El nodo central se presenta como una puerta de enlace entre la red de sensores y la estación base que puede ser una PC, una red LAN o la Internet. Este nodo central tiene por objetivo recoger información proveniente de cada una de los nodos remotos y procesarlas para que pueda ser leída y almacenada. El nodo remoto que recolecta las variables provenientes del área de cultivo, posteriormente envía estos datos al nodo central, ya sea en forma autónoma o bajo requerimientos de una instrucción específica del programa que ejecuta el computador.

Los nodos remotos y la estación base se comunican entre si modulando una portadora de 2.4 GHz con la técnica de modulación O-QPSK, los datos se transmiten a una tasa de hasta 250 Kbps. La confiabilidad de los datos transmitidos se verifica mediante un CRC 16.

El nodo remoto consta de una unidad de adquisición de datos con sus sensores y una unidad de procesamiento y envío de datos. Su función es adquirir las variables y enviarlas a la estación base.

La estación base es una interfaz entre el puerto USB de la computadora y el radio enlace y tiene como función recibir la información proveniente del nodo remoto correspondiente.

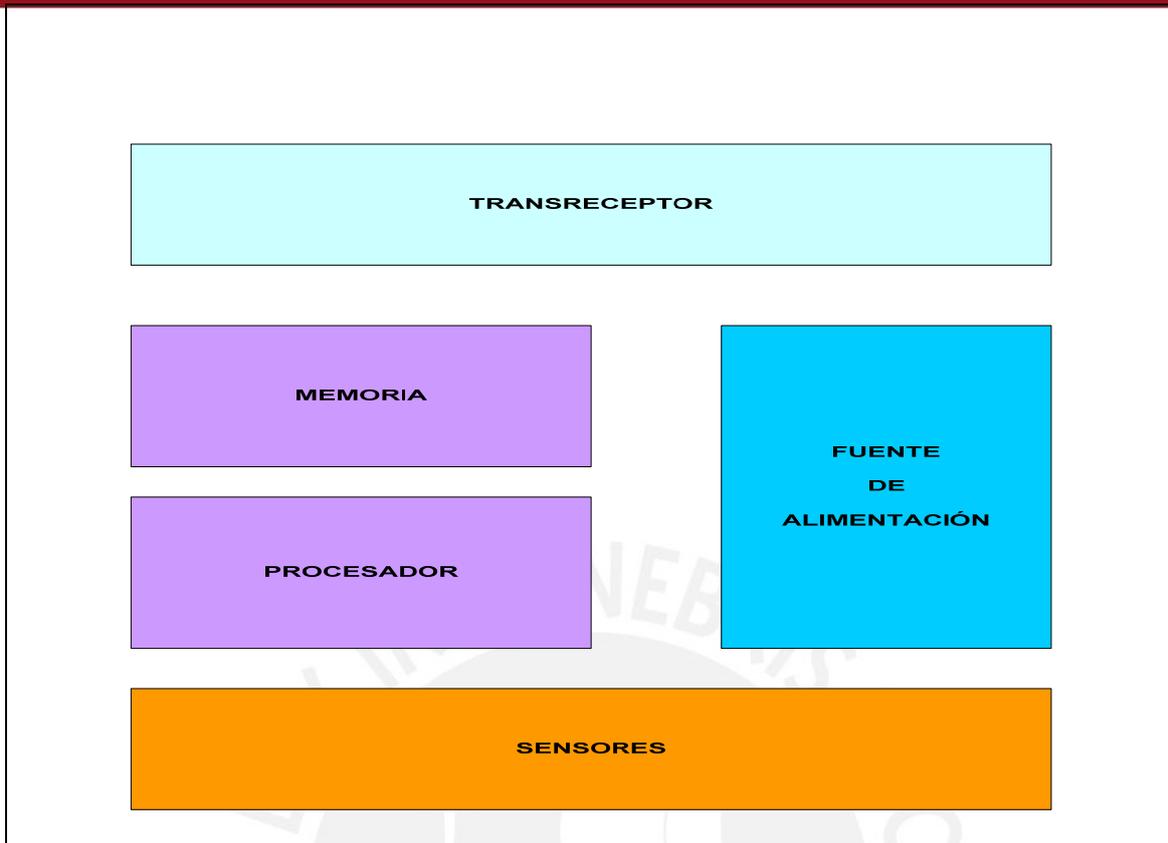


Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

Figura 3.1. Esquema general del sistema de la red de sensores

### 3.3.1 Arquitectura de un nodo remoto inalámbrico

Un nodo inalámbrico está básicamente compuesto de una fuente de alimentación, un procesador, una memoria, un transceptor y sensores. Los intervalos de tiempo entre mediciones pueden ser configurables en el nodo inalámbrico desde la estación base. A continuación se presenta la figura 3.2 que refleja el diagrama de bloques del nodo inalámbrico.



**Figura 3.2. Diagrama de bloques de un nodo inalámbrico**

**Fuente de Alimentación** : La fuente de alimentación usada con frecuencia en las redes de sensores inalámbrica es la batería. El tipo de batería a escoger es importante porque permitirá un mejor desempeño de energía en el nodo inalámbrico, las tarjetas electrónicas de Crossbow usan como fuente de alimentación las pilas AA.

**Procesador y memoria** : El procesador es el centro del sistema, responsable no solamente del procesamiento propiamente dicho de la información, crear la trama de datos para enviarla inalámbricamente, sino también, se encarga del control de los demás bloques del sistema con el objeto de que operen en forma coordinada. El desarrollo de un nodo de baja potencia representa un reto. En el caso de los procesadores, se refiere que consuma poca energía por reloj.

Un componente que consume poca energía por instrucción es denominado eficiente energéticamente, por ejemplo el procesador ATmega128L@4MHz que consume 16.5mW con una eficiencia de 242MIPS/W. El procesador ARMTumb@4MHz consume 75mW y presenta una eficiencia de 480MIPS/W.

Existen módulos ( con procesador o micro controlador ) que pueden ser integrados al nodo sensor. Por ejemplo el AT90LS8535 (4MHz, 35 pines, consume 19.2mJ/s en modo activo, 5.7mJ/s en modo idle, 8 bits y 512B de RAM), y el Intel StrongARM1100 (133MHz, 32 bits, 150 MIPS/W, 16KB instrucciones caché, 8KB datos caché, 128KB de SRAM y 1 MB de memoria flash ). La memoria permite al nodo almacenar la información proveniente de los sensores.

**Transreceptor** : Se encarga de conectar el nodo a la red. Existen varios tipos como los de radio frecuencia (RF), infrarrojos y ópticos. Cada uno de ellos tiene sus ventajas y desventajas. Por ejemplo un transreceptor de radio frecuencia es el TR1000@ 916MHZ o 433MHZ de frecuencia, tasa de transmisión de 50Kbps y un rango de 30 a 90 metros.

**Sensores** : Se encargan de producir una respuesta eléctrica ante un cambio en las condiciones físicas. En la actualidad existen una gran variedad de sensores presentan diferentes diseños, manufactura y en el tipo de señal a procesar. Los tipos de sensores que se necesitan para un área de cultivo deben de medir parámetros como humedad y temperatura.

**Software** : El software se encargará de representar una serie de procedimientos que permitirán que el sistema pueda trabajar de manera autónoma procesando información, generando retardos, ruteando, manejando tareas.

Por lo visto anteriormente el nodo de sensado presenta restricciones en hardware y software en términos de poder de procesamiento, capacidad de memoria, tiempo de vida de la batería y el rendimiento de la comunicación. Estas son típicas características de los componentes inalámbricos y no de elementos en una red cableada. El software debe tener en consideración restricciones como el rendimiento y el tiempo de respuesta.

Se espera que los nodos de sensores tengan pequeñas dimensiones, consuman baja potencia, bajo costo de producción y que se autónomo. Estas características de diseño son mencionadas en varias investigaciones que presentan al nodo de sensor inalámbrico de la Universidad de California, Berkeley, WINS ( Red de sensores inalámbrica de sensores ) de UCLA, Rockwell, y Sensores Web JPL de los laboratorios de la NASA como una buena elección.

### **3.4 Empresas fabricantes de nodos de sensado inalámbrico y elección de la misma para el diseño de la red de sensores inalámbrica**

En el mercado de los nodos de sensado inalámbrico se encuentran las siguientes empresas que ofrecen sus productos.

TMote Sky.

BTnodes ( Escuela Politécnica de Zurich, Suiza ).

Crossbow.

Millenian Net.

Cirronet.

Dust Network.

La empresa Tmote Sky presenta el módulo Tmote Sky el cual trabaja a 250kbps 2.4GHz IEEE 802.15.4, el módulo cuenta con el procesador MSP430 de 8MHz (10K

RAM, 48K Flash ) además tiene integrado sensores de humedad , luz y temperatura ambiental. El precio de la tarjeta es de \$ 130.00

Los BTNodes de la escuela Politécnica de Zurich cuentan con el microcontrolador ATmega128L (8MHZ) memoria de 64K RAM y 128K Flash, cuenta con sensores de luz y temperatura ambiental. El precio de la tarjeta BTNodes es de \$ 165.00.

La empresa Crossbow ofrece varios productos de nodos de sensores inalámbricos entre los que destacamos el MPR2400CA de la serie MICAz. La tarjeta MPR2400CA presenta una tasa de velocidad de hasta 250Kbps a una frecuencia de 2.4GHz, cuenta con una memoria Flash de 128K, es posible conectar módulos de sensado con los cuales se puede medir la temperatura, luz, humedad en el ambiente y la humedad en el suelo. Los nodos de sensado inalámbrico de la empresa Crossbow tiene diversas aplicaciones una de ellas es la agricultura. El precio de la tarjeta MPR2400CA de la serie MICAz es de \$ 144.00.

La empresa Millenian Net ofrece un nodo de sensor inalámbrico que conecta una red de computadoras, el sistema MeshScape de Millenian Net entrega una alta en el escalabilidad, fiabilidad, sensibilidad. Tiene aplicaciones en monitoreo remoto, mantenimiento predictivo.

La empresa Cirronet nos ofrece nodos de sensado de 2.8 GHz y 5.8 GHz, los cuales son escalabres, de largo alcance y buena confiabilidad. Maneja un protocolo denominado over the air para la protección contra la interferencia y problemas de desvanecimiento. El diseño de sus nodos de sensado inalámbrico está orientado a los mercados de petróleo, gas, transporte y automatización de fábricas.

La empresa Dust Network nos ofrece la serie de motes Smart Mesh XT que operan a frecuencias de 900 MHz y 2.4 GHz diseñados para trabajar en ambientes ásperos como las industrias, refinerías, plantas farmacéuticas etc. Estos nodos son muy utilizados en aplicaciones industriales y comerciales ya que reúnen requisito como el bajo consumo de energía, facilidad de instalación y fiabilidad del dispositivo. Los motes de Smart Mesh XT son utilizados para las aplicaciones industriales y comerciales, todos los productos de SmartMesh-XT reúnen los requisitos severos para la red y fiabilidad del dispositivo y alto rendimiento.

De lo antes expuesto se observa que los nodos de sensado de la empresa Crossbow tienen entre sus campos de aplicación la agricultura y nos ofrecen una función adicional que es poder medir la humedad del suelo a diferencia de los nodos de otras empresas que son usados en un ámbito industrial. El precio de las tarjetas electrónicas de la empresa Crossbow tiene un precio moderado frente a las otras tarjetas lo que la hace una solución econonómicamente buena y tiene las funciones necesarias para poder atender la problemática de la ONG. Por lo antes expuesto se concluye que se usarán los nodos de sensado inalámbrico de la empresa Crossbow.

### **3.5 Entorno de trabajo para el diseño de la red de sensores inalámbrica.**

A continuación se presentarán los componentes seleccionados tanto software y hardware necesarios para el diseño de la red de sensores inalámbrica. En el área de cómputo de la ONG se debe contar con un computadora bajo el sistema operativo Windows XP o GNU/Linux con 512 MB de memoria RAM y un kit de desarrollo comercial de Crossbow.

### **3.5.1 Software para el monitoreo de la red de sensores**

La empresa Crossbow presenta una serie de softwares para monitorear la red de sensores inalámbrica, los cuales pueden ser descargados de manera gratuita de la Internet con sus respectivos manuales de operación, entre los cuales se encuentran el CRM-VIEW, NAV-VIEW, SURGE-VIEW y el MoteView 1.4.

El MoteView 1.4 es la última versión la cual permite visualizar la topología de la red en tiempo real, programar los nodos remotos y detectar alarmas.

### **3.5.2 Software del nodo remoto e interfaz gráfica de monitoreo**

En cuanto al software de los nodos remotos se ha considerado el sistema operativo TinyOS basado en eventos, especialmente diseñado para aplicaciones en redes, las cuales son programadas en un lenguaje de programación de sintaxis similar al lenguaje C llamado NesC, cuyas siglas significan Network Embedded Systems C.

Para una estación Windows XP, dado que TinyOS requiere para su correcto funcionamiento del uso de diversos comandos y funcionalidades Linux, es necesaria la instalación de la herramienta Cygwin, encargada de emular un entorno Linux en Windows.

La actividad de un nodo de sensado está basada en los impulsos externos que recibe, mensajes radio de otros nodos de sensado, detección de una temperatura más alta de lo habitual y generar un mensaje de alerta que se propague por la red, etc.

Este modelo de programación además pone requisitos sobre como deben ser escritos los programas. TinyOS, siguiendo los patrones de las redes de sensores, toma en cuenta que puede haber muy pocos recursos disponibles y que esto requiere una

utilización de los recursos muy eficiente, como por ejemplo en base a una función de entrada poder utilizar múltiples funciones de salida.

### **3.5.3 Eventos, comandos y tareas**

El sistema TinyOS presenta abstracciones como lo son los eventos, las tareas y los comandos. Los eventos son sucesos externos que tienen repercusión en la actividad de un nodo sensor, ellos pueden interrumpir las tareas y se ejecutan cuando se produce un evento de hardware y realizan pequeñas cantidades de cálculos. Las tareas no son temporalmente críticas, se ejecutan sincronizadamente respecto a otras tareas, todas tienen la misma prioridad y se ejecutan en orden sin embargo una tarea puede ser dejada de lado si llega un evento de mayor prioridad, por ello como el diseño las tareas son en tiempo real, éstas deben ser cortas para evitar que puedan ser interrumpidas por sucesivos eventos. Las tareas utilizan mucho mayor tiempo de cálculo que los eventos. Es importante diferenciar que los eventos pueden llamar a comandos, pero un comando nunca puede señalar un evento.

### **3.6 Elección de las tarjetas electrónicas de la red de sensores inalámbrica**

Tal como se mostró en el punto 3.4, las tarjetas electrónicas que se usarán son de la marca comercial Crossbow, una de las más extendidas y conocidas en cuanto al desarrollo de hardware para la investigación en redes de sensores inalámbricas.

Los componentes necesarios para el diseño de la red de sensores inalámbricas son los siguientes :

- Tarjeta de puerta de enlace.
- Tarjeta de procesador – radio.
- Tarjeta de sensado.

En lo que respecta a las tarjetas de enlace se encuentran los modelos MIB510, MIB520, MIB600, SPB400. A continuación la tabla 3.1 nos muestra características de las mencionadas tarjetas.

	MIB510	MIB520	MIB600	SPB400
Puerto de Programación	Puerto serial	Puerto USB	Puerto ethernet	Puerto RS-232 o Ethernet
Tarjetas compatibles	MICAx series	MICAx series	MICAx series	MICAx series
Puerto de Datos	Serial	USB	Ethernet	Ethernet, Serial, USB
Precio ( \$ )	109.00	86.00	344.00	489.00

Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Tabla 3.1. Cuadro comparativo de tarjetas de puerta de enlace**

De acuerdo a la figura anterior se elige el modelo MIB520 por un tema de costos además de tener como ventaja que su interface de comunicación es un puerto USB.

En lo que respecta a la tarjeta de radio procesador se encuentran los modelos de tarjeta MICA2 y la tarjeta MICAz. A continuación la tabla 3.2 nos muestra la frecuencia de operación, procesador entre otros detalles.

	MPR410	MPR2400
Frecuencia de Operación	868-870; 902-928 MHz	2400-2483.5 MHz
Procesador	Atmel ATmega 128L	Atmel ATmega 128L
Radio	802.15.4 DSSS	FSK Frecuencia Seleccionable
Memoria No Volátil	Atmel AT45DB41B (512 kB)	Atmel AT45DB41B (512 kB)
Tasa de velocidad	38.4 kbps	250 kbps
Precio ( \$ )	144.00	144.00

Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Tabla 3.2. Cuadro comparativo de tarjetas de radio procesador**

En lo que respecta a los precios de ambas tarjetas es similar, la diferencia principal radica en la frecuencia de operación. La tarjeta MICA2 pertenece a una banda permitida tanto en Estados Unidos como en Europa mientras que la frecuencia de operación de la tarjeta MICAz es permitida a nivel mundial [37]. De acuerdo a lo anterior se trabajará con la tarjeta inalámbrica MICAz puesto que trabaja a frecuencia de operación estándar a nivel mundial.

En lo que respecta a la tarjeta de sensado encontramos las siguientes tarjetas: MDA300CA, MTS300, MTS310, MTS510. A continuación la tabla 3.3 muestra un cuadro comparativo de las tarjetas de sensado.

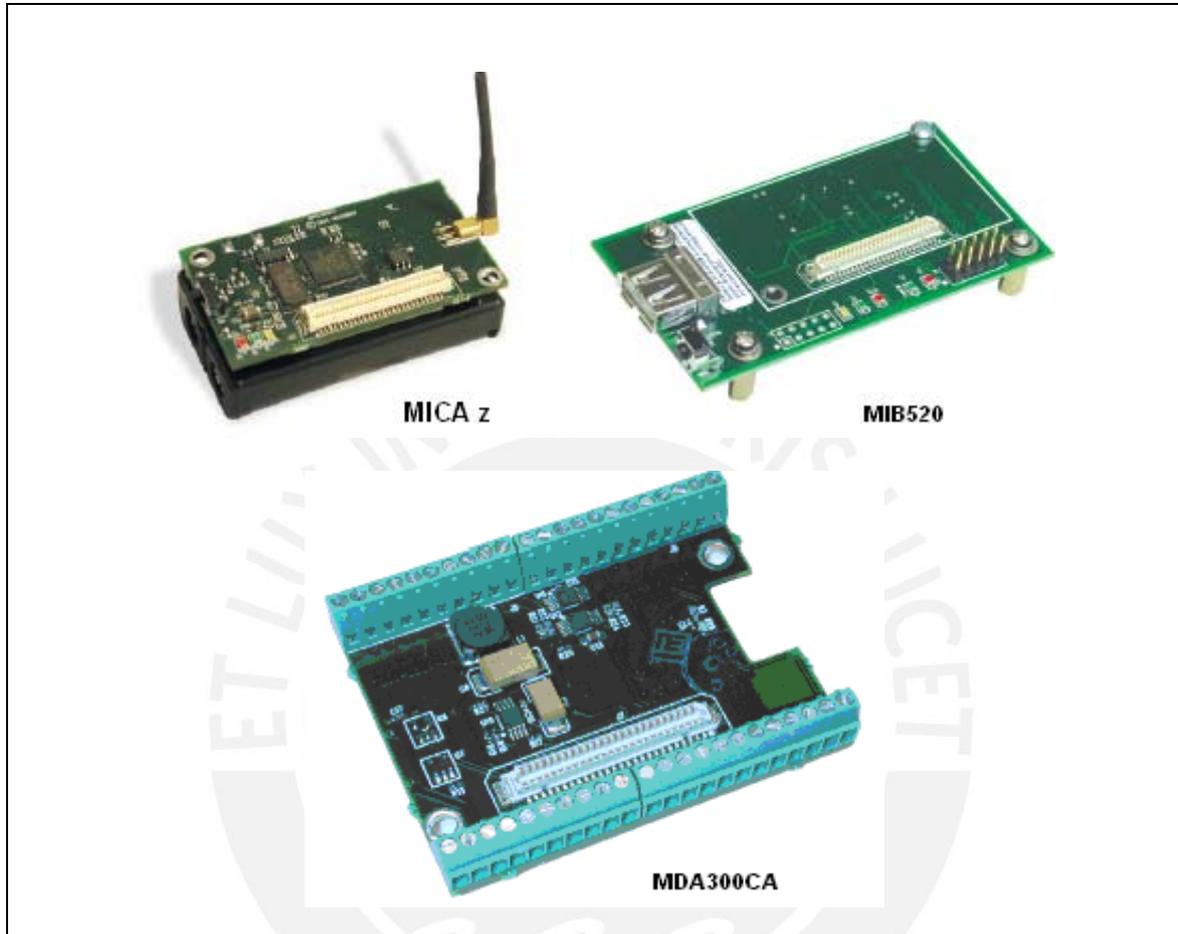
	MDA300CA	MTS300	MTS310	MTS510
Actuadores relé	x			
Zúmbador			x	x
Luz ambiental				
Acelerómetro			x	x
Sensor analógico externo	x			
Humedad relativa , temperatura	x			
Termistor		x	x	x
Fotorresistencia		x	x	x
Precio ( \$ )	288.00	138.00	242.00	138.00

Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Tabla 3.3. Cuadro comparativo de tarjetas de sensado**

Los precios entre las tarjetas no tienen mucha diferencia, ellas miden la temperatura e humedad ambiental, pero la tarjeta MDA300 tiene como elemento extra que posee entradas analógicas para sensores externos; lo cual permite incorporar sensores para medir la humedad y temperatura en el suelo, ello es primordial para poder tener un consumo adecuado del agua. Por lo antes expuesto se elige la tarjeta MDA300CA.

A continuación se muestra en la figura 3.3 los componentes básicos de la red de sensores inalámbrica.



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

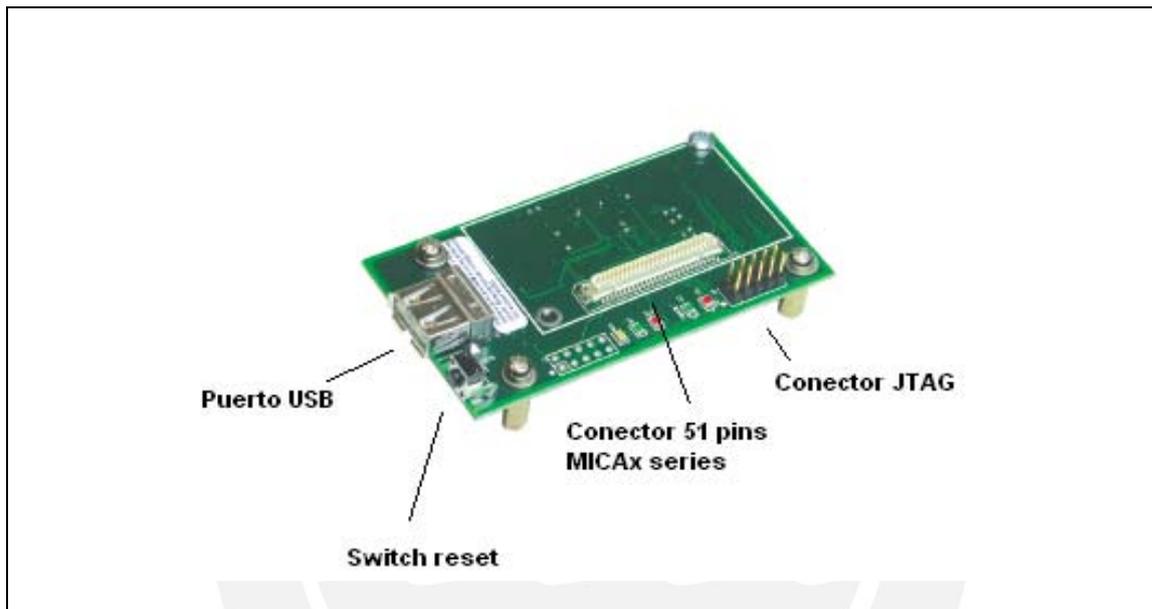
**Figura 3.3. Tarjetas electrónicas de la red de sensores inalámbrica**

### **3.7 Descripción de las tarjetas electrónicas**

#### **3.7.1 Tarjeta electrónica de la puerta de enlace - MIB520**

La placa de desarrollo MIB520 se interconecta con la computadora mediante el puerto USB y es la encargada de proporcionar el enlace necesario para que las aplicaciones escritas en el ordenador sean programadas en las plataformas MPR2400CA de la serie MICAz. La computadora debe contar con sistema operativo TinyOS instalado.

Para programar las plataformas MICAz, ellas deben conectarse mediante el conector de 51 pins a la tarjeta de desarrollo. La tarjeta cuenta con un conector JTAG para configurar el ATMEGA. La tarjeta soporta un rango de alimentación de 5 a 7VDC los cuales son regulados a 3VDC. A continuación la figura 3.4 muestra la tarjeta electrónica MIB520.



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Figura 3.4. Tarjeta electrónica MIB520**

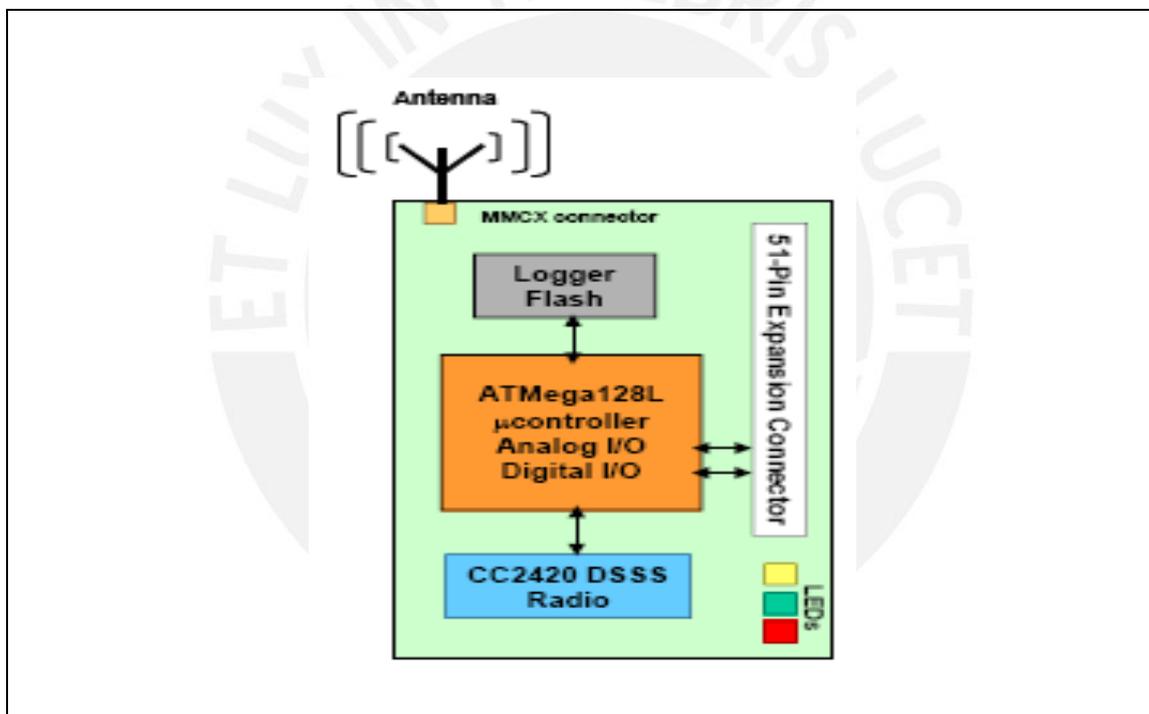
### **3.7.2 Tarjeta electrónica del radio procesador - MPR2400CA**

Esta plataforma es comúnmente llamada mote. Incluso la misma compañía Crossbow las denomina así en las hojas de especificaciones y la documentación.

Estas plataformas contienen una memoria flash donde son descargadas las aplicaciones vía la placa de desarrollo. Los rasgos más característicos del MICAz son la presencia de tres leds de colores rojo, verde y amarillo y la antena para transmitir y

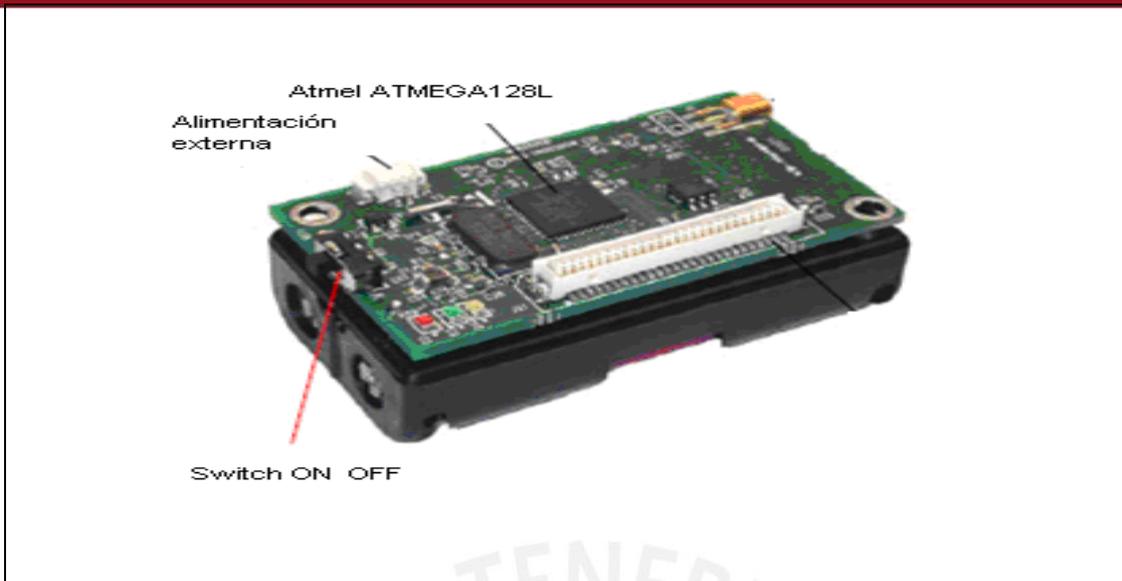
recibir señales radio, cuenta con una memoria Flash de 128K bytes y el micro controlador para la tarjeta MPR2400CA es el Atmega 128L.

Los motes MICAz trabajan a una frecuencia de 2.4 GHz, cuenta con la antena CC2420 de la empresa Chipcon, la cual trabaja con la técnica del espectro ensanchado por secuencia directa ( DSSS). Una vez aplicado el patrón de bits redundante el estándar IEE 802.15.4 ha definido para la técnica DSSS la modulación O-QPSK. A continuación la figura 3.5 muestra el diagrama de bloques de la tarjeta MPR2400CA.



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Figura 3.5. Diagrama de bloques de la tarjeta MPR2400CA**



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Figura 3.6. Tarjeta electrónica MPR2400CA**

La fuente de alimentación que usa el MICAz son dos baterías AA, las cuales entregan de 2.7VDC a 3.6VDC. A continuación la siguiente tabla 3.4 muestra la corriente de operación de los principales elementos de la tarjeta de radio MPR2400CA.

Corriente de operación (mA)	MICAz
ATMega128L, operación total	12 (7.37 MHz)
ATMega128L, sleep	0.010
Radio,recepción	19.7
Radio,transmisión (1 mW potencia)	17
Memoria flash , escritura	15
Memoria flash serial, lectura	4
Memoria flash serial, sleep	0.002

*Fuente MPR/MIB User's Manual*

**Tabla 3.4 Corriente de operación de componentes de la tarjeta MPR2400CA**

La radio CC2420 de la serie MICAz trabaja con el estándar IEEE 802.15.4, tiene canales enumerados del 11 (2.405 GHz) al 26 (2.480 GHz) cada uno separado por 5 MHz lo cual es recomendable para reducir interferencias entre ellos. El canal por defecto es el 11 ( 2480 MHz ) pero puede ser seleccionado otro canal vía software.

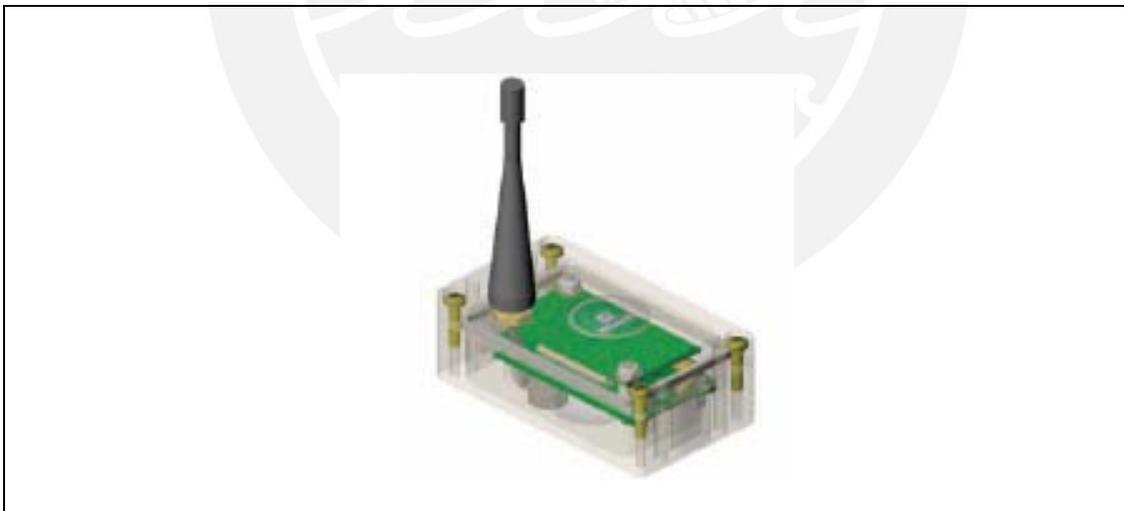
La potencia de transmisión puede ser programada de dBm (1 mW) a -25dBm. La baja potencia de transmisión puede ser una ventaja para reducir la interferencia. La hoja de datos indica que la potencia es controlada por un código de 8 bits. A continuación la tabla 3.5 nos muestra los códigos y sus respectivos valores de potencia.

Power Register (code)	MICAz TX RF Power (dBm)
31	0
27	-1
23	-3
19	-5
15	-7
11	-10
7	-15
3	-25

*Fuente MPR/MIB User's Manual*

**Tabla 3.5 Niveles de potencia del componente CC2420**

**Antena :** La antena usada en la tarjeta MPR2400CA es de tipo monopolo, producto de tecnologías Linx cuyo código es ANT-2.45-CHP de 2.4GHz. Presenta un ancho de banda 1 MHz e impedancia 115 ohm. Entre sus principales características es el bajo costo y una excelente performance. A continuación la figura 3.7 muestra la antena monopolo.



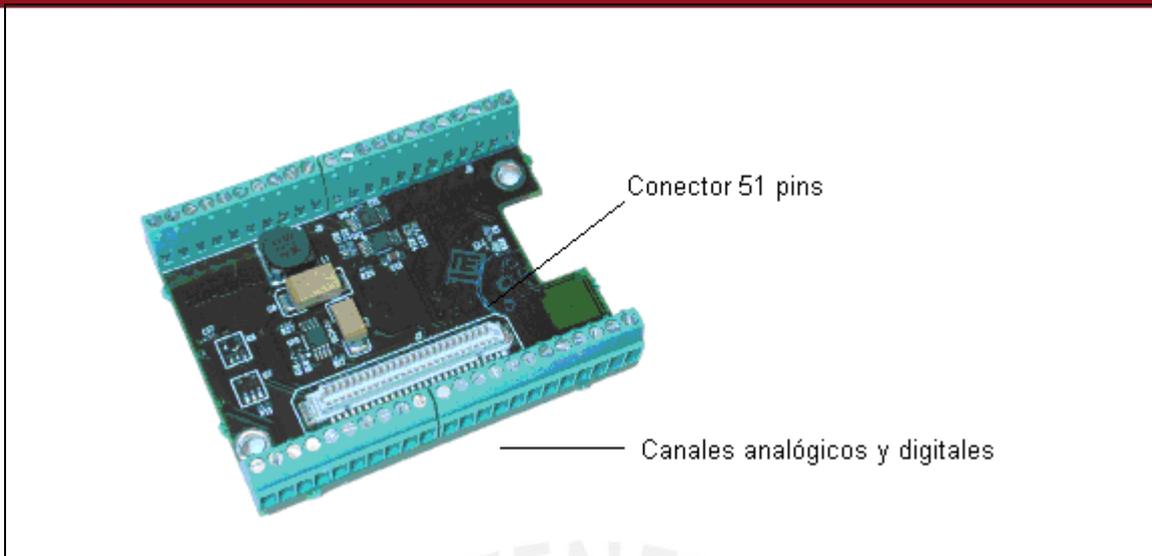
*Fuente MPR/MIB User's Manual*

**Figura 3.7. Antena monopolo 2.4GHz – 3.5cm**

**Memoria flash serial** : La capacidad de la memoria flash serial usada para almacenar la información de las medidas provenientes de los sensores es de 4Mbit (Atmel AT45DB041), el cual se conecta con el ATmega 128L por el puerto USART.

### 3.7.3 Tarjeta electrónica de adquisición de datos - MDA300CA

La tarjeta MDA300CA [38] es una plataforma general de mediciones para la tarjeta MICAz, sus principales aplicaciones son medir condiciones climáticas, agricultura de precisión y control de irrigación y el análisis del suelo. Entre las distintas tarjetas de sensado de la empresa Crossbow, el modelo MDA300CA permite conectar sensores de manera externa a través de sus canales de sus once canales analógicos como sus seis canales digitales. Esta tarjeta se añade al MICAz mediante los conectores de 51 pins que también sirven para conectarse con la tarjeta de programación. El sistema operativo TinyOS cuenta con componentes capaces de interactuar con los sensores, de modo que la tarjeta de sensado recoja ciertas medidas del entorno para luego transmitir las en un mensaje radio al resto de los nodos de la red o la computadora. A continuación la figura 3.8 muestra la tarjeta electrónica MDA300.

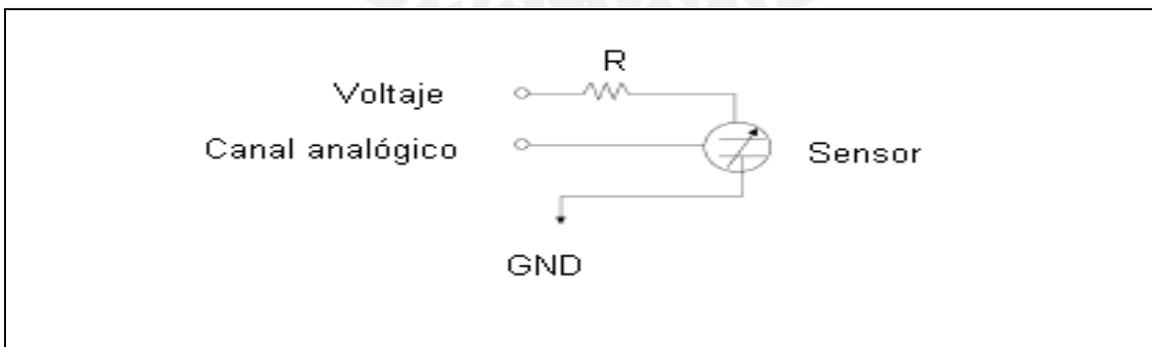


*Fuente MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards User's Manual*

**Figura 3.8. Tarjeta electrónica de sensado MDA300**

**Sensor humedad y temperatura del suelo :** Los sensores pueden ser EC10- EC20 [39] de la empresa Echo. Dependiendo de la profundidad en el suelo uno puede elegir el EC10 cuya profundidad es de 10cm o el EC20 que presenta una profundidad de 20cm.

A continuación la siguiente figura 3.9 presenta el diagrama de conexión del sensor.



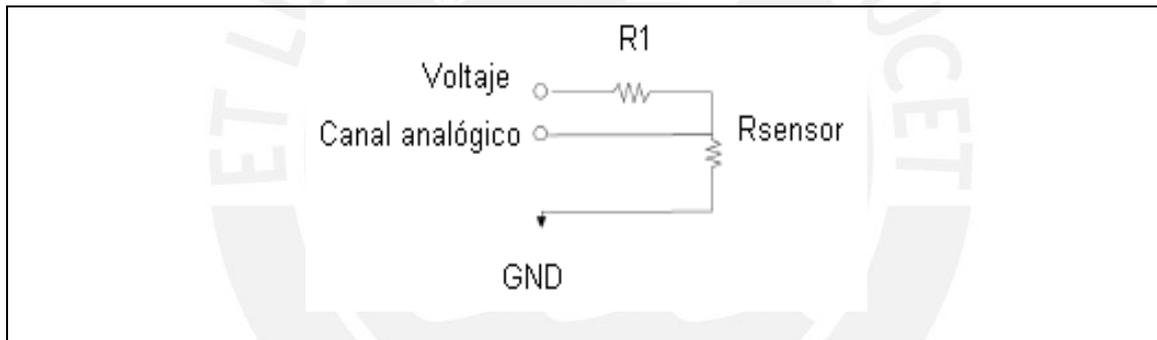
*Fuente MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards User's Manual*

**Figura 3.9. Conexión del sensor de humedad del suelo**

Donde :

Sensor	Decagon EC10 – EC20
R	10 $\Omega$
Voltaje	2.5 V

**Sensor de temperatura :** Los termistores son dispositivos, basados en materiales semiconductores, cuya resistencia varía con la temperatura. Si su coeficiente de variación con la temperatura es negativo se denominan NTC (Negative Coefficient), mientras que si es positivo se denominan PTC “Positive Coefficient”. De acuerdo a la hoja de datos de la tarjeta MDA300 se elige el Termistor 10K OHM NTC [40]. A continuación la figura 3.10 presenta el diagrama de conexión del sensor.



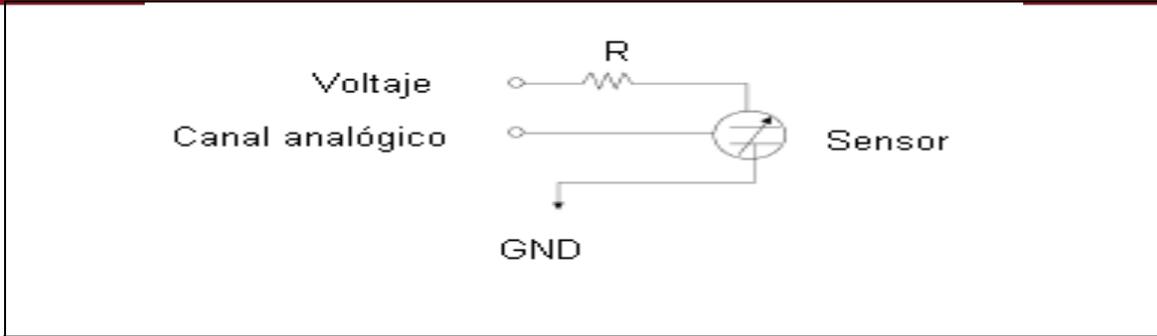
*Fuente MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards User's Manual*

**Figura 3.10. Conexión del sensor de temperatura**

Donde :

Rsensor	Termistor 10K OHM NTC
R1	13 K $\Omega$
Voltaje	2.5 V

**Sensor de humedad :** El sensor de humedad recomendado para la tarjeta MDA300 es el HumiREL HM1500 [41]. A continuación la figura 3.11 presenta el diagrama de conexión del sensor.



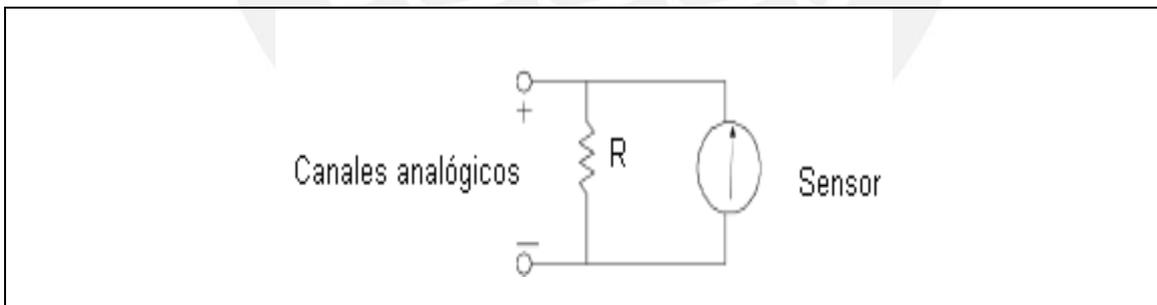
Fuente MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards User's Manual

**Figura 3.11. Conexión del sensor de humedad**

Donde :

Sensor	HumiREL HM1500
R	10 $\Omega$
Voltaje	3.3 V

**Sensor de luz :** El sensor de humedad recomendado para la tarjeta MDA300 es el LI-190SA Quantum Sensor [42]. A continuación la figura 3.12 presenta el diagrama de conexión del sensor.



Fuente MTS/MDA Sensor and Data Acquisition Boards User's Manual

**Figura 3.12. Conexión del sensor de luz**

Donde :

Sensor	LI-190SA Quantum Sensor
R	182 $\Omega$ , 0.1 %
Voltaje	Voltaje de calibración depende de cada sensor. Voltaje para sensores externos 5 V, 3.3 V, 2.5V

### 3.8 Empaque de las tarjetas electrónicas

La empresa Crossbow ofrece una serie de empaques de acuerdo al modelo de tarjetas electrónicas seleccionadas, en este diseño se considera la tarjeta de radio procesador MICAz y tarjeta de sensado MDA300 por el ello el empaque ha seleccionado es el MDH300CA. A continuación en la figura 3.13 se presenta el empaque de las tarjetas electrónicas.



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Figura 3.13. Empaque MDH300CA**

### 3.9 Impacto ambiental del diseño de la red de sensores inalámbrica

El presente diseño no presenta un impacto medioambiental alguno puesto que las tarjetas electrónicas no generan residuo alguno. No obstante las tarjetas de sensado consumen baterías eléctricas, en nuestro caso, pilas del tipo AA. Si éstas no son recicladas pueden causar estragos en los ecosistemas donde se encuentren y pueden llegar a afectar a los seres humanos por medio de la contaminación del agua y del aire. Las pilas ofrecen una fuente de energía cómoda y portátil que forma parte integral de numerosos productos electrónicos modernos. Algunos de los componentes de las pilas, como el cadmio, mercurio o zinc, pueden ser gravemente perjudiciales para el medio ambiente y ocasionar enfermedades a los seres humanos (dolores gastrointestinales) si no reciben el tratamiento adecuado. Cabe destacar que ZigBee, IEEE 802.15.4, está diseñado para maximizar el tiempo de vida de las baterías. El mayor consumo que realizan estos dispositivos es a la hora de transmitir información, lo que conlleva una vida útil de batería muy elevada (en teoría, 2 años o más).

## **CAPÍTULO 4**

### **EVALUACIÓN DE COSTOS Y PRESENTACIÓN DEL DISEÑO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICA**

En el presente capítulo se presenta el área de cultivo para el diseño de la red de sensores inalámbrica, la topología lógica de la red y la inversión que debe realizarse para poder implementarla.

#### **4.1 Presentación del diseño de la red de sensores inalámbrica**

##### **4.1.1 Campo de desarrollo del diseño de la red de sensores inalámbrica**

En la figura 4.1 se muestra una vista general área de cultivo de frutas y el centro de cómputo de la ONG, a la que se le enviarán los datos recolectados de la red de sensores para ser analizados por una estación de trabajo de la ONG. Las dimensiones del área de cultivo son heterogéneas ( Largo 83m - 84.4m / Ancho : 94.8m – 92.02m ). La distancia entre la oficina administrativa y el área de cultivo es de aproximadamente 47.8m.



*Fuente Instituto Huayuná*

**Figura 4.1. Área de cultivo de frutas y la oficina administrativa de la ONG**

#### **4.1.2 Topología lógica del diseño de la red de sensores inalámbrica**

Para el diseño de la red de sensores inalámbrica se están considerando seis nodos de sensado inalámbrico ello con el objetivo de poder cubrir la zona de cultivo y poder tener cobertura al centro de cómputo. Se descarta la topología estrella puesto que todos los nodos tienen que apuntar a la puerta de enlace, el radio de cobertura de cada nodo es de 30m a 100m, por ende habrán sensores que no puedan transmitir al centro de cómputo por un problema de cobertura; a diferencia de la topología malla que presenta un rango de cobertura mucho mayor, esta topología tiene la función que los sensores transmitan la información de uno a otro en busca de la puerta de enlace, lo cual es favorable para eliminar el problema de cobertura. En lo que respecta a la

topología malla – estrella presenta un radio de cobertura mucho mayor que las topologías antes mencionadas pero el consumo de energía es elevado sin olvidar que el número de nodos inalámbricos son mayores a los que plantea el presente diseño.

A continuación la figura 4.2 presenta la topología malla de la red de sensores inalámbrica y la ubicación de los sensores dentro en el área de cultivo.

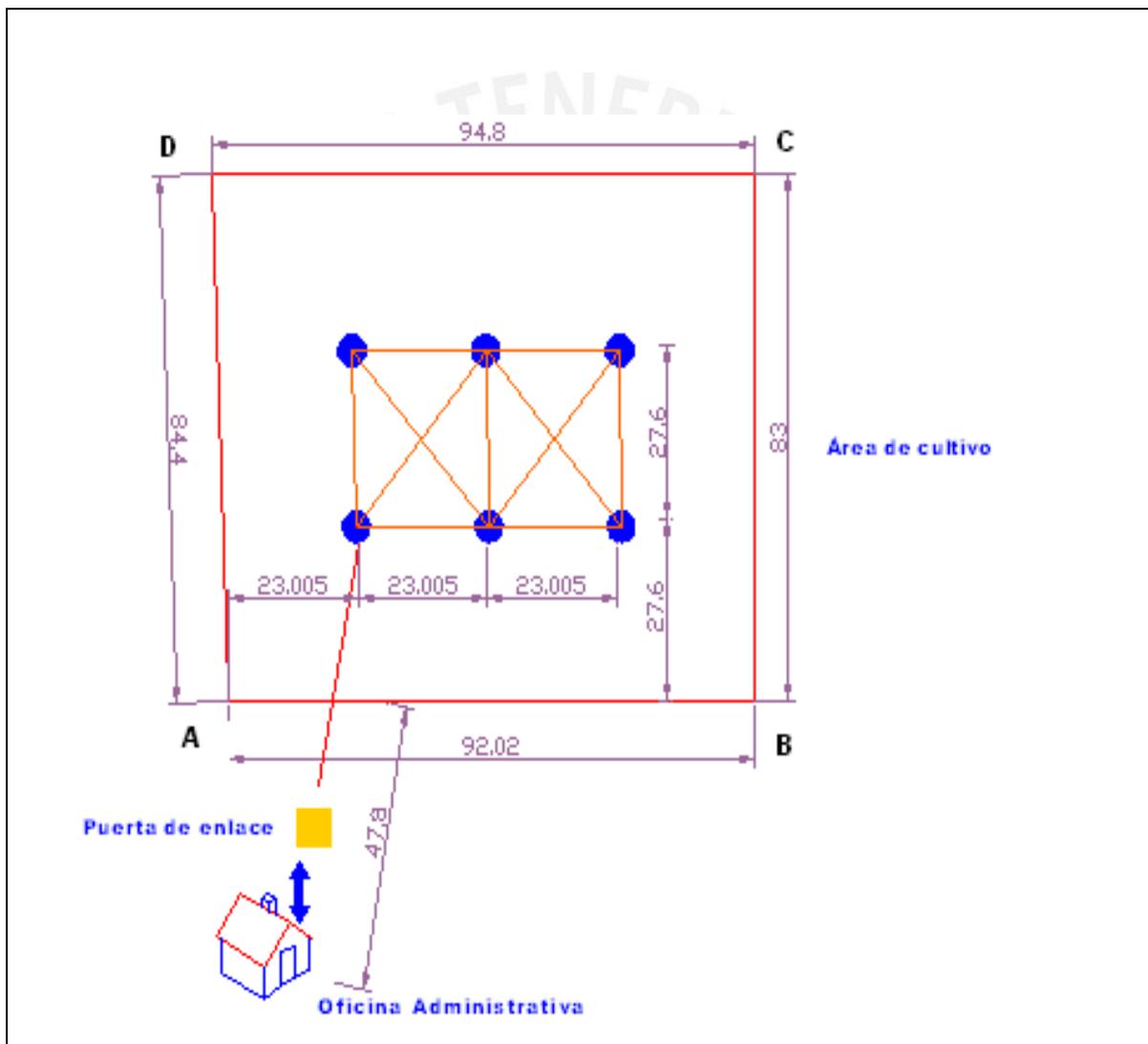


Figura 4.2. Topología malla de la red de sensores inalámbrica

A continuación la tabla 4.1 nos muestra las coordenadas del área de cultivo :

	Punto A	Punto B	Punto C	Punto D
Latitud	12° 33' 53.5"	12° 33' 52.2"	12° 33' 51.3"	12° 33' 50.1"
Longitud	76° 35' 29.1"	76° 35' 25.6"	76° 35' 26.4"	76° 35' 28.2"
Altura (m)	257	270	282	276

**Tabla 4.1. Coordenadas de la parcela de cultivo**

De acuerdo a la figura 4.2 se observa seis nodos inalámbricos ( puntos azules ) los cuales cuentan con su tarjeta de radio y su tarjeta de adquisición de datos, para medir temperatura ambiental, luz ambiental, humedad ambiental, temperatura y humedad del suelo, en este diseño sólo uno de los nodos contará con un sensor de luz, ello debido a su precio elevado.

#### 4.1.3 Ubicación física de las tarjetas electrónicas

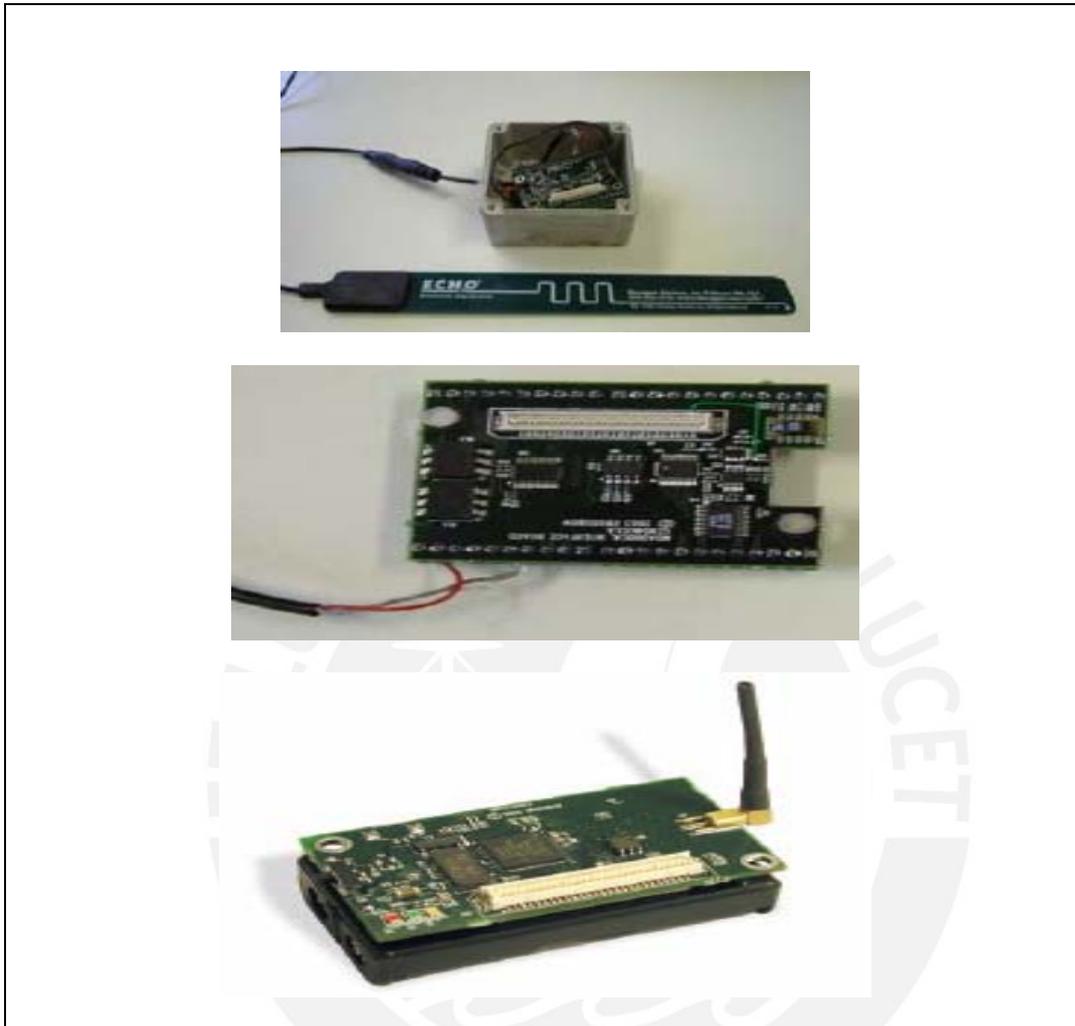
**Tarjetas electrónicas MPR2400CA – MDA300:** Los nodos inalámbricos se ubicarán a un metro del suelo, ello gracias a que en toda la parcela se encuentran estacas tal como se aprecia en la figura 4.3 las cuales sirven como apoyo al crecimiento de las plantas y sobre ellas se colocarán los nodos. Los nodos remotos se ubicarán sobre una plataforma de madera a un metro del suelo.



*Fuente Instituto Huayuná*

**Figura 4.3. Estacas del área de cultivo**

A continuación la figura 4.4 nos muestra la tarjeta de sensado MDA300 con el sensor de humedad EC-10. La tarjeta MICAz se une a la tarjeta MDA300 mediante un conector de 51 pins.



Fuente [www.xbow.com](http://www.xbow.com)

**Figura 4.4. Tarjetas electrónicas MDA300 – MPR2400 – Sensor EC-10**

**Tarjetas electrónicas MIB520 – MPR2400CA:** La puerta de enlace se ubicará próxima a la computadora de la ONG. A continuación la figura 4.5 nos muestra la integración de ambas tarjetas electrónicas y la zona elegida para colocarlas.



*Fuente Instituto Huayuná*

**Figura 4.5. Tarjetas de la puerta de enlace y ubicación de las mismas**

#### **4.2 Relación de precios del diseño de la red de sensores inalámbrica**

En esta sección la tabla 4.2 nos muestra la relación de costos de los componentes electrónicos necesarios para el diseño de la red de sensores inalámbrica en el área de cultivo de la ONG.

Módulo	Equipo u accesorio	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Comunicación inalámbrica	MPR2400CA MICAz 2.4GHz	\$ 144.00	7	\$ 864.00
	MMA2400CA - WHIP ANT. W/ MMCX CONNECTOR 2.4GHz	\$ 16.00	7	\$ 96.00
Sensado y adquisición de datos	MDA300CA - MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS	\$ 288.00	6	\$ 1728.00
	SENSOR DE TEMPERATURA	\$ 1.25	6	\$7.5
	RESISTENCIA 10.0XBK-ND	\$1.00	18	\$18.0
	SENSOR DE HUMEDAD HM1500	\$43.96	6	\$263.76
	RESISTENCIA RC55-D-13K	\$1.25	6	\$6.00
	SENSOR DE LUZ LI-190SA	\$425.00	1	\$425.00
	ECHO EC-10	\$ 70.00	6	\$ 420.00
Puerta de enlace	MIB520CB USB PC INTERFACE BOARD	\$ 86.00	1	\$ 86.00
	CABLE USB ( 5m )	\$ 10.00	1	\$ 10.00
	MPC100CA - DONGLE KIT	\$ 171.00	1	\$ 171.00
Plataforma de los nodos inalámbricos	PLATAFORMA - ACCESORIOS	\$ 10.00	6	\$ 60.00
Empaque	MIH400CA.	\$ 59.00	6	\$ 354.00
			<b>Monto Total del Proyecto</b>	\$ 4472.26

**Tabla 4.2. Precios de las tarjetas electrónicas y accesorios**

*Fuente Crossbow*

Los precios de la tabla 4.2 son del tipo FOB (Free on board) y no incluyen gastos administrativos de importación y de aduanas, se considerará un monto adicional del 10% ( \$ 447.26 ) de la inversión para cubrir los gastos antes expuestos, por ello la inversión total requerida será de \$ 4919.486.

## CONCLUSIONES

1. Actualmente el sistema de información con el que cuenta la ONG cumple una función importante en el desarrollo de los cultivos de frutas , pero aún así, se presenta inconvenientes puesto que los parámetros obtenidos de manera empírica hacen inadecuada la dosis de agua que se suministra y no contribuyen a un control de las condiciones ambientales del cultivo, ello se puede optimizar con la adopción de nuevas tecnologías que en conjunto con el sistema actual permitirán obtener parámetros como la *capacidad de campo*, el *punto de marchitez* del suelo y la temperatura, humedad, luz solar del ambiente; los cuales beneficiarán a un mejor rendimiento de la producción agrícola. La red de sensores inalámbrica es la solución tecnológica que permitirá obtener los parámetros antes mencionados e incorporará capacidades de control de la gestión y brindará acceso a información clave para la toma de decisiones.

2. La agricultura está pasando rápidamente de ser una actividad tradicionalmente artesanal, de trabajo extensivo, a transformarse en un sector sofisticado de la economía mundial donde la tecnología y la información juegan un papel esencial, donde el acceso a la información y las modernas tecnologías en comunicaciones se han convertido en una necesidad para los agricultores de todo el mundo, en especial para los de los países en desarrollo. La agricultura en varios países ya cuenta con sistemas de producción más eficaces y sostenibles, que perfeccionan el uso de la tierra, del agua y de otros recursos naturales. La producción sostenible de alimentos dependerá cada vez más de la gestión de la información agraria y de las tecnologías de la comunicación.

3. El estudio de las red de sensores inalámbricas abre una rama de investigación y desarrollo tanto en hardware como en software, ya que cada vez se requiere un procesamiento de la información más ágil para sobrellevar el hardware limitado que puede tener cada nodo remoto; actualmente no se cuentan con protocolos de enrutamiento universales para la comunicación entre los nodos.

4. El diseño de la red de sensores inalámbrica basada en los equipos de Crossbow se presentan como una solución factible frente a otras empresas ya que nos permiten medir entre algunas variables la temperatura y humedad del suelo; el costo de implementación tecnológica es de \$ 4919.486.



## RECOMENDACIONES

1. Se debe tener en consideración que la garantía de las tarjetas electrónicas Crossbow es de un año desde la fecha que se le envía al cliente.
2. Una alternativa a la posterior implementación del diseño de la red de sensores con los equipos Crossbow, es el desarrollo de las tarjetas electrónicas; en los anexos de la presenta investigación se adjunta los diagramas esquemáticos que la Universidad de Berkeley desarrollo años atrás en su investigación y que se encuentran a disponibilidad de cada persona a través de la internet, con ello en un futuro se podrían producir los primeros prototipos de equipos para sensores inalámbricos desarrollados en el Perú.
3. El software para el procesamiento de la señal debe requerir pocas operaciones y poco almacenamiento en memoria, ello debido a que los nodos remotos presentan un almacenamiento limitado, sin olvidar que el ancho de banda y consumo de energía también son limitados.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Geographic Information System - What is GIS?  
< <http://www.gis.com/whatisgis/index.html>>
- [2] Santhi. C , Muttiah. R , Arnold.J , Srinivasan. R  
2005 A GIS-based regional planning tool for irrigation demand  
assessment and savings using swat. *Transactions of the ASAE [en línea]*,  
48 (7). Enero/Febrero.  
[consultado 2005/04/22] EBSCO Academic Search Premier  
<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=16544233&lang=es>>
- [3] Anonymous  
2005 Full Integration of CAD and GIS. *Geospatial Solutions [en línea]* 15(1).Enero. [consultado 2005/04/30]
- [4] Jan Stankovic, Markus Neteler, Roberto Flor  
2004 Mobile Wireless GRASS GIS for Handheld Computers Running  
GNU/Linux. *Transaction in GIS. [en línea]* , 8 ( 2). Abril.  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=736487431&Fmt=2&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [5] Bob Hill  
2005 PDA primer: Get up to speed. *Successful Farming. [en línea]* , 103 (5)  
Marzo. [consultado 2005/04/30] PROQUEST  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=808727551&Fmt=2&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [6] Paul Schrimpf  
2004 Pocket Power. *Croplife. [en línea]* , 167 (7)  
Julio. [consultado 2005/04/30] PROQUEST

<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=667622761&Fmt=4&clientId=39490>

**&RQT=309&VName=PQD >**

- [7] Stoleson, Scott H, Kirschbaum, Kari Jensen , Frank, Jack , Atwood, Chad J.  
2004 From the Field: Integrating GPS, GIS, and avian call-response surveys using Pocket PCs , *Wildlife Society Bulletin. [en línea]* , 32 (4). [consultado 2005/04/30] EBSCO Academic Search Premier.

<

**<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=16593256&lang=es>**>

- [8] Flores, Alfredo  
2003 Speeding Up Data Delivery for Precision Agriculture. *Agricultural Research. [en línea]* , 51 (6). [consultado 2005/04/05] EBSCO Academic Search Premier.

**<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=9988827&lang=es>**>

- [9] Mario Bragachini, Andrés Méndez, Fernando Scaramuzza  
2004 Agricultura de Precisión y Siembra Variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS y una prescripción con sembradora IOM Inteligente Mega de 12 surcos a 52,5 cm. [consultado 2005/04/23]  
**<<http://www.agriculturadeprecision.org/siembCoseAlma/Sembradora%20OM%20Inteligente.htm>**>

- [10] Han.S , Zhang. Q. , Noh. H , Shin, B.  
2004 A dynamic performance evaluation method for DPGS receivers under linear parallel - tracking applications. *Transactions of the ASAE [ en línea ]* , 47 (1)  
Enero/Febrero. [consultado 2005/04/23] EBSCO Academic Search

Premier

<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=13136758&lang=es>>

- [11] Taylor, R , Bloomfield, J. , Schrock, M. D. , Brockmeier, G. , Burton, W. , Carlson, B. Gattis, J. , Groening, R. , Kopriva, J. , Oleen, N. , Ney, J. , Simmelink, C. , Vondracek, J.

2004 Dynamic Testing of GPS Receiver. *Transactions of the ASAE [ en línea ]* , 47 (4) Julio/Agosto. [consultado 2005/04/23] EBSCO Academic Search Premier

<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=14549127&lang=es>>

- [12] Satellite News

2004 New GPS Software Aids Farmers *NavCom Technology [en línea]* , 27 (37)Setiembre. [ consultado 2005/04/25] PROQUEST

<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=700375041&sid=1&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>

- [13] neoAg – Agricultura de precisión.

2004 Equipos – LigthBar. [consultado 2005/04/30]

<<http://www.neoag.cl/equipamiento.php>>

- [14] Mario Bragachini, Andrés Méndez, Fernando Scaramuzza

2004 Banderillero satelital. [consultado 2005/04/28]

<[http://www.agriculturadeprecision.org/bandsat/BanderilleroSatelital\\_2004.htm](http://www.agriculturadeprecision.org/bandsat/BanderilleroSatelital_2004.htm)>

- [15] Anonymous

2004 Trimble Bolsters AgGPS EZ-Guide Plus. *Wireless News [en línea]*,

1.Diciembre. [consultado 2005/04/30]

**<[http://proquest.umi.com/pqdweb?did=754174381&Fmt=3&clientId=39490  
&RQT=309&VName=PQD](http://proquest.umi.com/pqdweb?did=754174381&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD)>**

[16] neoAg – Agricultura de precisión.

2004 Equipos – Autopilot. [consultado 2005/04/30]

**<<http://www.neoag.cl/equipamiento.php>>**

[17] F Chen, D E Kissel, L T West, D Rickman

2005 Mapping surface soil organic carbon for crop fields with remote sensing. *Journal of Soil and Water Conservation*. [en línea],

60 (1). Enero/Febrero [consultado 2005/04/26] PROQUEST

**<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=798781231&sid=7&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>**

[18] Beerli, Ofer ,Phillips, Rebecca , Carson, Pete , Liebig, Mark

2005 Alternate satellite models for estimation of sugar beet residue nitrogen credit. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [en línea], 107 (1).

Mayo [consultado 2005/05/03] EBSCO Academic Search Premier

**<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=16836846&lang=es>>**

[19] Tian, Lei

2002 Development of a sensor-based precision herbicide application system. *Computer & Electronics in Agriculture*. [en línea], 36 (2/3).

Noviembre [consultado 2005/04/26] EBSCO Academic Search Premier

<

**<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=8564785&lang=es>**

- [20] Anonymous  
2004 Robot farmers – cheap. *Farm Industry News [en línea]*, 37 (7)  
Julio/Agosto. [consultado 2005/04/29] PROQUEST.  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=681319191&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [21] John Przybyla, Terry Biederman  
2004 Going Wireless. *Public Works. East Stroudsburg [en línea]*, 135 (7)  
Junio. [consultado 2005/04/23] PROQUEST  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=742618831&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [22] Ben King  
2005 Winning wines, wireless vines case study Pickberry vineyard [en línea], (7)  
Junio. [consultado 2005/04/23] PROQUEST  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=860337361&sid=4&Fmt=3&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [23] Erik Petry  
2004 Planting without markers. *Farm Industry News [en línea]*, 37 (8)  
Setiembre. [consultado 2005/04/26] PROQUEST  
<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=703216451&sid=2&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>
- [24] NASA/JPL Sensor Webs Project  
<<http://sensorwebs.jpl.nasa.gov/>>
- [25] K. Marínez y otros

2004 "Glacsweb: a sensor network for hostile environments", Proceedings of the first IEEE Communication Society Conference on Sensor and Ad hoc Communications and Networks.

[consultado 2005/04/26]

<[http://www.cs.ccu.edu.tw/~yschen/course/93-1/03\\_02.pdf](http://www.cs.ccu.edu.tw/~yschen/course/93-1/03_02.pdf)>

[26] Wayne Wenzel

2004 Tractor guidance for every faro. *Farm Industry News [en línea]*, 37 (7)

Julio/Agosto. [consultado 2005/04/26] PROQUEST

<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=681319171&sid=7&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>

[27] Paul Schrimpf

2005 Tech Outlook 2005. *Croplife [en línea]*, 168 (1)

Enero [consultado 2005/05/01] PROQUEST

<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=786076991&sid=9&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>

[28] Frank Giles

2005 Learning From The Early Adopter. *Supplement to Cotton Grower Magazine [en línea]*, 41 (3). Marzo [consultado 2005/05/01] PROQUEST

<<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=815073751&sid=9&Fmt=4&clientId=39490&RQT=309&VName=PQD>>

[29] Lin, Hangsheng , Bell, Jay Wheeler, Dan , Wilding, Larry

2005 Assessment of soil spatial variability at multiple scales.

*Ecological Modelling [en línea]*, 182 (3/4) Marzo. [consultado 2005/05/01]

EBSCO Academic Search Premier

<

<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=16290520&language=es>>

[30] MICROSOFT Corp.

2005 Microsoft Masala. *Technology Review* 108 (4). Marzo. [consultado

2005/05/01] EBSCO Academic Search Premier

<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=16520723&language=es>>

[31] Lafferty, Brennan

2005 High-tech fertilizing. *Waste News [en línea]*, 10 (26) Marzo [consultado

2005/05/01]

EBSCO Academic Search Premier

<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=buh&an=16621683&language=es>>

[32] McKinion, J.M , Willers, J.L , McDade, John , Jenkins, J.N. , Read, J.J. ,  
Turner, S.B.

2004 Wireless technology and satellite internet access for high-speed  
whole farm connectivity in precision agriculture. *Agricultural Systems*  
*[en línea]*, 81 (3). Setiembre. [consultado 2005/05/01]

EBSCO Academic Search Premier

<<http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=13623563&language=es>>

[33] Illinois Laboratory For Agricultural Remote Sensing

- <<http://age-web.age.uiuc.edu/remote-sensing/VariableRate.html>>
- [34] Wikipedia-The Free Encyclopedia.  
<[http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_de\\_ordenadores/computadoras](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_de_ordenadores/computadoras)>
- [35] Cisco Networking Academy Program – Cisco Systems  
<<http://www.cisco.com/en/US/learning/netacad/index.html>>
- [36] Alcócer García, Carlos.  
2000 Redes de computadoras 2a ed.
- [37] ITU  
< <http://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/faq/index.html#g013>>
- [38] MDA300  
<[www.xbow.com/Products/Product\\_pdf\\_files/Wireless\\_pdf/MDA300CA\\_Data\\_sheet.pdf](http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MDA300CA_Data_sheet.pdf)>
- [39] Decagon devices  
<<http://www.decagon.com/echo/ec20.html>>
- [40] Termistor 10K OHM NTC  
<<http://rocky.digikey.com/WebLib/BC%20Components/Web%20Data/2322%20640%205%20NTC%20Thermistors.pdf>>
- [41] HumiREL HM1500  
<[www.digikey.com](http://www.digikey.com)> ; Código HM1500-ND
- [42] LI-190SA Quantum Sensor  
<[www.licor.com/env/PDF\\_Files/190SA.pdf](http://www.licor.com/env/PDF_Files/190SA.pdf)>
- [43] Tanenbaum, Andrew S. 2003 Redes de computadoras 4a ed.
- [44] Horna Hermosa, Edwin Alcides  
2004 Diseño de una red inalámbrica utilizando la norma IEEE 802.11b  
para interconectar los puestos de control en Tacna de una institución

pública del Estado Peruano. Tesis (Ing). Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima.

- [45] GPS y la agricultura. 2000 Andrés Cadenas Martín , Nuria García Sarralde. [consultado 2005/05/01]  
<[http://www.galeon.com/gps\\_agricultura/AgPrecision.htm](http://www.galeon.com/gps_agricultura/AgPrecision.htm)>
- [46] E-Campo.com. 2001 Agricultura de Precisión y Sustentabilidad. [consultado 2005/04/27]  
<<http://www.ecampo.com/sections/news/display.php/uuid.044A5CCD-61DF-4305-B3C1268B7A486AB8/>>
- [47] Wikipedia-The Free Encyclopedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Precision\\_agriculture](http://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture)>
- [48] Intel Corporation – Redes y Comunicaciones – Tecnología inalámbrica de banda ancha  
<<http://www.intel.com/cd/network/communications/emea/spa/179913.htm>>
- [49] Intel Corporation – WiMax Experiences – Case Studies & Videos  
<<http://www.intel.com/netcomms/technologies/wimax/experiences.htm>>
- [50] Intel Corporation - Broadband Wireless Overview Demo  
<<http://www.intel.com/netcomms/bbw/>>
- [51] Intel Corporation  
2004 Broadband Wireless : The New Era in Communication. White Paper [consultado 2005/05/01]

<<http://www.intel.com/netcomms/bbw/30202601.pdf>>

[52] Bie, S.W., A. Baldascini y J.B. Tschirley.

2001 El contexto de los indicadores en la FAO. En 'Indicadores de la calidad de la tierra y

su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural', Boletín de Tierras y Aguas de la

FAO n° 5. [consultado 2005/04/24]

<[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/DOCREP/004/W4745S/W4745S00.HTM](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/W4745S/W4745S00.HTM) >

[53] Portal agrario - Ministerio de agricultura del Perú

<<http://www.portalagrario.gob.pe/agricola.shtml>>

[54] Glave, M. y J. Escobal.

2000. Indicadores de sostenibilidad para la agricultura andina

Boletín Agroecológico, 67. [consultado 2005/05/1]

<<http://www.ciedperu.org/bae/bae67/b67b.htm>>

[55] Ing.Agr Mario Bragachini, Ing.Agr Axel Von Martini, IngAgr Andrés

Mendez

Agricultura de precisión en Argentina. [consultado 15/04/2005]

<<http://www.agriculturadeprecision.org/presfut/AgPrecArgentina.htm>>

[56] Consejería de agricultura y pesca.

Plan Andaluz de agricultura ecológica. [consultado 2005/05/01]

<[http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/www/portal/com/bin/portal/Oliver/Oliver\\_Aceite/cultivo/planagrieco.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/www/portal/com/bin/portal/Oliver/Oliver_Aceite/cultivo/planagrieco.pdf) >

- [57] MARTINEZ, Omar  
2004 Agricultura de Precisión. (Santo Domingo): FERSAN [consultado 2005/05/20]  
< <http://www.fersan.com.do/Agp.htm> >
- [58] CONSEIL EUROPEEN DES JEUNES AGRICULTEURS  
2001 Agricultura y Calidad: la seguridad alimentaria. (Francia): CEJA [consultado 2005/05/20]  
<[http://www.ceja.educagri.fr/esp/enseignant/livret1/01\\_3.pdf](http://www.ceja.educagri.fr/esp/enseignant/livret1/01_3.pdf)>
- [59] INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE  
MOVEMENTS  
2005 Standards and Certification [consultado 2005/06/01]  
<[http://www.galeon.com/gps\\_agricultura/AgPrecision.htm](http://www.galeon.com/gps_agricultura/AgPrecision.htm)>
- [60] CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DOCUMENTACIÓN, EDUCACIÓN,  
ASESORAMIENTO Y SERVICIOS  
2005 Políticas Institucionales. [consultado 2005/06/03]  
<[http://www.ideas.org.pe/Politica.htm#Agro\\_Mer](http://www.ideas.org.pe/Politica.htm#Agro_Mer)>
- [61] INSTITUTO HUMBOLT COLOMBIA  
2005 Certificación orgánica o ecológica para productos agropecuarios.[consultado 2005/06/05]  
<[http://www.humboldt.org.co/biocomercio/certificacion/cer\\_orgánica.htm](http://www.humboldt.org.co/biocomercio/certificacion/cer_orgánica.htm)>
- [62] AGRICULTURA DE PRECISIÓN  
2005 Imágenes aéreas multiespectrales. [consultado 2005/06/6]  
<<http://www.agroprecision.cl/Servicios/Agrospec/Agrospec.html>>

- [63] IFOAM 2005 Normas básicas de la agricultura ecológica.  
[consultado 2005/06/06]  
< [http://infoagro.net/shared/docs/a6/76\\_normas\\_IFOAM.pdf](http://infoagro.net/shared/docs/a6/76_normas_IFOAM.pdf)>
- [64] SENAMHI  
2005 Seguimiento de las condiciones agrometeorológicas del valle del Cañete. [consultado 2005/06/06]  
<[http://www.senamhi.gob.pe/pronosticos/agro/bol\\_agro\\_caniete.pdf](http://www.senamhi.gob.pe/pronosticos/agro/bol_agro_caniete.pdf)>
- [65] ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES DE PALTA HASS DEL PERÚ.  
PROHASS  
2005 Cosecha y producción. [consultado 2005/06/07]  
< <http://www.prohass.com.pe/i-cosecha.htm>>
- [66] Informe Mercado Nacional de la Palta SITEC V Región  
2005 Mercado de la palta chilena. [consultado 2005/06/07]  
<<http://serinfo.indap.cl/Doc/Mercado%20Nacional%20de%20la%20Palta.doc>>
- [67] César De La Cruz y José Luis Bazo  
Proceso de elaboración de la propuesta de agricultura ecológica en el Valle de Mala  
<[http://www.leisa.info/index.php?url=show-blob-html.tpl&p%5Bo\\_id%5D=67070&p%5Ba\\_id%5D=211&p%5Ba\\_seq%5D=1&%5D](http://www.leisa.info/index.php?url=show-blob-html.tpl&p%5Bo_id%5D=67070&p%5Ba_id%5D=211&p%5Ba_seq%5D=1&%5D)>