



Ministerio
del Ambiente



IIAP
Instituto de Investigaciones
de la Amazonía Peruana



CIENCIAACTIVA
Red de Investigación de Ciencias



CONCYTEC
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

INTERNET DE LAS COSAS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA ACUICULTURA EN LA AMAZONÍA



Proyecto “Fortalecimiento de la Infraestructura Tecnológica para Procesos de Investigación del IIAP”



Iquitos – 2017

MILTON RIOS JULCAPOMA
RICARDO YAURI RODRIGUEZ



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



CONCYTEC
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y PROMOCIÓN TECNOLÓGICA



CIENCIAACTIVA

Scholarships and Grants by Concytec

INTERNET DE LAS COSAS EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA ACUICULTURA EN LA AMAZONÍA

Milton Ríos Julcapoma
Ricardo Yauri Rodríguez

**Proyecto “Fortalecimiento de la Infraestructura Tecnológica
para Procesos de Investigación del IIAP”**

Iquitos – 2017

Internet de las cosas en el monitoreo de la calidad del agua para acuicultura en la Amazonía

ISBN: 978-612-4372-00-1

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2017-08990

Primera edición, julio de 2017.

© Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP).

Programa de Investigación en Información de la Biodiversidad Amazónica - BIOINFO

Av. Abelardo Quiñones KM 2,5 – Iquitos

Telef: +51 65 265515

<http://www.iiap.org.pe>

© Universidad Nacional de Ingeniería. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL UNI).

Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico

Av. San Luis 1771 – San Borja

Telef: +51 1 6261400

<http://www.inictel-uni.edu.pe>

Obra realizada con el financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación

Calle Schell 459, Miraflores - Lima

Telef: +51 1 6440004

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

Autores:

Miltón Ríos Julcapoma

Ricardo Yauri Rodríguez

Cuidado de la edición:

Juan José Bellido Collahuacho, Isaac Ocampo Yahuarcani y Lelis Antony Saravia Llaja.

Se imprimieron 500 ejemplares en :

FABRIGRAF S.A.C., Av. Argentina 144, Primer piso Int. Bk-28, Lima, Tel. 01 478 5584.

Julio de 2017

Impreso en Perú.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	09
INTRODUCCIÓN	11
I. ¿QUÉ ES LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y SU RELACIÓN CON LAS TIC?	13
1.1. ¿Qué es la información?	13
1.2. ¿Qué es entonces la sociedad de la información?	16
II. PROGRAMA NACIONAL TRANSVERSAL DE TIC	19
2.1. Áreas prioritarias y líneas de investigación priorizadas en TIC	19
2.2. El impacto de las TIC en nuestra sociedad	20
III. ENTENDIENDO EL INTERNET DE LAS COSAS (I o T)	21
3.1. Comunicación de persona a persona (P2P)	21
3.2. Comunicación de persona a máquina (P2M)	21
3.3. Comunicaciones de máquina a máquina (M2M)	22
IV. ENTENDIENDO LO QUE ES UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES	23
4.1. Generalidades de una red de sensores inalámbrica	26
4.2. Funciones de los elementos de una red de sensores inalámbrica	26
4.3. Las redes de sensores en el mundo	28
V. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA PISCICULTURA EN LA AMAZONÍA	30
5.1. Consideraciones de la calidad del agua para piscicultura	30
5.2. Pruebas iniciales de monitoreo en la sede del IIAP Iquitos	31
5.3. Pruebas con nueva estructura mecánica	34
5.4. Pruebas con una estructura mecánica de menor altura	36
5.5. Pruebas con una estructura mecánica totalmente de plástico	37
VI. SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA	38
6.1. Concepción del sistema	38
6.2. Viaje de reconocimiento e instalación a las ciudades de Pucallpa, Puerto Maldonado e Iquitos.	39
VII. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	42
VIII. BIBLIOGRAFÍA	44

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Información de voz en una llamada telefónica de emergencia a los bomberos	13
Imagen 2: Información de imagen en las fotos satelitales tomadas desde el espacio	14
Imagen 3: Información de video en una transmisión de televisión en vivo	14
Imagen 4: Información de texto enviada por la red celular en caso de emergencia	15
Imagen 5: Información numérica intercambiada entre las computadoras de los bancos para actualizar cuentas bancarias	15
Imagen 6: Las TIC como un conjunto de dos tecnologías individuales e importantes	16
Imagen 7: Procesos asociados a las tecnologías de información y comunicación	16
Imagen 8: Tecnologías de almacenamiento de información	17
Imagen 9: Algunas herramientas para procesamiento de información de oficina	18
Imagen 10: Algunas herramientas correspondientes a las tecnologías de las comunicaciones	18
Imagen 11: Áreas de interés de las TICs	19
Imagen 12: Intercambio de información de voz en telefonía	21
Imagen 13: Comunicación entre una persona y una máquina	22
Imagen 14: Comunicación entre máquinas	22

Imagen 15: Red de NODOS comunicados a través de una RUTA	23
Imagen 16: Tipos de REDES según el tipo de NODOS	23
Imagen 17: NODOS sensores y NODOS coordinadores en una red	24
Imagen 18: Sensor de Humedad	25
Imagen 19: Sensor de Potencial de Hidrógeno (pH)	25
Imagen 20: Sensor de Temperatura	25
Imagen 21: Constitución interna de un NODO SENSOR	26
Imagen 22: Esquema general de una Red de Sensores Inalámbrica con estación base remota (user) a través de internet	27
Imagen 23: Esquema de la ubicación de una estación base local	28
Imagen 24: Portal de investigación de la Universidad de Berkeley	28
Imagen 25: Red de sensores sísmicos en México	29
Imagen 26: Factores que intervienen en la calidad del agua para piscicultura	30
Imagen 27: Valores del pH y sus efectos en el desarrollo de los peces	31
Imagen 28: Electrónica del NODO sensor usado en las pruebas iniciales	32
Imagen 29: Pruebas iniciales de captura de datos de temperatura y pH medidos con sensores en estanque artificial (campo abierto)	32
Imagen 30: Pruebas iniciales de captura de datos de temperatura y pH medidos con sensores bajo techo	32
Imagen 31: Estructura mecánica de un NODO coordinador (repetidor) usado en las pruebas iniciales	33
Imagen 32: Estructura mecánica del NODO sensor usado en las pruebas iniciales	33

Imagen 33: Nueva estructura mecánica de un NODO coordinador	34
Imagen 34: La nueva estructura mecánica con los sensores instalados por la parte de abajo para que tengan contacto con el agua	34
Imagen 35: Tamaño de la nueva estructura mecánica de un NODO sensor	35
Imagen 36: La nueva estructura mecánica del nodo sensor en funcionamiento	35
Imagen 37: Segunda estructura mecánica de un NODO sensor	36
Imagen 38: La madera y la espuma se deterioraron hacia el cuarto mes de funcionamiento	36
Imagen 39: Estructura mecánica definitiva que contiene la electrónica el nodo sensor	37
Imagen 40: Esquema general del Sistema de Monitoreo de Calidad del Agua	39
Imagen 41: Nodo sensor en Pucallpa	40
Imagen 42: Nodo sensor flotante en Iquitos	40
Imagen 43: Pruebas de monitoreo en Madre de Dios	41

PRESENTACIÓN

El Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana, IIAP, y el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería, INICTEL-UNI, ha venido desarrollando en los dos últimos años actividades conjuntas de investigación aplicada al desarrollo tecnológico con el objetivo de diseñar e implementar redes de sensores inalámbricos para el monitoreo de parámetros que definen la calidad de agua de los ríos de la Amazonía peruana ubicados en Loreto, Ucayali y Madre de Dios.

Los investigadores de ambas instituciones han realizado visitas de campo a los lugares sensibles donde los ríos vienen experimentando el impacto negativo de las actividades del hombre: minería, tala de árboles, entre otros. En estos lugares se han diseñado e implementado dispositivos que están monitoreando en tiempo real parámetros como temperatura y presencia de minerales y son enviados a un servidor ubicado en el IIAP e INICTEL-UNI para su almacenamiento, procesamiento y difusión posterior a través de portales web que pueden ser vistos desde cualquier dispositivo: laptop, tablet y/o celulares.

De esta manera se cumple con uno de los objetivos de tener información real de los estados de los ríos identificados, para que las autoridades puedan tomar acciones inmediatas y la población esté informada del estado de sus ríos.

En forma simultánea, el IIAP con el apoyo del INICTEL-UNI, identificó la necesidad de contar en la región de la Amazonía peruana con un computador de grandes prestaciones que permita no solo almacenar los datos generados por los diversos proyectos, sino que también procesarlos utilizando el concepto de programación paralela. Este computador está en funcionamiento y disponible para toda la comunidad académica de la Amazonía y el Perú. De esta manera el IIAP cuenta con una herramienta de avanzada para contribuir en la prevención y mejora del medio ambiente e identificar los cambios que están sucediendo en esta región debido al clima y la acción del hombre. Este equipo se complementa con las imágenes que el satélite peruano PerúSat I está tomando del Perú, ya que permite un procesamiento de imágenes de manera rápida e inmediata.

Es oportuno resaltar el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación del Perú, CONCYTEC, que hizo posible realizar estos proyectos, expresando desde ya el agradecimiento respectivo del IIAP e INICTEL-UNI y reafirmando nuestro compromiso de contribuir con la generación de conocimiento científico en bien de nuestro país.

INTRODUCCIÓN

El presente libro tiene dos objetivos, el primero es dar a conocer las experiencias de un proyecto desarrollado en la Amazonía con aplicación a la piscicultura entre el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Ingeniería (INICTEL-UNI) y el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) el cual consistió en el uso de una herramienta de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para monitorear la calidad del agua en tiempo real usada en piscicultura. El segundo objetivo es el de aclarar de manera muy sencilla los términos técnicos que, de manera inevitable, aparecen cuando se habla de las TICs, sin embargo, solo nos referiremos a aquellos que son usados de manera común.

El desarrollo de una comunidad rural o en específico el desarrollo de la Amazonía se verá grandemente impulsada si sus TICs se desarrollan y sus procesos de producción se tecnifican, en cuanto a las comunicaciones nos referimos principalmente a las del tipo vial y de telefonía y en cuanto a la tecnificación de procesos nos referimos a su sistematización. Es cierto que el desarrollo de las comunicaciones viales depende de una decisión política, sin embargo, en contraposición, el desarrollo de los procesos productivos, por parte de la propia población, depende de: una buena educación, una constante capacitación y una predisposición a enfrentar positivamente los cambios que demandan el paso de los años. El tema de la tecnificación de los procesos productivos posee un gran abanico de frentes de trabajo, teniendo en cuenta que la economía en la Amazonía está basada principalmente en los sectores: turismo, forestal, agropecuario, pesquero, hidrocarburos y manufacturero. El desarrollo de estos sectores pasa por elevar su competitividad y para ello es necesario tecnificar e innovar permanentemente sus procesos de producción. Una herramienta que aporta a la tecnificación de los procesos productivos son las TICs. Si nos preguntamos ¿Qué tenemos en TIC en nuestro país? Podemos decir que tenemos un "Programa Nacional Transversal de Tecnologías de la Información y Comunicación" preparado por el CONCYTEC con vigencia entre el 2016 y el 2021, también tenemos un Instituto Nacional que se dedica a Investigar y Capacitar en temas de TIC (INICTEL-UNI) perteneciente a la Universidad Nacional de Ingeniería, también está el Programa de Investigación en Información de la Biodiversidad Amazónica (BIOINFO) perteneciente al IIAP dedicado a las TICs. Estas dos instituciones trabajaron en conjunto para desarrollar un proyecto de aplicación de las TICs en acuicultura.

En este libro paralelamente a sus dos objetivos, con un mensaje sencillo tiene también la intención de describir cómo implementar una red de sensores inalámbricos para monitoreo de la calidad del agua en acuicultura.

I. ¿QUÉ ES LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y SU RELACIÓN CON LAS TIC?

Los analistas en temas económicos nos dicen que el mundo ha pasado de la Sociedad de las Industrias, en donde el valor estaba en la producción de bienes, a la Sociedad de la Información, donde el valor está en la información.

1.1. ¿Qué es la información?

La información es un concepto abstracto, sin embargo, todos los días de alguna manera tenemos que ver con ella. Como ejemplo veremos algunos casos de la vida real para entender su significado de manera sencilla:

Información de voz

La voz humana transmite información cuando, mediante un idioma, la usamos para comunicarnos. Por ejemplo: una persona llama por teléfono a los bomberos para solicitar ayuda en un incendio (telefonía).



Imagen 1: Información de voz en una llamada telefónica de emergencia a los bomberos.

Información de imágenes

Una institución especializada recibe imágenes satelitales de la superficie terrestre para observar potenciales ocurrencias de deslizamientos de embalse de agua, con la finalidad de tomar acciones de prevención de desastres (imágenes satelitales).



Imagen 2: Información de Imagen en las fotos satelitales tomadas desde el espacio.

Información de video

El presidente de la república expone en televisión y en cadena nacional a todo el país su propuesta de trabajo para la lucha contra la corrupción (televisión digital terrestre).



Imagen 3: Información de video en una transmisión de televisión en vivo

Información de texto o alfanumérica

Cuando en un departamento del Perú suceda un terremoto, las personas se comunicarán con sus familiares (para saber cómo están) por mensajería de texto debido a que el servicio celular en estos casos se satura y no funciona (sistema de mensajería móvil).



Imagen 4: Información de texto enviada por la red celular en caso de emergencia.

Se intercambia información numérica durante la comunicación entre computadoras de dos entidades bancarias diferentes al término del horario de atención al público, con la finalidad de actualizar las cuentas debido a las transferencias interbancarias. (comunicación entre computadoras).



Imagen 6: Información numérica intercambiada entre las computadoras de los bancos para actualizar cuentas bancarias.

En todos y cada uno de los ejemplos dados arriba existe un intercambio de información de algún tipo; pero luego nos podemos preguntar ¿dónde está el valor en todo este intercambio de información?; la respuesta es que, el valor está en cualquier intercambio de información, porque genera toma de decisiones inmediatas o futuras que provocan el movimiento de la economía, genera cambios que a su vez resulta en nuevos intercambios de información. De esto se desprende que, el hecho de utilizar bien la información significará la mejora en la economía así como también cambios positivos en el sentido de generar el bienestar de las personas.

1.2. ¿Qué es entonces la sociedad de la información?

Una definición muy sencilla y transversal a todas las definiciones existentes es la siguiente:

"Una Sociedad de la información es aquella sociedad que hace uso intensivo de las tecnologías que facilitan la creación, distribución y manipulación de la Información"

A partir de esta definición podemos preguntarnos dos cosas: la primera es: ¿a qué tecnologías nos referimos?, y la segunda: ¿cómo entendemos "creación", "distribución" y "manipulación" de la Información?

Empecemos primero con las "tecnologías" a que se refiere la definición de sociedad de la información, estas son las tecnologías denominadas "TIC" que significan:

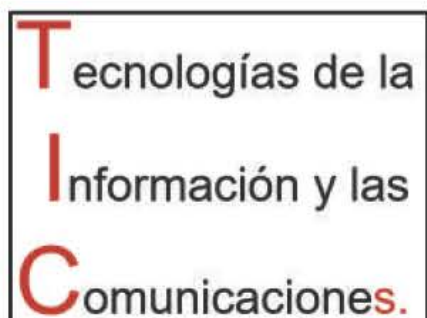


Imagen 6: Las TIC como un conjunto de dos tecnologías individuales e importantes.

Es claro que aquí con la denominación "TIC" nos estamos refiriendo a dos tecnologías, las primeras son las tecnologías de Información y la segunda las tecnologías de Comunicaciones.

Expondremos unos ejemplos de estos procesos asociados a las TIC:



Imagen 7: Procesos asociados a las tecnologías de información y comunicación.

Tecnologías de la Información

En cualquiera de los siguientes casos estaremos creando y manipulando (procesando) Información:

- Quando escribimos el informe final de un trabajo por encargo usamos un procesador de texto (procesamiento de información de texto) para luego grabarlo en el disco duro de una PC (almacenamiento en un archivo de la información de texto).
- Luego de tomar una fotografía con un celular, almacenamos la información de la imagen en la memoria y además si queremos resaltar un detalle de esa imagen usamos un procesador de imagen tal como el Photoshop.
- Quando grabamos un video con nuestro celular, almacenamos el video en la memoria del celular y además si queremos esconder alguna escena no deseada en el video utilizamos un procesador de video para difuminar solo dicha escena.



Imagen 8: Tecnologías de almacenamiento de información.

Tecnologías de las comunicaciones:

En cualquiera de los siguientes casos estamos transmitiendo información (o estableciendo comunicación):

- Quando queremos enviar nuestro informe final del trabajo realizado al gerente de la empresa, le enviamos el trabajo en un correo electrónico con el archivo adjunto (transmisión de información de texto vía Internet).
- Quando queremos enviar nuestra fotografía a un familiar en el extranjero, podemos hacerlo mediante un aplicativo móvil del celular vía Internet. (transmisión de información de imagen vía Internet).
- Quando queremos enviar un video familiar tomado con un celular a algún amigo en el interior del país, podemos hacerlo utilizando un aplicativo de red social. (transmisión de información de video vía Internet).



Imagen 9: Algunas herramientas para procesamiento de información de oficina.



Imagen 10: Algunas herramientas correspondientes a las tecnologías de las comunicaciones.

II. PROGRAMA NACIONAL TRANSVERSAL DE TIC

En el Perú existe un programa nacional transversal de TIC que se extiende a todos los sectores de Interés del país. Dado que las TIC son tecnologías transversales son necesarias casi para cualquier sector. Éste programa elaborado por el CONCYTEC fue presentado públicamente el 14 de setiembre de 1996 en las instalaciones del INICTEL-UNI y tiene una vigencia hasta el año 2021.



Imagen 11: Áreas de interés de las TICs.

Los analistas en temas económicos nos dicen que el mundo ha pasado de la Sociedad de las Industrias, en donde el valor estaba en la producción de bienes, a la Sociedad de la Información, donde el valor está en la Información.

2.1. Áreas prioritarias y líneas de Investigación priorizadas en TIC

Hablando de las áreas técnicas consideradas como el campo para el desarrollo de las TIC, sus líneas de Investigación son:

a) Computación:

- Interacción humano computador.
- Ingeniería de software.
- Computación gráfica e imágenes.
- Computación ubicua.

b) Sistemas Cognitivos:

- Procesamiento digital de señales.
- Sistemas inteligentes.
- Sentidos y procesamiento natural.
- Neurociencias.
- Robótica y automatización.

c) Ciencia de Datos:

- Comportamiento humano.
- Psicolingüística en TIC.
- Computación paralela y distribuida.

d) Plataforma de TIC:

- Redes TIC
- Internet de las cosas
- Redes de energía
- Circuitos y sistemas electrónicos
- Ciberseguridad

2.2. El impacto de las TIC en nuestra sociedad

Tomando en cuenta un estudio publicado por la Consultora Apoyo se espera en el mediano plazo, un impacto positivo en los sectores económicos y sociales, de acuerdo a los siguientes hechos que se desarrollan en nuestro país:

- a) Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica del MTC que conectará a 6,1 millones de peruanos.
- b) El esperado aumento en casi 41% del número de peruanos con smartphones al 2020.
- c) La aparición y esperado crecimiento de las tecnologías que soportan el dinero electrónico fomentadas por la Asociación de Bancos, que beneficiarán a casi 5 millones de peruanos para el 2020.
- d) Un aumento del 10% en el gasto público per cápita en computación en la nube en el Perú se traduciría en un crecimiento del 0,75 % en el PBI nacional.

Cabe mencionar también que el estudio de la Consultora recomienda institucionalizar las TIC dentro del estado, acelerar las políticas de banda ancha, computación en la nube y uso de las TIC en MYPES así como promover las acciones de capacitación y las políticas de protección de la información (Ciberseguridad).

III. ENTENDIENDO EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

El concepto del Internet de las cosas (en inglés: *Internet of Things* – o simplemente IoT) está relacionado con el concepto mismo de lo que es Internet, recordemos que su origen se basó en la necesidad de establecer comunicación entre investigadores de las universidades en EE.UU. para intercambio de ideas y trabajos colaborativos, lo que simplemente se puede entender como una comunicación de persona a persona, es decir esto se puede llamar el Internet de las Personas.

Sin embargo, el concepto de comunicación como tecnología ha evolucionado de tal manera que se pueden encontrar tres grandes tipos de comunicaciones.

3.1. Comunicación de persona a persona (P2P)

La comunicación persona a persona es la más común y es donde se establece un enlace entre dos personas sea esta por voz, texto o video a través de telefonía, red móvil celular o Internet; por este motivo, la comunicación global entre dos personas podría llamarse el "Internet de las personas".



Imagen 12: Intercambio de información de voz en telefonía.

Actualmente la infraestructura de mayor despliegue y desarrollo para comunicación P2P es la red móvil celular.

3.2. Comunicación de persona a máquina (P2M)

Este tipo de comunicación sucede por ejemplo cuando la persona busca información en una base de datos o cuando busca recibir un servicio a través de ella, aquí la persona no se comunica con otra persona sino con una computadora es decir con una máquina.



Imagen 13: Comunicación entre una persona y una máquina.

3.3. Comunicaciones de máquina a máquina (M2M)

Las comunicaciones entre máquinas se llevan a cabo principalmente en sistemas autónomos en donde la persona no interviene o interviene mínimamente, usándose medios inalámbricos u alámbricos con el fin de lograr comunicación entre dispositivos de igual habilidad, lo cual cambia la idea tradicional de comunicaciones en donde la persona siempre debía intervenir. Este nuevo concepto da lugar a lo que ahora se conoce ahora como el Internet de las Cosas.

En el esquema mostrado todos los bloques se comunican entre sí de manera autónoma, la persona no interviene para nada hasta el punto de la consulta en la Web (aplicación web), esta es una implementación de Internet de las Cosas.

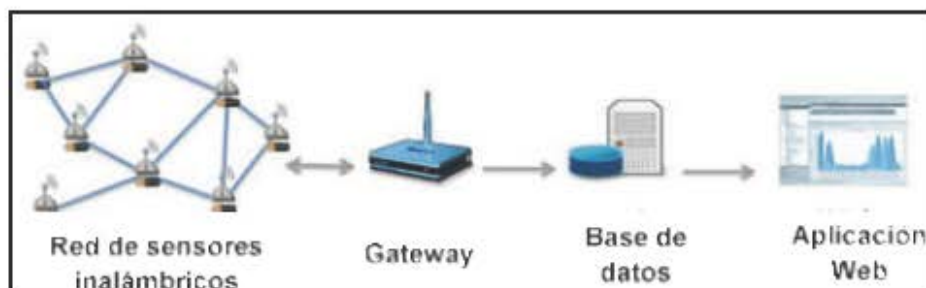


Imagen 14: Comunicación entre máquinas. Fuente: Modpaw/Red de sensores inalámbricas[5].

IV. ENTENDIENDO LO QUE ES UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES

El concepto de Redes de Sensores Inalámbrica, en una primera impresión, puede llevar a confusión en relación a su denominación; primero nos podemos preguntar: ¿son los sensores los que forman la red?, la respuesta es no, pues quien forma realmente la red son unos bloques llamados NODOS y es dentro de los nodos donde están los SENSORES; luego en segundo lugar nos podemos preguntar: ¿son los sensores inalámbricos? O ¿es la red que es inalámbrica?, la respuesta es que la red es inalámbrica y no los sensores, por lo que la red debería llamarse mejor "Red Inalámbrica de sensores" y no "Red de sensores Inalámbricos", esta confusión viene de la traducción del inglés de donde tienen origen estos términos.

¿Qué es entonces una red de NODOS?

El concepto de NODO es amplio y se puede entender en la siguiente figura:

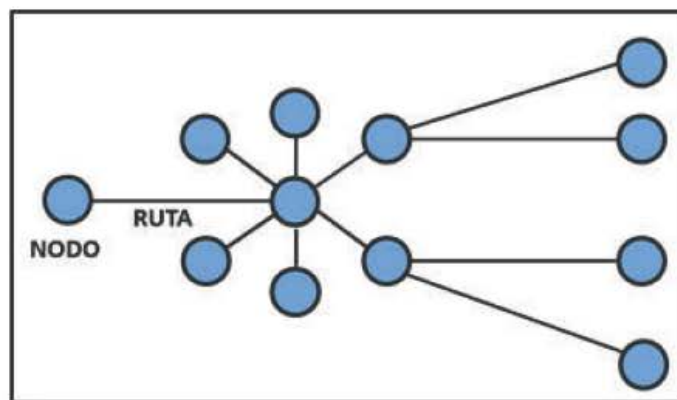


Imagen 15: Red de NODOS comunicados a través de una RUTA.

En el sentido más amplio el tipo de NODOS determina el tipo de Red.

Si los **NODOS** son computadoras personales, entonces tenemos una RED DE COMPUTADORAS.

Si los **NODOS** son centrales telefónicas, entonces tenemos una RED DE TELEFONIA

Finalmente:

Si los **NODOS** son *sistemas embebidos asociados a sensores* para toma de datos de parámetros físicos, entonces tendremos:

UNA RED DE SENSORES

Estrictamente hablando un NODO siempre es un CPU sea esta grande (central telefónica) o muy pequeña (sistema embebido con sensores)

Imagen 16: Tipos de REDES según el tipo de NODOS.

Como vemos en esencia tenemos una red de NODOS que se comunican entre sí a través de una RUTA inalámbrica (enlace de radio), por ello nuestra red de NODOS es inalámbrica, sin embargo existe dos tipos de NODOS, el primero de ellos es el NODO SENSOR que es el nodo donde se generará información de un determinado tipo y que está representado (en la siguiente figura) por un círculo celeste, mientras que el otro tipo es el NODO COORDINADOR quien no genera información sino que se encarga solo de encaminar información el cual está representado por un círculo rojo, ver Imagen 17.

La red representada en la Imagen 17, puede ser tan grande como se quiera en donde los NODOS de ambos tipos estarán distribuidos físicamente en un área geográfica determinada, todas ellas comunicadas entre sí inalámbricamente, lo que hace su condición de red inalámbrica.

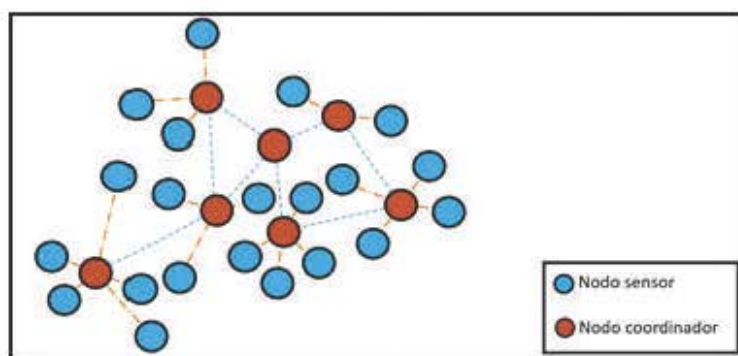


Imagen 17: NODOS sensores y NODOS coordinadores en una red.

¿Qué son los SENSORES dentro de un NODO SENSOR?

Primero debemos saber que un dispositivo TIC es en el fondo un dispositivo electrónico que maneja solo señales eléctricas, por lo tanto, nos queda la duda siguiente: ¿cómo hacemos para introducir en un dispositivo TIC valores de temperatura, de humedad, de potencial de hidrógeno (pH), de concentración de oxígeno, etc?

La respuesta es a través de los SENSORES, ya que ellos convierten esos valores físicos en electricidad, por ejemplo:

- El teclado convierte en valores de electricidad el tipo de nuestros dedos, obteniéndose información de texto.
- La cámara fotográfica convierte en valores de electricidad los niveles de iluminación de una escena, obteniéndose información de imagen.
- La cámara de video convierte en valores de electricidad la secuencia de cuadros de una escena, obteniéndose información de video.

Como veremos en las figuras siguientes, todos los sensores terminan en cables eléctricos en donde se tienen las señales eléctricas para su proceso en el sistema TIC obtenidos a partir de los valores físicos que se desean medir tales como Temperatura, Potencial de Hidrógeno (pH), Humedad, etc.



Imagen 18: Sensor de Humedad.



Imagen 19: Sensor de Potencial de Hidrógeno (pH).



Imagen 20: Sensor de Temperatura.

4.1. Generalidades de una red de sensores inalámbrica:

- a) Los **SENSORES** en una red de sensores inalámbricos tienen la función de **convertir cualquier cambio físico de la naturaleza en valores proporcionales de electricidad** las cuales constituyen un tipo de información a ser procesada por algún dispositivo TIC.
- b) Una red de sensores inalámbrica es un sistema autónomo también denominado “no atendido” porque para su funcionamiento la persona no interviene, por tanto, este tipo de redes es un ejemplo de comunicación del tipo M2M el cual corresponde al Internet de las Cosas.
- c) En las redes de sensores inalámbricas los sensores son parte interna de sus nodos, por ello estos nodos tienen la denominación específica de **NODO SENSOR**.
- d) Los nodos coordinadores no poseen sensores en razón que solo encaminan información.

4.2. Funciones de los elementos de una red de sensores inalámbrica

¿Cuál es la constitución interna de un Nodo sensor y un Nodo coordinador?

Un **NODO SENSOR** está constituido, además de un sensor, de un módulo inteligente (pequeño computador) y un pequeño sistema de radio transmisor-receptor para la comunicación inalámbrica.

Si queremos ver un **NODO SENSOR** dividido en bloques diremos que el primer bloque es el bloque sensor el cual es un circuito electrónico que adapta el sensor a los demás bloques del NODO. El segundo es el bloque de cómputo que está constituido por un módulo inteligente el cual está programado para cumplir las funciones de **NODO SENSOR**. Finalmente tenemos el bloque de comunicación que está constituido por un transceptor de radiofrecuencia y una antena. Ver Imagen 21

Un **NODO COORDINADOR** esta solo constituido por el bloque de cómputo y el bloque de comunicación, no posee un bloque sensor porque su función es solo de encaminamiento de la información que vienen de los nodos sensores así mismo por esta razón su bloque de cómputo está programado de otra manera respecto al del nodo sensor.

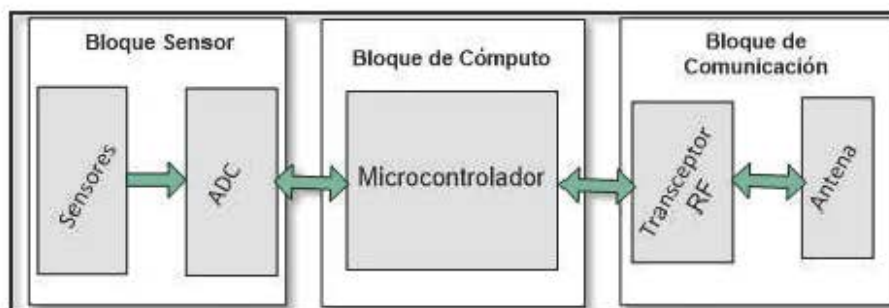


Imagen 21: Constitución interna de un NODO SENSOR.

Funciones principales es de un Nodo sensor

Las funciones principales de un Nodo sensor dentro de una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network – en inglés) son las siguientes:

1. Adquirir las señales provenientes de los sensores (muestreo, cuantización y codificación binaria) y linearizar de la curva del sensor, generándose finalmente los datos de sensado.
2. Formateo de datos, el cual sirve para conocer el inicio y fin de las medidas de cada sensor.
3. Codificación de datos, el cual servirá para minimizar errores en la transmisión.
4. Transmisión de datos, el cual sirve para enviar por señal radioeléctrica (comunicación inalámbrica) los datos de un nodo a otro

Funciones principales es de un Nodo coordinador

El NODO coordinador tiene dos denominaciones de acuerdo a su ubicación dentro de una red de sensores inalámbrica: cuando funciona como encaminamiento de la información desde un nodo sensor (target) se le denomina **Nodo repetidor** (ver Imagen 22) y cuando funciona como recolector de Información de toda la red hacia el exterior (hacia una estación base) se le denomina **Nodo recolector** o "sink node" o "gateway" en inglés, en cada caso las funciones son las siguientes:

1. Recibir Inalámbicamente datos de los nodos sensores cercanos para reenviarlos a otro nodo coordinador (nodo repetidor).
2. Enviar los datos recibidos hacia la estación base actuando como nodo recolector (Sink Node) o gateway.
3. Establecer una ruta óptima para transmitir los datos, en función del criterio de ahorro de energía.

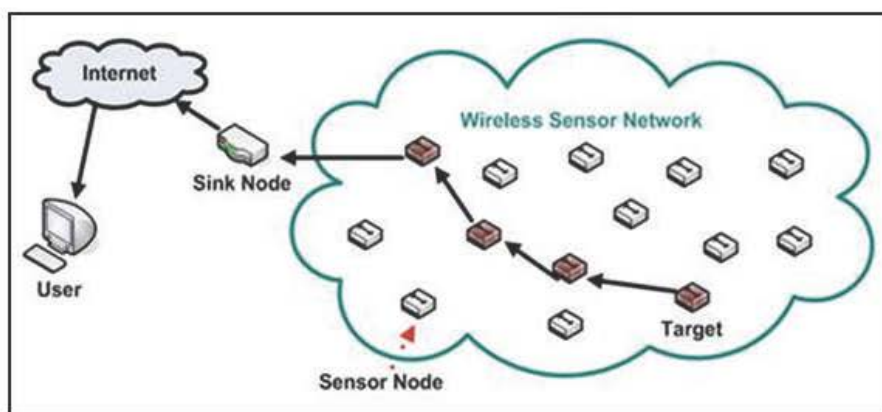


Imagen 22: Esquema general de una Red de Sensores Inalámbrica con estación base remota (user) a través de Internet. Fuente: Winstudent/Introduction: Wireless sensor network.

Funciones principales de una estación base

Estrictamente hablando una estación base es el lugar donde se encuentra el usuario de la red (user) por tanto es el punto de monitoreo de toda la información generada por la red, no olvidar que toda esa información está contenida en los datos que generan todos los sensores de la red.

1. Presentar visualmente (función de monitoreo) la información procedente de la red de sensores.

2. Elaborar estadísticas de las observaciones generando una base de datos del historial de las mediciones.

3. Comunicar o alertar (función de control correctivo) las observaciones de mediciones que no corresponden a los valores deseados.

En una estación base se tiene toda la información que la red monitorea y esta puede ser local es decir cuando la estación base está cerca de la ubicación de la red o remota cuando la estación base está en cualquier parte usando Internet.

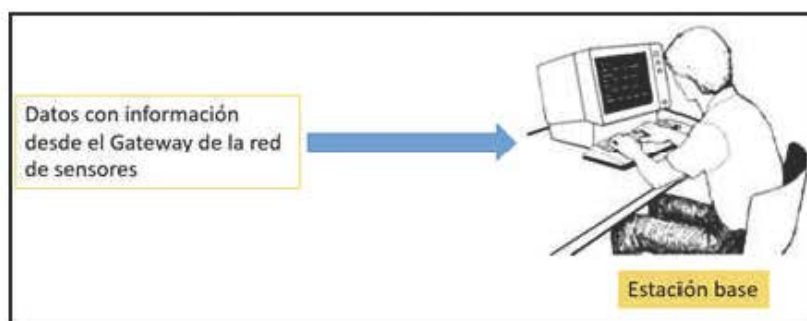


Imagen 23: Esquema de la ubicación de una estación base local.

4.3. Las redes de sensores en el mundo

El tema de Redes de sensores es un tema muy activo de investigación en casi todas las universidades importantes del mundo.

Hasta la fecha la red de sensores más grande tenía 800 nodos y fue puesta en servicio el 27 de agosto de 2001 por un tiempo breve en la Universidad de Berkeley (California) con la finalidad de demostrar la potencia de esa técnica en una presentación.



Imagen 24: Portal de investigación de la Universidad de Berkeley.

Así mismo, los sistemas de alerta temprana para la detección de la onda P en casos de sismo en la costa de México tiene un sistema de redes de sensores.



Imagen 25: Red de sensores sísmicos en México.

V. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA PISCICULTORES EN LA AMZONÍA.

Una red de sensores inalámbrica es una herramienta TIC que se puede usar para monitorear en tiempo real las condiciones del agua para acuicultura. La aplicación de esta tecnología fue el objetivo de un proyecto realizado entre el INICTEL-UNI de la Universidad Nacional de Ingeniería y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.

5.1. Consideraciones de la calidad del agua para piscicultura

Antes de describir la forma como se implementó la red de sensores para monitorear la calidad del agua de un estanque para cultivo de peces hablaremos primero del concepto de "calidad del agua para piscicultura".

Agua de buena calidad en piscicultura es aquella capaz de mantener vivo a un organismo deseado (en este caso peces para consumo humano) de tal manera que mantienen los niveles sanitarios dentro de valores aceptables para su desarrollo normal.

La calidad de agua implica la interrelación de tres factores importantes en el agua:

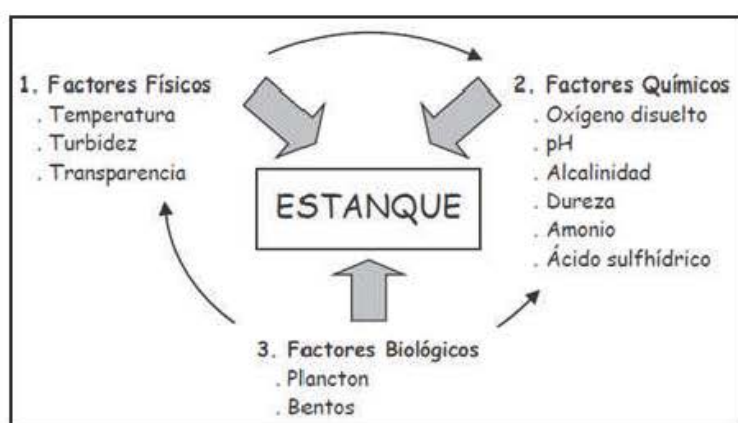


Imagen 28: Factores que intervienen en la calidad del agua para piscicultura. Fuente: Cultivando peces amazónicos, Ministerio de la Producción, IAP, San Martín Perú 2006.

Para el proyecto se han tomado en cuenta inicialmente un parámetro de factor físico y un parámetro de factor químico, estos son la temperatura y el potencial de hidrogeno pH del agua.

Si bien el presente libro no trata del aspecto biológico, sino del aspecto tecnológico para monitorear la calidad del agua. A continuación se ha incluido como complemento alguna información sobre lo que

una red de sensores inalámbrica puede monitorear. (Fuente: Cultivando peces amazónicos, Ministerio de la Producción, IIAP, San Martín Perú 2006.)

Algunas consideraciones relacionadas con la temperatura del agua

Los peces son animales cuya temperatura corporal depende de los cambios de temperatura del agua, siendo dependientes y sensibles a ésta.

Por ejemplo, el rango óptimo de temperatura para el cultivo de gamitana, paco y boquichico fluctúa entre 25 a 30°C. Una temperatura demasiado alta o baja puede ocasionar estrés (malestar) en los peces, que reducen su crecimiento y los vuelven susceptibles a enfermedades. Los cambios de temperatura afectan directamente al pez; mientras mayor sea la temperatura, mayor será su actividad y, por ende, mayor consumo de oxígeno y mayor la necesidad de alimentos.

Recomendaciones:

- Medir la temperatura del agua a las 08:00 horas (expresa el enfriamiento nocturno)
- y a las 18:00 horas (valora el calentamiento producido por los rayos solares).

Algunas consideraciones relacionadas con el pH del agua

El pH del agua indica si el agua es ácida o alcalina, su medida oscila entre 0 a 14, siendo 7 el punto neutral.

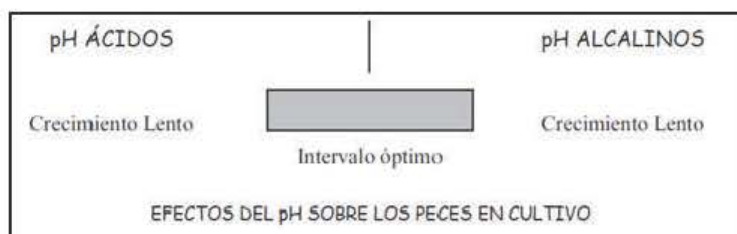


Imagen 27: Valores del pH y sus efectos en el desarrollo de los peces.

- El 90% de las aguas en ambientes naturales presentan valores de pH entre 6.7 - 8.2; sin embargo, los peces pueden ser cultivados en intervalos de pH más amplios (6.5-9.0).
- El pH tiene similar comportamiento al oxígeno disuelto, durante las 24 horas del día en un estanque. Niveles extremos de pH ácido por las mañanas y alcalino por las tardes, causan inapetencia y disminuyen el crecimiento de los peces.

5.2. Pruebas Iniciales de monitoreo en la sede de IIAP Iquitos

Con la implementación electrónica de un NODO sensor se hicieron las primeras pruebas de captura de datos en el laboratorio del IIAP de la sede de Quistococha, estas mediciones se hicieron sensando valores de temperatura y pH.



Imagen 28: Pruebas Iniciales de captura de datos de temperatura y pH medidos con sensores en estanque artificial (campo abierto).



Imagen 29: Pruebas Iniciales de captura de datos de temperatura y pH medidos con sensores bajo techo.



Imagen 30: Electrónica del NODO sensor usado en las pruebas Iniciales. (Observese el módulo Xbee, que es el módulo de radio del NODO).



Imagen 32: Estructura mecánica del NODO sensor usado en las pruebas iniciales. Obsérvese las celdas solares arriba y los cables de sensores en el agua abajo).



Imagen 31: Estructura mecánica de un NODO coordinador (repetidor) usado en las pruebas iniciales.

Conclusiones de las pruebas iniciales de monitoreo:

De las primeras experiencias en el campo se llegó a la conclusión de que el entorno amazónico con su clima, la accesibilidad a las pozas de agua y la adaptabilidad de nuestro nodo sensor a dichas condiciones, exigían trabajar mucho en la estructura mecánica. En resumen, se concluyó en lo siguiente:

- a) La estructura mecánica no podía ser una estaca en el piso porque las lluvias hacían variar el nivel del agua y los sensores no estarían a una profundidad constante.
- b) Las celdas solares debían tener al menos dos orientaciones para captar mejor la energía solar.
- c) La distancia entre la estación base y los nodos sensores exigía usar nodos repetidores en una cantidad que dependía de pruebas prácticas.

5.3. Pruebas con nueva estructura mecánica.

La nueva estructura mecánica a usarse consistió en una estructura de plástico y madera que flote sobre el agua haciéndose independiente del nivel del agua de la poza, de esta manera los sensores estarían siempre a una misma profundidad.



Imagen 33: Nueva estructura mecánica de un NODO coordinador.



Imagen 34: Tamaño de la nueva estructura mecánica de un NODO sensor.



Imagen 35: La nueva estructura mecánica con los sensores instalados por la parte de abajo para que tengan contacto con el agua.



Imagen 36: La nueva estructura mecánica del nodo sensor en funcionamiento.

Conclusiones de las pruebas con la nueva estructura mecánica:

Nuevamente las condiciones climáticas de la amazonia probaron que nuestra estructura mecánica no era la idónea. Los vientos existentes en algunas horas del día se encargaron de hundirla en menos de una semana de funcionamiento, por lo que se debía pensar en un nuevo diseño.

El cambio propuesto fue disminuir la altura de la estructura y mejorar de alguna manera su capacidad de flotar.

5.4. Pruebas con una estructura mecánica de menor altura.

La lógica para la segunda estructura mecánica fue: **"necesitamos una menor altura para ganar más estabilidad en el agua"** agregándole mejor capacidad de mantenerse a flote. Por ello se disminuyó la altura de la estructura mecánica en 15 centímetros aproximadamente, adicionalmente se agregó una espuma usada en piscinas para que las personas no se hundan; de esa forma se construyó la segunda estructura mecánica.



Imagen 37: Segunda estructura mecánica de un NODO sensor.

Con los cambios previstos para esta segunda estructura mecánica el nodo sensor trabajó ininterrumpidamente por 4 meses, al cabo de los cuales dejó de funcionar. Esto no era lo esperado porque uno de los objetivos fue que se mantuviera hasta por 6 meses en funcionamiento sin mantenimiento.

Conclusiones de las pruebas con la segunda estructura mecánica:

El funcionamiento del nodo sensor falló porque sus piezas de madera y las de espuma se deterioraron y degradaron con el entorno amazónico y no protegieron correctamente la electrónica del NODO sensor.

La conclusión final fue que tanto la madera como la espuma no debían estar presente en la estructura porque se degradan muy rápidamente.



Imagen 38: La madera y la espuma se deterioraron hacia el cuarto mes de funcionamiento.

5.5. Pruebas con una estructura mecánica totalmente de plástico.

Aun cuando la complejidad de la construcción de una estructura mecánica de puro plástico sea alta, esta ha probado valer la pena porque es altamente resistente al entorno amazónico, su mantenimiento comprende solo limpieza y no requiere cambios de piezas.



Imagen 39: Estructura mecánica definitiva que contiene la electrónica del nodo sensor.

VI. SISTEMA DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AGUA

Poner en práctica un sistema para monitoreo de la calidad del agua implica más cosas que simplemente implementar una red de sensores. En esto lo importante es enseñar cómo se va a distribuir la información. Todo esto no serviría de mucho si la información fuese difícil de acceder.

En la concepción del sistema se ha considerado también la red móvil celular y el internet para llevar a cabo la distribución. Actualmente si algo no está en internet no tendrá mucho éxito si sus resultados no se difunden.

6.1. Concepción del sistema

Para la concepción de un Sistema de Monitoreo de Calidad del Agua, se ha considerado primero la Red de sensores inalámbricos (ver el área oval lila en la imagen 38) como aquella red donde se genera la información a ser distribuida. En segundo lugar, la Red móvil celular (opcionalmente donde exista) como un camino para alimentar una base de datos en un servidor web en internet y tercero, un computador de almacenamiento de información de la red de sensores (desde el Gateway de la red) como un camino alternativo al servidor web en internet. De esta manera el monitoreo se realizará tanto de manera local, en la computadora de almacenamiento de información, como de forma remota en el servidor web.

Es importante hacer notar que una vez subida la información a internet esta se puede consultar desde cualquier lugar. Además el esquema general presentado en la Imagen 38 puede replicarse en cualquier otro departamento de la Amazonia, estando igualmente disponible para consulta en internet. Para fines del proyecto que se desea implementar en este libro, se ha previsto colocar tres puntos de observación de datos de calidad del agua en tres departamentos de la Amazonia, a saber: Iquitos, Pucallpa y Madre de Dios.

La red de sensores inalámbrica sobre el cual se ha trabajado en este proyecto, está formada por un módulo coordinador, módulos sensores, conexiones para la comunicación con la computadora y módulos de transmisión inalámbrica por red celular y ZigBee (enlace corto de radio).

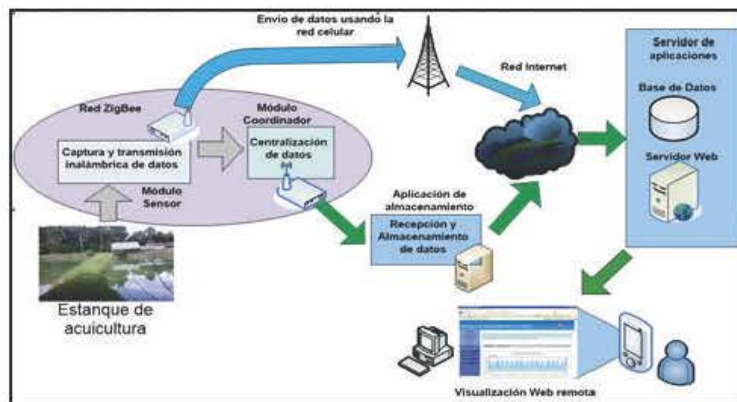


Imagen 40: Esquema general del Sistema de Monitoreo de Calidad del Agua.

A continuación, se explica el resumen del funcionamiento general de cada etapa correspondiente a la red de sensores:

Etapas de captura y transmisión inalámbrica de datos (módulo sensor): Tiene como función realizar la adquisición de las señales y datos entregados por los sensores y mediante un formato establecido, enviarlos al módulo inalámbrico para su transmisión o también usar la red de comunicación celular. Los módulos deben poder funcionar de forma autónoma durante largos periodos de tiempo (mínimo seis meses).

Etapas de centralización de datos (módulo coordinador): Esta etapa recibe los paquetes de datos entregados por uno o más módulos sensores, verificando si los paquetes están completos para luego enviarlos a una computadora. Esta etapa tiene una interfaz de usuario que brinda información de los datos recibidos de los sensores.

Etapas de almacenamiento de datos: Una aplicación se encarga de establecer una comunicación entre la computadora y el módulo coordinador (que conforma la etapa anterior). Esta aplicación almacenará los datos recibidos en una base de datos.

Etapas de lectura remota de datos almacenados: Implementa una aplicación de monitoreo remoto que permite visualizar los datos almacenados en la base de datos.

6.2. Viaje de reconocimiento e instalación en las ciudades de Pucallpa, Puerto Maldonado e Iquitos.

Como parte de las pruebas de laboratorio realizadas en la construcción de los nodos sensores se implementaron dos módulos de monitoreo ambiental con comunicación ZigBee (enlace corto de radio) hacia un nodo coordinador conectado en una computadora y un nodo sensor con comunicación GPRS (con comunicación hacia la red móvil celular).

Pruebas en Pucallpa:

Una de las pruebas realizadas en esta ciudad fue en la sede del IIAP. Se instaló un nodo sensor con sensor de conductividad del agua, temperatura y humedad ambiental. Uno de estos módulos se colocó sobre una estructura mecánica y se ubicó sobre el estanque de crianza.



Imagen 41: Nodo sensor en Pucallpa.

Pruebas en Iquitos:

Se realizaron pruebas de adquisición y transmisión de datos en la sede del IIAP donde se instaló un nodo sensor ambiental y un nodo flotante. Ambos tienen los sensores de humedad y temperatura.



Imagen 42: Nodo sensor flotante en Iquitos.

Pruebas Puerto Maldonado:

Se realizó la instalación de un nodo sensor flotante en un estanque de crianza de peces en el IIAP sede Puerto Maldonado.

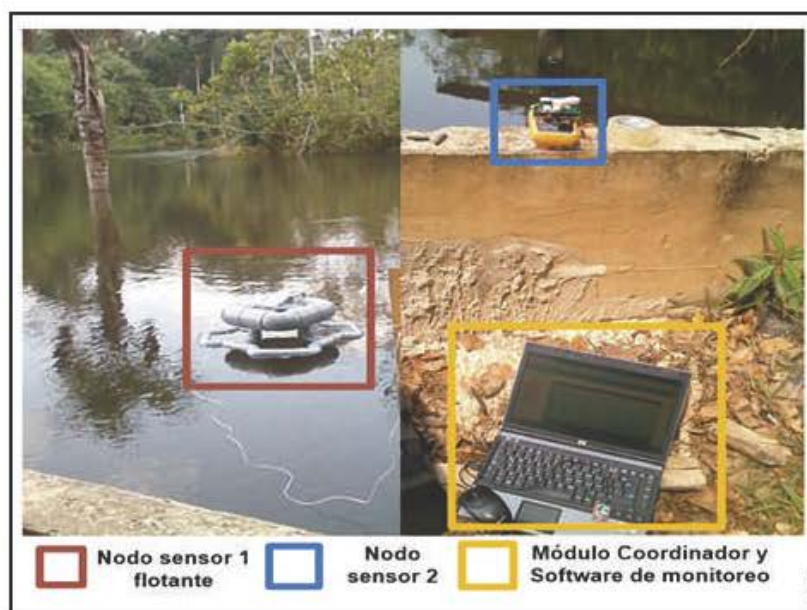


Imagen 43: Pruebas de monitoreo en el Madra de Dios.

VII. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones que se pueden desprender del presente trabajo son las siguientes:

- Se ha comprobado en la práctica el funcionamiento del sistema de monitoreo de calidad del agua mediante la implementación de nodos sensores en una zona amazónica.
- Se realizaron pruebas con la aplicación web de monitoreo, las cuales nos permitieron observar las lecturas de los sensores desde Internet.
- Las pruebas se realizaron y obtuvieron en el laboratorio del INICTEL-UNI, en el IIAP (sede en Iquitos, Pucallpa y Madre de Dios).
- El uso de dispositivos que usan la tecnología ZigBee para la transmisión de corta distancia, reenvío y centralización de datos en forma inalámbrica fue el más adecuado debido a que las velocidades de transferencias de datos no son altas.
- Se realizó el desarrollo del nodo sensor en 3 niveles de hardware, siendo el primero el nivel de la tarjeta base (mainboard), el segundo nivel de sensores y el tercer nivel de comunicaciones por GPRS (comunicación en red móvil celular).
- Se implementaron las funciones en el microcontrolador PIC24 (módulo inteligente) de la tarjeta de sensores con el fin de obtener lecturas de los sensores de potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica del agua.
- Se modificó la aplicación de recepción y envío de datos, para que pueda recibir datos del nodo coordinador en una computadora. Estos se almacenan en un servidor de base de datos en Internet usando un cliente HTTP del tipo POST. De esta manera nos acercamos más a las tecnologías de envío de datos usados en Internet de las cosas y "sensores en la nube".
- Se diseñó y desarrolló una aplicación web de almacenamiento y monitoreo mediante un servicio web tipo script desarrollado en el lenguaje PHP. Los programas web permiten la recepción y almacenamiento de los datos. Un próximo paso en el desarrollo de aplicaciones web sería el uso de protocolos orientados a la transmisión de poca cantidad de bytes, evitando las reconexiones a Internet, utilizando tecnologías como los WebSockets y protocolos de comunicación Máquina a Máquina (MQTT).
- Se realizó el diseño e implementación de rutinas de bajo consumo en los microcontroladores del nodo sensor y en el módulo GPRS SIM808 de la empresa Itead.
- Los equipos diseñados e implementados en este trabajo pueden servir como base para el desarrollo de otros tipos sistemas de monitoreo que pueden usarse en áreas de aplicación como Internet de las cosas, sensores en la nube y redes de sensores corporales.

- Se realizó la construcción y pruebas de un circuito cargador en configuración de seguimiento para realizar la carga de baterías usando celdas solares con la finalidad de tener un módulo sensor que pueda funcionar durante largos periodos de tiempo.
- Se recomienda integrar las tarjetas del nodo sensor en una sola si solo se usará para aplicaciones de monitoreo del agua.
- Es necesario mejorar el algoritmo de envío de datos por GPRS para optimizar el consumo de energía.
- Se recomienda modificar el firmware de envío por ZigBee para detectar cuando no exista conexiones con el coordinador de la red y tomar acciones para evitar la pérdida de datos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Introducción a la teoría general de la administración, Idalberto Chiavenato, McGraw-Hill 2006.
2. Instituto de Investigación de la Amazonía del Perú, Investigación busca elevar la sobrevivencia de alevinos de doncella, Perú, marzo de 2009. <http://www.iiap.org.pe/Upload/Difusion/DOC72.pdf>- Acceso 18 de abril de 2009.
3. Manual de Producción de Tilapia con Especificaciones de Calidad e Inocuidad, Fundación produce Veracruz A.C.
4. Cultivando peces amazónicos, IIAP- Investigador: Humberto Guerra Flores, Guillermo Saldaña Rojas, 2006.
5. Dirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico, INICTEL-UNI, Informe Técnico 2016.
6. Instituto de Investigación de la Amazonía del Perú, Investigación busca elevar la sobrevivencia de alevinos de doncella, Perú, marzo de 2009.



CONCYTEC
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS



CIENCIAACTIVA
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS

ISBN: 978-612-4372-00-1



9 786124 372001