



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

SISTEMA DE MEDICIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LA TRAZABILIDAD INTERNA DEL CULTIVO DE CAMARÓN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN SISTEMAS
COMPUTACIONALES

PRESENTA:

ING. JUAN DE DIOS BARAJAS CORONA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JESÚS ALBERTO VERDUZCO RAMÍREZ

CO-DIRECTORA:

DRA. ELENA ELSA BRICIO BARRIOS

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA. SEPTIEMBRE DE 2020





Villa de Álvarez, Colima, **4/Septiembre/2020**

Oficio No. DEPI 1.2.11/110/2020

**ALUMNO BARAJAS CORONA JUAN DE DIOS
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
PRESENTE**

La División de Estudios de Posgrado e Investigación de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la comisión revisora hizo a su trabajo profesional denominado "**SISTEMA DE MEDICIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LA TRAZABILIDAD INTERNA DEL CULTIVO DE CAMARÓN**", por la opción de tesis, que para obtener el grado de Maestro en Sistemas Computacionales será presentado por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN** de impresión de la tesis citada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y afectuoso saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®

RAMONA EVELIA CHÁVEZ VALDEZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SEP - TecNM
INSTITUTO TECNOLÓGICO
De Colima
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

REC/cas

C.p. Archivo.



Epígrafe

***“La ciencia no solo es compatible con la espiritualidad; es una profunda
fuente de espiritualidad”***

- Carl Sagan

Agradecimientos

Quiero agradecer primero a Dios, quien por medio de mis seres querido siempre me ha mostrado un camino de paz, y lleno de bondades.

A mi padre, Edmundo Barajas Portillo, por ser el sustento de mi familia y un modelo a seguir. Por siempre haber hecho lo necesario para que no me faltara lo esencial para desempeñarme en todo aspecto.

A mi madre, Norma Alicia Corona Aguilar, por ser el apoyo emocional que siempre me motivo a seguir adelante pese a las adversidades, y por transmitirme los valores esenciales para ser la persona que soy ahora.

A mis todos mis seres queridos, por el siempre estar cuando los necesito.

A mis profesores, por siempre contribuir a mi formación profesional y académica.

Al CONACYT y al TecNM, por brindar el apoyo requerido para desarrollar este trabajo de investigación.

Resumen

En el estado de Colima, una de las actividades que más ha crecido en los últimos años es la producción acuícola de camarón, a pequeña escala. Los productores tienen la necesidad de tener sistemas, métodos y herramientas que contribuyan a mantener la inocuidad de su producto. El presente documento de tesis describe el desarrollo de un sistema de información integral, compuesto por un módulo de medición de los parámetros que determinan la calidad del agua, y un sistema web que permite gestionar el registro y consulta de los eventos de trazabilidad interna en cultivos acuícolas. El sistema de información fue desarrollado de acuerdo con las pautas de la metodología del Proceso Unificado Ágil, e implementado en una granja acuícola ubicada en la localidad de El Colomo, en el municipio de Manzanillo, Colima. Se obtuvo como resultado una herramienta tecnológica de bajo costo, utilizando tecnologías web, que permite el registro y consulta de información disponible en todo momento, así como la recepción de notificaciones cuando alguna anomalía se presenta con los parámetros de la calidad del agua. La implementación del sistema integral demostró que tener almacenados los datos, de forma sistemática y en un sistema web, permite al productor consultar la información de forma sencilla y desde cualquier dispositivo capaz de navegar en internet.

Abstract

In the state of Colima, one of the activities that has grown the most in recent years is the small-scale aquaculture production of shrimp. Producers need systems, methods and tools that help maintain the safety of their product. This thesis document describes the development of a information system, consisting of a module for measuring the parameters that determine water's quality, and a web system that allows managing the registration and consultation of internal traceability events in aquaculture. The software was developed in accordance to the Agile Unified Process methodology, and implemented in an aquaculture farm located in the town of El Colomo, in the municipality of Manzanillo, Colima. The result was a low-cost technological tool, using web technologies, which allows the registration and consultation of information, always available, as well as the receipt of notifications when an anomaly occurs with the water quality parameters. The implementation of the system showed that having the data stored, systematically and in a web system, allows the producer to consult the information in a simple way and from any device capable of browsing the internet.

Índice General

Epígrafe	I
Agradecimientos	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XII
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 La naturaleza del problema	3
1.2 El contexto del problema	3
1.3 Revisión de la literatura	4
1.4 Planteamiento de la solución del problema a investigar	8
1.4.1 Descripción de los módulos funcionales del sistema	11
1.5 Justificación	12
1.6 Hipótesis.....	13
1.7 Objetivos.....	13
1.7.1 Objetivo general.....	14
1.7.2 Objetivos específicos	14
1.8 Métodos y herramientas	14
1.9 Beneficios esperados	16
1.10 Organización de la tesis	17

CAPITULO II ESTADO DEL CAMPO DEL CONOCIMIENTO	19
2.1 Marco histórico	19
2.2 Marco contextual	21
2.3 Marco teórico.....	22
2.3.1 Acuicultura	23
2.3.1 Trazabilidad en la cadena de alimentos.....	23
2.3.2 Sistema de trazabilidad.....	24
2.3.3 Sistema de información para gestionar la trazabilidad.....	25
2.3.4 Lenguaje PHP	26
2.3.5 MySQL	26
2.3.6 CodeIgniter 3	27
2.3.7 Bootstrap.....	27
2.3.8 GPRS.....	27
2.3.9 Microcontrolador ATMEGA328	28
2.3.10 Sensor.....	29
CAPITULO III MÉTODOS EMPLEADOS.....	30
3.1 Metodología.....	30
3.1.1 Iniciación	31
3.1.2 Elaboración	31
3.1.3 Construcción	32
3.1.4 Transición	32
3.2 Herramientas	33
CAPITULO IV DESARROLLO DEL SISTEMA.....	35

4.1 Análisis	35
4.1.1 Modelo de requisitos	36
4.1.2 Modelo conceptual	38
4.1.3 Modelo de casos de uso	38
4.2 Diseño	39
4.2.1 Modelo de clases	40
4.2.2 Modelo de datos	41
4.2.3 Diccionario de datos.....	43
4.2.4 Modelo de interfaces.....	43
4.2.5 Diagrama de navegación	49
4.2.6 Modelo de componentes	50
4.3 Implementación	51
4.3.1 Codificación	52
4.4 Puesta en operación del sistema.....	57
4.5 Verificación y validación	58
4.4.1 Pruebas de componente	59
4.4.2 Pruebas de integración	59
4.4.3 Pruebas de sistema	60
4.4.4 Pruebas de aceptación	60
CAPÍTULO V RESULTADOS OBTENIDOS.....	62
CAPITULO VI CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	74
6.1 Conclusiones	74
6.2 Cumplimiento de los objetivos de la investigación.....	75

6.3 Aceptación o rechazo de la hipótesis de trabajo	76
6.4 Limitaciones de la investigación	76
6.5 Trabajo a futuro	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXOS	84
Diccionario de datos	84

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama BMP del proceso para asegurar la calidad de un cultivo	9
Figura 2. Modelo Conceptual del sistema integral para la medición y monitorización de la calidad del agua	11
Figura 3. Ubicación de la granja acuícola para el caso de estudio	22
Figura 4. Representación gráfica de la metodología PUA.	31
Figura 5. Iteraciones del desarrollo de software en la metodología PUA.....	32
Figura 6. Fotografía de un estanque en la Granja Acuícola Hueso.....	35
Figura 7. Caso de uso del sistema de medición.....	38
Figura 8. Caso de uso del sistema de información	39
Figura 9. Modelo de clases..	40
Figura 10. Modelo de datos.....	42
Figura 11. Modelo de interfaces: Inicio de sesión	44
Figura 12. Modelo de interfaces: Dashboard	44
Figura 13. Modelo de interfaces: Dashboard (versión móvil)	45
Figura 14. Modelo de interfaces: Interfaz para el registro	46
Figura 15. Modelo de interfaces: Interfaz para el registro (versión móvil)	46
Figura 16. Modelo de interfaces: Alerta de registro completado	47
Figura 17. Modelo de interfaces: Alerta de registro completado (versión móvil) ...	47
Figura 18. Modelo de interfaces: Consulta de información con formato de tabla..	48
Figura 19. Modelo de interfaces: Consulta de información en formato gráfico	48
Figura 20. Diagrama de navegación del sistema	49
Figura 21. Modelo de componentes.....	50
Figura 22. Prototipo final del módulo de medición	52
Figura 23. Bloque de código del controlador Usuario	53
Figura 24. Bloque de código del controlador Sensor	54
Figura 25. Diagrama del módulo de notificación	55
Figura 26. Bloque de código del módulo de notificación	56
Figura 27. Bloque de código del controlador Administrador.....	57
Figura 28. Modelo V de pruebas.....	58

Figura 29. Interfaz para la verificación de la transmisión de datos.....	60
Figura 30. Interfaz del sistema para el inicio de sesión.....	63
Figura 31. Interfaz principal del sistema.....	63
Figura 32. Interfaz de consulta rápida cuando un estanque se encuentra en óptimas condiciones	64
Figura 33. Interfaz de consulta rápida cuando algún valor en la medición se encuentra fuera de rango	65
Figura 34. Interfaz para el registro de los eventos de trazabilidad	66
Figura 35. Interfaz para el registro de los eventos de trazabilidad (versión móvil)	67
Figura 36. Interfaz para la consulta de los eventos de trazabilidad registrados....	68
Figura 37. Interfaz para la consulta de los eventos de trazabilidad registrados (versión móvil).....	69
Figura 38. Interfaz para el registro de mediciones de parámetros de calidad del agua (I).....	70
Figura 39. Interfaz para el registro de mediciones de parámetros de calidad del agua (II).....	70
Figura 40. Fotografía del módulo de medición montado en una boya	71
Figura 41. Interfaz para la consulta de mediciones obtenidas en formato de tabla.....	72
Figura 42. Interfaz para la consulta de mediciones obtenidas en formato de gráficos	72
Figura 43. Captura de pantalla de alerta recibida en dispositivo móvil	73
Figura 44. Diccionario de datos: evento.....	84
Figura 45. Diccionario de datos: siembra	84
Figura 46. Diccionario de datos: estanque.....	85
Figura 47. Diccionario de datos: parámetro..	85
Figura 48. Diccionario de datos: medición.	86
Figura 49. Diccionario de datos: medicion_parametro..	86
Figura 50. Diccionario de datos: alerta.....	87
Figura 51. Diccionario de datos: registro_evento.....	87
Figura 52. Diccionario de datos: det_muestreo.....	88
Figura 53. Diccionario de datos: det_observacion_registro..	88

Figura 54. Diccionario de datos: producto.....	88
Figura 55. Diccionario de datos: muestreo.....	89
Figura 56. Diccionario de datos: aplicacion_producto.....	89
Figura 57. Diccionario de datos: acción..	89
Figura 58. Diccionario de datos: tipo_producto.....	90
Figura 59. Diccionario de datos: persona.....	90
Figura 60. Diccionario de datos: proveedor..	90
Figura 61. Diccionario de datos: empleado.....	91
Figura 62. Diccionario de datos: proveedor_producto.....	91
Figura 63. Diccionario de datos: usuario.....	91
Figura 64. Diccionario de datos: tipo_usuario..	92
Figura 65. Diccionario de datos: especie.	92
Figura 66. Diccionario de datos: biomasa.	92
Figura 67. Diccionario de datos: variedad.....	93
Figura 68. Diccionario de datos: alerta_medicion..	93

Índice de tablas

Tabla 1. Requisitos Funcionales del sistema	36
Tabla 2. Requisitos no funcionales del sistema	37

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

La inocuidad alimentaria es un tema que recientemente ha preocupado tanto a los consumidores, como a los productores y empresarios del sector alimentario debido a que puede repercutir en cuestiones de salud. De acuerdo con Sosa-Leonardo, (2017), autoridades de diversos países han optado por tomar medidas al respecto, “haciendo hincapié en materia de reglamentaciones y exigencias en el aspecto de alimentos frescos, seguros y de buena calidad “, con el fin de garantizar la calidad de los productos, y que así, tengan una menor repercusión negativa en la salud pública.

La posibilidad de seguir el rastro a un producto, es decir, saber de dónde proviene y los proceso a los cuales se ha sometido dicho producto, se le llama trazabilidad (Sosa-Leonardo, 2017). Así mismo, Calvo-Dopico (2015) definió la trazabilidad como “la capacidad de rastrear el itinerario que ha seguido el producto”. Trazabilidad es, entonces, llevar a cabo el registro de los eventos por los cuales pasa el alimento durante todo el proceso de producción.

En el sector acuícola, es especialmente esencial conocer el origen de dichos productos, pues puede representar un riesgo a la salud. El comercio global ofrece la oportunidad a los productores acuícolas de vender sus productos a nuevos mercados emergentes. Sin embargo, esto también propician riesgos en los que destacan problemas sanitarios. (Calvo-Dopico, 2015)

Por ello, los productores que buscan comercializar sus productos de forma internacional han optado por implementar sistemas de trazabilidad en sus procesos de cultivo y producción.

De acuerdo con Calvo Domingo (2015) existen tres tipos de trazabilidad: hacia atrás, interna y hacia adelante. La primera hace referencia a “la vida anterior” del producto que entra a la granja productora, con qué calidad ha llegado el producto. La tercera se refiere hacia el destino del producto una vez que ha pasado por todos los procesos de cultivo de la empresa, localizando a los clientes, conociendo que cantidad de producto se le ha proporcionado a cada uno de ellos, entre otras cosas. La trazabilidad interna se refiere a todos esos procesos que lleva a cabo el productor, permite dar a conocer el itinerario del producto cuando transcurre en la empresa, y va desde que se reciben las materias primas hasta que el producto sale de la empresa. (Calvo-Dopico, 2015).

Implementar sistemas, herramientas y métodos que permitan gestionar los tres niveles de trazabilidad, proporciona seguridad durante todo el proceso de la cadena alimentaria, desde la producción hasta el consumidor, que es el cliente final. (Calvo-Dopico, 2015; Sosa-Leonardo, 2017; FAO, 2018).

Por la naturaleza del proyecto, y los alcances del mismo, la presente investigación tiene como objetivo el desarrollo de un sistema de información que permita registrar y consultar los eventos de trazabilidad interna en el proceso de cultivo del camarón.

1.1 La naturaleza del problema

Los productores requieren implementar sistemas de trazabilidad para asegurar la inocuidad de sus productos, debido a que la producción acuícola es susceptible a tener grandes repercusiones si no se cuidan minuciosamente aspectos como la medición de los parámetros de la calidad del agua, y el registro apropiado de la alimentación, medicación, entre otros (FAO, 2018). Se han hecho propuestas para atender dicha necesidad (Calvo-Dopico, 2015; Sosa-Leonardo, Villalobos-Gómez, 2018) mediante una combinación de software y hardware, realizar el registro de los eventos sin afectar los procesos de producción.

Un sistema de información que permite llevar a cabo la trazabilidad interna del proceso del cultivo de camarón es capaz de registrar estos eventos y procesos por los cuales pasa el camarón antes de ser vendido por el productor.

Al existir múltiples herramientas de software para llevar a cabo dicha gestión, se han buscado soluciones de bajo costo, que se adapten al presupuesto de los productores, y que ofrezcan la posibilidad de mejora de sus procesos de producción permitiéndole competir con mayor éxito en el mercado.

1.2 El contexto del problema

En la empresa productora y comercializadora agrícola, ganadera y acuícola Hueso S.P.R se implementó un prototipo funcional para la medición de los parámetros de temperatura, oxígeno disuelto, pH y salinidad del agua (en adelante entiéndase por estos cuatro como los parámetros) en los estanques de cultivo de

camarón. Dicha implementación del prototipo fue para contribuir al control del ambiente de cultivo y “lograr una mayor productividad” (Olivo-Gutierrez, 2018).

Villalobos (2018) desarrolló un sistema de información para el manejo de la trazabilidad en cultivos acuícolas, pero se limitó a un sistema web sin considerar una integración con algún sistema de medición automática.

Aunque la implementación de ambos proyectos fue favorable, el sistema no se encuentra integrado a un sistema de información que, posteriormente, permita procesar los datos recabados y generar así información útil que apoye al dueño de la granja en la toma de mejores decisiones, tampoco cuenta con sistemas de alerta que permitan al productor tomar acciones inmediatas en caso de que alguno de los valores se salga del rango.

1.3 Revisión de la literatura

Actualmente existen diversas soluciones tecnológicas para realizar la trazabilidad en el sector agroalimentario, las cuales se enfocan en el desarrollo de productos de software que permitan gestionar de forma eficiente el proceso.

Una de las propuestas de solución para crear sistemas de software que permitiera la gestión de la trazabilidad de los productos agroalimentario, fue un modelo propuesto por Nur (2011), que tiene como principal objetivo “el aplicar y verificar un método de trazabilidad de ingeniería de software que sea adecuado para realizar la gestión con lo relacionado de ingredientes alimentarios”.

Durante la investigación se utilizaron dos productos de software como casos de estudio para medir el impacto de la implementación del modelo propuesto. Los resultados fueron satisfactorios en ambos casos. Este modelo aportó de manera significativa algunas bases para el desarrollo de soluciones de productos de software que permiten la gestión de la trazabilidad en productos agroalimentarios.

Entre estas soluciones, no precisamente basadas en el modelo, se presenta un sistema de administración para la producción de alimentos en el país de Jamaica por Stacy-Ann (2016), mediante el desarrollo de una aplicación móvil que permite gestionar la trazabilidad interna hacia atrás de una especie de pimienta.

El problema que atiende la investigación es que, en los países de tercer mundo, el mayor obstáculo para comercializar productos de forma internacional con países que requieren ciertos estándares de calidad para importar productos no es el incumplimiento de los mismos, sino la incapacidad de comprobar de forma verídica y cuantificable la calidad en el proceso de cultivo, es decir, la carencia de un sistema de trazabilidad interna. (Stacy-Ann, 2016)

Para resolver la problemática, se propuso el desarrollo de un producto de software llamado BreadBasket, consiste en dos principales interfaces, una para el administrador del sistema y otra para los usuarios generales. El administrador tiene los privilegios necesarios para registrar personal, tipo de alimento, granjas, entre otras cosas; mientras que los usuarios generales pueden realizar actualizaciones y reportes relacionados con el proceso de trazabilidad.

El producto de software desarrollado permite a los usuarios finales, que son los granjeros, reconstruir y almacenar los datos del proceso de creación de sus productos. Como trabajo futuro, se menciona que la aplicación de Stacy-Ann (2016) tiene potencial para implementar funcionalidades de trazabilidad externa.

Por otro lado, Joer-Air (2017) reportó sobre la inexperiencia de los agricultores en Taiwán al aplicar fertilizantes y demás productos que enriquecen los cultivos, y como esta puede afectar enormemente en el producto final. Más allá de que el producto no cumpla con las expectativas del cliente, el mayor problema se encuentra en el riesgo que implica para la salud consumir productos que han sido expuestos a una alta cantidad de químicos, así como el daño al medio ambiente generado por una excesiva aplicación de estos, por lo que la población ha recurrido a exigir mayor calidad en los productos. Por ello, el gobierno de aquel país implementó un sistema de trazabilidad que los agricultores deben acatar para poder comercializar sus productos, en donde los granjeros deben capturar cierta información en un portal de Internet que ofrece sus servicios de forma gratuita.

El problema de la investigación reside en que la mayoría de los agricultores son personas de edad avanzada, renuentes al cambio y con poco interés en el aprendizaje del manejo de nuevas tecnologías.

Para resolver la problemática, la investigación tuvo como producto un sistema basado en tecnología de internet de las cosas, que es capaz de realizar las actualizaciones requeridas por el gobierno taiwanés en su sistema, sin que esto afecte de forma considerable las actividades rutinarias de los granjeros, pues todo

se realiza mediante el uso de un *wearable* y la implementación de sensores en los cultivos.

El sistema desarrollado tiene como alcance únicamente el registrar los datos requeridos, por lo que propone como trabajos futuros el implementar tecnología de inteligencia de negocios, una vez que el granjero genere la suficiente cantidad de datos, para mejorar la calidad de sus productos y apoyar en la toma de decisiones.

Por otra parte, César-Sosa (2017), “hace hincapié en describir las peculiaridades de un sistema de trazabilidad”, aplicado a una cadena de suministros agroalimentarios, con el objetivo de establecer lineamientos en el aspecto del diseño de un sistema de información dedicado a la gestión de la trazabilidad.

El producto de la investigación fue un sistema de información que permite llevar a cabo las actividades referentes a la trazabilidad de productos agroalimentarios, de acuerdo con la legislación europea, de una forma muy sencilla. El producto de software se enfoca principalmente en el diseño, pues como trabajos futuros, de acuerdo al autor, está el añadir nuevas funcionalidades a través de módulos.

En un contexto directamente relacionado con el objetivo de esta investigación, Villalobos-Gomez (2018) propone un sistema de información utilizando herramientas de licencia pública, de bajo costo y basado en tecnologías web, para gestionar la trazabilidad en los procesos de producción de cultivos acuícolas. El sistema lleva un registro histórico desde la preparación del terreno, obtención de crías, eventos de la producción, aplicación de sustancias químicas y gestión de cada

etapa hasta su cosecha; permitiendo la capacidad de reconstrucción del historial de la producción.

Expuso que la utilización de un sistema de información para trazabilidad permite la adecuada toma de decisiones a los productores acuícolas, con base en el historial de los eventos del ciclo de cultivo, dejando claro que, para garantizar la inocuidad y calidad óptima de los productos alimenticios, es necesario que las empresas que los producen cuenten con las herramientas tecnológicas que les permita mantener un ciclo de mejora continua.

1.4 Planteamiento de la solución del problema a investigar

Para medir el control de calidad en los diferentes estanques, el productor realiza un proceso que consiste en dos tareas principales: el acuicultor, por medio de equipo especializado, mide los parámetros de calidad, valores que posteriormente son registrados en una bitácora; y en segundo, el registro de cada uno de los eventos correspondientes a la trazabilidad interna. En la Figura 1 se puede apreciar una representación gráfica de dicho proceso.

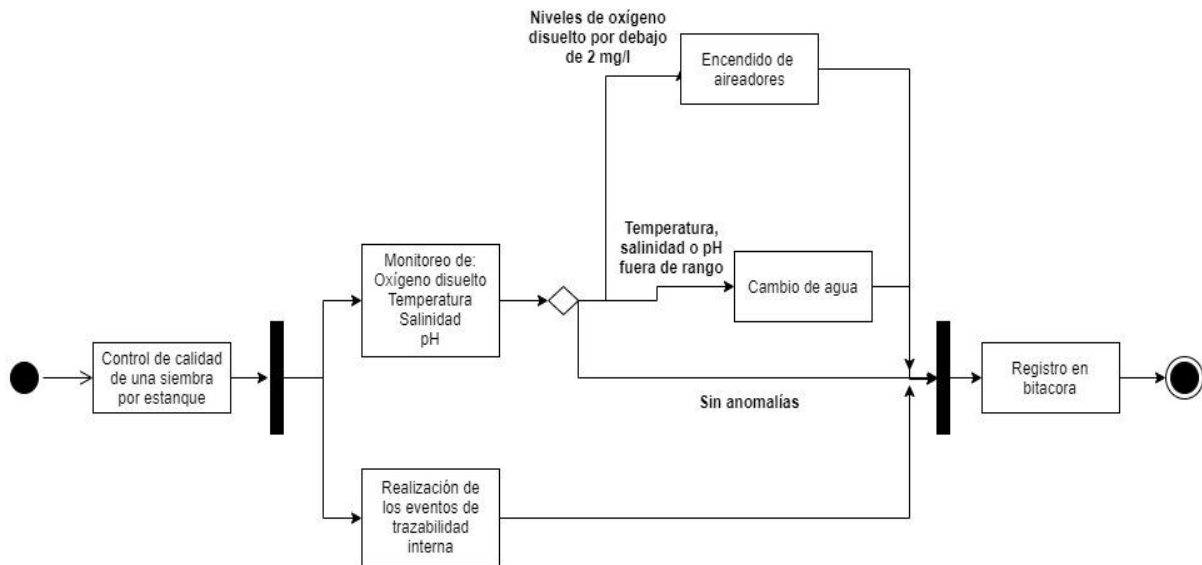


Figura 1. Diagrama BMP del proceso para asegurar la calidad de un cultivo

Cuando el productor realiza el monitoreo de los parámetros de calidad del agua, y detecta alguna anomalía en el valor del oxígeno disuelto, al ser el parámetro más importante, se encienden los aireadores de forma inmediata. Cuando la anomalía se encuentra en los valores de salinidad, temperatura o pH, se realiza un cambio de agua en el estanque. Si no se ha encontrado alguna anomalía, se continúa con el registro en la bitácora.

Es importante el monitoreo constante de dichos parámetros, pues de acuerdo con Frias-Espericueta (2001) la temperatura puede afectar en procesos como la solubilidad de los gases en el agua, y el aumentar el nivel de toxicidad en el amonio. La salinidad es un importante factor también, pues en altas concentraciones reduce los niveles de oxígeno disuelto, y cuando hay una baja concentración de este último, los camarones son susceptibles a enfermedades, disminución del apetito, afectando considerablemente su crecimiento e incluso llevándolos a una muerte

prematura (Carbaja-Hernández, 2017). Una variación entre los niveles del pH, de acuerdo con Maulana et al (2018) puede causar estrés, propiciando los problemas antes mencionados, y afectando negativamente la reproducción de la biomasa.

Cuando se realiza alguno de los eventos de trazabilidad, como puede ser la alimentación, aplicación de algún otro producto, entre otros, se procede a registrar en la bitácora al término de cada uno.

Identificado el principal proceso para medir la calidad del cultivo, se propone el desarrollo de un sistema de información web que integre la medición de los parámetros de pH, oxígeno disuelto, salinidad del agua y temperatura en el ciclo de cultivo del camarón, y gestionar lo relacionado con la trazabilidad interna.

Para conformar el sistema de información, fue requerida la implementación de sensores que permiten obtener los índices de los parámetros antes mencionados, y transmitir dicha información a un equipo de cómputo localizado de forma remota. El almacenamiento estructurado de los datos obtenidos mediante los sensores permite el procesamiento y su posterior replicación en un servidor remoto.

Estableciendo como fundamento un sistema de información producto de una investigación previa, en la cual “se determinaron las normas nacionales e internacionales que rigen un sistema de trazabilidad interna para el cultivo de camarón” (Villalobos-Gómez, 2018), se propone la integración de los datos obtenidos por el sistema de sensores con el sistema de trazabilidad, mediante el desarrollo de un sistema de información web.

El sistema permitirá al usuario final consultar datos recientes y verídicos desde cualquier dispositivo capaz de navegar en internet, además de registrar cualquier acción tomada mediante el sistema de trazabilidad interna, apoyando así a la toma de mejores decisiones durante el proceso de cultivo.

La descripción del sistema integral producto de la investigación está representada de forma conceptual en la Figura 2:

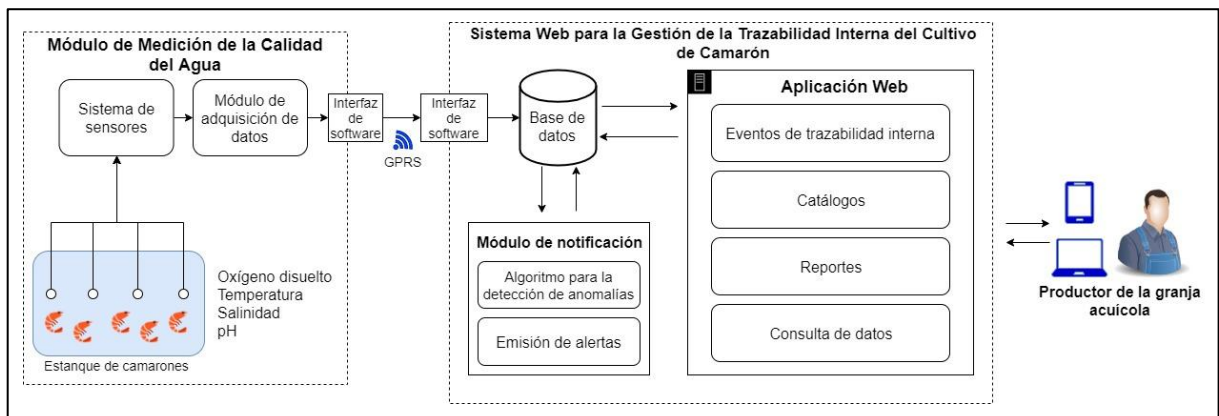


Figura 2. Modelo Conceptual del sistema integral para la medición y monitorización de la calidad del agua

1.4.1 Descripción de los módulos funcionales del sistema

El módulo de medición de la calidad del agua se encuentra integrado por cuatro sensores de la marca Atlas Scientific: pH, oxígeno disuelto, salinidad y temperatura, montados sobre una placa con un microcontrolador ATMEGA328, y enviados al sistema principal mediante un transmisor GPRS. La descripción de los sensores es mencionada en el Capítulo III del presente documento. El sistema integral de información se compone de los siguientes módulos:

- Eventos de trazabilidad interna. El módulo se encarga de llevar un registro de las actividades que se tienen con respecto al cultivo de camarón, por ejemplo, la fecha en que inició el proceso, la cantidad de comida, medicamentos u otras medidas aplicadas de forma periódica o esporádica al cultivo, entre otros.
- Reportes. Para el apoyo en la toma de mejores decisiones, el sistema, a través de este módulo, es capaz de procesar datos y generar reportes con información verídica.
- Calidad del agua. Este módulo recibe y almacena la información obtenida del sistema de sensores.
- Notificación. El módulo con el cual se estarán monitoreando los datos recibidos por el sistema de sensores, y que avisará de forma inmediata al administrador sobre cualquier anomalía.

1.5 Justificación

Es requerida la implementación de herramientas tecnológicas que permitan a los productores acuícolas a pequeña escala en el estado de Colima, que sean accesibles para su presupuesto. En el presente trabajo de investigación, se describe el análisis, diseño, desarrollo e implementación de un sistema de información que permite al productor registrar y, posteriormente, consultar los eventos de trazabilidad interna.

Así mismo, se describe la modificación a un prototipo de medición de los parámetros de calidad del agua, previamente desarrollado por Olivo-Gutiérrez (2018), para

permitir el envío de los datos obtenidos hacia un servidor web, quien, al recibirlos, los procesa y almacena en una base de datos. En caso de existir alguna anomalía, el sistema envía notificaciones al productor.

Con la implementación del sistema, se resuelve la problemática de medir de forma manual los parámetros de la calidad del agua, y proporciona al productor una herramienta para el almacenamiento automático y sistematizado de los datos. También provee de una plataforma web para el registro y consulta de los eventos de trazabilidad, y los datos obtenidos por el prototipo de medición.

1.6 Hipótesis

El diseño, desarrollo y despliegue de un sistema para la gestión de la trazabilidad interna, que incluye los parámetros de calidad del agua, permitirá a un productor acuícola contar con información histórica del ciclo de cultivo de camarón.

1.7 Objetivos

Este proyecto de tesis de maestría tiene como objetivo el desarrollo de un producto de software referente a la integración de la medición de parámetros y la trazabilidad interna para el cultivo de camarón de una empresa acuícola en el estado de Colima, México.

1.7.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema para la medición y gestión integral de la trazabilidad interna del cultivo de camarón.

1.7.2 Objetivos específicos

- Consultar los trabajos de investigación previos referentes a la trazabilidad interna de la industria acuícola y agroalimentaria.
- Modificar el prototipo de sensores desarrollado por Olivo-Gutiérrez (2018), reemplazando el sistema de transmisión Zigbee por un GPRS.
- Desarrollar un sistema de información web para gestionar el registro y consulta de los eventos de la trazabilidad interna del cultivo de camarón.
- Integrar el sistema de información web con el sistema de sensores, para crear el sistema integral

1.8 Métodos y herramientas

Para comprobar la hipótesis establecida fue requerido el desarrollo de un sistema de información utilizando la metodología de Proceso Unificado Ágil, por sus siglas PUA, que permite desarrollar software por medio de cuatro etapas iterativas. Pressman (2010) la describe como una metodología que permite visualizar el flujo general del proceso, similar a las que son en serie, pero para lo específico adopta un esquema iterativo. Esto permite entregar productos de software significativos para el usuario final.

De acuerdo con Pressman (2010), PUA adopta las cuatro etapas del proceso unificado (concepción, elaboración, construcción y transición) y las combina, mediante iteraciones, con las actividades en serie de la ingeniería de software, considerando el modelado, la implementación, pruebas, despliegue, la configuración y administración del proyecto y la administración del ambiente.

Al combinar una metodología en serie y permitir el desarrollo de software mediante iteraciones, se entrega al cliente productos funcionales, así como las respectivas mejoras, de forma rápida y eficiente. Por lo anterior, la metodología PUA se adapta al proceso de cultivo de camarón, al ser recurrente, permitiendo añadir adecuaciones en el menor tiempo posible, y ser probadas en el siguiente cultivo.

Las tecnologías requeridas para el desarrollo del sistema se describen a continuación, comenzando por las de software y posteriormente las de hardware:

El lenguaje de programación utilizado es PHP (v5.6.31), con el marco de trabajo, también llamado *framework*, CodeIgniter 3. Al trabajar mediante el entorno Modelo-Vista-Controlador, se tiene la ventaja de acelerar el proceso de desarrollo, y propicia un orden en el código fuente mediante el patrón modelo-vista-controlador.

Como gestor de base de datos se utilizó MySQL (v5.7.19), con el motor InnoDB para el manejo y validación de claves foráneas, (Welling & Thomson, 2009) debido a la fácil integración con el lenguaje de programación, y a la practicidad en la aplicación en entornos web.

El Hiper Text Markup Language en su versión cinco, es decir HTML5, fue utilizado como lenguaje de etiquetas para ser interpretado desde cualquier navegador web.

Los estilos son definidos con CSS3, y los efectos con JavaScript, mediante un *framework* de uso libre llamado Twitter Bootstrap (v4.1).

En la cuestión de *hardware*, fue requerido el sistema de sensores que permite la medición de los parámetros. Una computadora portátil, también fue solicitada para el desarrollo del producto de software.

La combinación de la metodología y herramientas citadas permitieron obtener un producto funcional y adecuado a las necesidades del cliente.

1.9 Beneficios esperados

El Sistema de Medición y Gestión Integral de la Trazabilidad Interna del Cultivo de Camarón propuesto en esta investigación contribuye a:

- Gestionar de manera eficiente la trazabilidad interna en el cultivo de camarón en una granja acuícola en el estado de Colima.
- Permitir el apoyo en la toma de mejores decisiones respecto al proceso de cultivo de camarón.
- Establecer una pauta para el desarrollo de un sistema que involucre tecnología de inteligencia de negocios.
- Replicar el sistema en otras granjas de camarón que tengan un ciclo de cultivo similar

1.10 Organización de la tesis

Este documento de tesis está organizado de la siguiente forma:

En el **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN** se describe el contexto del proyecto de investigación, los objetivos, la justificación, beneficios esperados y una breve descripción de la metodología aplicada para el desarrollo de la investigación.

En el **CAPITULO II ESTADO DEL CAMPO DEL CONOCIMIENTO** se realizó la investigación del estado del campo de conocimiento, donde describen los antecedentes de la acuicultura, trazabilidad y sistema de información; se describe de amplia forma el contexto del problema y la integración de la teoría con la investigación.

En el **CAPITULO III MÉTODOS EMPLEADOS** se describe la metodología utilizada para el desarrollo del sistema de información, así como las herramientas de *hardware* y de *software* necesarias para llevarla a cabo.

En el **CAPITULO IV DESARROLLO DEL SISTEMA** se describe las fases seguidas en el proceso de investigación y desarrollo del producto de software, llevando a cabo el modelado necesario acorde a los requisitos iniciales, su implementación y verificación.

En el **CAPÍTULO V RESULTADOS OBTENIDOS** se muestran y describen los resultados obtenidos, donde se expresan los modelos resultantes en operación.

En el **CAPITULO VI CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO**, se mencionan las conclusiones de la investigación y recomendaciones para trabajos futuros.

En las **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** se encuentra todos los trabajos de investigación, entre otros recursos, utilizados para dar validez al presente trabajo de tesis.

En los **ANEXOS** se encuentra aquel material que sirve de sustento para la tesis, y de cierta relevancia al desarrollo de la propuesta de solución, pero cuya extensión es mayor y, de ser incluida en la tesis, se podría perder la secuencia.

CAPITULO II ESTADO DEL CAMPO DEL CONOCIMIENTO

Para entender la importancia del uso de sistemas de información para trazabilidad, es necesario tener en cuenta los antecedentes de la acuicultura en México, y como estos sistemas se han buscado implementar con anterioridad para garantizar el aseguramiento de inocuidad de los alimentos, así como algunas soluciones existentes que atienden la problemática de obtener los valores que indican la calidad del agua.

2.1 Marco histórico

De acuerdo con Malagrino et al (2008), México posee 12,55km² para la siembra de especies acuícolas. El clima tropical favorece el cultivo de especies de camarón en todos los estados que colindan con algún océano, a excepción de Michoacán y Chiapas (CONAPESCA, 2018a). Así mismo, la cercanía con Estados Unidos de América, el mayor consumidor de camarón en el mundo de acuerdo con CONAPESCA (2018b), permite un mayor nivel de ventas.

A nivel mundial, la FAO (2018) ha proporcionado los criterios y consideraciones para realizar la crianza de especies acuícolas utilizando estanques semi-naturales. Así mismo, en México mediante documentos como la Carta Nacional Acuícola (INAPESCA, 2013) ha establecido los criterios propios a considerar para el cultivo en el país. Dentro de dichos criterios, se encuentran los parámetros fisicoquímicos idóneos para el cultivo de cada una de las especies, como lo son la salinidad, pH,

temperatura y oxígeno disuelto, entre otros, con el fin de garantizar un peso y talla ideal para la especie.

El monitoreo de dichos parámetros era realizado mediante inspecciones visuales y olfativas del agua (FAO, 2018), sin embargo, conforme se ha avanzado en mejorar este y otros procesos, se han diseñado dispositivos que permiten realizar el monitoreo de una forma más preciso, como es el caso del desarrollado por la empresa YSI (2002). El inconveniente con estos dispositivos es su alto costo de adquisición, lo que los deja fuera del presupuesto de los productores a pequeña escala.

Se han realizado distintas propuestas para crear soluciones alternativas, que busquen satisfacer las diferentes necesidades de los productores. Investigaciones como las de Carbajal-Hernández (2017) y la de Bórquez (2017) brindan una herramienta enfocada en el proceso de discernimiento de los datos aplicando técnicas de inteligencia artificial, sin considerar el costo que esto implica, tanto de desarrollo como de implementación.

Olivo (2018) propone el desarrollo de un prototipo funcional para la medición de los parámetros de calidad del agua, enfocado en las granjas acuícolas pequeñas. Esto permite a los productores a baja escala mejorar la calidad de su producción, pues el prototipo fue desarrollado considerando el costo final, y que este último tuviera la menor repercusión posible en el presupuesto del productor. Mientras que Villalobos (2018) centra su investigación en desarrollar un sistema de trazabilidad que permita al productor registrar los eventos de forma sistemática.

Sin embargo, ambas propuestas se limitan a satisfacer necesidades en concreto de los productores de camarón, cada una con su respectivo desarrollo tecnológico. Motivo por el cual, en este trabajo de investigación, se decidió mejorar y crear un sistema integral de medición y gestión de los registros de trazabilidad interna, que permite obtener en tiempo real y transmitir los datos obtenidos por un sistema de medición a una base de datos, emitir notificaciones cuando sea necesario, registrar y posteriormente consultar la información en un sistema web sobre los eventos de trazabilidad.

2.2 Marco contextual

Los sistemas para la trazabilidad de la cadena productiva de alimentos se han convertido en un requerimiento internacional. Se ha demostrado que almacenar registros completos y bien organizados de los eventos realizados, y los tratamientos aplicados en los procesos de producción, aportan una integración Proveedor-Empresa-Cliente que permite la recreación completa del historial de un producto, y por consiguiente, la fácil identificación de un problema ante cualquier contingencia. Este trabajo de investigación se llevó a cabo en una granja acuícola de pequeña escala ubicada en el estado de Colima, México, propiedad de una empresa llamada Productora y comercializadora agrícola, ganadera y acuícola HUESO S.P.R., ubicada como se muestra en la Figura 3, en Manzanillo, Colima.



Figura 3. Ubicaci6n de la granja acu6cola para el caso de estudio

La granja acu6cola se dedica a la cr6a, crecimiento y cosecha del camar6n blanco del pacifico. Debido a su ubicaci6n geogr6fica, tiene a su disposici6n un pozo de agua dulce, y acceso a un estero de agua salada, por lo que el camar6n es cultivado en agua salobre, lo cual permite el intercambio de agua en caso de que alg6n par6metro de calidad, como la temperatura o salinidad, salga de su rango establecido.

2.3 Marco te6rico

Con el objetivo de crear un sistema de informaci6n eficaz, fue necesario comprender algunos conceptos que definen, o son parte de los requerimientos para desarrollar el sistema, cumpliendo con el objetivo de este trabajo de investigaci6n.

2.3.1 Acuicultura

El Departamento de Pescadores de la FAO (2003) determina que acuicultura se refiere al cultivo de organismos acuáticos, entendiéndose como cultivo a la intervención humana en el proceso de cría para aumentar la producción, y la preparación del terreno para ello. Así también, la implementación de herramientas, sistemas de emplazamiento e instalaciones propias de la acuicultura, considerando la producción y el transporte.

Muir (1995) acuña un término llamado acuicultura comercial, que se refiere al “cultivo de organismos acuáticos cuyo objetivo es maximizar las utilidades”. Ambas definiciones proporcionan el fundamento teórico para la implementación de sistemas de mejora en el proceso del cultivo, como las prácticas de trazabilidad gestionadas por un sistema de información, con el fin de optimizar los recursos y proporcionar los datos necesarios para contribuir a la supervivencia de la biomasa.

2.3.1 Trazabilidad en la cadena de alimentos

De acuerdo con (Rincón, 2017) la trazabilidad no es un término bien definido en la literatura, pues existe confusión e incoherencia. Sin embargo, la definición de la ISO (2007) y la del Parlamento Europeo y Consejo (2002) son las más utilizadas como referencia por la mayoría de los autores.

La norma ISO 22005:2007 define trazabilidad como la capacidad de “seguir el recorrido” de un alimento (ISO, 2007). En el caso de la cadena de alimentos, a las

etapas específicas de producción, procesamiento y distribución, de tal forma que se conozca el origen, todo el historial del procesamiento y la distribución del alimento.

La Unión Europea mediante su Reglamento 178/2002 define la trazabilidad como algo similar a la norma ISO, es decir, a la capacidad de rastrear algo “a través de todas las etapas de producción, transformación y distribución, de un alimento, un pienso, un animal destinado a la producción de alimentos o una sustancia destinados a ser incorporados en alimentos” (Parlamento Europeo y Consejo, 2002).

2.3.2 Sistema de trazabilidad

La trazabilidad es definida por la ISO (2007) como: “totalidad de los datos y operaciones que permite mantener la información deseada de un producto y sus componentes a través de toda su cadena de producción y utilización, o de parte de ella”.

Rincón (2017) define como sistema de trazabilidad aquel que sea capaz de proporcionar acceso a la información en todo momento, que “facilite el rastreo y seguimiento basado en grabaciones sistemáticas intercambiables”, mediante mecanismos de identificación trazables por cada una de las unidades. Esto conlleva a un sistema que representa una herramienta útil para el apoyo en la toma de decisiones.

Un sistema de trazabilidad, para este caso de estudio, se entiende como una herramienta que permite al productor llevar a cabo los registros de los eventos que

involucra la trazabilidad interna, y tener la capacidad para desplegar los datos en todo momento.

2.3.3 Sistema de información para gestionar la trazabilidad

Debido a que la trazabilidad va ligada indirectamente a los avances tecnológicos (Rincón, 2017), es necesario que los productores cuenten con herramientas tecnológicas que les permitan llevar un mejor control de los registros de trazabilidad.

Aiello (2015) define como un sistema de información útil para la gestión de la trazabilidad como una herramienta bien diseñada, con base en tecnologías avanzadas, que permite mejorar a la eficiencia de la cadena de suministros, generando valor y convirtiéndose en una inversión rentable.

De acuerdo con Scholten (2016) existen tres tecnologías que forman parte de los sistemas de trazabilidad: la identificación automática y captura de datos, la recopilación de datos (como la tecnología RFID, OCR) y los medios de inteligencia artificial para el procesamiento analítico, como la minería de datos.

Existe una enorme variedad de tecnología que puede ser aplicada para el desarrollo de los sistemas de trazabilidad. De acuerdo con Rincón (2017), es importante seleccionar métodos acordes con la necesidad de la organización, los estándares de la cadena de suministros y la legislación de cada país.

En el presente trabajo de investigación, se ha optado por utilizar identificadores únicos propios de una base de datos relacional, para tener un mejor control en los

cultivos, los datos obtenidos por el sistema de medición y los eventos de trazabilidad registrados en cada estanque.

2.3.4 Lenguaje PHP

El lenguaje preprocesador de hipertexto (PHP, por sus siglas en inglés) es uno de los lenguajes más utilizados para el desarrollo de sistemas de información web (The PHP Group, 2001). Debido a su enorme catálogo de servicios de hosting disponibles, y a su ágil implementación, es que se ha decidido utilizar en el presente trabajo de investigación.

2.3.5 MySQL

MySQL es una base de datos de código abierto, siendo la más popular del mundo (Oracle Corporation, 2018), debido a su enorme soporte por parte de la comunidad de desarrolladores, así como la compatibilidad con la mayoría de los lenguajes de programación (Welling & Thomson, 2009). Esta tecnología se utilizó para la implementación del modelo de datos y el almacenamiento de los datos obtenidos por el módulo de medición de la calidad del agua, así también los registros de trazabilidad capturados en el sistema.

2.3.6 CodeIgniter 3

CodeIgniter es un *framework* de PHP que se ha utilizado debido a su sencilla configuración para cualquier tipo de servidor y rápido desarrollo, además de ser una herramienta de uso libre (British Columbia Institute of Technology, 2014). Este marco de trabajo fue seleccionado con el objetivo de agilizar el desarrollo mediante el modelo MVC incorporado, además de su sencillez al configurar en servidores de alojamiento web.

2.3.7 Bootstrap

Es definido por Moreto (2016) como el *framework* para desarrollo de interfaces web de usuario “más grande que se haya comercializado”, y asegura que ha marcado un antes y un después en la era del desarrollo web. Debido a su sencilla implementación y enorme capacidad de integración con otras tecnologías, se ha decidido como el marco de trabajo para realizar las interfaces de usuario.

2.3.8 GPRS

El servicio general de paquetes vía radio, por sus siglas en inglés GPRS (General Packet Radio Service), es una red que permite el envío de datos a través de un ancho de banda bajo, pero de alta cobertura, ideal para la ubicación geográfica de la mayoría de las zonas rurales. Se ha elegido dicha tecnología debido a que permite la conectividad del dispositivo de medición con servidores en

línea, comunicándose de forma permanente, pero utilizando los recursos de transmisión únicamente cuando es requerido enviar o recibir datos (Bates, 2001).

Para Halonen (2004), la red GPRS es la evolución de la red GSM, pues permite la comunicación mediante el protocolo de direcciones IP mediante TCP, en donde “la asignación de recursos en la red GPRS es dinámica y depende de la demanda de los mismos”. Ofrece velocidades de 160 kbps como rendimiento, y la capacidad de conexiones punto a punto, o multipunto.

Esto permite a la red GPRS ser la idónea para el presente trabajo de investigación, pues el envío de datos se realiza mediante cadenas de texto que no supera la capacidad máxima de velocidad por segundo ofrecida por la red.

2.3.9 Microcontrolador ATMEGA328

El microcontrolador ATMEGA328 se encuentra incrustado en las placas Arduino, y es definido por su fabricante (ATMEL) como un “CMOS de baja potencia (de 8 bits) basado en la arquitectura AVR RISC mejorada”. Al ejecutar instrucciones con un solo ciclo de reloj, se logran rendimientos cercanos a 1 MIPS por MHz, lo que optimiza el consumo energético.

Se ha demostrado su efectividad en sistemas de información de sensores (Olivo, 2018), debido a su fácil aplicación, configuración y compatibilidad con la mayoría de los modelos.

2.3.10 Sensor

Un sensor es un dispositivo capaz de medir una o más magnitudes fisicoquímicas, y transformar esas mediciones en señales que puedan ser reconocidas e interpretadas por dispositivos electrónicos (Corona-Ramírez, 2014). El elemento encargado de realizar dicha conversión es un transductor.

Para esta investigación, fueron requeridos los sensores de oxígeno disuelto, temperatura, pH y salinidad desarrollados por la empresa Atlas Scientific, mismos que han demostrado su alta fiabilidad y sencilla configuración en trabajos de investigación previos (Olivo, 2018).

CAPITULO III MÉTODOS EMPLEADOS

Como parte de la comprobación de la hipótesis establecida en el presente trabajo de investigación, se realizó el desarrollo de un sistema integral de información y un sistema de sensores para la medición de parámetros de la calidad del agua, con el fin de obtener un registro de inocuidad completo.

Los productos de software fueron desarrollados siguiendo la metodología llamada Proceso Unificado Ágil, por sus siglas, PUA. Ésta describe cuatro etapas fundamentales: iniciación, elaboración, construcción y transición. Así también, se muestra como un proceso de desarrollo iterativo en las disciplinas, como lo es el modelado, el desarrollo, administración del proyecto, entre otras. (Pressman, 2010) (Ambler, 2005).

3.1 Metodología

El Proceso Unificado Ágil parte de otra metodología de desarrollo de software llamada Proceso Unificado de Rational, también conocida como RUP, y fue creada por Scott Ambler en 2005. La principal característica de PUA es que (Ambler, 2005) “es lineal para lo grande, e iterativa para lo pequeño”, es decir que sigue la etapa de forma lineal, pero las actividades o disciplinas dentro de cada etapa de forma iterativa, permitiendo la gestión del cambio de forma ágil y la entrega de artefactos funcionales y escalables en cada iteración. En la Figura 4 se muestra el diseño conceptual de la metodología.

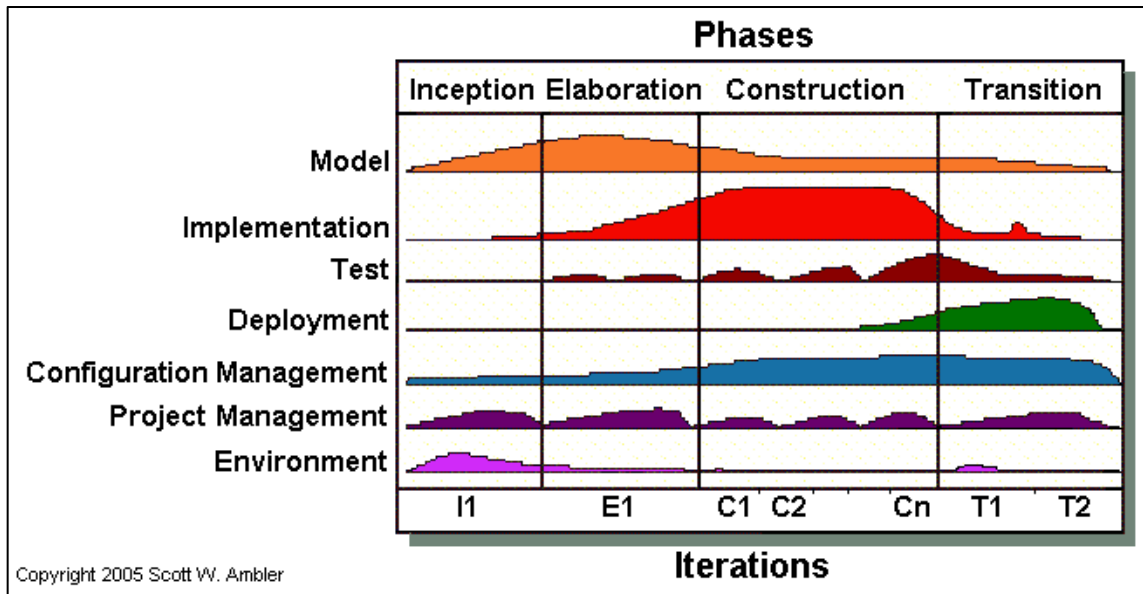


Figura 4. Representación gráfica de la metodología PUA. Tomada de: Ambler (2005)

3.1.1 Iniciación

De acuerdo con (Ambler, 2005) el objetivo es “identificar el alcance inicial del proyecto, una arquitectura potencial para su sistema y obtener la financiación inicial del proyecto y la aceptación de los interesados”. Esto podría entenderse, con ayuda de la representación gráfica de la metodología (Figura 4), que es la etapa en la que el desarrollador se involucra en el entorno en que se implementara el producto de software.

3.1.2 Elaboración

Una vez definido el alcance del desarrollo de software, como lo es la creación del modelo de requisitos, se procede a diseñar la arquitectura del sistema desde un

punto de vista sistemático. La creación de modelos, diagramas, entre otros artefactos, es esencial en esta etapa, pues el objetivo de la etapa es definir la arquitectura del sistema que servirá como sustento en la siguiente etapa (Ambler, 2005).

3.1.3 Construcción

En esta etapa se desarrolla el software con base en los artefactos de la etapa anterior. El objetivo es “crear software de trabajo de forma regular e incremental que satisfaga las necesidades” (Ambler, 2005). Es la etapa que requiere mayor tiempo, pues es donde las iteraciones se hacen presentes, entregando productos de software funcionales en cada iteración, como se describe en la Figura 5.

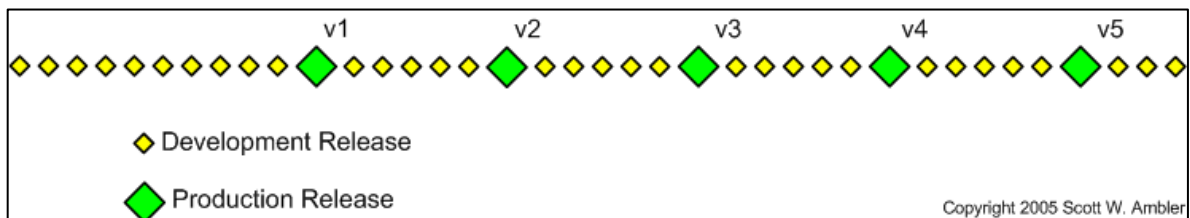


Figura 5. Iteraciones del desarrollo de software en la metodología PUA. Tomada de: Ambler (2005)

3.1.4 Transición

De acuerdo con (Ambler, 2005), el objetivo es validar e implementar los productos de software desarrollados en cada iteración en el entorno de producción. Aplicando

las modificaciones necesarias a cada uno de los productos, hasta satisfacer los alcances establecidos.

3.2 Herramientas

El desarrollo del sistema integral de medición y trazabilidad interna está basado en tecnologías web que permiten el envío y recepción de los datos obtenidos utilizando una red de telefonía móvil. Esto permite al producto de software el almacenamiento de los valores en una base de datos, el proceso y, de ser necesario, el envío de notificaciones de alerta por medio de SMS, el registro de los eventos de trazabilidad a través de un sistema de información, y la posterior consulta y generación de reportes de la información.

Como lenguaje de programación se utilizó PHP, con el *framework*, CodeIgniter 3, debido a su sencilla configuración para el servidor y rápido desarrollo, además de ser una herramienta de uso libre. El sistema de adquisición de datos, el sistema de trazabilidad y el módulo de notificación fueron codificados en dicho lenguaje, que ha sido ampliamente utilizado en sistemas de monitoreo remoto y trazabilidad de procesos acuícolas (Flores-Mollo y Aracena 2018; Villalobos -Gómez et al., 2018) y control y monitoreo de especies botánicas (Araceres-González y Garrido-González, 2018).

Como gestor de base de datos se utilizó MySQL, con el motor InnoDB para el manejo y validación de claves foráneas, (Welling & Thomson, 2009) debido a la fácil integración con el lenguaje de programación, principalmente con el *framework*.

El Hiper Text Markup Language en su versión cinco, es decir HTML5, fue utilizado como lenguaje de etiquetas para ser interpretado desde cualquier navegador web. Los estilos son definidos con CSS3, y los efectos con JavaScript, mediante un *framework* de uso libre llamado Twitter Bootstrap (v4). Esto último porque ofrece un ágil desarrollo y permite la integración de diseños capaces de adaptarse a cualquier dispositivo.

Para el envío de los datos obtenidos por el sistema de medición se utilizó la red GPRS, que ha demostrado su efectividad en proyectos de monitoreo de transformadores de corriente eléctrica y envío de datos de unidades terminales remotas, respectivamente (Cavaco *et al.*, 2009; Chen *et al.*, 2009).

El envío de notificaciones se realiza mediante un servicio de software llamado NEXMO, utilizado por compañías de transporte, comunicaciones, redes sociales, entre otras, para la validación de identidad y envío de mensajes SMS y se eligió respecto a otras propuestas que utilizan el mismo servicio (Twilio, 2019) debido a su simplicidad de implementación y su alta tasa de éxito en el envío masivo de mensajes (NEXMO, 2019).

Para diseño y desarrollo de artefactos, fueron utilizadas dos aplicaciones de uso libre, las cuales son: MySQL Workbench para el modelo de datos y Draw.io para el diseño de interfaces y diagramas.

Un servidor, instalado de forma local en el equipo de cómputo, llamado WAMP fue requerido para montar la aplicación durante la fase de desarrollo y pruebas. Para la implementación del sistema fue utilizado un servicio de alojamiento para sitios web.

CAPITULO IV DESARROLLO DEL SISTEMA

4.1 Análisis

Para determinar la viabilidad del presente proyecto de investigación, se acudió a la granja objeto de estudio, para conocer los procedimientos que se realizan durante la etapa de producción (Figura 1), así como la periodicidad de las mediciones de los parámetros de calidad del agua. En la Figura 6, se puede apreciar uno de los estanques a su máxima capacidad.



Figura 6. Fotografía de un estanque en la Granja Acuícola Hueso. Fuente propia.

4.1.1 Modelo de requisitos

Para asegurar que el sistema de información pueda satisfacer las necesidades del productor, es necesario establecer, mediante un modelo, los requerimientos del sistema; es decir, aquellas acciones que el sistema debe cumplir. Los requisitos funcionales son descritos en la Tabla 1, mediante los cuales se definió el alcance del sistema. Posteriormente, en la Tabla 2 se describen los requisitos no funcionales.

Tabla 1. Requisitos Funcionales del sistema

No. Requisito	Descripción
RF01	El sistema debe contar con un catálogo de parámetros que determinan la calidad del agua.
RF02	El sistema debe permitir el registro de valores de los parámetros de la calidad del agua
RF03	El sistema debe registrar el valor de los parámetros obtenidos por el módulo de medición
RF04	El sistema debe detectar los valores que se encuentren fuera de los parámetros establecidos
RF05	El sistema debe notificar vía SMS al usuario cuando uno de los valores se encuentre fuera de los parámetros establecidos
RF06	El sistema debe contar con un catálogo de eventos de trazabilidad interna
RF07	El sistema debe permitir a los usuarios registrar eventos de trazabilidad interna
RF08	El sistema debe permitir la consulta de los eventos registrados
RF09	El sistema debe permitir la consulta de los valores de parámetros que determinan la calidad del agua
RF10	El sistema debe permitir la generación de reportes por estanque, contemplando los eventos de trazabilidad y los valores de los parámetros de la calidad del agua
RF11	El sistema debe permitir la generación de reportes por periodo de siembra
RF12	El sistema debe permitir el registro de nuevos usuarios
RF13	El sistema debe validar el inicio de sesión de un usuario

RF14	El sistema debe contar con un catálogo de los estanques
RF15	El sistema debe permitir el registro de una nueva siembra
RF16	El sistema debe permitir al usuario actualizar los registros de la siembra

Tabla 2. Requisitos no funcionales del sistema

No. Requisito	Descripción
RNF01	El sistema debe estar en un servicio de alojamiento web
RNF02	La base de datos del sistema debe estar en un servidor MySQL
RNF03	El sistema debe poder ejecutarse en cualquier navegador web (exceptuando Internet Explorer)
RNF04	El sistema debe mostrar nuevas mediciones de los parámetros de calidad del agua cada 10 minutos
RNF05	El diseño del sistema debe considerar la posibilidad de integrar nuevos módulos
RNF06	El sistema debe encriptar los datos de inicio de sesión: usuario y contraseña.

Es importante aclarar que, anterior al inicio del desarrollo de software, se realizó una prueba a la solución propuesta por Olivo (2018), en donde se determinó que una red Zigbee no cumpliría con los requerimientos, por lo que se realizaron algunas modificaciones, descritas más adelante en el presente trabajo de investigación.

Una vez identificados los requerimientos del sistema, se dio continuidad con el proceso de desarrollo de software mediante la metodología PUA a través de la etapa de diseño.

4.1.2 Modelo conceptual

Para definir el alcance, tanto del trabajo de investigación como del sistema de información, se realizó un modelo conceptual, que también sirve como guía para el desarrollo del proyecto, dividiendo la propuesta de solución en varios módulos. En la Figura 2, en el CAPITULO I, se muestra el modelo conceptual.

4.1.3 Modelo de casos de uso

Para determinar el alcance del sistema de información, así como la interacción que tienen los usuarios y los distintos módulos, se crearon casos de uso, en donde se representa gráficamente, y de forma general, las actividades que desempeña cada actor con el sistema.

En la Figura 7 se muestra el caso de uso que describe la funcionalidad del sistema de medición, compuesto por el módulo de medición y el de adquisición de datos.

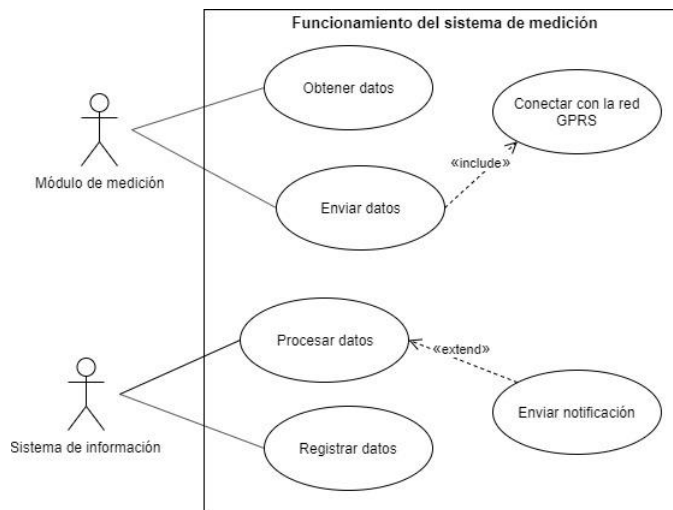


Figura 7. Caso de uso del sistema de medición

En la Figura 8 se puede apreciar el funcionamiento del sistema de información, y como los dos tipos de usuario interactúan con el sistema.

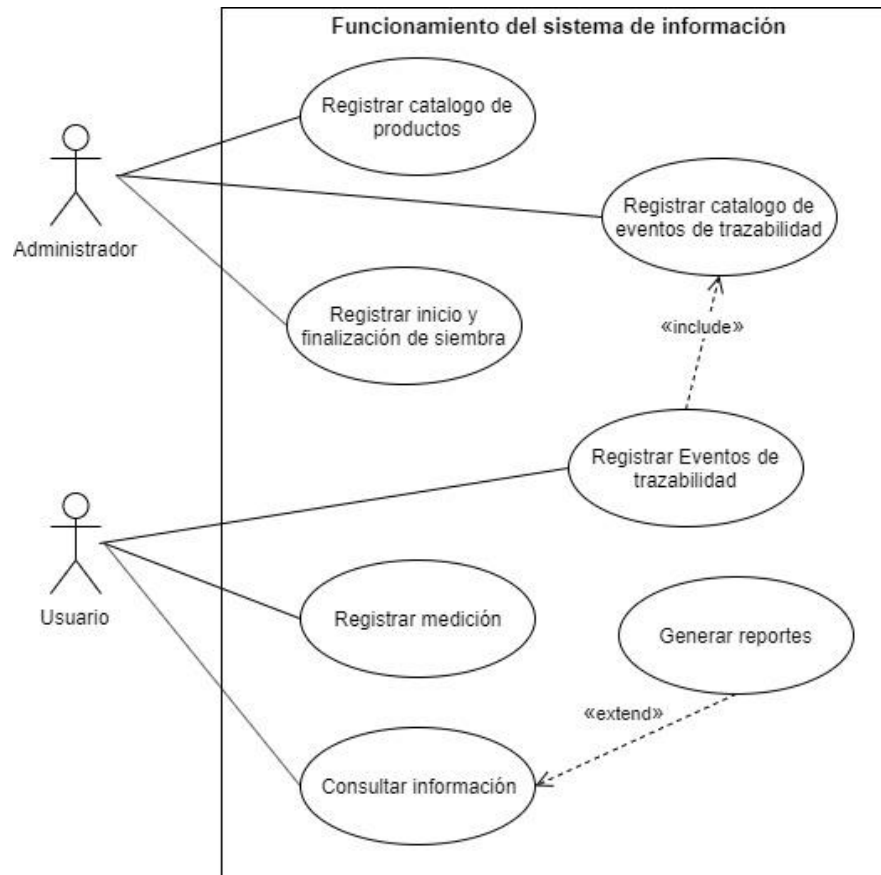


Figura 8. Caso de uso del sistema de información

4.2 Diseño

En esta etapa del desarrollo del proyecto, se realizó el proceso de modelado utilizando UML, con el fin de realizar una descripción gráfica de las funcionalidades y características del sistema de información. Este proceso de diseño de software consiste en analizar los requisitos con el fin de producir una descripción de la

estructura interna del software que sirva como base para su construcción (Kendall, 2002).

4.2.1 Modelo de clases

El modelo de clases mostrado en la Figura 9 está conformado por cuatro principales, con las cuales se controla el registro de los eventos de trazabilidad y los valores obtenidos que representan la calidad del agua del cultivo.

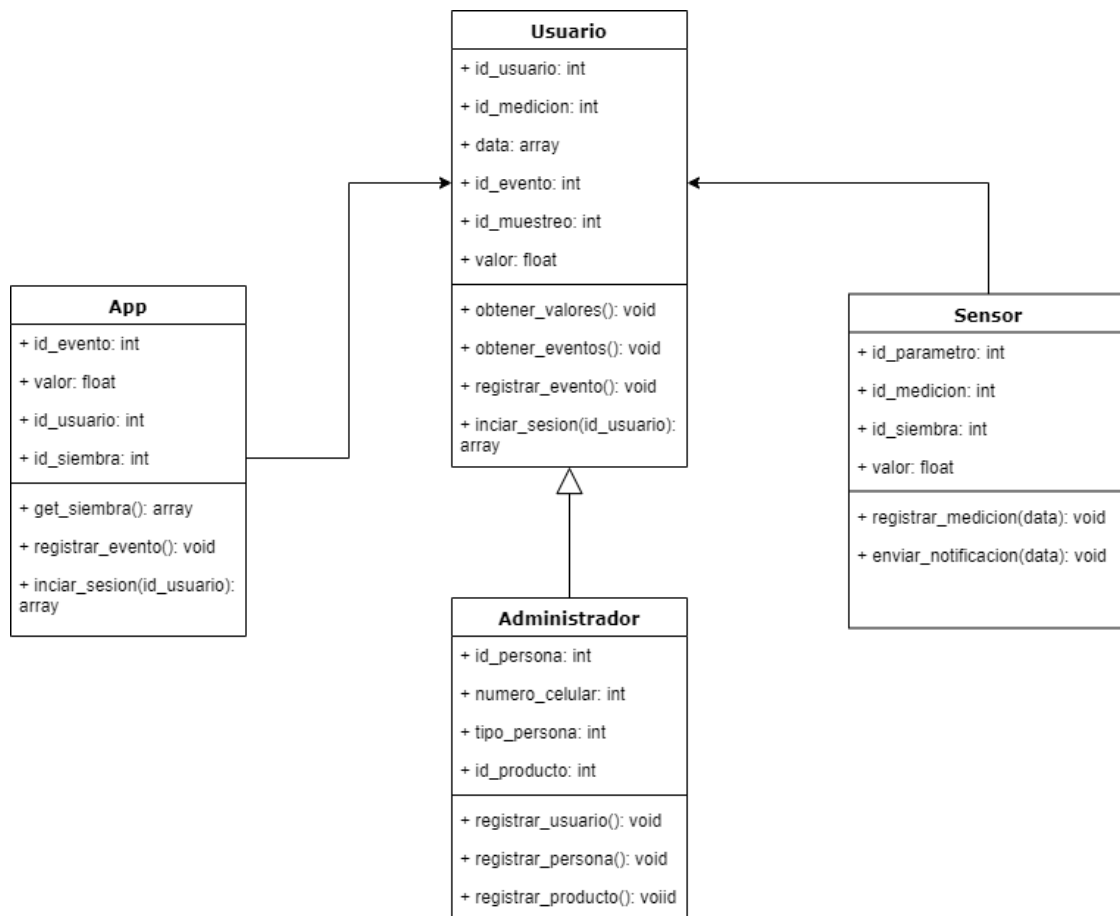


Figura 9. Modelo de clases. Fuente propia.

La clase Usuario es la más importante de todas, en ella se realiza el registro de los eventos de trazabilidad, y su posterior consulta, además de consultar los datos obtenidos por el módulo de medición. La clase Administrador se encarga de registrar los usuarios y catálogo de productos requeridos para la inserción de los eventos de trazabilidad.

El módulo Sensor obtiene, procesa y registra los datos enviados por el sistema de medición, y en caso de ser necesario, determina si enviar una notificación al productor sobre alguna incidencia con los valores obtenidos. La clase App permite la escalabilidad del proyecto a dispositivos móviles mediante servicios web.

4.2.2 Modelo de datos

El modelo de datos utilizado para el presente caso de estudio se ve representado en la Figura 10, en donde se puede apreciar la relación que tienen los eventos de trazabilidad con el sistema de monitoreo de parámetros, integrados en un solo sistema de información.

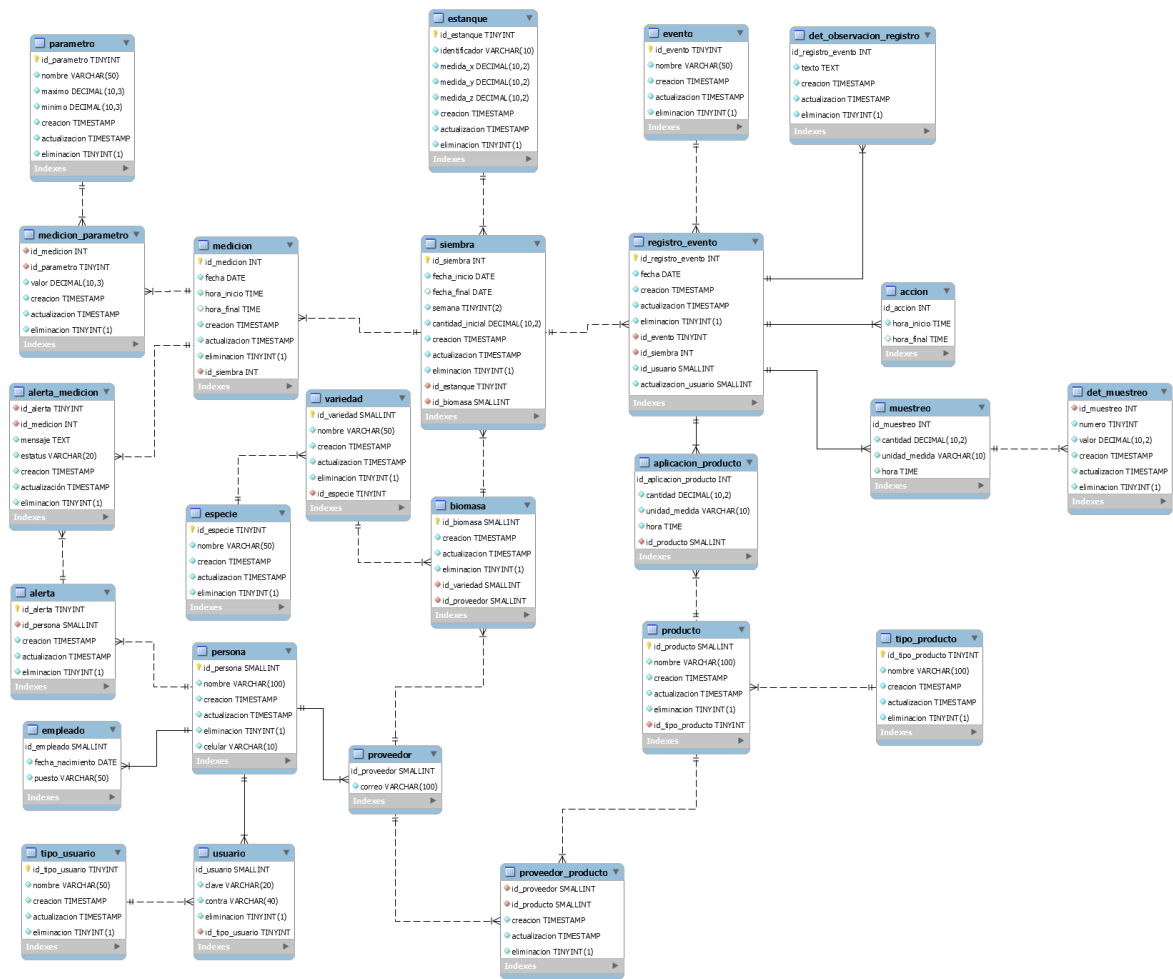


Figura 10. Modelo de datos. Fuente propia

La base de datos cuenta con seis tablas que sirven como catálogos para el registro de los eventos de trazabilidad, en los que destacan las tablas: <evento>, <estanco> y <producto>. La tabla principal es la de <registro_evento>, en donde se almacenan los eventos de trazabilidad de acuerdo con su categoría, en las siguientes tablas: <det_observacion_registro>, <accion>, <muestreo> y <aplicacion_producto>.

La información obtenida por el módulo de medición se almacena en las tablas <medicion> y <medicion_parametro>. Mientras que lo referente con las personas se encuentra registrada en la tabla <persona>, y de acuerdo con el tipo de cada una es donde se almacenará el resto de la información.

4.2.3 Diccionario de datos

Como soporte al modelo de datos se creó un diccionario de datos, mismo que puede ser consultado en la sección de ANEXOS, representado en las figuras Figura 44-Figura 68, en donde se puede apreciar a mayor detalle las tablas utilizadas para almacenar los datos.

4.2.4 Modelo de interfaces

El modelo de interfaces muestra, de forma conceptual, el diseño de las vistas con las que el usuario interactúa con el sistema. Al tratarse de un sistema que será utilizado, en su mayoría, dentro de la granja, se ha optado por ofrecer un diseño de interfaces que permita la correcta escalabilidad en dispositivos móviles en algunas de las funciones que el usuario realizará.

En la Figura 11 se muestra la pantalla de inicio de sesión, misma que se compone únicamente de dos entradas de texto: una para la clave del usuario, y otra para la contraseña.

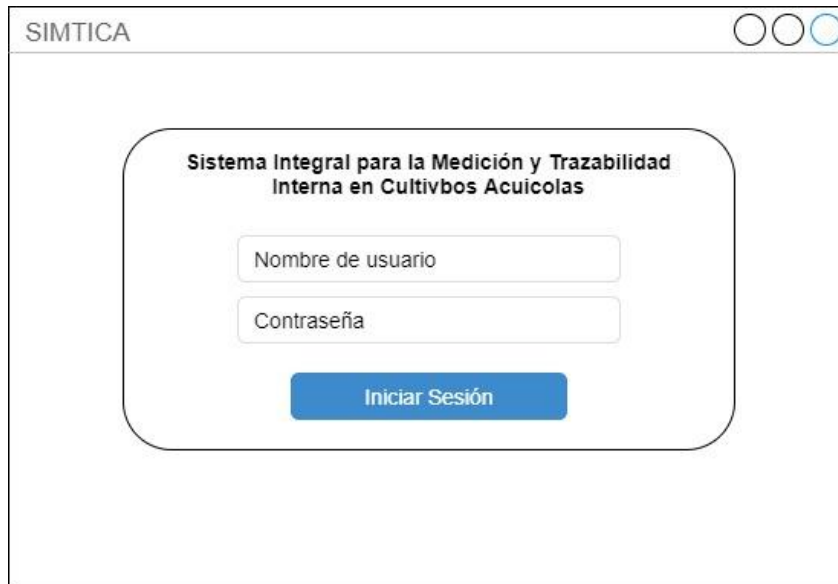


Figura 11. Modelo de interfaces: Inicio de sesión

En las figuras Figura 12 y Figura 13 se puede apreciar el diseño de la vista principal, llamado tablero de control (panel de control, o simplemente *dashboard*) donde el productor podrá consultar el estatus de los estanques, referentes a las últimas mediciones registradas, así como los eventos de trazabilidad.

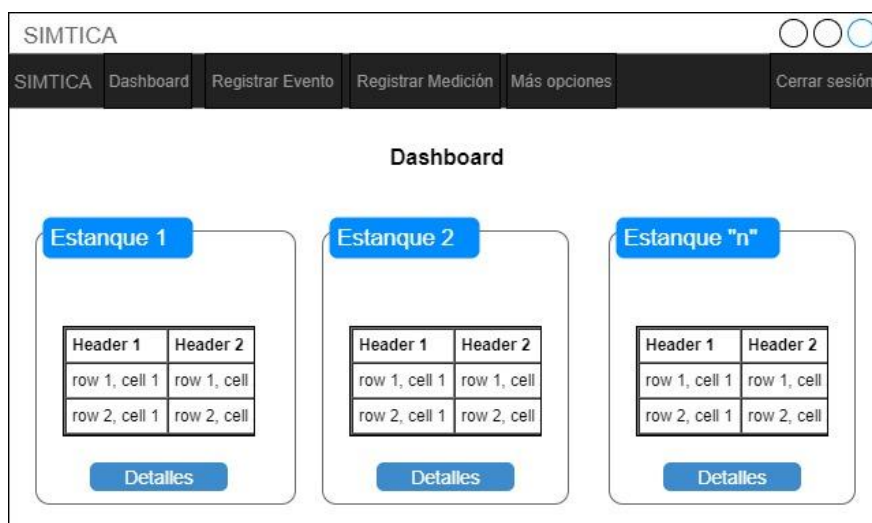


Figura 12. Modelo de interfaces: Dashboard



Figura 13. Modelo de interfaces: Dashboard (versión móvil)

Para el diseño de las interfaces de registro se utilizó el descrito en la Figura 14 y Figura 15, en las cuales se puede apreciar que se divide en dos secciones: a la izquierda, los campos de entrada de datos y a la derecha una representación de éstos en formato de tabla, para su posterior consulta. Para que el usuario perciba que los datos ingresados se han registrado exitosamente, se despliega una alerta como se muestra en la Figura 16 y Figura 17.



Figura 14. Modelo de interfaces: Interfaz para el registro



Figura 15. Modelo de interfaces: Interfaz para el registro (versión móvil)



Figura 16. Modelo de interfaces: Alerta de registro completado



Figura 17. Modelo de interfaces: Alerta de registro completado (versión móvil)

Las vistas para la consulta de información, así como la generación de reportes, se describe en las Figuras Figura 18 y Figura 19. En la primera, se consulta la información a manera de tabla y permite la generación de reportes, mientras que en la segunda se puede consultar la información con formato de gráficas.



Figura 18. Modelo de interfaces: Consulta de información con formato de tabla

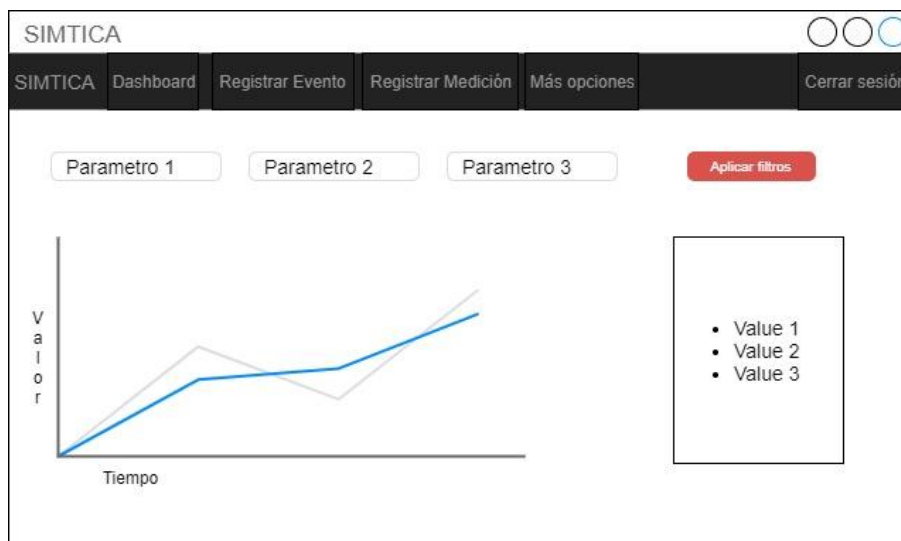


Figura 19. Modelo de interfaces: Consulta de información en formato gráfico

4.2.5 Diagrama de navegación

La navegación en el sistema de información se realiza mediante las interfaces de usuario que permiten controlar cada una de las funcionalidades del sistema. Comienza con la validación del usuario en la pantalla de inicio de sesión, y en caso de ser concedido el acceso al sistema, se despliega la interfaz del *dashboard*. Dentro de dicha interfaz, y utilizando la barra de navegación superior, se pueden acceder al resto de interfaces. Una representación gráfica de dicho diagrama se puede ver en la Figura 20.



Figura 20. Diagrama de navegación del sistema

4.2.6 Modelo de componentes

El modelo de componentes, como se puede apreciar en la Figura 21, consta principalmente de cuatro: el módulo de medición, que se refiere a todo los componentes de software y hardware involucrados para la adquisición de los datos de parámetros que determinan la calidad del agua; el sistema web, refiriéndose a la infraestructura requerida para mantener en operación y en línea al sistema de información; el componente de base de datos, que proporciona la arquitectura necesaria para almacenar toda la información del sistema; y por último el sistema de información, que hace referencia a los bloques de código que permiten al usuario interactuar con el producto de software, así como realizar el registro y consulta de datos.

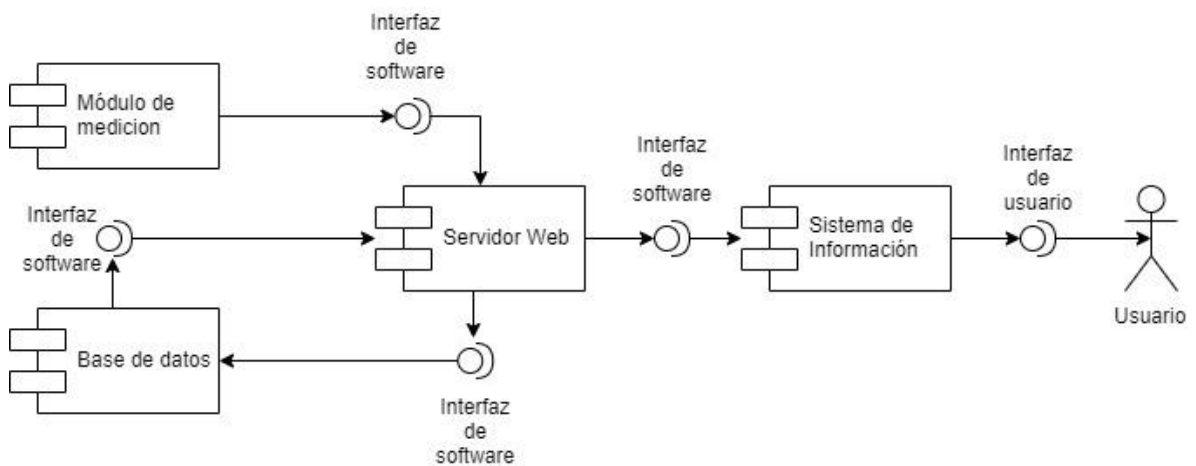


Figura 21. Modelo de componentes. Fuente propia

4.3 Implementación

El siguiente paso posterior a la etapa de diseño, es el desarrollo de la tecnología correspondiente al diseño realizado. Para ello se utilizaron servicios de software, editores de texto, entre otras herramientas, que permiten la codificación y la creación del sistema de información.

Como se mencionó anteriormente, fue necesario realizar modificaciones a una propuesta de solución desarrollada en un trabajo de investigación anterior (Olivo, 2018), en donde la principal modificación implica la sustitución del componente de transmisión Zigbee por uno que funciona mediante una red GSM, específicamente la tecnología GPRS. Para ello, se utilizó un módulo llamado SIM900, cuyas principales características son el bajo consumo energético y la posibilidad de conectarse a servidores remotos utilizando los comandos AT, mediante TCP/IP (SIMCom, 2013).

Con dicha tecnología, el prototipo es capaz de conectarse con servidores web mediante el protocolo de transferencia de hipertexto (por sus siglas en inglés, HTTP), estando siempre conectado a la red, pero solo utilizándola cuando es necesario (Bates, 2001). De esta manera, proporciona al prototipo utilizar uno de los protocolos más utilizados en la red global de internet (Fielding et al, 1999; de Saxcé et al, 2015).

En el desarrollo de prototipos similares, Cavaco et al (2009) ha demostrado su efectividad en el monitoreo de transformadores de corriente eléctrica, mientras que Chen et al (2009) en el envío de datos de terminales remotas.

En la Figura 22, se puede apreciar la apariencia final del prototipo de medición, en donde destaca el módulo SIM900, ubicado en la parte superior.

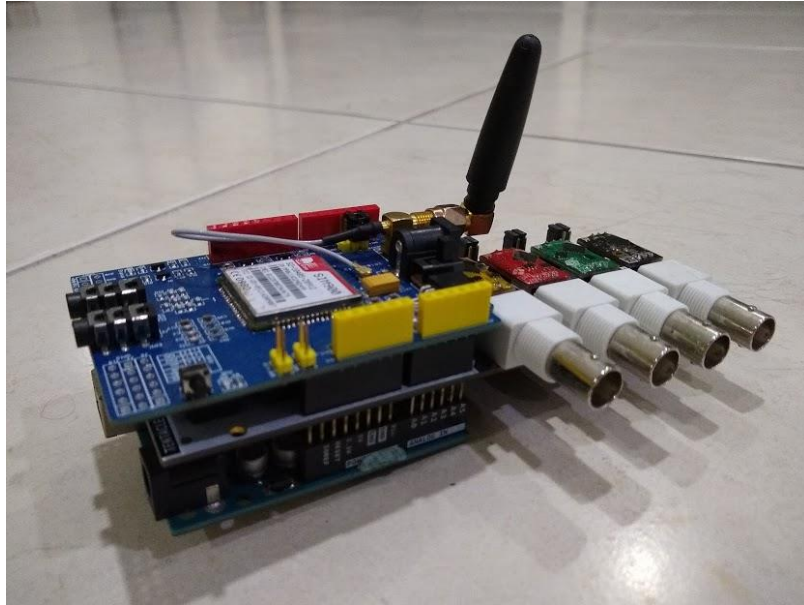


Figura 22. Prototipo final del módulo de medición. Fuente propia

4.3.1 Codificación

Como se ha determinado en el modelo de clases del presente trabajo de investigación, el sistema consta de tres controladores principales: Usuario, Administrador y Sensor; y un controlador de apoyo para futuras aplicaciones de servicios web llamado, llamado App. Para fines de esta sección, se detallará únicamente en el desarrollo de los controladores principales.

La gran mayoría del registro de los eventos de trazabilidad se realizan en el controlador llamado Usuario, por ende, es el más extenso tanto en funcionalidades

como en líneas de código. Un segmento del código, que consiste en su construcción y en la función principal, se muestran en la Figura 23.

```
class Usuario extends CI_Controller {
    function __construct()
    {
        parent::__construct();
        $this->load->model('Usuario_m');

        // $this->load->library('form_validation');

        $this->load->helper('string');
    }

    public function validate_session()
    { ...
    }

    public function index()
    {
        $this->validate_session();

        $this->load->model('Usuario_m');
        $id_medicion=$this->Usuario_m->get_last_id_medicion()[0]->id_medicion;
        $data=array(
            'last_medicion' => $this->Usuario_m->get_last_medicion($id_medicion),
            'mediciones'    => $this->Usuario_m->get_mediciones()
        );

        $this->load->view('header');
        $this->load->view('navbar');
        $this->load->view('dashboard', $data);
        $this->load->view('footer-open');
        $this->load->view('footer-close');
    }
}
```

Figura 23. Bloque de código del controlador Usuario.

El segundo controlador más importante es el que se encarga de recibir, procesar y almacenar los datos enviados por el módulo de medición, llamado Sensor. Cabe mencionar que ninguna persona tiene interacción directa con ninguno de los bloques de código, todo se realiza de forma autónoma por el sistema. En la Figura 24 se puede apreciar la construcción de dicho controlador.

```
<?php
defined('BASEPATH') OR exit('No direct script access allowed');

class Sensor extends CI_Controller {
    function __construct()
    {
        parent::__construct();
        $this->load->model('Sensor_m');

        // $this->load->library('form_validation');

        $this->load->helper('string');
    }
}
```

Figura 24. Bloque de código del controlador Sensor.

En el controlador de Sensor también se encuentra un algoritmo de notificación, que permite al usuario saber cuándo un parámetro se ha salido de los rangos establecidos. En la Figura 25 se puede apreciar una representación gráfica de funcionamiento del algoritmo, y en la Figura 26 se muestra el segmento de código que controla dicha funcionalidad.

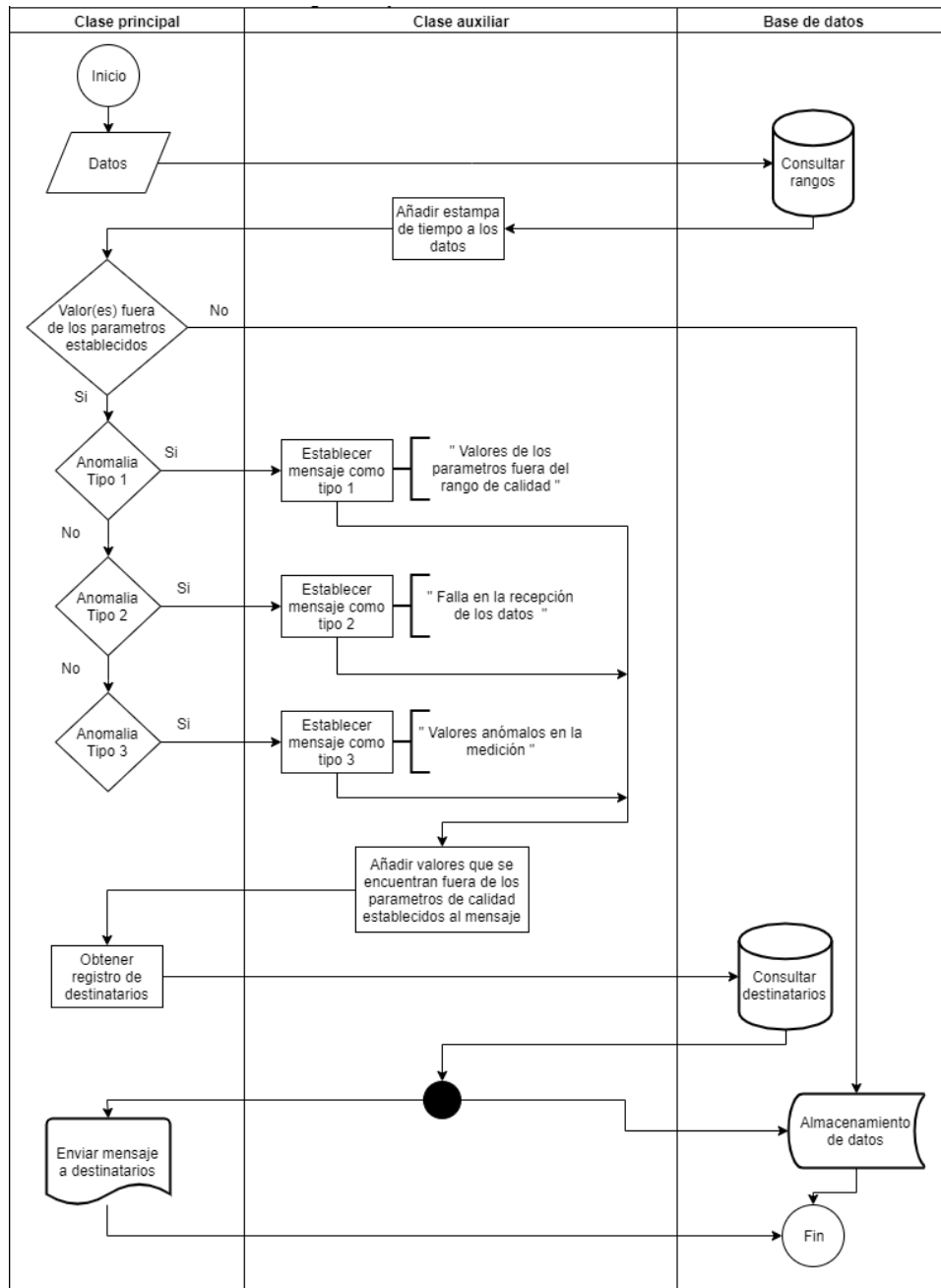


Figura 25. Diagrama del módulo de notificación. Tomada de: Barajas-Corona (2020)

```

public function notificacion($id_medicion)
{
    $this->load->model('Sensor_m');

    // Comprueba si existe una anomalia en los valores registrados
    $anomalia=$this->Sensor_m->comprobar_anomalia($id_medicion);
    if (!empty($anomalia))
    {
        $mensaje='¡ALERTA!'\n'. 'Fecha: '.$anomalia[0]->fecha.\n'. 'Hora: '.$anomalia[0]->hora.\n'.\n'. 'Se han detectado anomalías: '\n";
        foreach($anomalia as $a)
        {
            $mensaje = $mensaje.$a->nombre_parametro.' : '.$a->valor.\n";
        }

        // Obtiene los números para emitir la alerta
        $numeros=$this->Sensor_m->get_alerta_numeros();

        foreach($numeros as $n)
        {
            $this->Sensor_m->insert_alerta_medicion($n->id_alerta,$id_medicion,$mensaje);
        }
    }

    // Llama a la función para que envíe el SMS con la alerta
    $alertas=$this->Sensor_m->get_alerta_no_emitida();
    foreach($alertas as $a)
    {
        $estatus = $this->send_sms($a->celular, $a->mensaje);
        if ($estatus == 'ENVIADA'){
            $this->Sensor_m->update_estatus_alerta($a->id_alerta,$id_medicion,$estatus);
        }
    }
}

```

Figura 26. Bloque de código del módulo de notificación.

El controlador llamado Administrador se encarga de proporcionar, de forma sistematizada, las herramientas necesarias para realizar las funciones que corresponden únicamente al dueño de la granja: la adición de productos, el inicio y fin de un ciclo de cultivo, consulta de información, entre otras. En la Figura 27 se puede apreciar la construcción del controlador.

```
<?php
defined('BASEPATH') OR exit('No direct script access allowed');

class Administrador extends CI_Controller {
    function __construct()
    {
        parent::__construct();
        $this->load->model('Administrador_m');

        // $this->load->library('form_validation');

        $this->load->helper('string');
    }
}
```

Figura 27. Bloque de código del controlador Administrador.

4.4 Puesta en operación del sistema

Para la puesta en operación del sistema de información desarrollado en un entorno web fue requerido la renta de un servicio de alojamiento de archivos, y la adquisición de un servicio de redireccionamiento mediante dominio. Ambos servicios fueron adquiridos mediante Hostgator, que ofrece un servidor Apache instalado en Linux, ideal para un software desarrollado en lenguaje PHP.

El sistema de medición se implementó sobre una boya, que permite al sistema de sensores obtener datos desde una posición central en el estanque, y se adquirió un servicio de prepago para los datos de navegación en la red GPRS.

4.5 Verificación y validación

Las pruebas es una actividad transversal del modelo PUA de desarrollo, misma que se encuentra presente en todas las etapas, pero tiene un mayor protagonismo en la etapa de transición. Para determinar el impacto que tiene el utilizar un sistema que permite la gestión de la información sobre los eventos de trazabilidad interna, y de los datos obtenidos por el módulo de medición, se realizó un plan de pruebas utilizando el “Modelo V” (Figura 28), el cual es una representación gráfica de los pasos para validar que cada elemento y funcionalidad implementada en el sistema de información satisface una respectiva necesidad. (Campos-Chiu, 2015).

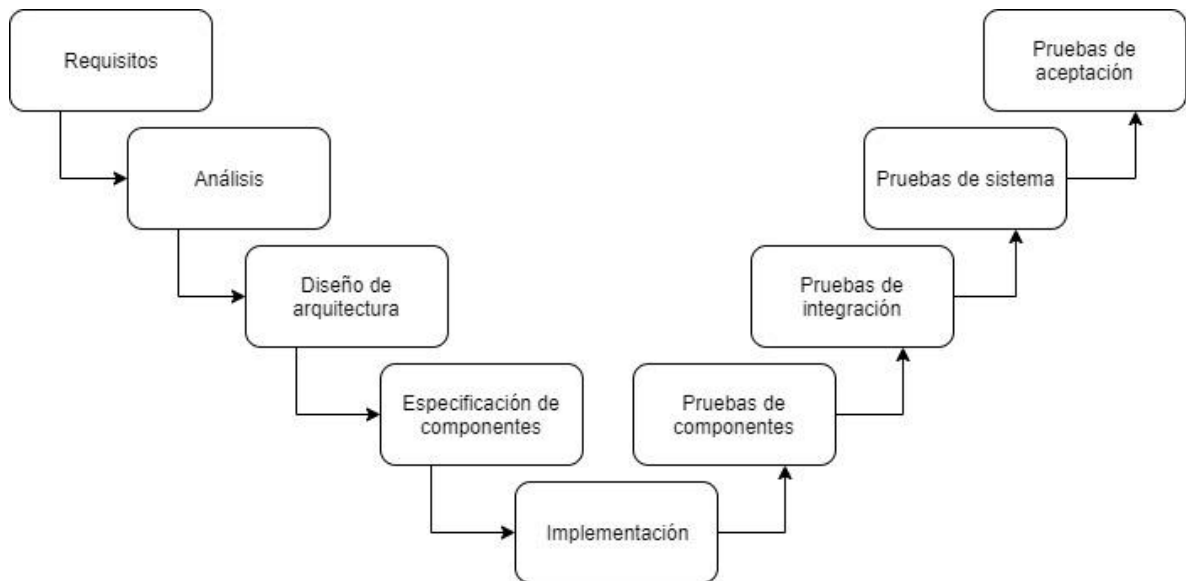


Figura 28. Modelo V de pruebas (Campos-Chiu, 2015).

4.4.1 Pruebas de componente

También son conocidas como pruebas unitarias, las cuales se utilizan para localizar defectos puntuales de acuerdo con cada funcionalidad o módulo del sistema. Al trabajarse bajo un esquema bien delimitado, la finalización de cada función, por ejemplo, de un controlador, conlleva una serie de pruebas de utilidad para ser considerada como realizada. Esto último aplica también a la adaptación realizada al módulo de transmisión.

4.4.2 Pruebas de integración

Con la adición de nuevos segmentos de código a los controladores, fue necesario realizar pruebas con la transmisión de datos entre los módulos, siendo los más críticos, debido a la variedad de tecnologías utilizadas, la comunicación entre el módulo de medición y el controlador encargado de registrar la información en la base de datos. Como se puede apreciar en la Figura 29, estas pruebas se realizaban consultando la información con una interfaz creada exclusivamente para ello.

Mediciones registradas

Formato de tabla

Estanque	Fecha	Hora	O. D. (mg/l)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (mg/l)
Estanque 7	08/08/2020	03:51 AM	3.2	27	6.9	11.8
Estanque 7	08/08/2020	06:30 AM	3.23	28		
Estanque 7	08/08/2020	08:43 AM	3.4	29	7.6	10.2
Estanque 7	08/08/2020	08:41 AM	3.54	29	7.5	
Estanque 7	17/07/2020	04:13 PM	4.92	34	7.6	9.9

Figura 29. Interfaz para la verificación de la transmisión de datos. Fuente propia.

4.4.3 Pruebas de sistema

Una vez concluidas las pruebas unitarias y de integración entre componentes, se procedió a realizar pruebas generales del sistema, con la finalidad de determinar si los requerimientos se completaron satisfactoriamente.

4.4.4 Pruebas de aceptación

Son conocidas también como pruebas alfa, y fue realizada por los usuarios finales del sistema, quienes determinarían si el sistema representa una herramienta útil para registrar los procesos referentes a la trazabilidad interna y la gestión sistemática de los datos obtenidos por el módulo de medición. Las pruebas fueron realizadas en durante dos semanas, en las que se mantuvo una constante comunicación con los usuarios finales, mediante un dispositivo móvil propiedad del productor, requiriendo una conexión de internet para su funcionamiento.

En esta etapa también se realizaron solicitudes de cambios en el sistema, por parte del usuario. Mismos que se atendieron y se validaron siguiendo el mismo modelo de pruebas.

CAPÍTULO V RESULTADOS OBTENIDOS

De acuerdo con la metodología seguida, Proceso Unificado Ágil, la última etapa del desarrollo de software es la transición del proyecto de software. Como resultado producto de este trabajo de investigación se tiene un sistema de información funcional, montado en un servidor web, disponible para cualquier dispositivo que cuente con una conexión a Internet y un cliente HTTP, como bien puede ser un navegador. Cabe mencionar que durante la etapa de transición, y con el objetivo funcionamiento del sistema, se realizaron pruebas controladas en donde se modificaron algunos parámetros para que salieran de rango, y entrara en ejecución el módulo de notificación.

Para el módulo de trazabilidad interna, se desarrollaron interfaces que permiten al usuario interactuar con el sistema, almacenar y consultar información referente a los eventos de trazabilidad. En la Figura 30 se puede apreciar la interfaz de inicio de sesión, mientras que en la Figura 31 la pantalla principal una vez que han sido aceptados.

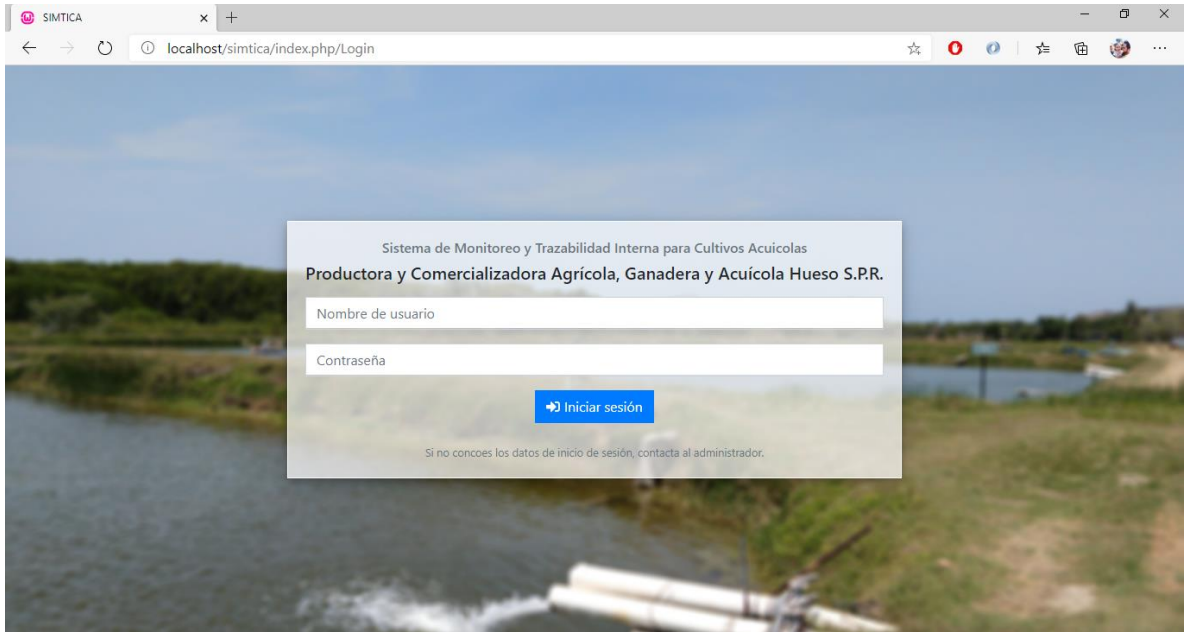


Figura 30. Interfaz del sistema para el inicio de sesión



Figura 31. Interfaz principal del sistema

En la pantalla principal, se puede consultar la información referente a los estanques activos. La distribución de estos simula la ubicación de cada uno en la granja de camarón.

El código de color es utilizado para facilitar al usuario la interpretación en función al estatus de cada estanque. Si se encuentra en un tono diferente, significa que se ha detectado una anomalía, por ejemplo, en la medición de los parámetros de la calidad del agua. En la Figura 32 se puede apreciar como luce un estanque cuando todo va de manera correcta, mientras que en la Figura 33 se muestra cuando existe una anomalía.

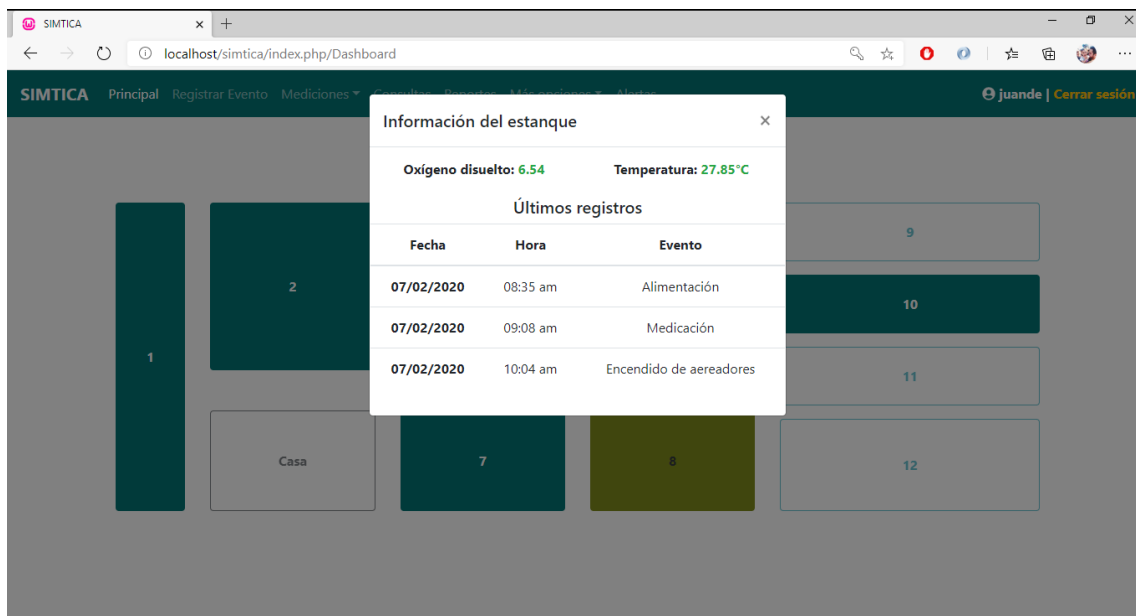


Figura 32. Interfaz de consulta rápida cuando un estanque se encuentra en óptimas condiciones

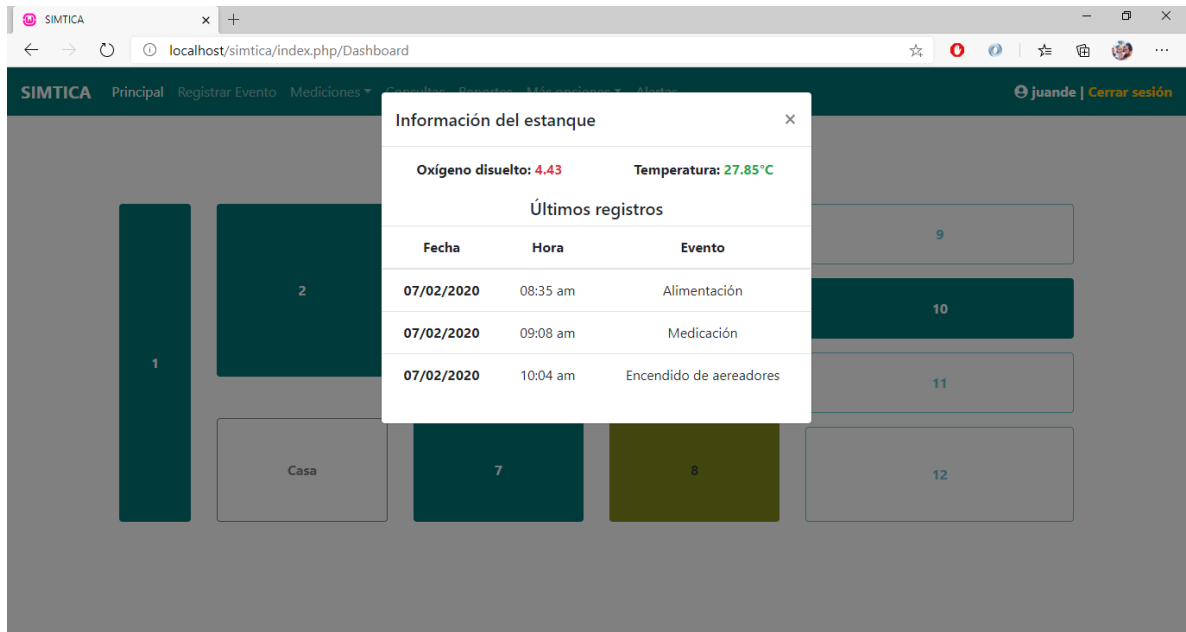


Figura 33. Interfaz de consulta rápida cuando algún valor en la medición se encuentra fuera de rango

Los registros de los eventos de trazabilidad se realizan en la interfaz mostrada en la Figura 34, en donde destaca el diseño en dos partes: a la izquierda de la pantalla, los campos del formulario, mientras que a la derecha una tabla con los datos que se han almacenado.

The screenshot shows the SIMTICA web application interface for recording traceability events. The page title is "Eventos de Trazabilidad". On the left, there are filters for "Estanque" (Tank), "Fecha" (Date), "Hora" (Time), and "Tipo de evento" (Event type). The main area displays a table with columns for "Estanque", "Fecha", "Hora", "Descripción", and "Detalles". The table lists several events for "Estanque 7", including fertilization and honey application on various dates in 2020. Each row has a "Ver más" button.

Estanque	Fecha	Hora	Descripción	Detalles
Estanque 7	02/06/2020	09:00	Fertilización	Ver más
Estanque 7	09/06/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más
Estanque 7	05/06/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más
Estanque 7	01/06/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más
Estanque 7	08/05/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más
Estanque 7	12/05/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más
Estanque 7	16/05/2020	10:00	Aplicación de melaza	Ver más

Figura 34. Interfaz para el registro de los eventos de trazabilidad

Esta es una de las interfaces de mayor uso por parte del usuario, por lo que se ha cuidado la distribución del contenido para que pueda adaptarse de forma responsiva a los dispositivos móviles, como se puede apreciar en la Figura 35.

SIMTICA

Eventos de Trazabilidad

Estanque
-- Seleccione un estanque --

Fecha
20/06/2020

Hora
08:23 p. m.

Tipo de evento
-- Seleccione un tipo de evento --

Estanque	Fecha	Hora	Descripción
----------	-------	------	-------------

Figura 35. Interfaz para el registro de los eventos de trazabilidad (versión móvil)

Para la consulta de los eventos de trazabilidad interna se desarrolló una interfaz que permite al usuario consultar, de forma dinámica, los datos registrados. Puede ordenarlos de acuerdo con cuatro parámetros: por estanque, por tipo de evento, por fecha de inicio y fecha de término, así mismo los comprendidos entre ambas fechas. En la Figura 36 se muestra una captura de pantalla de dicha interfaz.

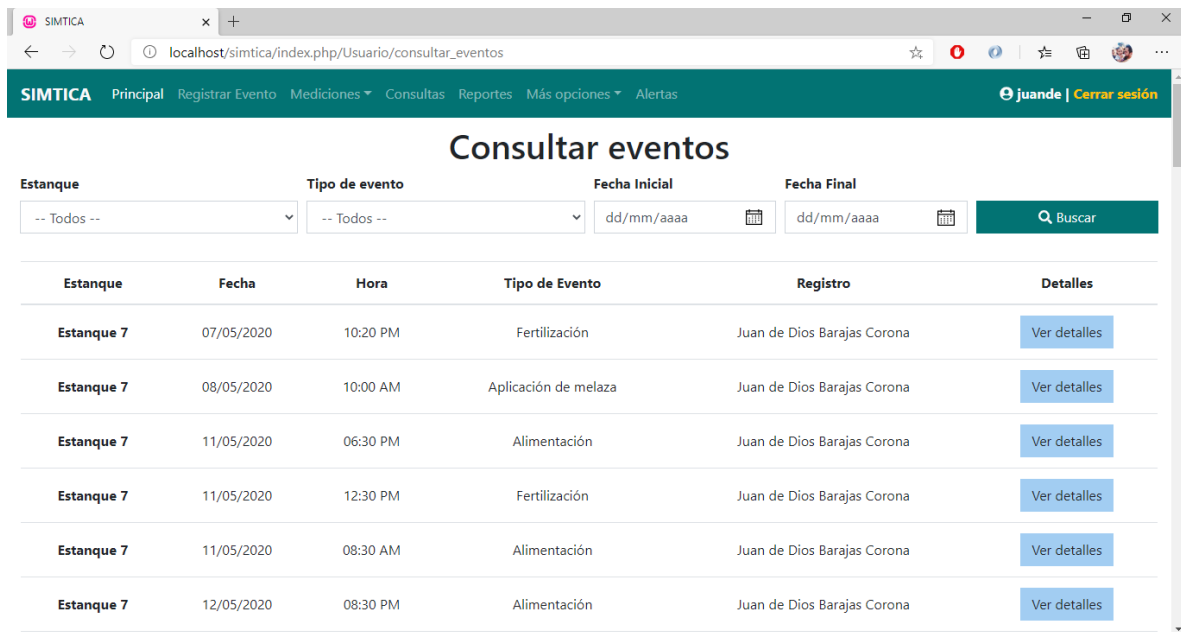


Figura 36. Interfaz para la consulta de los eventos de trazabilidad registrados

La interfaz mostrada anteriormente es otra de las que se utilizan de manera recurrente, por lo que el diseño también fue considerado para apreciarse correctamente desde un dispositivo móvil, tal como lo muestra la Figura 37.

The image shows a mobile application interface for SIMTICA. At the top, there is a dark green header with the text 'SIMTICA' and a white menu icon. Below the header, the title 'Consultar eventos' is displayed in a large, bold, black font. Underneath the title, there are four filter sections: 'Estanque' with a dropdown menu showing '-- Todos --'; 'Tipo de evento' with a dropdown menu showing '-- Todos --'; 'Fecha Inicial' with a date input field showing 'dd/mm/aaaa' and a calendar icon; and 'Fecha Final' with a date input field showing 'dd/mm/aaaa' and a calendar icon. Below these filters is a dark green button with a white magnifying glass icon and the text 'Buscar'. At the bottom of the screen, there is a light gray bar with a white menu icon and the text 'Tipo de'.

Figura 37. Interfaz para la consulta de los eventos de trazabilidad registrados (versión móvil)

En lo que respecta al módulo de medición, si bien el sistema registra automáticamente los datos obtenidos por el módulo, es posible para el usuario registrar las mediciones manualmente. Esta redundancia se hizo por si el módulo de medición presentase fallas, de esa forma asegurar la integridad de la información y el seguimiento en la trazabilidad. La interfaz para registrar los parámetros se muestra en las Figura 38 y Figura 39.

SIMTICA Principal Registrar Evento Consultas Mediciones Más opciones juande | Cerrar sesión

Mediciones de Parametros de Calidad del Agua

Registro

Fecha: 08/22/2020

Hora: 05:32 PM

Estanque: -- Seleccione un estanque --

Registrar

Últimos registrados

Fecha	Hora	Estanque	OD	Temp.	pH	Salinidad
08/08/2020	03:51 AM	Estanque 7	3.200			
08/08/2020	03:51 AM	Estanque 7		27.100		
08/08/2020	03:51 AM	Estanque 7			6.900	
08/08/2020	03:51 AM	Estanque 7				11.800
08/08/2020	06:30 AM	Estanque 7	3.230			
08/08/2020	06:30 AM	Estanque 7		27.900		
08/08/2020	08:43 AM	Estanque 7	3.400			
08/08/2020	08:43 AM	Estanque 7		29.300		
08/08/2020	08:43 AM	Estanque 7			7.600	

Figura 38. Interfaz para el registro de mediciones de parámetros de calidad del agua (I)

SIMTICA Principal Registrar Evento Mediciones Consultas Eventos Más opciones juande | Cerrar sesión

Mediciones de Parametros de Calidad del Agua

Registro

Fecha: 20/06/2020

Hora: 08:31 p. m.

Estanque: Estanque 7

Registrar

Últimos registrados

Fecha	Hora	Estanque	Temp.	pH	Salinidad
19/06/2020	10:15 PM	Estanque 7	4.910		
19/06/2020	10:25 PM	Estanque 7		0.000	0.330
19/06/2020	10:25 PM	Estanque 7			
19/06/2020	10:25 PM	Estanque 7	31.726		

Registrar Mediciones

Parametro: Temperatura

Cantidad: 28.1

Registrar

Parametro	Valor
Oxígeno Disuelto	7.680

Figura 39. Interfaz para el registro de mediciones de parámetros de calidad del agua (II)

A continuación, se muestra una fotografía (Figura 40) del módulo de medición en operación, montado sobre una boya para facilitar su transporte dentro del estanque.



Figura 40. Fotografía del módulo de medición montado en una boya

Los datos registrados, ya sea por el usuario o automáticamente por el módulo de medición, pueden ser consultados en la interfaz que se muestra en la Figura 41. Se puede apreciar que la interfaz permite al usuario filtrar los resultados mediante diversos parámetros, ofreciendo una mejor interpretación de los datos. Así también, puede mostrar los datos en formato de tabla o gráfico, tal y como se muestra en la Figura 42.

Mediciones registradas

Formato de tabla

Estanque	Fecha	Hora	O. D. (mg/l)	Temperatura (°C)	pH	Salinidad (mg/l)
Estanque 7	08/08/2020	03:51 AM	3.2	27	6.9	11.8
Estanque 7	08/08/2020	06:30 AM	3.23	28		
Estanque 7	08/08/2020	08:43 AM	3.4	29	7.6	10.2
Estanque 7	08/08/2020	08:41 AM	3.54	29	10	

Figura 41. Interfaz para la consulta de mediciones obtenidas en formato de tabla

Formato de tabla **Formato de gráficos** Formato Híbrido

Oxígeno disuelto — Valores

Temperatura — Valores

Figura 42. Interfaz para la consulta de mediciones obtenidas en formato de gráficos

Por último, el módulo de notificación permite al usuario enterarse de forma inmediata cuando uno de los parámetros, obtenidos por el módulo de medición, se ha salido

de los rangos establecidos. En la Figura 43, se muestra una captura de pantalla de una alerta recibida por medio de SMS a un dispositivo móvil.

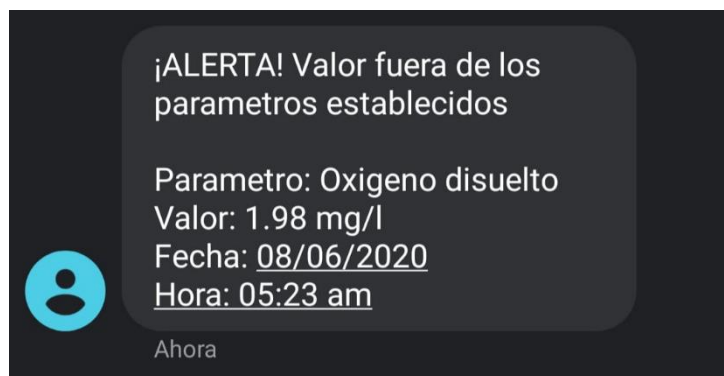


Figura 43. Captura de pantalla de alerta recibida en dispositivo móvil

CAPITULO VI CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En el presente trabajo de investigación se describe el análisis, diseño, desarrollo e implementación de un sistema integral de información, compuesto por un sistema de medición de parámetros de calidad del agua y un sistema web para la gestión de la trazabilidad interna en cultivos acuícolas.

6.1 Conclusiones

Este trabajo reporta el diseño e implementación de un sistema de información que integra un módulo de medición de los parámetros de calidad del agua, que son oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y pH, y un sistema de información que permite gestionar el registro y consulta de los eventos de trazabilidad interna en los cultivos acuícolas. Los datos obtenidos por el módulo y los registrados por el productor pueden ser consultados vía internet desde cualquier dispositivo capaz de navegar en Internet.

La modificación realizada al trabajo de Olivo-Gutiérrez (2018), permitió al sistema comunicarse de forma exitosa con servidores web. Así mismo, se demostró la eficiencia de un algoritmo que permite la detección y posterior notificación de anomalías en los datos obtenidos.

La creación de un sistema de información web para gestionar los registros de trazabilidad interna permitió al productor tener la libertad de no depender de una tecnología específica para realizar los registros de eventos de trazabilidad, y

posteriormente consultar información, así como la generación de reportes, pues cualquier dispositivo que permita navegar en internet es capaz de acceder al sistema, siempre y cuando el usuario proporcione credenciales válidas para el inicio de sesión.

Se ha demostrado que contar con un sistema de notificación, cuando alguno de los parámetros se ha salido de los rangos establecidos, es de vital importancia para tomar acciones inmediatas. Almacenar los datos obtenidos por el sistema de medición en una base de datos en línea, permite también la consulta de información, sin estar en la granja físicamente, aunado al sistema de gestión de trazabilidad interna, proporciona al productor una herramienta útil que sirve de apoyo para la toma de decisiones.

6.2 Cumplimiento de los objetivos de la investigación

Con los resultados obtenidos, descritos en el CAPITULO V, se puede concluir que el objetivo: “desarrollar un sistema para la medición y gestión integral de la trazabilidad interna del cultivo de camarón” se cumple en virtud de los siguientes puntos:

- El sistema de información registra los eventos de trazabilidad por estanque y por ciclo de cultivo.
- El productor puede consultar los datos registrados mediante una interfaz que permite la aplicación de filtros en el despliegue de la información.

- La modificación realizada al prototipo de medición para proveer la información a servidores web funciona correctamente.
- Se ha integrado el sistema de información para la gestión de la trazabilidad interna con el sistema de medición, y se ha incorporado un módulo de notificación.

6.3 Aceptación o rechazo de la hipótesis de trabajo

La hipótesis científica: “El diseño, desarrollo y despliegue de un sistema para la gestión de la trazabilidad interna, que incluye a los parámetros de calidad del agua, permitirá a un productor acuícola contar con información histórica del ciclo de cultivo de camarón” se comprueba, ya que contar con un sistema integral de información permite almacenar de forma sistematizada toda la información, y su posterior consulta.

6.4 Limitaciones de la investigación

Si bien, la investigación ha permitido cumplir con los objetivos de crear un sistema para gestionar los registros de trazabilidad interna, y la medición de los parámetros de calidad del agua, así como se ha comprobado la hipótesis de consultar información histórica, se debe considerar el desarrollo de un sistema de información que proporcione al productor las herramientas necesarias para la trazabilidad hacia atrás y hacia adelante, pues actualmente solo se lleva la gestión de la interna.

6.5 Trabajo a futuro

Cualquier continuación del presente trabajo de investigación deberá contemplar la adición de herramientas de inteligencia artificial, para mejorar el discernimiento de los datos registrados por el sistema de medición, descartando de forma más precisa aquellos que sean errores en la medición, producto de una falla del hardware o una variación no significativa en los valores. Así mismo, para generar información con los datos recopilados tras cada ciclo de cultivo, permitiendo al productor realizar predicciones más acertadas para el siguiente ciclo. Por último, se sugiere mejorar el prototipo de medición y adoptar un sistema de comunicación local, para no solo depender de la disponibilidad de la red de telefonía móvil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aiello, G., & Enea, M. y. (2015). The expected value of the traceability information. *European Journal of Operational Research*, 176-186.
- Ambler, S. (2005). *The Agile Unified Process (AUP)*. (Ambysoft) Recuperado el 2019, de <http://www.ambysoft.com/unifiedprocess/agileUP.html>
- Ambler, S., Nalbone, J., & Vizdos, M. (2005). *Enterprise unified process, the: extending the rational unified process*. USA: Prentice Hall.
- Araceres-González, A. A.-G. (2018). Herramientas para el control y monitoreo de especies y clima en el jardín botánico de SO-ROA (Cattleya). . *XVII Convención y Feria Internacional Informática*, 1-9.
- ATMEL. (2016). *ATMEGA328/P Datasheet*. (Fecha de consulta: 02/02/2019). Obtenido de <http://www.datasheet.es/PDF/1057332/ATmega328P-pdf.html>
- Barajas-Corona, J., Verduzco-Ramírez, J. A., Bricio-Barrios, E. E., Arceo-Díaz, S., Figueroa-Millán, P. E., & Chávez-Valdez, R. E. (2020). Sistema de Notificación en Tiempo Real de la Calidad del Agua en Granjas de Camarón. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 7(1), 20.
- Bates. (2001). *GPRS: General Packet Radio Service*. McGraw-Hill Professional.
- Bórquez-López, R., Martínez-Córdova, L. R., Casillas-Hernández, R., López-Elías, J. A., Barraza-Guardado, R. H., Ibarra-Gámez, C., & Gil-Núñez, C. (2017). Monitoreo del índice de calidad del agua para camaronicultura por medio de un hardware de acceso abierto y un sistema de inferencia difusa. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 45-49.

- British Columbia Institute of Technology. (2014). *CodeIgniter User Guide* (Consultado: 20/04/2019). Obtenido de <https://codeigniter.com/userguide3/index.html>
- Calvo-Dopico, D. (2015). Implantación de la trazabilidad y su relación con la calidad: marco conceptual y retos estratégicos. Aplicación al sector pesquero. *Economía agraria y recursos naturales*, 15(1), 79-98.
- Campos-Chiu, C. (2015). *Las pruebas en el desarrollo de software*. Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Carbajal-Hernández, J. J., Sanchez-Fernandez, L. P., Hernández-Bautista, I., & Hernández-López, J. (2017). Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 71-89.
- Cavaco, M. A., Benedet, M. E., & Nogueira C. A. y Coelho, R. H. (2009). Remote monitoring of incipient faults using gprs in power transformers. *XIX Imeko World Congress*, 1370-1374.
- Chen, Q., Ding, C., & Li P. y Wang, P. (2009). Low-power wireless remote terminal design based on GPRS/GSM. *Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University*, 225-231.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2018a). *Produce acuacultura mexicana más de 400 mil toneladas de pescados y mariscos*. (Consultado: 10/04/2019). Obtenido de <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/produce-acuacultura-mexicana-mas-de-400-mil-toneladas-de-pescados-y-mariscos-172466>.
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2018b). *Buenas perspectivas para la exportación de pescados y mariscos mexicanos, al concluir la Seafood Expo Norteamérica: CONAPESCA*. (Consultado: 10/04/19). Obtenido de <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/buenas->

perspectivas-para-la-exportacion-de-pescados-y-mariscos-mexicanos-al-concluir-la-seafood-expo-norteamerica-conapesca.

Corona-Ramírez, L. G., & Abarca-Jiménez, G. S.-C. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.

de Saxcé, H. I. (2015). Is HTTP/2 really faster than HTTP/1.1? *IEEE Conference on Computer Communications Workshops*, 293-299.

FAO. (2018). *Manual para la cría de camarones*. Obtenido de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/aquaculture/a0845t/volume2/docrep/field/003/ab466s/AB466S00.htm>

FAO Fisheries Department. (2003). *World Fisheries and Aquaculture Atlas*. CD-ROM. Roma: FAO.

Fielding, R., Gettys, J., & Mogul, H. F.-L. (1999). *RFC2616: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1* (Consultado: 26/01/2020). Obtenido de <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2616>

Flores-Mollo, S. y.-P. (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones. *Ingeniare*, 55-64.

Frias-Espericueta, M. P.-O. (2001). *Toxicidad de los Compuestos del Nitrógeno en Camarones. Camaronicultura y medio ambiente*. pp. 129-150.

Halonen, T., & Romero, J. y. (2004). *GSM, GPRS and EDGE performance: evolution towards 3G/UMTS*. John Wiley & Sons.

Instituto Nacional de Pesca (INAPESCA). (2013). *Carta Nacional Acuicola* (Consultado 10/05/19). Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/117710/09092013_CARTA_NACIONAL_ACUICOLA.pdf

ISO. (2007). *Trazabilidad en la cadena de alimentos para alimentación humana y animal — Principios generales y requisitos básicos para el diseño e implementación del sistema*. Recuperado el 2019, de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:22005:ed-1:v1:es>

Joe-Air, J. (2017). Integration of an automatic agricultural and livestock production management system and an agriculture and food traceability system based on the Internet of Things technology. *Eleventh International Conference on Sensing Technology (ICST)*. Sydney, NSW.

Kendall, K. E. (2002). *Análisis y diseño de sistemas*. Prentice Hall.

Malagrino, G., & Lagunas, M. y. (2008). Environmental impact reduction through ecological planning at Bahia Magdalena, Mexico. *Journal of Environmental Biology*, 179-182.

Maulana, Y. W. (2018). Online Monitoring of Shrimp Aquaculture in Bangka Island Using Wireless Sensor Network. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(2)., 358.

Moreto, S. (2016). *Bootstrap 4 by Example*. Packt.

NEXMO. (2019). *Discover how we deliver quality. The Vonage API Platform, Vonage Corporation*. (Consultado: 04/03/2019). Obtenido de <https://www.nexmo.com>

Nur, A., & Binti, A. (2011). Software engineering traceability method for food ingredient tracing. *Malaysian Conference in Software Engineering, Johor Bahru*. Malasia.

- Olivo-Gutierrez, M. (2018). *Prototipo para el monitoreo automatizado de parametros de calidad del agua en una granja de camarón*. Villa de Álvarez, Colima, México: Tesis M.S., DEPI, Instituto Tecnológico de Colima.
- Oracle Corporation. (2019). *MySQL Reference Manual (Consultado: 25/04/2019)*. Obtenido de <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>
- Parlamento Europeo y Consejo. (2002). *REGLAMENTO (CE) No 178/2002 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO*.
- Pressman, R. S. (2010). 3.5.8. El proceso unificado ágil (PUA). En *Ingeniería del Software. Un enfoque práctico* (págs. 75-76). McGrawHill.
- Rincón, D. L., & Fonseca, J. E.-C. (2017). Towards a Common Reference Framework for Traceability in the Food Supply Chain. *Ingeniería*, 161-189.
- Salazar Díaz, M. G. (s.f.). La acuicultura en México. Veracruz. Veracruz: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/5723/20012P51.pdf;jsessionid=407812F8023897E8E27CE4FD0AC2758B?sequence=2>.
- Scholten, H., Verdouw, C., & Beulens, A. J. (2016). *Defining and Analyzing Traceability Systems in Food Supply Chains*. Woodhead Publishing.
- SIMcom. (2013). *SIM900 Hardware Design. Shanghai: SIMCom Wireless Solutions (Consultado: 29/01/2020)*. Obtenido de https://simcom.ee/documents/SIM900/SIM900_Hardware%20Design_V2.05.pdf
- Sosa-Leonardo, C. I. (2017). *Propuesta de un sistema de trazabilidad de productos para la cadena de suministro agroalimentaria*. Valencia, España.: Tesis, MS. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.

Stacy-Ann, A. (2016). Implementation of an internal food traceability application for local farmers in Jamaica. *SoutheastCon 2016*. Norfolk, VA.

The PHP Groupe. (2001). *Manual de PHP (Consultado: 18/04/2019)*. Obtenido de <https://www.php.net/manual/es/index.php>

Twilio. (2019). *The programmable contact center platform. (Consultado: 04/03/2019)*. Obtenido de <https://www.twilio.com>

Villalobos-Gómez, J. A. (2018). *Sistema de Informacion para la Trazabilidad de Proceso Acuicolas de Pequeña Escala*. Villa de Álvarez, Colima, México.: Reporte técnico de estancia de tesis M.S., DEPI, Instituto Tecnológico de Colima.

Welling, L., & Thomson, L. (2009). *Desarrollo web con PHP y MySQL*. Anaya Multimedia.

YSI. (2002). *YSI Modelo 55, Sistema portable de medición de oxígeno disuelto y temperatura: Manual de operación. (Consultado 04/03/2019)*. Obtenido de <https://www.ysi.com/File%20Library/Documents/Manuals/055207-YSI-Model-55-Spanish-Operations-Manual-RevA.pdf>.

ANEXOS

Diccionario de datos

Table: evento						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_evento	TINYINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(50)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 44. Diccionario de datos: evento. Fuente propia.

Table: siembra						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_siembra	INT	Yes	Yes	No		
fecha_inicio	DATE	Yes	No	No		
fecha_final	DATE	No	No	No		
semana	TINYINT(2)	Yes	No	No	'1'	
cantidad_inicial	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_estanque	TINYINT	Yes	No	Yes		
id_biomasa	SMALLINT	Yes	No	Yes		

Figura 45. Diccionario de datos: siembra. Fuente propia.

Table: estanke						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_estanke	TINYINT	Yes	Yes	No		
identificador	VARCHAR(10)	Yes	No	No		
medida_x	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
medida_y	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
medida_z	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 46. Diccionario de datos: estanke. Fuente propia.

Table: parametro						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_parametro	TINYINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(50)	Yes	No	No		
maximo	DECIMAL(10,3)	Yes	No	No		
minimo	DECIMAL(10,3)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 47. Diccionario de datos: parámetro. Fuente propia.

Table: medicion						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_medicion	INT	Yes	Yes	No		
fecha	DATE	Yes	No	No		
hora_inicio	TIME	Yes	No	No		
hora_final	TIME	No	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_siembra	INT	Yes	No	Yes		

Figura 48. Diccionario de datos: medición. Fuente propia.

Table: medicion_parametro						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_medicion	INT	Yes	No	Yes		
id_parametro	TINYINT	Yes	No	Yes		
valor	DECIMAL(10,3)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 49. Diccionario de datos: medicion_parametro. Fuente propia.

Table: alerta						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_alerta	TINYINT	Yes	Yes	No		
id_persona	SMALLINT	Yes	No	Yes		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 50. Diccionario de datos: alerta. Fuente propia.

Table: registro_evento						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_registro_evento	INT	Yes	Yes	No		
fecha	DATE	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_evento	TINYINT	Yes	No	Yes		
id_siembra	INT	Yes	No	Yes		
id_usuario	SMALLINT	Yes	No	No		
actualizacion_usuario	SMALLINT	Yes	No	No		

Figura 51. Diccionario de datos: registro_evento. Fuente propia.

Table: det_muestreo						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_muestreo	INT	Yes	No	Yes		
numero	TINYINT	Yes	No	No		
valor	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 52. Diccionario de datos: det_muestreo. Fuente propia.

Table: det_observacion_registro						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_registro_evento	INT	Yes	Yes	Yes		
texto	TEXT	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 53. Diccionario de datos: det_observacion_registro. Fuente propia.

Table: producto						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_producto	SMALLINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(100)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_tipo_producto	TINYINT	Yes	No	Yes		

Figura 54. Diccionario de datos: producto. Fuente propia.

Table: muestreo						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_muestreo	INT	Yes	Yes	Yes		
cantidad	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
unidad_medida	VARCHAR(10)	Yes	No	No		
hora	TIME	Yes	No	No		

Figura 55. Diccionario de datos: muestreo. Fuente propia.

Table: aplicacion_producto						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_aplicacion_producto	INT	Yes	Yes	Yes		
cantidad	DECIMAL(10,2)	Yes	No	No		
unidad_medida	VARCHAR(10)	Yes	No	No		
hora	TIME	Yes	No	No		
id_producto	SMALLINT	Yes	No	Yes		

Figura 56. Diccionario de datos: aplicacion_producto. Fuente propia.

Table: accion						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_accion	INT	Yes	Yes	Yes		
hora_inicio	TIME	Yes	No	No		
hora_final	TIME	No	No	No		

Figura 57. Diccionario de datos: acción. Fuente propia.

Table: tipo_producto						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_tipo_producto	TINYINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(100)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 58. Diccionario de datos: tipo_producto. Fuente propia.

Table: persona						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_persona	SMALLINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(100)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
celular	VARCHAR(10)	Yes	No	No		

Figura 59. Diccionario de datos: persona. Fuente propia.

Table: proveedor						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_proveedor	SMALLINT	Yes	Yes	Yes		
correo	VARCHAR(100)	Yes	No	No		

Figura 60. Diccionario de datos: proveedor. Fuente propia.

Table: empleado						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_empleado	SMALLINT	Yes	Yes	Yes		
fecha_nacimiento	DATE	Yes	No	No		
puesto	VARCHAR(50)	Yes	No	No		

Figura 61. Diccionario de datos: empleado. Fuente propia.

Table: proveedor_producto						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_proveedor	SMALLINT	Yes	No	Yes		
id_producto	SMALLINT	Yes	No	Yes		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 62. Diccionario de datos: proveedor_producto. Fuente propia.

Table: usuario						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_usuario	SMALLINT	Yes	Yes	Yes		
clave	VARCHAR(20)	Yes	No	No		
contra	VARCHAR(40)	Yes	No	No		
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_tipo_usuario	TINYINT	Yes	No	Yes		

Figura 63. Diccionario de datos: usuario. Fuente propia.

Table: tipo_usuario						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_tipo_usuario	TINYINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(50)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 64. Diccionario de datos: tipo_usuario. Fuente propia.

Table: especie						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_especie	TINYINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(50)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 65. Diccionario de datos: especie. Fuente propia.

Table: biomasa						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_biomasa	SMALLINT	Yes	Yes	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_variedad	SMALLINT	Yes	No	Yes		
id_proveedor	SMALLINT	Yes	No	Yes		

Figura 66. Diccionario de datos: biomasa. Fuente propia.

Table: variedad						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_variedad	SMALLINT	Yes	Yes	No		
nombre	VARCHAR(50)	Yes	No	No		
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualizacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	
id_especie	TINYINT	Yes	No	Yes		

Figura 67. Diccionario de datos: variedad. Fuente propia.

Table: alerta_medicion						
Table Comments						
Columns						
Name	Data Type	Nullable	PK	FK	Default	Comment
id_alerta	TINYINT	Yes	No	Yes		
id_medicion	INT	Yes	No	Yes		
mensaje	TEXT	Yes	No	No		
estatus	VARCHAR(20)	Yes	No	No	'NO EMITIDA'	
creacion	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
actualización	TIMESTAMP	Yes	No	No	CURRENT_TIMESTAMP	
eliminacion	TINYINT(1)	Yes	No	No	0	

Figura 68. Diccionario de datos: alerta_medicion. Fuente propia.