

## DESARROLLO DE PROTOTIPO DE MÁQUINA INTELIGENTE DE FERTIRIEGO DE CONTROL REMOTO Y BAJO COSTO EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE

### DEVELOPMENT A SMART FERTIGATION PROTOTYPE OF REMOTE CONTROL AND LOW COST IN REGION LAMBAYEQUE

Víctor Ramírez Lora<sup>1</sup>  
Antonio Junior Fuentes Alcántara<sup>2</sup>  
Susana Elizabeth Fuentes Alcántara<sup>3</sup>

Fecha de recepción: 27 de septiembre de 2016

Fecha de aprobación: 04 de noviembre de 2016

#### **Resumen**

*El prototipo de máquina inteligente de fertiriego de control remoto y bajo costo desarrollado por la empresa RITEC Riegos Tecnificados E.I.R.L. optimiza el proceso de control y monitoreo remoto de inyección de nutrientes y ácidos en un sistema de riego tecnificado. El desarrollo de este prototipo identificó oportunidades y limitaciones en la confección de productos de alta tecnología para el sector agrícola en la región Lambayeque. El prototipo está compuesto de un hardware electrónico de bajo costo de fabricación nacional, componentes mecánicos de acción, control y un software virtual que almacena, procesa y transfiere data e información de fertiriego hacia el dispositivo instalado en un sistema de riego. La conexión remota permite a los administradores y encargados del proceso productivo de fertiriego actuar sobre el proceso a larga distancia logrando eficacia y eficiencia en el proceso. El prototipo funcional demandó un costo de producción equivalente al 30% del costo final de venta de un producto comercial sustitutorio.*

*El prototipo fue desarrollado gracias al financiamiento del programa Innóvate Perú y la empresa RITEC Riegos Tecnificados E.I.R.L. así mismo, conto con el apoyo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Señor de Sipán.*

**Palabras clave:** Agricultura, agrotecnología, fertiriego, máquina, riego.

#### **Abstract**

*The prototype machine fertigation intelligent remote control and low cost developed by the company RITEC Riegos Tecnificados E.I.R.L. optimizes process of control and remote monitoring of nutrients and acid injection into a modern irrigation system. The development of this prototype identified opportunities and constraints in the manufacture of high-tech products for the agricultural sector in the Lambayeque region. The prototype consists of a low-cost electronic hardware of national production, mechanical components of action, control and a virtual software that stores, processes and transfers data and information of fertigation to the device installed in an irrigation system. The remote connection allows administrators and managers of the production process fertigation act on long-distance process achieving effectiveness and efficiency in the process. The functional prototype demanded a cost of production equivalent to 30% of final cost of selling commercial product substitute.*

*The prototype was developed with funding from Innovate Peru RITEC program and the company*

---

<sup>1</sup> Gerente, Ingeniero Agrícola, RITEC Riegos Tecnificados, Chiclayo, Perú, victor.ramirez@ritec.com.pe, <http://orcid.org/0000-0002-4342-7683>

<sup>2</sup> Jefe de Operaciones, Ingeniero de Sistemas, RITEC Riegos Tecnificados, Chiclayo, Perú, [j.fuentes@ritec.com.pe](mailto:j.fuentes@ritec.com.pe), <http://orcid.org/0000-0001-7496-5591>

<sup>3</sup> Jefe de Servicios, Ingeniero Agrícola, RITEC Riegos Tecnificados, Chiclayo, Perú, [susi.fuentes@ritec.com.pe](mailto:susi.fuentes@ritec.com.pe), <http://orcid.org/0000-0001-7131-5921>

*RITEC Riegos Tecnificados E.I.R.L. Likewise, I had the support of the Faculty of Engineering of the University Lord of Sipán.*

**Keywords:** *agriculture, agrotechnology, fertigation, irrigation, machine.*

## **1. Introducción**

La máquina de fertiriego es un dispositivo que mejora el control y eficiencia del proceso de inyección de nutrientes y ácidos en un sistema de riego por goteo. El aporte de estos elementos al flujo principal de agua del riego por goteo de un turno es vital para lograr la máxima eficiencia del sistema e incrementar la producción del cultivo. RITEC Riegos Tecnificados ha desarrollado un prototipo de máquina de fertiriego que se ajusta a las necesidades de los técnicos de fundos quienes ejecutan los procesos de fertirrigación de los cultivos. Esta máquina desde su concepto debe poseer un sistema de sensado y control de pH y Ce con la finalidad de monitorear estos valores en la solución fertiriego (SFR) y regular la calidad de agua del turno regado. La máquina además gestiona información de los procesos de control y sensado desde un servidor externo web el cual registra y procesa los datos de la máquina. Así mismo, la máquina debe integrar todos los procesos básicos de inyección de nutrientes y su control en una sola estructura física. El objetivo de la investigación fue determinar la factibilidad del desarrollo de este dispositivo de control remoto en la región Lambayeque, e identificar la diferencia entre el costo comercial de un producto comercial sustitutorio con el costo de producción del prototipo para identificar una oportunidad de negocio en el desarrollo comercial a futuro de esta herramienta como un producto de confección propia y de alto valor agregado y diferenciador de la empresa RITEC Riegos Tecnificados. El interés en desarrollar este producto comercial se debe al incremento de señal de celular en zonas rurales de agro exportación por parte de empresas de telecomunicaciones, el alto costo a priori presentado por los productos sustitutorios de importación y la necesidad por parte de los jefes de fundo de monitorear la información de los procesos de fertiriego realizados en campo y contar con mecanismos que permitan regular el pH en la solución suelo para incrementar la disponibilidad de los nutrientes en la zona radicular.

## **2. Material y métodos**

### **2.1. Fertirrigación**

#### **2.1.1. Método de inyección de fertilizantes en riego por goteo**

El fertiriego es la actividad de aplicar fertilizantes a través de un sistema de riego por goteo; (Cadaña, 2005) nos indica que las mayores posibilidades del sistema de riego por goteo se centra en su utilización como vehículo de una dosificación racional de fertilizantes. A inicios del nuevo milenio (Bar-Yosef, 1999) nos indicaba las mejoras de los procesos de fertiriego debían concentrarse en el desarrollo de métodos confiables y rápidos que determinen el peso de materia seca del cultivo y su contenido de nutrientes para comparar sus curvas de extracción de nutrientes con las curvas objetivo de nutrientes para la campaña. Mejorar los métodos para determinar la concentración de nutrientes en el suelo, permitiendo hacer esto en el mismo campo de tal modo que las correcciones basadas sobre la evaluación a lo que ocurre en el suelo sean precisas y efectivas. En los últimos años se logró concretar el desarrollo de dispositivos para aplicación de automatizada de fertiriego, mejorando la comunicación hacia sistemas de información. En Lambayeque (Ramirez & Montaña, 2015) nos indican que la información agroclimática y de riego en la región Lambayeque es necesario, porque existe una demanda latente de información de este tipo por los agricultores, quienes requieren de información agroclimática útil y oportuna para una mejor toma de decisiones sobre sus procesos agrícolas. Esta necesidad de información agrícola para una mejor toma de decisiones es latente en las empresas agroindustriales que requieren mejorar el proceso de fertiriego.

En Perú los avances de tecnologías de riego en el sector agroindustrial se concentran en dos patentes de dominio público con patente solicitada en Perú, (Indecopi, 2015), pertenecientes al campo de los aspersores y válvulas hidráulicas. Entre los sistemas inteligentes de fertiriego resalta (MOHD

NUR IRSYAAD BIN MOHD JUASER, 2014), con un sistema de fertiriego inteligente para plantas el cual posee un controlador basado en la plataforma de hardware libre arduino. Este controlador recibe información de lluvia, pH, humedad y temperatura de suelo desde sensores. Los datos procesados siguen un proceso de cálculo de dosis empleando un método de lógica difusa, como resultado los nutrientes son mezclados en agua en la dosis adecuada. Finalmente, esta solución de fertiriego es impulsada a través de una bomba hacia el sistema de riego.

Para programar fertiriego en un sistema de riego por goteo las dosis se programan en función del tiempo o volumen de la solución de fertiriego (SFR) circulante. La automatización puede generarse por tiempo, volumen o computadora, al respecto (Cruz, 2007) nos indica que la programación por tiempo es una forma simple de automatización, que determina el tiempo de la fertirrigación teniendo en cuenta la dosis necesaria, la distribución y el caudal de los emisores. En la programación por volumen el paso de agua se cierra cuando ya se ha aplicado un volumen necesario para el riego o fertiriego. Se requieren medidores y válvulas de accionamiento automático (hidráulicas, volumétricas o electroválvulas) y en algunos casos un programador de riegos. Finalmente, la programación por computadora consigue un grado total de automatización del sistema, desde el control de la fertirrigación, programación automática de acuerdo a la demanda del cultivo en tiempo real, ajuste de parámetros químicos del agua, hasta la limpieza de filtros. Se requiere la instalación de diversos sensores para determinar el contenido de humedad del suelo, manómetros, sondas de pH y CE, estaciones climáticas etc.

**2.2. Fases del desarrollo de máquina de fertiriego.** El proceso desarrollo de una máquina de fertiriego se muestra en la Figura N° 01.

### **2.2.1. Confección de tarjeta de circuito impreso (PCB)**

Esta tarjeta controla los elementos de sensado y actuación que posee la máquina como sensores de pH y Ce, electroválvulas y relés de activación de válvulas y motores. La tarjeta es una superficie constituida por pistas de material conductor sobre una base no conductora de plástico la cual sostiene un conjunto de componentes electrónicos.

#### **a. Materiales**

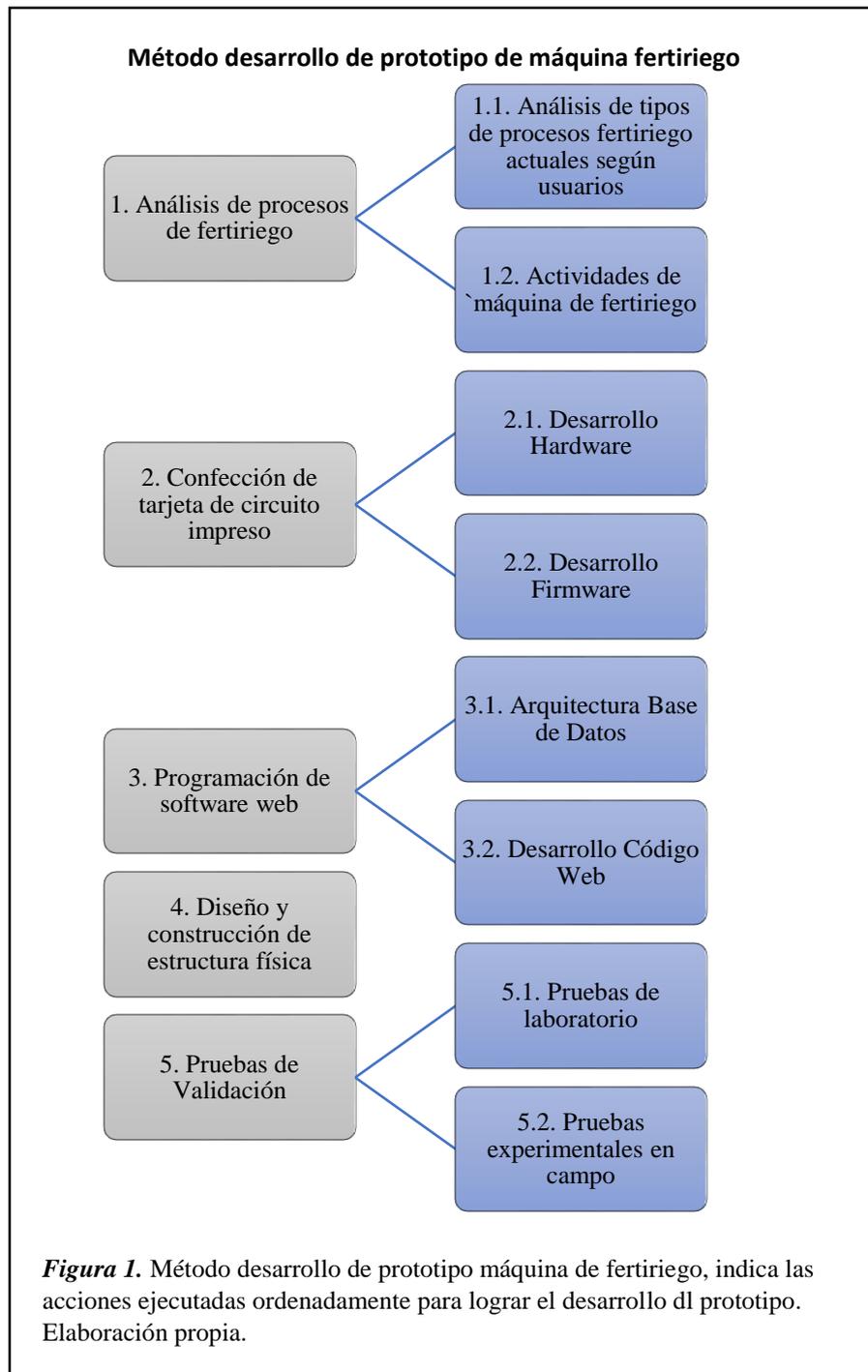
Se utilizaron diversos componentes electrónicos en la elaboración del circuito impreso. Adicional a los elementos se necesitó una base de Fibra de vidrio FR#4 y herramientas básicas de electrónica como multitester, grabador, taladro, cautín, soldador.

Los sensores de pH empleados pertenecen a la familia de sensores desarrollados por la empresa Atlas-Scientific. El modelo de circuito pH Ezo y el sensor "pH probe" versión 2.2. Respecto a la conductividad eléctrica CE se utilizó el sensor ECDCCE/1 de la empresa EMEC.

**b. Método.** El método seguido se compuso de las siguientes fases:

#### **• Análisis de requerimiento**

A través de reuniones de trabajo se definió los requisitos básicos que debe realizar la máquina de fertiriego a nivel de control y sensado. Este análisis se basó en el estudio de los procesos de fertiriego desarrollados actualmente en diversos tipos de sistemas de riego por goteo. Las acciones a realizar por la máquina de fertiriego se proyectaron bajo la función de control remoto, novedad principal del dispositivo.



### • Programación de firmware

El código del firmware del circuito impreso se programó utilizando el programa compilador de PIC “mikroC pro” en la versión for PIC 32. EL lenguaje empleado para la programación fue el C++. El micro controlador PIC32MX795F512Lde la compañía Microchip fue seleccionado para desarrollar las principales funciones del circuito impreso.

### • Diseño de diagrama esquemático y diagrama de bloques

El programa empleado para realizar los diagramas esquemáticos y de bloques fue el Eagle Cad Soft. En este programa se diseñó el diagrama del circuito electrónico (esquemático) así mismo el desarrollo de la ubicación final de los componentes pistas y caminos de conductores a través del diagrama de bloques. Así mismo, en este se verificó la simulación del circuito.

### • Confección de tarjeta final

La tarjeta se confeccionó sobre una base de fibra de vidrio FR-4 la cual contiene una placa de cobre. Sobre esta placa se colocaron los diversos componentes electrónicos indicados en el diagrama esquemático. La colocación de los componentes se realizó bajo la metodología “tecnología de montaje superficial”

## 2.2.2. Diseño y Programación de software web

### a. Materiales

En el proceso de desarrollo del sistema web se utilizaron los siguientes materiales:

#### • PHP

(Acrónimo recursivo de *PHP: Hypertext Preprocessor*) es un lenguaje de programación de código abierto muy popular adecuado para el desarrollo web; junto con HTML permite crear sitios web dinámicos.

#### • MySQL

Es un sistema de administración de bases de datos (Database Management System, DBMS) para bases de datos relacionales, desarrollado bajo licencia dual GPL/Licencia comercial por Oracle Corporation.

#### • PhpMyAdmin

PhpMyAdmin es una herramienta que permite administrar bases de datos MySQL empleando un navegador. PhpMyAdmin permite crear o eliminar bases de datos; crear, eliminar o alterar tablas; eliminar, editar o agregar campos, etc.

#### • Framework Angularjs

Es un Framework MVC de Java Script de código abierto que permite crear aplicaciones SPA (*Single-Page Applications*), mantenido por Google.

#### • Dreamweaver cs6

Es un editor de HTML para el diseño de páginas web. Así como también la programación de otros lenguajes que suelen emplearse en el desarrollo de sitios web como PHP, Java Script, CSS, AJAX, etc.

#### • MySQL Workbench 6.0 CE

Es una herramienta visual de diseño de bases de datos que integra desarrollo de software, Administración de bases de datos, diseño de bases de datos, creación y mantenimiento para el sistema de base de datos MySQL.

### b. Método

**Modelo de Prototipos:** Se encarga del desarrollo de prototipos para que estos sean analizados y prescindir de ellos a medidas que se adhieran nuevas especificaciones. (Pfleeger, 2002)

## Actividades del desarrollo de software

### b.1. Análisis de requerimiento

Obtener los requisitos del producto de software.

En esta actividad se deben realizar reuniones con el cliente o usuario del sistema con el fin de obtener los requisitos o requerimientos del sistema. La comunicación en esta etapa es muy intensa ya que el objetivo es eliminar la ambigüedad en la medida de lo posible.

**Resultado:** Documento Especificación de Requerimientos.

### **b.2. Diseño y arquitectura**

Consiste en el diseño de los componentes del sistema que dan respuestas a las funcionalidades de los requerimientos detallados en el punto anterior.

**Resultado:** Generalmente se realiza en base a diagramas que permitan describir las interacciones entre las entidades y su secuenciado (Diagrama de Base de datos, Arquitectura del Sistema, Diagrama de Secuencia).

### **b.3. Programación**

En esta etapa se traduce el diseño a código.

El lenguaje de programación utilizado es PHP con Framework Angularjs, y para la gestión de la Base de Datos MySQL.

**Resultados:** Código Fuente.

### **b.4. Prueba de funcionamiento**

Consiste en comprobar que el software realice correctamente las tareas indicadas en la descripción del reto a solucionar. Una técnica es probar por separado cada módulo del software, y luego probarlo de manera integral, para así llegar al objetivo.

**Resultado:** Prueba de Funcionalidad

## **2.2.3. Diseño y construcción de estructura física**

### **a. Análisis de requerimientos**

El requerimiento de la máquina de fertiriego se realizó luego de reuniones con ingenieros de campos y técnicos de dos fundos ubicados en la zona media de los valles Zaña y Chancay en la región Lambayeque. La primera institución representa al segmento mediano agricultor y la segunda al rubro agroindustria. El análisis de la información brindada por ellos determinó los componentes finales que debería tener la máquina.

### **b. Elaboración de Planos**

Se utilizó el programa Autocad Inventor para el diseño del dispositivo en tres dimensiones. Se diseñaron las piezas necesarias y otras fueron extraídas de librerías Cad. Los planos permiten definir y corregir los errores de conexión en conducción de agua y cableado definiendo los parámetros de confección del prototipo.

### **c. Ensamblaje**

Los componentes medición, control, potencia, plataforma colectora de datos, conducción y estructura de soporte de la máquina de fertiriego se ensamblaron en el taller de ensamblaje de la empresa RITEC.

### **d. Pruebas de Funcionamiento**

Se realizaron en los campos agrícolas con sistemas de riego por goteo indicados. Estos campos se ubican en la parte media del valle Chancay-Lambayeque y la zona media del valle Zaña. Estas pruebas comprendieron:

- Conexión de la máquina al sistema de riego existente.
- Control de apertura y cierre de válvulas modo remoto desde plataforma RITEC
- Encendido de motor de bomba de modo remoto desde plataforma RITEC
- Monitoreo de caudalímetros de modo remoto desde plataforma RITEC
- Lectura de ph y Ce de la solución fertiriego y de agua de riego en plataforma

### 3. Resultados

#### 3.1. Análisis del Proceso de Fertiriego en sistemas de riego por goteo actuales

##### 3.1.1. Pequeña Agricultura

El riego por goteo es un sistema de riego poco extendido entre los pequeños agricultores de la región Lambayeque. La mayoría de los pequeños agricultores pertenecen a sistemas de riego regulados los cuales entregan el recurso en función del plan de cultivo y la disponibilidad a través de una red de canales principales y secundarios. La dotación de agua suele estar configurada en función de unos coeficientes de cultivo lo cual repercute en que el pequeño agricultor comúnmente recibe el agua con grandes intervalos de tiempo. Para poder maximizar los beneficios de la implementación de un sistema de riego el pequeño agricultor requiere de un reservorio que le permita almacenar y regular su dotación de agua para su posterior entrega al campo con riegos de alta frecuencia. Para este agricultor cambiar de una tecnología de riego antigua a una moderna significa un gran cambio y una esperanza para el logro de mejores cosechas.

Debido al limitado acceso a financiamiento, es complicado para el pequeño agricultor adquirir un sistema de riego, sin embargo, existen algunos pequeños agricultores que deciden realizar su inversión. La característica de estos agricultores se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Característica riego fertiriego pequeño agricultor*

Agricultor	Fuente Agua	Almacenamiento	Sistema Riego	Fertiriego
Pequeño	Canal	Reservorio	Goteo	Si
	Subterránea	Sin poza Rebombeo Poza Rebombeo	Goteo Goteo	Si Si

*Fuente propia*

Sin embargo, estos agricultores miden la satisfacción de su sistema de riego por goteo implementado en función del ahorro del agua, la ampliación de sus tierras regadas y el incremento de la producción. Respecto al fertiriego sus sistemas de inyección de fertilizantes suelen ser básicos e ineficientes. Actualmente sus procesos de fertiriego abarcan las siguientes acciones.

**Tabla 2**

*Requerimiento de Fertiriego del pequeño agricultor*

Item	Subprocesos
1	Determinación de Plan de Fertiriego
2	Provisión de fertilizantes granulares
3	Dosificación de Plan de Fertiriego a lo largo de campaña
4	Preparación de Solución Fertiriego (SFR)
5	Inyección de SFR a sistema de riego
10	Medición de producción por unidad de riego
11	Comparación de producción histórica

*Fuente propia*

##### 3.1.2. Mediana Agricultura

Los medianos agricultores se caracterizan por poseer un conocimiento técnico mayor al pequeño agricultor el cual radica en su experiencia o en el soporte técnico de su asesor o ingeniero de campo. Este agricultor valora en mayor grado el proceso fertiriego porque reconoce la importancia de la nutrición en el incremento de la producción de sus cultivos. En la región Lambayeque se ubican principalmente en zonas de escasez hídrica como los valles de Olmos, Motupe y Jayanca. En la región del valle Chancay se ubican principalmente en las zonas de Chongoyape, Ferreñafe, Mórrope. En el

valle Zaña, se ubican en la zona de Mocupe y en el valle anexo de Jequetepeque en Chepén, Guadalupe y zonas circundantes.

Sus sistemas de fertiriego poseen sistemas básicos en estado regular, comúnmente requieren mejoras a nivel hidráulica, control de presiones, y adición de control de pH y Ce para corregir valores y gestión de información en tiempo real. Este segmento del mercado comprende el incremento de la productividad que le genera mejorar sus procesos de nutrición. En este proceso de nutrición, existen diversos servicios de proveedores externos que influyen en el proceso como los laboratorios de análisis físico y químicos de agua y suelo, asesores con conocimiento en fertiriego y cultivo, y empresas de tecnología de riego que realizan mejoras al sistema de inyección o venta de máquinas de inyección de nutrientes.

Las actividades en el proceso de fertiriego que actualmente desarrollan estos agricultores se resumen de la siguiente manera:

**Tabla 3**

*Requerimiento de Fertiriego del mediano agricultor*

Item	Subprocesos
1	Determinación de Plan de Fertiriego
2	Provisión de fertilizantes granulares
3	Dosificación de Plan de Fertiriego a lo largo de campaña
4	Preparación de Solución Fertiriego (SFR)
5	Inyección de SFR a sistema de riego
6	Monitoreo de cantidades de fertilizantes aplicados por turno de riego
7	Análisis Nutricional de Agua, Solución de Fertiriego, Suelo, Foliares
9	Medición de impacto de fertilización
10	Medición de producción por unidad de riego
11	Comparación de producción histórica

*Fuente propia*

Los sistemas de inyección de fertilizantes de este segmento del mercado se caracterizan por ser hechos a la medida y con una alta dispersión de los diversos subprocesos del proceso principal fertiriego. Estos sistemas de inyección de nutriente forman parte de los diseños de las empresas de riego quienes emplean métodos de diseños que valoran la personalización del sistema. Tener los elementos del sistema demasiado alejados uno de otros repercute en un excesivo cableado eléctrico e hidráulico para el control del sistema.

### **3.1.3. Agroindustria**

Estas empresas jurídicas contratan ingenieros especializados para las distintas áreas concernientes a la producción de los cultivos. Estos ingenieros profundizan el análisis de las actividades de Planificación y Análisis de Resultados con fines de realizar las correcciones adecuadas entre campañas y cumplir las metas planificadas desde el inicio de campaña. Conocen la importancia de monitorear y controlar el pH y Ce del agua de riego y la solución suelo con fines de facilitar la disponibilidad de nutrientes en la solución suelo. Algunas de estas agroindustrias han automatizado todo el proceso de fertiriego, teniendo tanques o pozas de almacenamiento de diversas dimensiones en función de la extensión de su campo. El objetivo de los tanques de preparación es disolver los nutrientes de modo manual o automatizado por sistemas de paletas o chorro directo y enviarlos a los tanques de almacenamiento. Estos tanques son la reserva y la fuente de las soluciones madres de fuentes nutritivas de nitrógeno, fosforo, potasio (macronutrientes) y micronutrientes. Existen además recipientes especiales para las fuentes ácidas. A través de máquinas de inyección comúnmente llamadas mesas de fertiriego o por sistemas de inyección directa personalizados los nutrientes son enviados al sistema de

riego ingresando previamente por un sistema de filtrado para evitar el ingreso al sistema precipitados químicos productos de la disolución de fertilizantes.

**Tabla 4:**  
*Requerimiento de Fertiriego Agroindustria*

Item	Subprocesos
1	Determinación de Plan de Fertiriego
2	Provisión de fertilizantes granulares
3	Dosificación de Plan de Fertiriego a lo largo de campaña
4	Preparación de Solución Fertiriego (SFR)
5	Inyección de SFR a sistema de riego
6	Monitoreo de cantidades de fertilizantes aplicados por turno de riego
7	Análisis Nutricional de Agua, Solución de Fertiriego, Suelo, Foliare
8	Control y regulación de pH y Ce de Agua de riego y SFR
9	Medición de impacto de fertilización
10	Medición de producción por unidad de riego
11	Comparación de producción histórica

*Fuente propia*

### 3.2. Análisis de acciones y características de máquina de fertiriego

En un proceso integral de fertiriego existen actividades que deben ser realizadas por personas y otras se pueden automatizar. La Planificación y el Análisis, son las actividades donde se concentran las competencias de las personas, en este paso es importante la gestión de la información por este motivo RITEC ha desarrollado un software web de Planificación y Análisis de Fertiriego, logrando desarrollar facilitar la toma de decisiones en planificación y análisis de fertiriego. Respecto a las labores factibles de automatizar, Monitoreo y Control, estas actividades diarias intervienen en la aplicación de fertilizante en función de una programación la cual depende de dos variables, la dosificación correspondiente a la fase temporal y la programación de riego del día. La máquina de fertiriego de RITEC debe cumplir en campo las órdenes implementadas desde el software de fertiriego a una distancia remota.

El análisis de los procesos de fertiriego en diversos segmentos de agricultores también define ciertas características básicas que toda máquina debe poseer para satisfacer las especificaciones de los futuros usuarios.

- Bajo costo final comercial respecto al valor de un producto importado. Para esto primero debemos diseñar y confeccionar el prototipo de la máquina de fertiriego y posteriormente analizar el desarrollo en serie. El alcance de la presente investigación cubre hasta el costo del prototipo.
- Sensado y control del pH y Ce del agua de riego enviada al campo por el sistema de riego.
- Sistema de gestión de información de fertiriego desde plataforma virtual que permita el control y monitoreo de las acciones realizadas por la máquina.
- Integración en una sola máquina de los diversos componentes de un sistema de inyección de fertilizantes personalizado como líneas de alimentación, válvulas de control, caudalímetros, bomba de agua.

### 3.3. Tarjeta de circuito impresa

#### 3.3.1. Hoja de requerimiento

La máquina de fertiriego debe poseer las siguientes características:

- Capacidad de recibir y almacenar la programación de fertiriego por turnos, estos datos ingresan al controlador de forma remota (indicando el tiempo de inyección de solución fertiriego o volumen de solución fertiriego de cada turno).
- El controlador tiene conexión remota a la web.
- Apertura y Cierre electroválvulas y válvulas solenoides. (8 canales)
- Arranque de funcionamiento de la bomba de máquina fertiriego.
- Mide, registra y transfiere las siguientes variables de sensores:
  - Fertímetros o Caudalímetros para sustancias químicas (señal emitida por caudalímetro)
  - PH
  - Ce (conductividad eléctrica)
- Envío de señales de alarma por sms y correo.

### 3.3.2. Código de Firmware

El programa que controla todo el sistema consta de funciones y microprogramas (librerías) que gestionan individualmente etapas de comunicación, activación, lectura, etc.

Las librerías desarrolladas se utilizan principalmente como métodos abreviados de comunicación e integración de parámetros de proveedores de servicio de GPRS, en este caso de la compañía CLARO SAC.

Asimismo, las lecturas de los diversos sensores son ejecutados en librerías dedicadas, entregando dichas librerías respuestas como valores definidos de los mismos

### 3.3.3. Descripción del hardware

#### a. Microcontrolador

El diseño integrado del micro controlador requiere de elementos capacitivos en fuente de alimentación: condensadores en fuente de 3.3vdc. Así mismo un sincronizado de operaciones (cristal) que en esta oportunidad es de 8Mhz y gracias a un multiplicador de frecuencias internas del micro controlador la velocidad de operación es de 72Mhz. Además de ello se utilizan pines de control, salidas y entradas.

Se utilizan pines de control para las activaciones:

- Pines Digitales: Salida a nivel lógico TTL, para entradas y salidas.
- 8 pines como salidas digitales para activaciones de contactos secos.
- Activaciones de Rele, inducido por el driver ULN2803.
- 10 pines como entradas digitales para activaciones manuales (4 a modo de botón pull-up y 6 para lecturas de cuentas digitales en caso de sensores de caudal). La lectura del caudalímetro se realiza midiendo cambios de niveles lógicos en intervalos de tiempo determinados.
- 3 pines de comunicación serial para el módulo GSM/GPRS (rx, tx, reset). El dispositivo SIMCOM es el encargado de la comunicación entre el equipo Monitor climático y el servidor de datos RITEC. Todos los valores de los sensores leídos por el micro controlador son enviados a través de este pin TX al correspondiente RX del SIMCOM, dicho dispositivo recibe la trama y gracias a una configuración previa con un proveedor de datos se enlaza vía GPRS al servidor RITEC para que pueda gracias a un script guardar en la base de datos.
- 4 pines para comunicación serial divididos en: 1 usb-serial (rx, tx), 1 bluetooth o RF (rx, tx). Estos pines se utilizan a modo de transmisión serial, gobernados íntegramente por el micro controlador principal, envían y reciben datos ya sea a una aplicación desktop (usb), una interface inalámbrica o cualquier dispositivo de tipo serial.
- Se utilizan además pines propios del funcionamiento inicial del micro controlador, así como pines de grabación de firmware. En este modelo a través del módulo de grabación ICSP.

## b. Módulo de alimentación

Se utilizan tres (niveles de voltaje), activados por la entrada general: 12vdc.

- 1er nivel: Se regula a través del regulador ajustable a 3.9Vdc (funcionamiento del módulo de comunicación GSM/GPRS). Esta fuente es capaz de proporcionar una corriente de 2A, en los casos de comunicación o enlaces a antenas del proveedor el consumo del módulo GSM/GPRS de SIMCOM es de 1.2A pico.
- 2do nivel: Se regula a través de un regulador lineal a 5vdc, este voltaje se utiliza para alimentar a dispositivos de pantallas lcd/glcd y principalmente niveles de referencia de relés para activaciones de electroválvulas, entre otros. Esta fuente entera como máximo una corriente de 0.8A.
- 3er nivel: Se regula a través de un regulador lineal a 3.3vdc, este nivel de voltaje es el más importante, ya que sirve de fuente al micro controlador principal. Este nivel de voltaje es mantenido por un juego de capacitores (12 unid.), los cuales cumplen la función de mantener el voltaje lo más estable posible en su valor nominal 3.3vdc. Este regulador de 3.3vdc entrega una corriente de 0.8<sup>a</sup>

## c. Módulo de actuación

- Para la activación de los relés se utiliza un driver darlington con código ULN2803, este driver recibe señales lógicas y realiza la conmutación a nivel de voltaje de 5vdc a las bobinas de los relés, es necesario este tipo de activación debido a la corriente de circulación en las bobinas de los relés, este nivel de corriente no es soportado por los pines del micro controlador, es por ello que se debe hacer mediante un driver, en este caso el darlington ULN2803.

## d. Módulo de sensado

El sensado de caudal, pH y conductividad eléctrica se realiza con los siguientes sensores:

- **Caudal:** Caudalímetro por nivel de rpm, el escalamiento de las vueltas de un rotor interno nos da una medida indirecta del caudal, gracias a la cantidad de vueltas que se contabilizan, es posible mediante la sección y una transformación simple estimar el caudal circulante.
- **pH:** La medición se realiza a través de un electrodo de pH, que es un dispositivo pasivo que detecta una corriente generada a partir de la actividad del ion hidrógeno.  
Esta corriente (que puede ser positivo o negativo) es muy débil y no se puede detectar fácilmente con un multímetro o un convertidor analógico a digital. Por ello se utiliza un controlador especial para dicha lectura.  
La señal eléctrica débil puede ser fácilmente interrumpido y se debe tener cuidado de utilizar sólo los conectores y cables adecuados  
La corriente que se genera de la actividad de iones hidrógeno es el recíproco de la actividad y se puede predecir mediante esta sencilla ecuación

$$E = E^0 + \frac{RT}{F} \ln(\alpha_{H^+}) = E^0 - \frac{2.303RT}{F} pH \quad (1)$$

- **Conductividad Eléctrica:** El sensor de conductividad eléctrica funciona registrando la diferencia de resistencia entre sus terminales, producto de esa diferencia de resistencia circulará una corriente, esa corriente circulante es la medida de un valor de conductividad del líquido.

## 3.4. Software web

### 3.4.1. Análisis de requerimiento

#### a. Especificación de Requisitos

A través del contacto directo con los usuarios del sistema se determinó los requerimientos de los mismos y precisar cómo debe ser el funcionamiento del sistema propuesto. Entre los requerimientos determinados se tienen:

- El sistema debe poseer claves para limitar el acceso protegiendo así la integridad y confidencialidad de los datos, también deberá contar con respaldo continuo, para mantener resguardada la data.
- El sistema debe contar una interfaz sencilla, amigable y de fácil acceso, con la finalidad de que al usuario se le facilite el aprendizaje y uso del sistema.
- La función principal del sistema debe ser la de planificar y controlar un calendario de fertiriego (Programaciones).
- El sistema debe mostrar al usuario reportes gráficos de la dosificación de nutrientes NPK por turno y campaña.
- El sistema debe permitir al usuario registrar sus terrenos de cultivo, para esto deben existir tres (03) maneras de registrar un terreno:
  - Ingresando los valores de latitud y longitud.
  - Ingresando las coordenadas UTM del terreno (zona, este, norte y altitud)
  - Mostrarle al usuario un mapa (puede ser Google Mapcity) donde este tendrá que señalar la ubicación del terreno.
- El sistema debe permitir al usuario registrar sus análisis de suelo.
- El sistema debe permitir al usuario registrar sus Cultivos.
- El sistema debe permitir al usuario registrar Fertilizantes.
- El sistema debe permitir que el usuario gestione sus terrenos registrados (buscar, modificar o eliminar).
- El sistema debe permitir al usuario realizar programaciones de fertiriego (Calendario de Fertiriego) de un cultivo en específico y por turno.
- El sistema debe permitir al usuario revisar sus programaciones, así como mostrarle información de la evolución diaria de las mismas.

### **3.4.2. Diseño y arquitectura**

#### **a. Arquitectura del Sistema**

La aplicación posee una arquitectura cliente-servidor de tipo cliente delgado, el cual consta de tres capas, contiene código de presentación, código de procesamiento de datos y código de almacenamiento de datos. (RITEC Riegos Tecnificados, 2013)

#### **a.1. Capa de Presentación**

Los servicios de presentación proporcionan la interfaz necesaria para presentar información y reunir datos. También aseguran los servicios de negocio necesarios para ofrecer las operaciones requeridas e integran al usuario con la aplicación para ejecutar un proceso de negocio. La capa de servicios de presentación es responsable de:

- Obtener información del usuario (tipo usuario y clave).
- Obtener información de clientes y/o administradores del sistema (datos de perfil, terrenos, programaciones, cultivos, etc.).
- Enviar la información del usuario a los servicios de negocio para su procesamiento.
- Recibir los resultados del procesamiento de los servicios de negocios.
- Presentar estos resultados al usuario.

## **a.2. Capa de Negocio**

Los servicios de negocio son los que procesan las peticiones del usuario permiten a los usuarios acceder a los servicios de datos o sea permiten la interacción de los usuarios no los datos. Responden a peticiones del usuario (u otros servicios de negocio) para ejecutar una tarea. Cumplen con las distintas tareas aplicando procedimientos formales y las reglas de negocio previamente establecidas. Cuando los datos necesarios residen en un servidor de bases de datos, garantizan los servicios de datos indispensables para cumplir con la tarea de negocio. Esto aísla al usuario de la interacción directa con la base de datos.

## **a.3. Capa de Datos**

El nivel de servicios de datos es responsable de:

- Almacenar los datos.
- Recuperar los datos.
- Mantener los datos.
- La integridad de los datos.

## **3.5. Estructura de máquina de fertiriego**

### **3.5.1. Descripción componentes de máquina de fertiriego**

El Dispensador Inalámbrico de Solución Fertiriego inyecta a la línea principal de un sistema de riego la solución fertiriego (SFR) preparada a medida del requerimiento nutricional del cultivo. EL dispositivo presenta componentes de medición, control y de potencia, una estructura metálica de aloja los tres componentes mencionados y estructuras de conducción de agua.

#### **a. Componentes de Medición.**

El dispositivo posee cuatro líneas de inyección de solución de fertiriego para diversas fuentes como (Nitrógeno, fósforo, potasio, ácidos). Cada línea posee un medidor de caudal del tipo volumétrico de  $\frac{3}{4}$ ". Este medidor de volumen de agua acumulativo emite una señal digital hacia la tarjeta de circuito impreso la cual recibe, acondiciona y procesa la señal como un pulso el cual representa un volumen de agua. Adicional a los cuatro caudalímetros, en la tubería de succión se ubica un sensor de conductividad eléctrica y un sensor del potencial de iones de hidrogeno (pH) los cuales miden los valores instantáneos de CE y pH del flujo de SFR.

#### **b. Componentes de Control**

Cada línea de conducción de nutriente posee una electroválvula de  $\frac{1}{2}$ " de 24 VAC, estas unidades son aperturadas y cerradas por la tarjeta del circuito principal. La apertura y cierre en función de un tiempo pre-dimensionado se realiza en función de las necesidades nutricionales por elemento que requiere el turno de riego.

#### **c. Componentes de Potencia**

El dispositivo requiere para succionar la SFR por elemento, unos dispositivos denominados venturi. Estos componentes de plástico cumplen la función de generar la succión gracias a una contracción del diámetro en la mitad de su diseño. En este punto se genera una presión negativa en el conducto de succión, logrando la succión de la solución. Es necesario generar un flujo de recirculación de agua que al pasar por los venturis logre crear un diferencial negativo de presión. Esta recirculación se logra gracias a la succión desde la línea principal de riego de un flujo de agua por una bomba de succión.

#### **d. Tarjeta de Circuito Impreso**

La tarjeta principal se ha confeccionado para lograr cumplir con el registro de los valores emitidos por los sensores, así como operar en fase de apertura y cierre de los actuadores electroválvulas y

encendido-apagado de la bomba de succión. Estas órdenes se generan en función del estado de operación del dispositivo. Este procesamiento de la información se realiza en la plataforma de RITEC por lo cual la tarjeta posee un sistema de comunicación inalámbrica compuesto por un modem GSM el cual gracias a un chip se comunica de modo permanente con la plataforma RITEC. También posee incorporado la capacidad de comunicarse a través de una señal wi-fi.

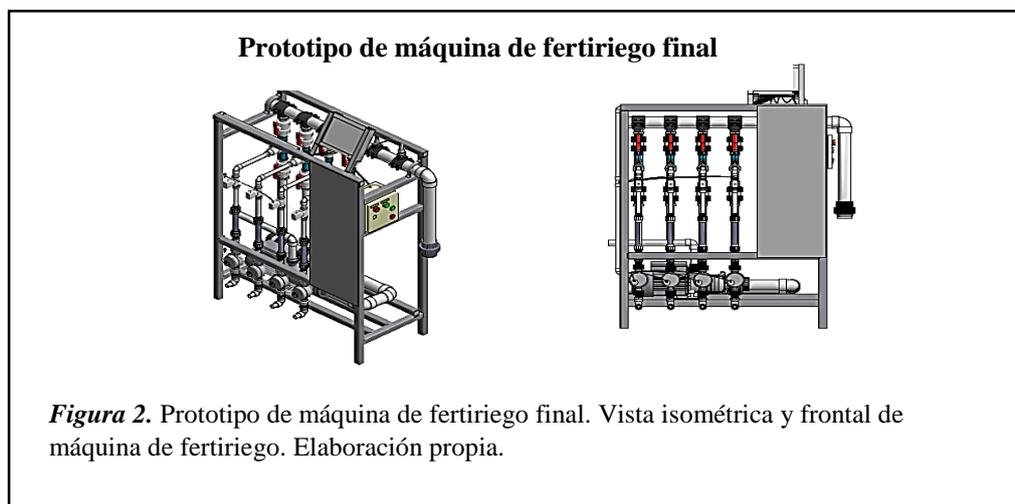
#### e. Estructura de Soporte

Estructura metálica que aloja a los diversos componentes del dispositivo, posee un sistema de fijación al sistema de conducción de agua y de Solución Fertiriego. La estructura está compuesta de tubos metálicos rectangulares soldados; y tiene como función principal transmitir la carga hacia el suelo.

#### d. Estructuras de Conducción

Está compuesto de cinco secciones: una línea de succión, una línea de impulsión, un manifold de entrada, un manifold de salida, cuatro líneas de conducción, cuatro líneas de alimentación. Los diámetros de succión e impulsión y los manifolds son de 2", las líneas de conducción son de 1" y las líneas de alimentación de 1/2".

### 3.5.2. Vista de máquina de fertiriego



## 4. Discusión

El objetivo de la presente investigación fue determinar si es factible confeccionar un prototipo de máquina inteligente de fertiriego de control remoto y bajo costo en la región Lambayeque y determinar la diferencia del costo de producción respecto al costo comercial de un dispositivo similar para evaluar a futuro un posible desarrollo comercial del producto como estrategia de valor agregado que fomenta la empresa RITEC.

Los métodos desarrollados en el campo de la electrónica, mecánica e informática se adaptaron a los requerimientos identificados por el área de operaciones y servicios de la empresa, luego del análisis de requerimientos de los clientes y flujo de actividades del proceso de fertiriego en diversos tipos de potenciales clientes. Todos los servicios de diseño especializado necesarios para el desarrollo fueron proveídos por personal de la empresa y consultores locales. Los materiales necesarios fueron adquiridos en proveedores nacionales (Piura, Lima) e internacionales (España). En la región Lambayeque se evidenció una limitación de servicios especializados en manufactura electrónica a un nivel comercial y provisión de componentes electrónicos de alto valor. Los resultados del desarrollo y ensamblaje a nivel mecánico, electrónico e informático fueron satisfactorios dando como producto final un prototipo de

máquina de fertiriego funcional de control remoto. Las ventajas del producto radican principalmente en el control remoto del dispositivo, y la gestión de información de fertiriego en la plataforma RITEC.

El costo final del producto nos indica una alta probabilidad de comercialización futura, debido a que el costo de producción equivale al 30% del costo de venta del producto comercial en el mercado. Es necesario desarrollar un análisis económico y un estudio de mercado para determinar la factibilidad económica de comercializar el dispositivo entre empresas proveedoras de bienes y servicios en el rubro de riego tecnificado a nivel nacional e internacional. El mercado potencial nacional del producto se concentra en las cuatro empresas transnacionales importadoras de equipos de riego, quienes colocan productos similares en fundos, agroindustrias y tiendas de insumos de riego equipos de riego.

Los productos similares a nivel comercial son máquinas de fertiriego automáticas o mesas de fertiriego de procedencia israelí en el mercado, la diferencia más importante del dispositivo desarrollado respecto a estas, es la integración de hardware con el software web para una gestión más eficiente de la data y el control remoto del dispositivo. A nivel de propiedad intelectual existen dos patentes, una de procedencia israelí y otra norteamericana cuya protección ha sido solicitada en USA. Estos dispositivos como principal innovación presentan la integración del proceso de disolución y preparación de la solución fertiriego.

Luego de analizar los resultados, surgen dos retos por hallar solución, el primero determinar la factibilidad de solicitar una protección de propiedad intelectual en Perú a través de una patente de modelo de utilidad. Segundo un análisis económico que defina la alternativa correcta de inversión entre desarrollar una alianza comercial con una empresa a través de la cesión de los derechos de propiedad para el desarrollo del producto por ellos en territorio peruano u otra donde se solicite la protección de la patente o el desarrollo propio del producto para una comercialización directa con empresas de riego en Perú y países aledaños.

Entre las dificultades encontradas fue la escasa oferta de servicios de manufactura electrónica y desarrollo de hardware en la región Lambayeque. Sin embargo, el logro final del prototipo define que es factible el desarrollo integral del dispositivo articulando con empresas de este rubro en la ciudad de Lima. La presente investigación demuestra la factibilidad de desarrollar un prototipo de producto tecnológico en la región de Lambayeque.

## **5. Conclusiones**

- Es factible desarrollar un prototipo de máquina inteligente de fertiriego de control remoto de bajo costo en Lambayeque. La innovación principal de este dispositivo es el control remoto de las acciones de control y sensado y la gestión de la información en la nube.
- El desarrollo de dispositivos de riego de alta tecnología en la región Lambayeque presentan como limitante la escasa oferta de empresas de manufactura electrónica con la experiencia necesaria. Esto se soluciona trabajando con empresas que este rubro que radican en Lima.
- Se recomienda solicitar un derecho de autor sobre el software de gestión de data e información de fertiriego hospedado en la plataforma de RITEC.
- El prototipo de máquina de fertiriego presenta un costo de 6029.40 dólares en marzo del 2016. Este valor representa el 30% del valor comercial del producto de la competencia.
- Se recomienda planificar la comercialización del producto entre empresas importadoras de equipos de alta tecnología en riego tecnificado bajo dos alternativas, una enfocada en la negociación de cesión de los derechos de una patente y la segunda a través de un desarrollo propio del dispositivo para su comercialización posterior entre las principales empresas ejecutoras de proyectos de riego.

## 6. Referencias

- Bar-Yosef, B. (1999). *Advance in Fertigation*. Israel: Agricultural Research Organization Bet Dagan.
- Cadahía, C. (2005). *Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. Barcelona: Mundi-Prensa.
- Indecopi. (15 de Enero de 2015). *Reporte Electrónico Tecnológico N° 03 - 2105 Sector: Agricultura-Tema: Tecnologías de Riego*. Obtenido de Indecopi:  
<http://repositorio.indecopi.gob.pe/handle/11724/4423>
- Pfleeger, S. L. (2002). *Ingeniería de Software. Teoría y Práctica*. Argentina: Prentice Hall.
- Ramirez, V., & Montaña, D. A. (2015). Sistema de Información Agroclimática y riego en la región Lambayeque. (U. S. Sipán, Ed.) *TZHOECOEN*, 7(01), 217-228.
- RITEC Riegos Tecnificados. (2013). *Manual de Usuario del sistema web SART*. Chiclayo: RITEC.