



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
División de Investigación y Posgrado
Maestría en Ciencias de Ingeniería de Biosistemas

NOMBRE DE LA TESIS

**Diseño e implementación de un sistema de incubación de renacuajos de rana toro
(*Rana catesbeiana*, Shaw 1802) basados en el control de intensidad luminosa y
temperatura**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de Ingeniería de Biosistemas

Presenta:

Ing. Humberto Aguirre Becerra

Dirigido por:

Dr. Genaro Martin Soto Zarazúa

SINODALES

Dr. Genaro Martin Soto Zarazúa
Presidente

M.C. Juan Fernando García Trejo
Secretario

Dr. Edgar Rivas Araiza
Vocal

M.C. Oscar Alatorre Jácome
Suplente

Dr. André Muniz Afonso
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y
Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Noviembre 2013
México

RESUMEN

La acuicultura permite producir animales y plantas acuáticas para consumo humano de forma intensiva a través del control de variables físicas y químicas del agua donde se desarrolla el cultivo. El cultivo de rana toro forma parte importante de la acuicultura. En México se establecieron granjas de cultivo de rana toro, adaptando sistemas de producción (diseño de granja, sistemas de control, alimentación, etc.) de países como Brasil y China sin éxito debido a las diferentes condiciones climáticas. La fase de renacuajo es crítica en el cultivo de este animal, ya que los organismos que sobrevivan esta etapa metamorfozarán y se convertirán en rana joven, la cual será la base para la engorda y futura venta. La etapa larval de la rana presenta un bajo nivel de supervivencia y bajos niveles de crecimiento. Este trabajo presenta un sistema de control de temperatura y fotoperiodo artificial con la finalidad de obtener mayores parámetros de crecimiento e índice de supervivencia en el renacuajo. La temperatura se controla recirculando agua caliente a través de un intercambiador de calor instalado en el estanque. El fotoperiodo artificial es controlado a través de una lámpara de 90 leds de luz blanca de alta intensidad. El controlador cuenta con una interfaz de usuario basada en una pantalla táctil capacitiva. El sistema cuenta con un datalogger a través de una memoria uSD que el usuario retira de la pantalla táctil, inserta en su computadora y abre el archivo de texto generado por la pantalla. Se hicieron pruebas de validación para el funcionamiento, y se realizó una prueba para evaluar el efecto del sistema sobre los renacuajos. Los tratamientos que presentaron mejores parámetros de crecimiento fueron los que contaban con control de temperatura. El fotoperiodo artificial influyó negativamente en el crecimiento de los renacuajos. Sin embargo, el tratamiento que presentó mayor nivel de supervivencia fue el de fotoperiodo. Los tratamientos con control de fotoperiodo muestran mayores niveles de nitritos y nitratos en el agua. Los tratamientos con control de temperatura muestran menores niveles de amonio en el agua.

Palabras clave: Control de temperatura, fotoperiodo artificial, pantalla táctil capacitiva, renacuajo de rana toro.

SUMMARY

Aquaculture allows the animal and plants intensive production for human consumption through the control of physical and chemical variables of the water where the animal develops. Bullfrog farming is an important part of aquaculture. Farms were established in Mexico for bullfrog culture, adapting production systems (farm design, control systems, food, etc.) of countries like Brazil and China without success due to different weather conditions. The tadpole stage is critical, since the organisms that survive this stage will metamorphose and will become young frog, which will be the basis for further fattening and sale. The Larval stage of the frog has low survival and growth parameters. This paper presents a temperature and artificial photoperiod control system in order to obtain greater growth and survival parameters in a tadpole culture. Temperature is controlled by recirculation of hot water through a heat exchanger installed in the pond. Artificial photoperiod is controlled through a 90 high intensity white light LED lamp. The controller has a user interface based on a capacitive touch screen. The system has a datalogger through uSD memory that the user takes out from the touch screen, inserts it in a computer and opens the text file generated by the touchscreen. Validation tests were performed for operation behavior, and testing was performed to evaluate the effect of the system on the tadpoles. Treatments with temperature control showed better growth parameters. Artificial photoperiod negatively influenced the tadpole growth. However, the treatment which showed higher survival level was artificial photoperiod. Photoperiod control treatments show higher levels of nitrites and nitrates in the water. Temperature control treatments show lower ammonia levels in the water

Keywords: temperature control, artificial photoperiod, capacitive touchscreen, bullfrog tadpole.

Dedicatoria

La presente tesis se la dedico a mi familia, que gracias a sus consejos y palabras de aliento crecí como persona. A mi padre y madre por su confianza y ayudarme a cumplir con mis objetivos como persona y estudiante, además de brindarme los recursos necesarios y hacer de mi un mejor individuo. A mis hermanos por estar siempre presentes a través de sus consejos y cuidados.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que siempre me impulsan a seguir adelante.

A mis amigos, que me apoyaron a lo largo de mi trayecto en la maestría.

A mis profesores, por compartir su conocimiento conmigo.

A mis asesores, por la ayuda recibida a lo largo del proyecto.

A CONACYT por el apoyo económico brindado.

Índice general

1. Introducción	15
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
2. Revisión de literatura	5
2.1 Acuicultura.....	5
2.2 Ranicultura	7
2.2.1 Manejo de Huevecillos e Incubación.....	10
2.2.2 Metamorfosis.....	11
2.3 Mecanismos de adaptación ecofisiológica.....	13
2.3.1 Estrés Ambiental y Adaptación	13
2.3.2 Fotoperiodismo	13
2.4 Control Automático.....	16
2.4.1 Control todo-nada	17
2.4.2 Control Proporcional (K)	17
2.4.3 Control Proporcional Integral.....	19
2.4.4 Control Proporcional Integral Derivativo	21
2.4.5 Modulación por Ancho de Pulsos (PWM)	21
2.4.6 Protocolos de comunicación.....	22
2.4.7 Tecnología Táctil.....	25
3. Metodología	27
3.1 Diseño y construcción del sistema	27
3.1.1 Control de Fotoperiodo (Intensidad Luminosa)	27
3.2.2 Control de temperatura.....	30
3.2.3 Interfaz de usuario	34

3.2.4 Integración de los componentes	39
3.2.5 Comunicación entre pantalla táctil y controlador	40
3.3 Calibración.....	41
3.4 Implementación	42
3.5 Prueba de funcionamiento 1: eficiencia del sistema	43
3.6 Prueba de funcionamiento: controlador	43
3.7 Diseño de experimento para prueba con organismos	43
3.7.1 Selección de organismos	45
3.7.2 Monitoreo de parámetros biológicos	45
3.7.3 Monitoreo de parámetros de calidad del agua	47
7.8 Monitoreo de parámetros ambientales	49
7.9 Análisis Estadístico	49
4. Resultados y Discusión	50
4.1. Calibración	50
4.2 Primera prueba de funcionamiento 1: eficiencia.....	53
4.3 Prueba de funcionamiento 2: controlador	54
4.4 Prueba de funcionamiento de lámpara para fotoperiodo	57
4.5 Prueba en organismos	59
4.5.1 Tendencias de parámetros de crecimiento.....	59
4.5.2 Análisis de calidad de agua de los estanques	62
4.6 Análisis estadístico.....	70
4.6.1 Longitud total del organismo	70
4.6.2 Longitud de cuerpo	72
4.6.3 Ancho de cuerpo.....	74
4.6.4 Peso promedio individual	76
4.7 Costo de producción del sistema	78
4.8 Conclusión.....	80
5. Referencias	81
Anexo 1	87
Anexo 2.....	95
Anexo 3.....	98

Índice de cuadros

Cuadro		Página
4.1	Resultados de la primera prueba del sistema de control de temperatura (eficiencia)	53
4.2	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “longitud total”. La alineación vertical de las X significa que no hay diferencias estadísticamente significativas	71
4.3	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “longitud total”. La alineación vertical de las X indica que los tratamientos que cuentan con control de temperatura muestran diferencia estadísticamente significativa con aquellos que no cuentan en él	71
4.4	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “longitud de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que hay diferencia significativa entre el tratamiento de temperatura con el de fotoperiodo con temperatura	73
4.5	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “longitud de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa	73
4.6	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “ancho de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos	75
4.7	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “ancho de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa	75

4.8	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “peso promedio individual”. La alineación vertical de las X indica que todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa	77
4.9	Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “peso promedio individual”. La alineación vertical de las X indica que todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa	77
4.10	Descripción detallado del costo de producción del sistema de incubación de renacuajos basados en el control de temperatura y fotoperiodo artificial para 4 estanques de 400 l c/u	79

Índice de figuras

Figura		Página
2.1	Producción de las principales especies o grupos de especies procedente de la acuicultura en 2010 (FAO, 2012)	6
2.2	Rana catesbeiana, Shaw 1802 (rana toro)	8
2.3	Huevos fertilizados de rana	11
2.4	Ciclo de vida de la rana toro.	12
2.5	Diagrama de bloques de un sistema de control automático	16
2.6	Control on-off	17
2.7	Ley de control proporcional: a) ganancia proporcional b) ganancia alta c) ganancia baja	18
2.8	Respuesta a cambios en la carga (respuesta a la carga de un escalón)	19
2.9	Respuesta al cambio de carga con control proporcional y reajuste automático	20
2.10	Ciclo de trabajo de un PWM (Datadog Systems, 2005)	22
2.11	Configuración de pines para estándar RS232	25
2.12	Pantalla táctil resistiva	26
2.13	Pantalla táctil capacitiva	27
3.1	Circuito del sistema de control de fotoperiodo	28
3.2	Sistema de control de temperatura y fotoperiodo	29
3.3	Placa de matriz de leds y lámpara	29
3.4	Fuente de alimentación del sistema (5 VCD y 12 VCD)	30
3.5	Diagrama general del sistema de control de temperatura de un estanque	31
3.6	Tinaco de alimentación de agua para el sistema	31
3.7	Intercambiador de calor dentro del estanque	32
3.8	Tinaco y calentador solar	32
3.9	Tubería de recirculación de agua caliente en los estanques	33
3.10	Tinaco y bomba sumergible para recirculación	33
3.11	Electrónica de potencia para el control de temperatura	34
3.12	Sensor de temperatura	34
3.13	Pantalla táctil (vista frontal y trasera)	35
3.14	Pantalla de inicio del sistema de navegación – interfaz de usuario	35

3.15	Pantalla principal del sistema de navegación – interfaz de usuario	36
3.16	Pantalla de selección de setpoint del sistema de navegación – interfaz de usuario	37
3.17	Pantalla de historial de valores del sistema de navegación – interfaz de usuario	37
3.18	Pantalla de selección manual del sistema de navegación – interfaz de usuario	38
3.19	Configuración de hora y fecha del sistema de navegación – interfaz de usuario	38
3.20	Ranura para insertar memoria uSD en parte trasera de pantalla táctil	39
3.21	Integración de los componentes	40
3.22	Exterior de la caja de control con pantalla táctil	40
3.23	Horno de secado marca Memmet modelo 100 – 800 del Laboratorio de Bioingeniería	41
3.24	Sistema de control de temperatura y fotoperiodo artificial conectado	42
3.25	Invernadero de producción de rana toro en la FI de la UAQ campus Amazcala	42
3.16	Datalogger Watch Dog Model 1000, Spectrum® Technologies Comercial	43
3.27	Distribución de los tratamientos	44
3.18	Disposición de las lámparas en los estanques que cuentan con control de fotoperiodo	44
3.29	Parámetros morfológicos del renacuajo	46
3.30	Balanza analítica Sartorius M-Prove utilizada para la medición de peso húmedo de los renacuajos	46
3.31	Medición de los renacuajos con vernier Multitoyo. (a)Longitud total (b) Longitud de cuerpo (c) Ancho de cuerpo	47
3.32	Espectrofotómetro HACH DR/6000 utilizado para las mediciones de calidad de agua	48
3.33	Estación meteorológica Davis Pro2.	49
4.1	Primera calibración de los 8 sensores de temperatura (AN0 – AN7 correspondientes al Estanque 1 al 8)	51

4.2	Segunda calibración de los 8 sensores de temperatura (AN0 – AN7 correspondientes al Estanque 1 al 8)	52
4.3	Sistema de control de temperatura y fotoperiodo instalado en los estanques de producción de renacuajo de rana toro	53
4.4	Gráfica de comportamiento térmico del sistema de control en uno de los estanques	54
4.5	Comportamiento de temperatura del estanque 5	55
4.6	Comportamiento de temperatura del estanque 6	55
4.7	Comportamiento de temperatura del estanque 7	56
4.8	Comportamiento de temperatura del estanque 8	56
4.9	Archivo generado con la información de las temperaturas de los estanques	57
4.10	Prendido progresivo de la lámpara	58
4.11	Apagado progresivo de la lámpara	58
4.12	Longitud total a lo largo del experimento	59
4.13	Longitud de cuerpo a lo largo del experimento	60
4.14	Ancho de cuerpo a lo largo del experimento	60
4.15	Peso promedio individual a lo largo del experimento	61
4.16	Número de individuos al inicio y al final del experimento en los cuatro tratamientos	62
4.17	Comportamiento del oxígeno disuelto durante el experimento	62
4.18	Comportamiento del pH durante el experimento	63
4.19	Comportamiento de NO ₂ durante el experimento	64
4.20	Comportamiento de NO ₃ durante el experimento	64
4.21	Comportamiento de NH ₄ durante el experimento	65
4.22	Comportamiento de la temperatura de los estanques a lo largo del experimento.	66
4.23	Comportamiento de la temperatura de los estanques en el día 1 y 2 del experimento.	66
4.24	Radiación solar a lo largo del experimento.	68
4.25	Radiación solar de los días 23 y 24 de Agosto. Fotoperiodo aproximado 12 horas con 15 minutos (de 7:30 a 19:45)	69
4.26	Comportamiento de la temperatura interna del invernadero	69
4.27	Comportamiento de la humedad relativa interna del invernadero	70

4.28	Las barras oscuras muestran la condición inicial para la longitud total del organismo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.	72
4.29	Las barras oscuras muestran la condición inicial para la longitud de cuerpo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.	74
4.30	Las barras oscuras muestran la condición inicial para ancho de cuerpo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.	76
4.31	Las barras oscuras muestran la condición inicial para peso promedio individual y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.	78
4.32	Integración de controlador, potencia y fuente de alimentación en una sola placa.	81

1. Introducción

La habilidad del hombre en la producción de alimentos es una de las limitantes ante el incremento poblacional. La acuicultura permite producir animales y plantas acuáticas para consumo humano, por medio de cierto control de los organismos y del medio ambiente en el que se desarrollan, sin embargo la tecnología implementada para esta actividad dependía del sector pesquero y de la industria alimentaria (Santos et al., 2004). El desarrollo tecnológico en la acuicultura ha presentado un gran progreso en sistemas de control, adquisición de datos y monitoreo de variables que forman parte del cultivo, sin embargo la tecnología desarrollada se ha aplicado en su mayoría al campo de la camaronicultura, piscicultura y ostricultura dejando a un lado la ranicultura (Aguirre-Becerra et al., 2013). La implementación de tecnología en acuicultura presenta una serie de ventajas económicas y ambientales a pesar del alto costo inicial de inversión, es a través de ella que se pueden producir alimentos de alta calidad con un amplio sentido ecológico.

El cultivo de rana forma parte importante dentro de la acuicultura. La ranicultura es una actividad consolidada en Latinoamérica, donde Brasil es el protagonista de este cultivo, el cual vendió sistemas de producción sin sustento técnico (Robledo, 2004). El presente trabajo se enfoca en el control de dos variables físicas importantes para desarrollo del renacuajo y activación del proceso metamórfico. Se desarrolló un controlador de temperatura y fotoperiodo. Para el control de fotoperiodo se construyó una lámpara basada en tecnología LED. El usuario puede programar la cantidad de horas de luz que desea proporcionar a los animales. La lámpara se prende progresivamente simulando un amanecer y se apaga de la misma forma simulando el anochecer. La intensidad de luz es regulada a través de un Modulador de Ancho de Pulso (PWM) proporcionado por un microcontrolador 18F4550 con su electrónica digital y de potencia correspondiente. Para el conteo del tiempo se agregó un reloj de tiempo real. El producto final es el controlador y una lámpara con un arreglo de de 90 leds de alta

intensidad. Para controlar la temperatura de un estanque se utilizó un sistema que recibe agua caliente de un calentador solar, la cual recircula a través de un serpentín conectado a una bomba sumergible. El sistema se instaló en cuatro estanques. Un mismo controlador es capaz de controlar de manera independiente la temperatura de cada estanque a través de un arreglo de tuberías y electroválvulas. El usuario puede seleccionar la temperatura que desea en cada uno de los estanques. Para la interfaz de usuario se utilizó una pantalla táctil capacitiva, modelo uLCD Picasso 43PCT de 4.3 pulgadas, de la compañía 4D SYSTEMS. El sistema cuenta con su propio datalogger a través de una memoria uSD que se inserta en la parte anterior de la pantalla táctil, de esta forma el usuario podrá acceder al historial de valores de temperatura con tan solo insertar la memoria en su computadora personal.

El sistema se instaló y se puso a prueba en el invernadero de producción acuícola de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala ubicado en el municipio del Marqués, Querétaro, localidad ubicada en el sector Suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud y entre los 100° 09' y 100° 24' de longitud a 1 850 m SNM. Se realizaron tres pruebas. La primera prueba se realizó con la finalidad de obtener la eficiencia del sistema. La segunda prueba se realizó con la finalidad de verificar el funcionamiento del controlador y del sistema en general sin renacuajos. La tercera prueba se realizó con la finalidad de verificar el funcionamiento del controlador y del sistema en general con renacuajos. Se establecieron cuatro tratamientos para evaluar la influencia del sistema en los organismos. El primer tratamiento es el testigo, el segundo tratamiento es la influencia del control de temperatura sobre los renacuajos, el tercer tratamiento es el control de fotoperiodo sobre los renacuajos y el cuarto tratamiento es la influencia de los dos controles (temperatura y fotoperiodo) sobre los renacuajos. Al final se presentan los resultados de dichas pruebas.

1.2 Descripción del problema

. La falta de sistemas de control especializados en el cultivo de renacuajo de toro disminuye el rendimiento de la producción y aumentan el tiempo de cultivo de la misma. El establecimiento del cultivo de rana comienza por la reproducción de misma a través de la puesta de huevos (freza), posteriormente el cuidado del renacuajo hasta que culmine su ciclo metamórfico y se convierta en rana joven, para después comenzar la etapa de engorda y finalmente proceder a su venta. El grado de desarrollo del renacuajo, la temperatura del agua en que se desenvuelve, así como la cantidad de horas luz que tenga el día, determinarán a activación del ciclo de metamorfosis en el organismo o su ciclo de crecimiento. Actualmente se tiene cultivo de rana toro en el campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, con una bajo nivel de productividad en todas las fases del cultivo. El agua de los estanques en el invernadero presenta un temperatura de 18 -19 °C, muy por debajo de la temperatura recomendada de 27 – 28 °C. Controlar las horas de luz proporcionadas al renacuajo permite decidir si el renacuajo está en etapa de crecimiento o en etapa de metamorfosis.

1.3 Justificación

La etapa de renacuajo es crucial ya que a partir de aquí, aquellos organismos que cumplan su ciclo de metamorfosis serán aquellos que se someterán a engorda o formarán parte para el establecimiento de un nuevo pie de cría; sin embargo también es la etapa con mayor índice de mortandad, lo que afecta los parámetros de producción del cultivo. Es por esto que un sistema de control de temperatura del agua del estanque y el control de fotoperiodo artificial son una herramienta importante para elevar los parámetros de rendimiento en esta etapa del cultivo.

1.4 Hipótesis

Mediante el diseño e implementación de un sistema de incubación de renacuajos de rana toro basado en control de temperatura y fotoperiodo artificial se obtendrán mayores parámetros de rendimiento (peso húmedo, longitud, índice de supervivencia y tasa metamórfica) del cultivo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Implementar un sistema de incubación de renacuajos de rana toro basados en el control de fotoperiodo artificial y temperatura para obtener mayores parámetros de rendimiento (peso húmedo, longitud total y cauda).

1.5.2 Objetivos Específicos

Diseñar, construir e implementar un sistema de control de fotoperiodo artificial que proporcione la cantidad de horas de luz seleccionadas por el usuario para el incremento de parámetros de rendimiento en el cultivo de renacuajos de rana toro.

Diseñar, construir e implementar un sistema de control de temperatura que mantenga un rango de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ a partir de un set point seleccionado por el usuario para el incremento de parámetros de rendimiento en el cultivo de renacuajos de rana toro.

2. Revisión de literatura

2.1 Acuicultura

El crecimiento de la población a nivel mundial y el incremento en la demanda de alimentos continuará durante 40 años más, es por eso que la competencia por tierra, agua y energía, además de la sobreexplotación de la pesca, afectará la habilidad del hombre para producir alimentos. Productos acuáticos tienen un rol imprescindible en la producción de alimentos, brindando aproximadamente a 3 billones de personas con al menos 15% del consumo de proteína animal (H. Charles J. Godfray et al. 2010).

La acuicultura es la técnica que permite aumentar la producción de animales y plantas acuáticas para consumo humano, por medio de cierto control de los organismos y de su medio ambiente. Existen diferentes niveles de acuicultura. El primero consiste en controlar el medio ambiente sin el cuidado de los animales. El segundo consiste en obtener peces u otros animales en criaderos para soltarlos al mar o agua dulce y recolectarlos hasta que alcancen un tamaño comercial. El tercero consiste en la captura de especies juveniles silvestres, su cautiverio y cuidado. La cuarta consiste en obtención de juveniles o huevos de poblaciones silvestres, retenidos y alimentados hasta que alcanzan un tamaño comercial; posteriormente se mantiene un pie de cría hasta que el acuicultor tiene un completo control del ciclo de vida del animal (Idyll, C.P., 1974). En la producción acuícola de agua dulce (36,9 millones de toneladas) en 2010 predominaban en su inmensa mayoría los peces de escama (91,7 %, 33,9 millones de toneladas), como en el pasado. Los crustáceos representaron el 6,4 %, y los otros tipos de especies contribuyeron solo con el 1,9 %. El desarrollo de la piscicultura de agua dulce de crustáceos y otras especies (como las tortugas de caparazón blando y las ranas) en los últimos dos decenios ha redundado en una ligera disminución en el predominio de los peces de escama en la producción. (FAO, 2012). La Figura

2.1 muestra las principales especies o grupos de especies procedentes de la acuicultura en 2010 que no forman parte de la piscicultura.

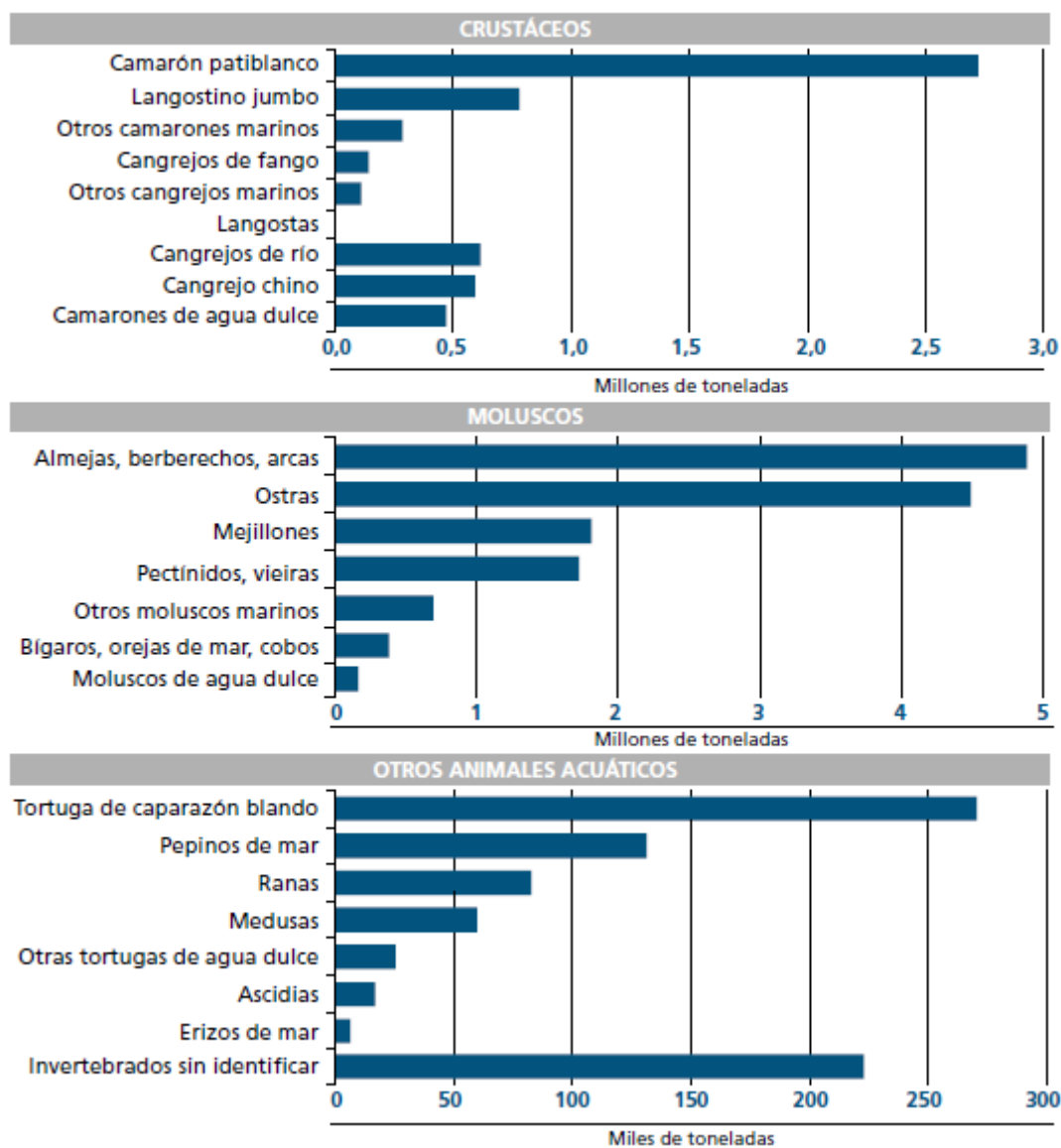


Figura 2.1. Producción de las principales especies o grupos de especies procedente de la acuicultura en 2010 (FAO, 2012)

La acuicultura es un sector cuya tecnología dependía de la pesca e industria alimentaria; sin embargo la importancia que ha adquirido ha provocado la aparición de nueva tecnología, mejorando rendimientos de los equipos ya existentes y elaborando nuevos diseños que resuelven problemas específicos

(Santos et al., 2004). El desarrollo tecnológico en la acuicultura ha presentado un gran progreso en sistemas de control, adquisición de datos y monitoreo de variables que forman parte del cultivo, sin embargo la tecnología desarrollada se ha aplicado en su mayoría al campo de la camaronicultura, piscicultura y ostricultura dejando a un lado la ranicultura (Aguirre-Becerra et al., 2013). La tecnología en los sistemas de recirculación (RAS) es básica, prácticamente “fuera de ingeniería”; muchas innovaciones técnicas necesitan permitir al usuario poder ser implementadas en la producción de un rango más amplio de especies, cultivos, condiciones y etapas de vida del organismo, bajando costos y haciendo más eficiente el uso de energía; sin embargo, la automatización, robotización y control cibernéticos están lejos de ser comúnmente implementados en sistemas acuícolas (Martins et al, 2010). La implementación de tecnología en acuicultura presenta una serie de ventajas económicas y ambientales a pesar del alto costo inicial de inversión, es a través de ella que se pueden producir alimentos de alta calidad con un amplio sentido ecológico (Aguirre-Becerra et al., 2013).

6.2 Ranicultura

Las ranas son vertebrados poiquiloterms (de sangre fría) presentan cambios fisiológicos o de metamorfosis, alternando su vida acuática con la terrestre; puede habitar en medios lénticos o lóticos (aguas estancadas o de corriente), pero siempre con abundante vegetación emergente, flotante y marginal (González, S/F).

La clasificación taxonómica de las especies que habitan en México es la siguiente:

Phylum: Chordata

Clase: Amphibia

Orden: Anura

Familia: Ranidae

Género: Rana

Especies: Rana sierramadrensis
Rana pipiens (rana leopardo)
Rana pustulosa Rana palmipes
Rana aurora darytoni
Rana montezumae (rana común)
Rana megapoda Rana tarahumarae
Rana catesbeiana (rana toro)

Estas especies viven en forma natural en diversos depósitos de agua del país y todas son aptas para el consumo humano; sin embargo la Rana catesbeiana o rana toro (Figura 2.2) produce más carne que las demás, es de fácil manejo y adaptabilidad al cautiverio (Aguilar, 1970).



Figura 2.2. Rana catesbeiana, Shaw 1802 (rana toro)

La rana toro (*Rana catesbeiana*), es especie originaria de E.U.A. e introducida en 1925 a varios estados del país; actualmente el interés de realizar explotaciones a nivel comercial para exportación de ancas, hace que esta especie sea la idónea, para desarrollar cultivos intensivos (Lili-Muñoz & Pineda-Velázquez, 2001).

La ranicultura es una actividad consolidada en Latinoamérica, donde Brasil es el protagonista de este cultivo, el cual vendió sistemas de producción sin sustento técnico, lo que llevó a la cría de estos animales a un estado de crisis desde 1994 a la fecha (Robledo, 2004). El cultivo de rana forma parte importante dentro de la acuicultura; sin embargo, la falta de sistemas de control especializados en esta especie, disminuye el rendimiento de la producción y aumentan el tiempo de

cultivo de la misma (Briseño, 2007). De la mayoría de las ranas aptas para el consumo humano, la rana toro (*Rana Catesbeiana*, Shaw 1802) es la que se considera con mayor potencial de producción intensiva; sin embargo, ésta práctica se ha visto limitada por la falta de sistemas que permitan el manejo de esta especie, problemas administrativos y elevados costos de mano de obra en este sector, aún en países tropicales donde el clima es apto para su cultivo (Lutz & L. Avery, 1999). En México, hasta la década de los 80, la abundancia de poblaciones de rana toro (*Rana Catesbeiana*, Shaw 1802) y rana leopardo (*Rana Pipiens*) era capaz de viabilizar la captura para la industria de exportación, principalmente para los Estados Unidos. Mientras, sin embargo la disminución de las poblaciones en la naturaleza, junto con las restricciones sanitarias y ecológicas influyó la disminución de la captura (Reis, 2005).

Se han desarrollado algunos proyectos para establecer el cultivo de rana. Se desarrolló un método que permite obtener plántulas de reproductores altamente prolíficos a través del diseño áreas específicas para un manejo biológico adecuado, de tal forma que no hay dependencia de las variaciones climatológicas y topográficas; se determinaron parámetros bacteriológicos del agua, se estableció la viabilidad del cultivo y se desarrolló una ración balanceada y eficiente, basada en los requerimientos nutricionales conocidos de cada etapa del ciclo de vida de la rana (Robledo, 2004).

Algunas investigaciones de ranicultura en México son realizadas por el CINVESTAV (Centro de Investigación y Estudios Avanzados), y el Instituto Politécnico Nacional - Mérida, el cual en 1998 inició un programa de estudios del cultivo intensivo de rana toro. Indican que las fases de cultivo son muy diferentes. En la primera etapa el renacuajo (fase anterior a la metamorfosis) necesita, en condiciones ideales de temperatura ($26\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), se necesitan 3 meses para alcanzar el punto máximo de la metamorfosis. El ciclo de crecimiento/terminación dura, desde la fase de rana joven (5 a 10 g) hasta el animal en fase de sacrificio (220 g), entre 4 a 6 meses. (Lili-Muñoz & Pineda-Velázquez, 2001)

Se realizó un estudio a renacuajos de rana toro donde se evalúa el rendimiento y la actividad de enzimas digestivas. El estudio tuvo una duración de 60 días con un renacuajo por litro en cajas con 30 litros de agua cada una y alimentados con productos comerciales. Se evaluaron los siguientes parámetros: supervivencia, longitud, peso, tasa de consumo, y actividad de amilasa, lipasa y tripsina. El mayor crecimiento de los renacuajos ocurrió de los días 15 a 45 con una longitud de 20.61 mm. Durante los primeros quince días los renacuajos tuvieron la mayor tasa de crecimiento, 16.7 %. Del día 45 al 60 tuvieron el mayor gane de peso 3.98 ± 0.18 g, la mayor tasa de consumo 14.40 ± 1.14 g. Hubo un incremento significativo en la actividad enzimática a partir del día 30. Para la prueba se mantuvo una temperatura de 25 ± 1 °C. La temperatura del aire dentro de las instalaciones presentó una mínima de 25 °C y una máxima de 30 °C. Se observó un déficit de sobrevivencia entre los días 15 (97.98%) y el día 60 (80%) (De Seixas et al., 2008).

2.2.1 Manejo de Huevecillos e Incubación.

Los huevecillos fertilizados (Figura 2.3), envueltos en una sustancia gelatinosa protectora, son abandonados por sus progenitores en el medio acuático donde flotan en racimos o se fijan a plantas acuáticas. Su traslado los lugares de puesta o desove a las canaletas de incubación, se efectúan por medio de tinajas con agua, colectadas con cucharas y/o (coladeras) de malla fina, procurando no romper la masa gelatinosa y no golpearla; también debe evitarse invertirla o depositarla ladeada. Los huevecillos son muy delicados, por lo cual no deben permanecer mucho tiempo fuera del agua, procurando que el área de incubación este lo más cerca posible del estanque de reproducción, preferentemente esta área debe de estar techada y protegida evitando cambios bruscos de temperatura. La duración de incubación será de 3 a 4 días si la temperatura del agua es de 24 a 27° C y la temperatura ambiental es óptima, pero si el medio ambiente es frío o seco, durará en promedio más de 10 días. Después de este tiempo los huevecillos eclosionan, permitiendo la salida de una larva. En su estado larvario, el renacuajo, en los dos

o tres primeros días digiere la yema del huevecillo de su saco vitelino, pasando seguidamente a un régimen alimenticio fitoplanctónico, consumiendo vegetales microscópicos, que existen en el agua, minúsculos protozoarios, huevecillos de peces o insectos, así como alguna pequeña larva, esto en el medio natural. La incubación de los huevos y la primera fase del crecimiento de la larva hasta transcurrida la metamorfosis, debe de hacerse de forma controlada, con objeto de sacar el mayor provecho a la puesta, evitando pérdida de huevos y renacuajos, que normalmente suele ocurrir cuando no ejercemos este control y es la naturaleza la que actúa por sí sola. (Lili-Muñoz & Pineda-Velázquez, 2001)

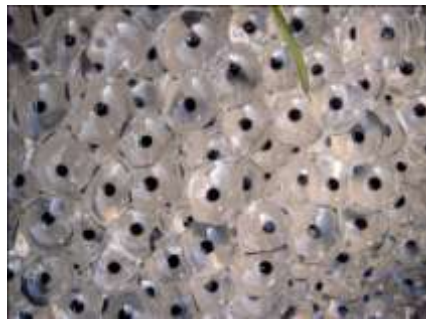


Figura 2.3. Huevos fertilizados de rana

2.2.2 Metamorfosis

La metamorfosis es el cambio desde el ciclo larvario, o renacuajo, hasta adulto (Figura 2.4). Las larvas tienen una apariencia completamente distinta a la de sus padres. La diferencia más notable es que los renacuajos tienen la cabeza y el cuerpo juntos, y luego una cola larga. Al principio los renacuajos carecen de patas, que aparecen más tarde, y necesitan permanecer en el agua para sobrevivir. El tiempo que tardan en desarrollarse desde que salen del huevo hasta que consiguen la forma de rana varía entre 12 y 16 semanas, pero este lapso de tiempo depende mucho de la temperatura del agua y de la disponibilidad de alimento (Lili-Muñoz & Pineda-Velázquez, 2001).

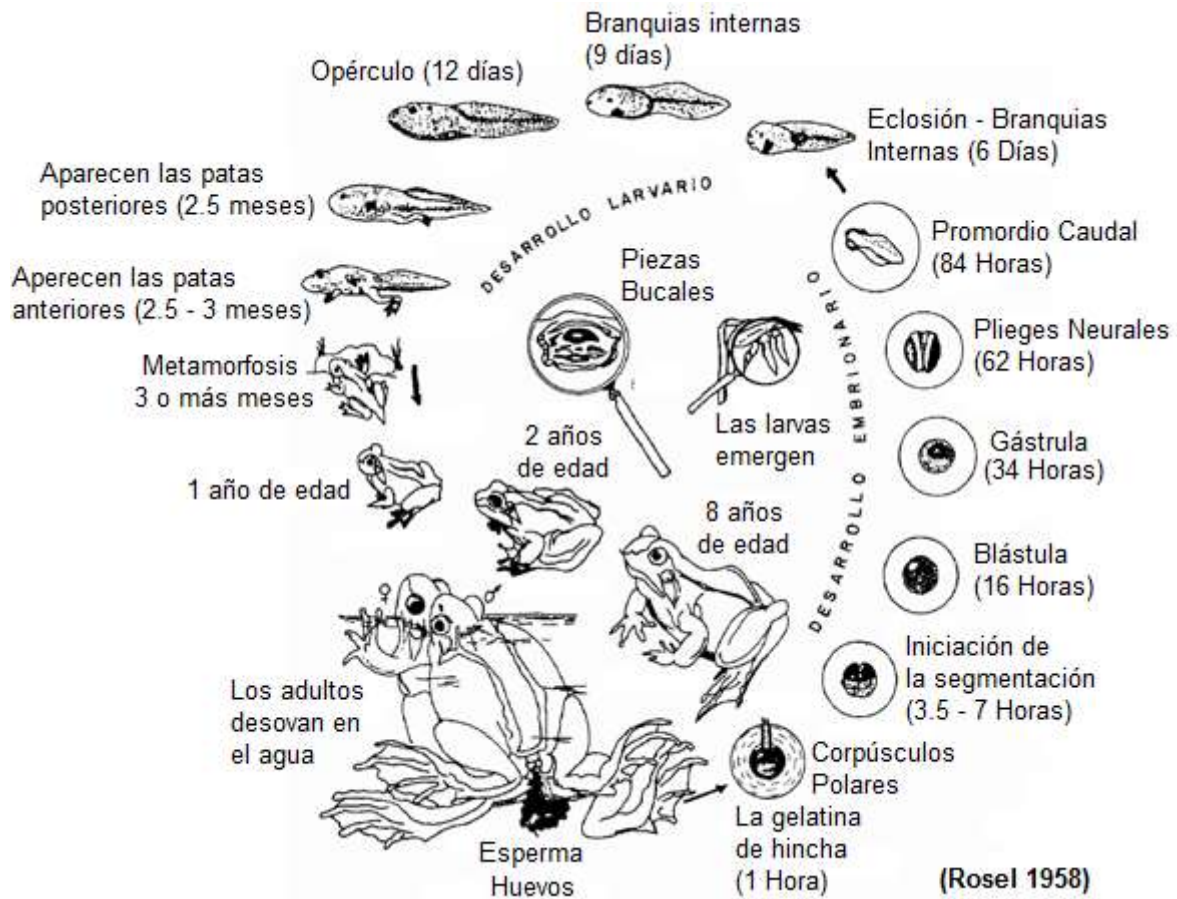


Figura 2.4. Ciclo de vida de la rana toro.

Al completarse la metamorfosis de cambio de renacuajo a rana, no solo se realiza una transformación morfológica profunda, sino que también se efectúan cambios radicales en su régimen alimenticio. Cuando aún se encuentra en su etapa de renacuajo este acepta fácilmente todo tipo de vegetales y alimentos pulverizados. Convirtiéndose por último estrictamente en carnívoras, ya que consumen toda clase de invertebrados de pequeñas tallas, siempre que estén vivos y en movimiento.

2.3 Mecanismos de adaptación ecofisiológica

2.3.1 Estrés Ambiental y Adaptación

El medio ambiente impone estrés en sus habitantes, el cual puede ser biótico (efectos directos o indirectos de otros organismos, incluyendo competencia y modificación del hábitat) o abiótico (factores físicos y químicos). Ante los cambios o disturbios ambientales los animales pueden presentar cambios compensatorios los cuales muchas veces pueden ser definidos como una adaptación; este tipo de cambios es la respuesta de la plasticidad fenotípica. Un término más correcto usado por biólogos es el de “climatización”. (Willmer P. et al. 2005)

2.3.2 Fotoperiodismo

El fotoperiodismo es la habilidad que tienen los organismos de evaluar y usar la longitud del día como una variable anticipatoria a los eventos estacionales a lo largo de su vida. El fotoperiodismo es importante para el inicio de procesos fisiológicos y de desarrollo que son típicamente irrevocables o que culminan en un tiempo futuro o en un lugar diferente. La omnipresencia del fotoperiodismo a través de la amplia variedad de organismos y los cambios de respuesta a esta variable a lo largo de la geografía lo identifica como un componente central de la adaptación a ambientes estacionales. Reproducción, migración, y dormancia requieren preparaciones fisiológicas y de desarrollo que se deben efectuar antes de la temporada óptima. La longitud del día ofrece un calendario muy fiable que los animales pueden utilizar para anticipar y prepararse para el cambio de temporada. A diferencia de la temperatura y las precipitaciones, la duración del día en un lugar determinado en la Tierra es el mismo hoy como lo fue en esta fecha hace 10 o 10 mil años. Por lo tanto, la duración del día ofrece un predictor consistente de las condiciones ambientales futuras en el tiempo evolutivo, lo que permite a los animales que utilizan la longitud del día para prepararse y para optimizar el tiempo de reproducción, la latencia y la migración en sus historias de vida estacionales. Es importante destacar que tanto la estacionalidad y la duración

del día varía con el cambio de la geografía. (Bradshaw, William E. & Holzapfel, Christina M. 2007)

El fotoperiodismo se ha documentado en rotíferos, anélidos, moluscos, artrópodos, equinodermos, peces óseos, ranas, tortugas, lagartos, aves y mamíferos. En general, el fotoperiodo proporciona la señal de activación para la sincronización directa de los eventos de temporada, o para el inicio de las cascadas fisiológicas, endocrinológicas o de desarrollo (Bradshaw, William E. & Holzapfel, Christina M. 2007). En ectotermos, el fotoperiodo puede interactuar con la temperatura para modular las tasas de conversión a formas sexuales en un anélidos oligoquetos (Schierwater y Hauenschild 1990), las tasas de la puesta de huevos en un caracol de agua dulce (Joose 1984), aceleraron la alimentación en las ranas (Wright et al. 1988), preferencias térmicas en tortugas (Grahm & Hutchison 1979, Hutchison & Maness 1979, Kosh & Hutchison 1968), y las tasas dependientes de la temperatura del metabolismo (Angilleta 2001), tasa de crecimiento (Uller & Olsson 2003), y la homeostasis térmica (Lashbrook & Livezey 1970) en los lagartos.

En dos estudios sobre los efectos del fotoperiodo sobre la ganancia de peso en renacuajos de *Rana pipiens*, se proporcionaron suficientes alimentos "para durar toda la longitud de los días" (Wright et al., 1988), de modo que no estaba claro si el desarrollo y metamorfosis acelerada en días largos sobre los días cortos se debió a la duración del día como señal ambiental o simplemente como un comportamiento de alimentación dependiente de la luz. Un buen ejemplo de fotoperiodismo anfibio en un contexto ecológico es proporcionado por la *Rana temporaria* en Escandinavia (Laurila et al., 2001), en las poblaciones del norte que tienen un ciclo de cultivo estrictamente limitado, el fotoperiodo proporciona la señal de activación para el invierno inminente, mientras que en el sur, donde el invierno llega más tarde y hay una mayor flexibilidad en el desarrollo, el fotoperiodo proporciona un efecto modulador sobre los procesos dependientes de temperatura. En fotoperiodos ecológicamente pertinentes en anfibios de origen

geográfico conocido, a menudo tienen un efecto modulador sobre los procesos dependientes de la temperatura (De Vlaming & Bury 1970, Rastogi et al., 1976).

Se analizó el desempeño de los renacuajos de rana toro (*Rana Catesbeiana Shaw, 1802*) bajo diferentes fotoperiodos, una variable muy importante en la relación de la tasa de metamorfosis. Para el experimento se utilizaron setecientos veinte animales de la misma freza. Los animales fueron asignados a 24 cajas de polietileno de 30 L, con una densidad de un renacuajo por litro. Los tratamientos consistieron en seis fotoperiodos [0 Luz - 24 Oscuridad; 8 Luz - 16 Oscuridad, 12 Luz - 12 Oscuridad, 14 Luz - 10 oscuridad (natural como testigo); 16 Luz - 8 Oscuridad y 24 Luz – 0 Oscuridad] y cuatro repeticiones, a temperatura ambiente. El experimento se desarrolló de diciembre a abril. Los fotoperiodos se programaron con plástico negro que cubre las cajas, a excepción de fotoperiodo natural (plástico transparente). Se usaron tres temporizadores con lámparas fluorescentes de 21 watts para regular los fotoperiodos. Los análisis estadísticos fueron realizados por un completamente al azar en parcelas divididas de diseño. Los renacuajos presentan la longitud y el aumento de peso con tendencia cúbico para la mayoría de los tratamientos, excepto para el 24 - 0 que mostró una tendencia cuadrática. El mejor resultado se obtuvo en un fotoperiodo 12 – 12; en 120 días los renacuajos de rana toro mostraron el mayor peso (1,80 g) y la mejor tasa metamórfica con aproximadamente 50% de la población en este proceso. Después de 120 días, los animales mostraron menor peso, que caracterizó el proceso de metamorfosis completa. El peor resultado se produjo en el fotoperiodo 24 – 0; el peso superior (2,0 g) se obtuvo con 4% de tasa metamórfica, lo que demostró que el fotoperiodo inhibió el desarrollo de los renacuajos. Los fotoperiodos 0L: 24D, 8L: 16D y luz natural mostraron resultados intermedios (Cecchetto, et al., 2004).

2.4 Control Automático

En la Figura 2.5 se puede observar el diagrama general a bloques de un sistema de control. Un bucle de control típico está formado por el proceso, el transmisor, el controlador y el actuador (la cual puede ser una válvula de control). El proceso consiste en un sistema que ha sido desarrollado para llevar a cabo un objetivo determinado: tratamiento del material mediante una serie de operaciones específicas destinadas a llevar a cabo su transformación.

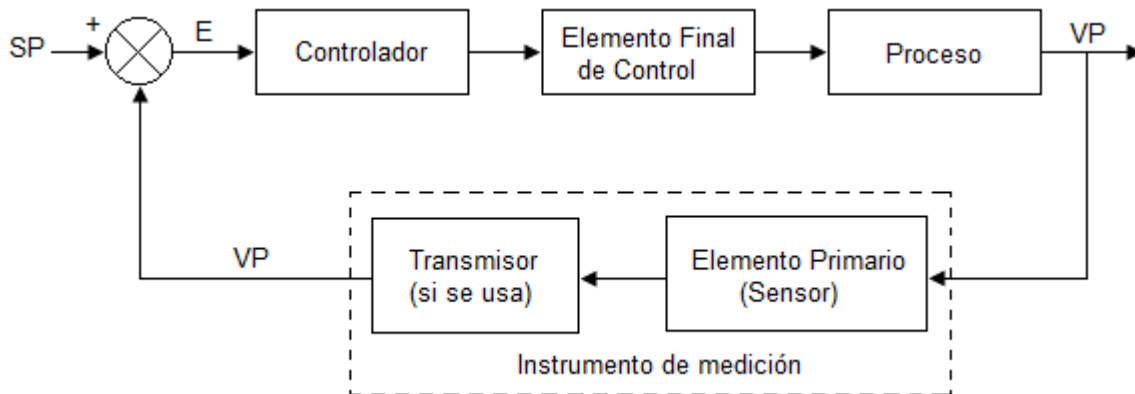


Figura 2.5 Diagrama de bloques de un sistema de control automático

El objetivo de un controlador es ajustar el estado de un proceso por medio de la medida de alguna variable del proceso (VP) para mantenerlo a un valor particular estándar llamado SP (setpoint, punto de referencia o punto de consigna). La salida del instrumento (variable medida) está relacionada con la VP en las mismas unidades que el punto de referencia (SP). El controlador actúa sobre el error por medio del elemento final de control que actúa sobre el proceso para cambiar la VP en la dirección deseada y así reducir el error. En los sistemas de lazo cerrado los modos de control clásico son:

- a) Todo-nada (on-off)
- b) Proporcional
- c) Proporcional Integral
- d) Proporcional Derivativo
- e) Proporcional Integral Derivativo

2.4.1 Control todo-nada

En este tipo de control, el elemento final de control únicamente tiene dos estados. Un ejemplo clásico de este control es el calentador de gas doméstico, que dependiendo de un termostato abre o cierra la válvula de paso del gas. La Figura 2.6 muestra el efecto de este control. Cuando la VP cae, pasando el límite inferior se activa el elemento final de control, pero la inercia causa un retardo antes de que VP incremente su valor. Cuando la VP alcanza el límite superior, el elemento final de control se apaga, pero debido a la inercia continúa incrementándose. Este efecto hace que el valor de la variable del proceso oscile alrededor de un punto de referencia.

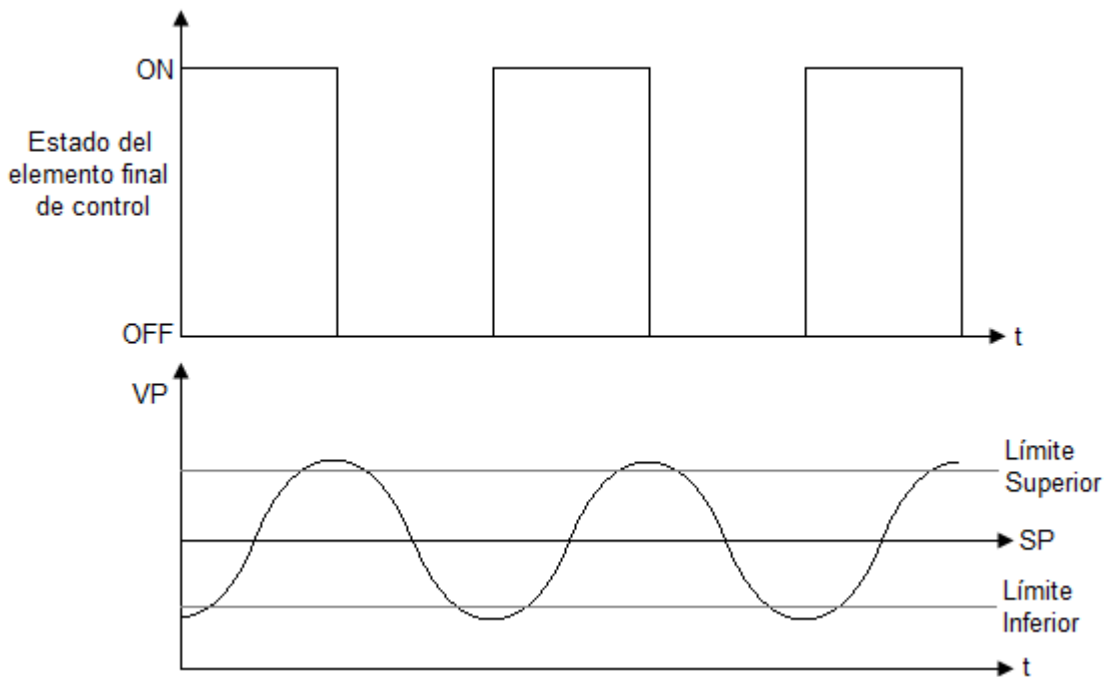


Figura 2.6. Control on-off

2.4.2 Control Proporcional (K)

Para eliminar la oscilación del sistema y el desgaste del elemento final de control, es posible encontrar un valor intermedio, activando el elemento final de control con el fin de mantener la VP en un estado relativo de la válvula al punto de referencia

SP. El modo deseado de control consiste en una activación del elemento final de control que corresponda a cero error bajo condiciones comunes del proceso, y haciendo que el controlador desactive el elemento final proporcionalmente a un error positivo ($VP > SP$) y active proporcionalmente a un error negativo ($VP < SP$). En otras palabras la ley del modo proporcional de control es:

$$V = KE + M \quad (2.1)$$

Donde: $E = VP - SP$

K = constante proporcional

M = posición del elemento final cuando $E = 0$, valor constante

La ecuación 2.1 describe una línea recta y se muestra en la figura 2.7. La constante de proporcionalidad K , es usualmente conocida como la ganancia del controlador. Como se muestra en la Figura 2.7b y 2.7c, la ganancia o pendiente de la línea recta determina la velocidad del cambio de accionamiento del elemento final de control correspondiente a un valor dado. El porcentaje de cambio en el error necesario para mover elemento final de control a escala completa es a menudo llamado banda proporcional BP. En la Figura 2.7c se requiere un pequeño error para accionar o desactivar el elemento final completamente, esto es un sistema con ganancia alta. En la Figura 2.7b se muestra lo contrario.

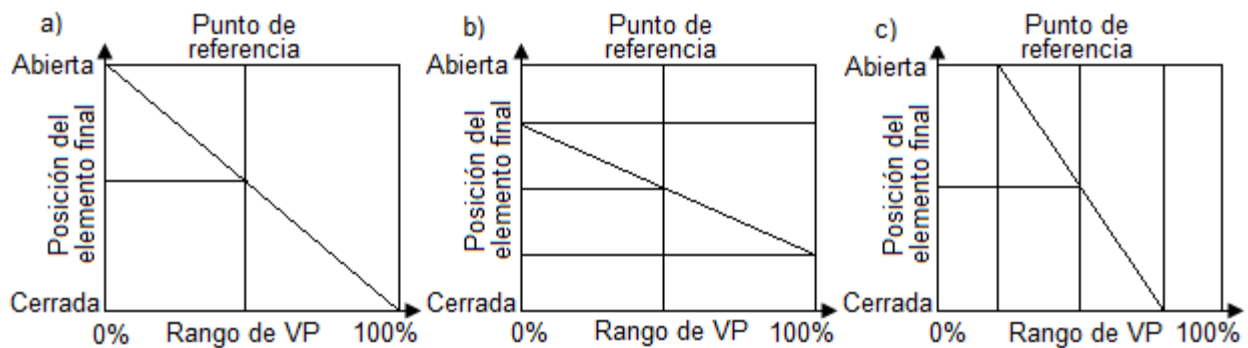


Figura 2.7. Ley de control proporcional: a) ganancia proporcional b) ganancia alta c) ganancia baja

Este tipo de control tiene una respuesta como se describe en la Figura 2.8. Para cualquier nueva posición del elemento final de control deberá haber un valor definitivo de E. Este error residual se llama offset y dependerá de la carga del proceso. Para cambios frecuentes de carga es necesaria una función automática de ajuste.

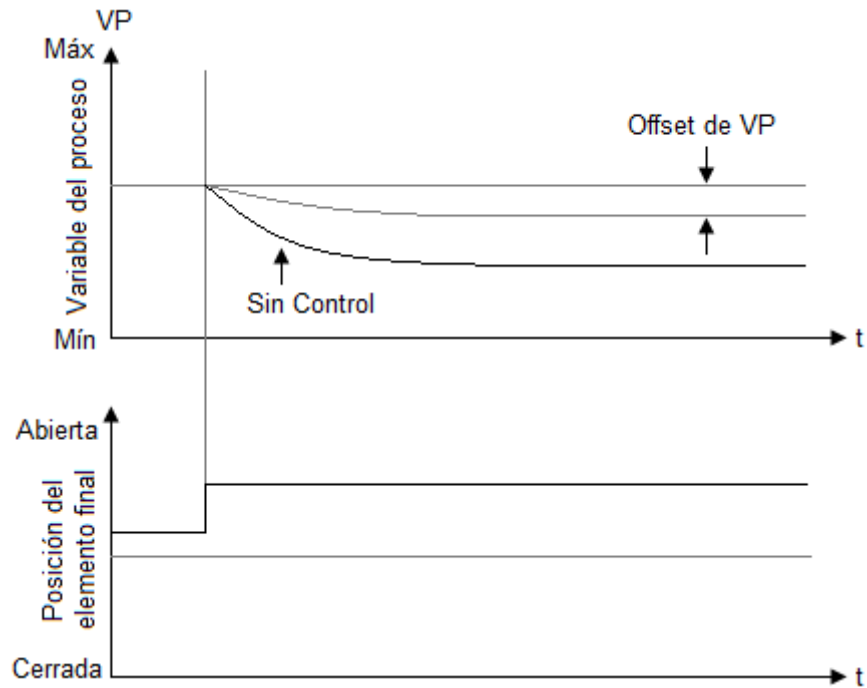


Figura 2.8. Respuesta a cambios en la carga (respuesta a la carga de un escalón)

6.4.3 Control Proporcional Integral

El algoritmo de control proporcional tiene un error de estado estable. Este valor puede ser restablecido si el error se reduce a cero. Una forma de hacerlo automáticamente es introducir un manejador del elemento final de control en la dirección adecuada para reducir el error tanto como sea necesario. Este tipo de reajuste se conoce como *control flotante de velocidad proporcional*, en el cual la velocidad (V) del movimiento del elemento final es proporcional a la derivada del error, de acuerdo con la ecuación 2.2

$$\frac{dV}{dt} = K_I E \quad (2.2)$$

Integrando la ecuación 2.2 se obtiene:

$$V = K_I \int E dt \quad (2.3)$$

Donde K_I es la ganancia de reajuste

De manera intuitiva y matemática se puede concluir correctamente que el control integral nulificará por completo el error y corregirá el offset. Si se combinan el control proporcional y el control integral, la ecuación que definirá el elemento final de control será:

$$v = KE + K_I \int E dt + M \quad (2.4)$$

La Figura 2.9 muestra el resultado mejorado al agregar el control integral.

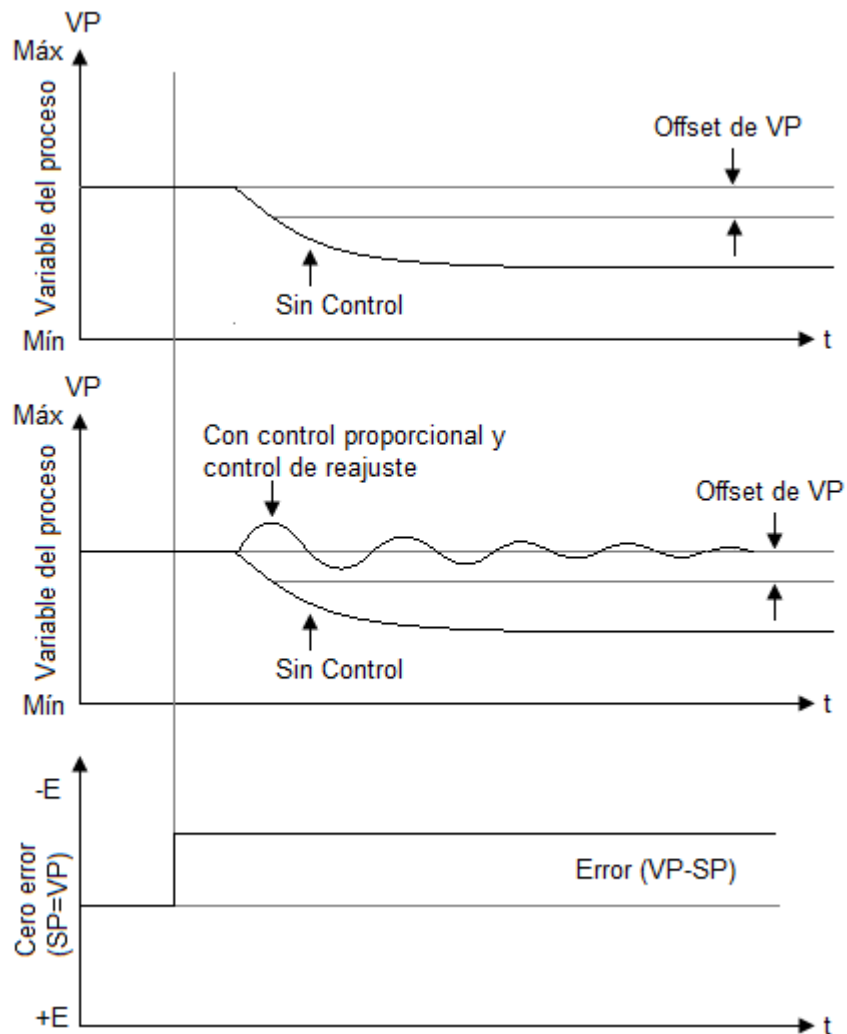


Figura 2.9. Respuesta al cambio de carga con control proporcional y reajuste automático

2.4.4 Control Proporcional Integral Derivativo

Analizando la Figura 2.9 se llega a la conclusión de que se requiere una cantidad de tiempo considerable antes que el proceso llegue a cero error. Intuitivamente, se observa que para mejorar el desempeño del controlador, este deberá anticiparse a error midiendo qué tan rápido inicie su movimiento. Esto es, se puede sensar la velocidad del cambio o derivativo del error y agregar un término proporcional a este factor como una corrección al controlador. Expresando este concepto matemáticamente se obtiene la ecuación 2.5.

$$V = K_d \frac{dE}{dt} \quad (2.5)$$

Donde K_D es el derivativo del error o constante de la velocidad.

El término de velocidad afecta el controlador únicamente durante un cambio en la magnitud del error. Un valor de estado estable de E puede ser corregido únicamente por los algoritmos proporcionales, integral o proporcional integral. La ecuación 2.6 describe la combinación PID

$$V = K \left(E + \frac{1}{T_I} \int E dt + T_D \frac{dE}{dt} \right) + M \quad (2.6)$$

2.4.5 Modulación por Ancho de Pulsos (PWM)

Es un sistema que utiliza pulsos digitales para crear un valor analógico en lugar de solo tener un valor “alto” o “bajo” Por lo general, los pulsos tienen un valor de 5 V; por lo que si una señal de PWM tiene un ciclo de trabajo de 50%, se tendrá un promedio análogo de 2.5 V. Dependiendo de la resolución del PWM, se puede tener un ciclo de trabajo de 0 a 100%. El ciclo de trabajo se define como el porcentaje del “alto” con respecto al bajo “bajo” dentro del periodo de la señal. El periodo del PWM es el tiempo en que la señal se repite. La Figura 2.10 muestra diferentes ciclos de trabajo de un PWM (Datadog Systems, 2005).

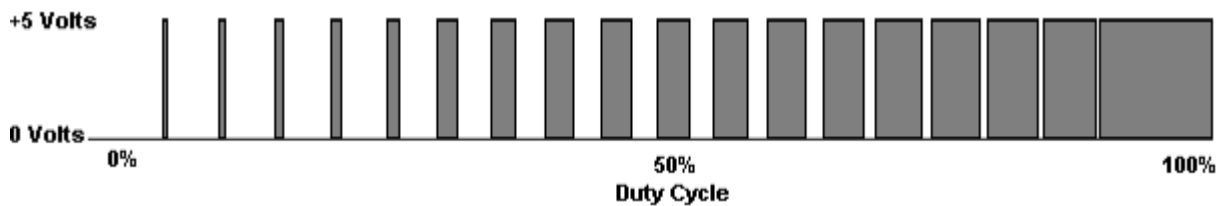


Figura 2.10. Ciclo de trabajo de un PWM (Datadog Systems, 2005)

2.4.6 Protocolos de comunicación

El objetivo primario de la arquitectura de una red es proporcionar a los usuarios los medios necesarios para establecer una red y efectuar el control del flujo de datos. Una arquitectura de red describe la forma en que se arregla o estructura una red de comunicación de datos a través de distintos niveles. Cada nivel dentro de la red consiste en protocolos de comunicación de datos, los cuales contienen las reglas que gobiernan el intercambio de información. La función de una unidad de control es controlar el flujo de datos entre el programa de aplicaciones y las terminales remotas, es así que el protocolo de enlace de datos contiene el conjunto de procedimientos que incluyen las secuencias precisas de caracteres para asegurar un intercambio ordenado de datos entre dos unidades de control.

Comunicación Serial: Protocolo de comunicación RS232

El protocolo de comunicación serial es muy utilizado entre la comunicación de dispositivos. Este sistema es utilizado en la mayoría de las computadoras e inclusive es un método común entre los dispositivos de instrumentación industrial; además, puede ser utilizado para la adquisición de datos a través de un dispositivo de muestreo remoto.

El concepto de comunicación serial es simple. El puerto manda y recibe bytes de información bit a bit. Aunque es más lento que la comunicación en paralelo, el cual permite la transmisión de un byte completo al mismo tiempo, la comunicación serial es más simple y puede ser transmitida a mayores distancias. Por ejemplo, el

estándar IEEE 488 establece que para la comunicación en paralelo el cableado entre los equipos no puede ser mayor a 2 metros entre dos dispositivos; sin embargo, para la comunicación serial se permiten cableados de hasta 1200 metros.

Típicamente, la comunicación serial es utilizada para transmitir datos ASCII. La comunicación es completada utilizando tres líneas de transmisión. (1) Tierra, (2) Transmisor y (3) Receptor. Dado que la comunicación es asíncrona, el puerto puede recibir información en una línea mientras que en la otra la manda. Otras líneas están disponibles para confirmación y sincronismo (*handshaking*), pero no son indispensables. Las características más importantes son tasa de baudios, bits de datos, bit de finalización, y paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, esos parámetros deben coincidir.

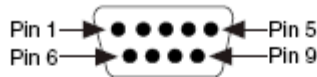
- Velocidad de transmisión (baud rate): es una medida de la velocidad para la comunicación. Indica en número de bits transferidos por segundo. Por ejemplo, una velocidad de 300 baudios indica que se transfieren 300 bits por segundo, además, una velocidad de 4800, indica una tasa de 4800 Hz, lo que indica que la línea muestrea a una velocidad de 4800 veces por segundo.
- Bits de datos: es la medida de la cantidad de bits que se transmiten. Cuando una computadora manda un paquete de información, la cantidad de datos podría no ser de 8 bits. Valores estándar de paquetes de información son de 5, 7 u 8 bits, dependiendo del tipo de información a ser transmitido. Los valores de ASCII estándar van de 0 a 127 (7 bits), mientras que el ASCII extendido va de 0 a 255 (8 bits).
- Bit de finalización: es usado para indicar la finalización de la transmisión de un paquete de datos. Debido a la manera como se transfiere la información a través de las líneas de comunicación y que cada dispositivo tiene su propio reloj, es posible que los dos dispositivos no estén sincronizados. Por lo tanto, los bits de

finalización no sólo indican el fin de la transmisión sino además dan un margen de tolerancia para esa diferencia de los relojes. Mientras más bits de finalización se usen, mayor será la tolerancia a la sincronía de los relojes, sin embargo la transmisión será más lenta.

- Paridad: es una forma simple de detección de errores en la comunicación. Hay cuatro tipos de paridad: par, impar, marcada y espaciada. La opción de no usar paridad alguna también está disponible. Para paridad par e impar, el puerto serial fijará el bit de paridad (el último bit después de los bits de datos) a un valor para asegurarse que la transmisión tenga un número par o impar de bits en estado alto lógico. Por ejemplo, si la información a transmitir es 011 y la paridad es par, el bit de paridad sería 0 para mantener el número de bits en estado alto lógico como par. Si la paridad seleccionada fuera impar, entonces el bit de paridad sería 1, para tener 3 bits en estado alto lógico. La paridad marcada y espaciada en realidad no verifican el estado de los bits de datos; simplemente fija el bit de paridad en estado lógico alto para la marcada, y en estado lógico bajo para la espaciada. Esto permite al dispositivo receptor conocer de antemano el estado de un bit, lo que serviría para determinar si hay ruido que esté afectando de manera negativa la transmisión de los datos, o si los relojes de los dispositivos no están sincronizados.

RS-232 (Estándar Recomendado ANSI/EIA-232) es el conector serial hallado en las PCs IBM y compatibles. Es utilizado para una gran variedad de propósitos, como conectar un ratón, impresora o modem, así como instrumentación industrial. Gracias a las mejoras que se han ido desarrollando en las líneas de transmisión y en los cables, existen aplicaciones en las que se aumenta el desempeño de RS-232 en lo que respecta a la distancia y velocidad del estándar. RS-232 está limitado a comunicaciones de punto a punto entre los dispositivos y el puerto serial de la computadora. La Figura 2.11 muestra la disposición de pines.

DB-9 Conector Macho



Función de pines para RS-232

Datos	
TXD (pin 3)	Transmisión de datos
RXD (pin 2)	Recepción de datos
Handshake	
RTS (pin 7)	Solicitud de envío
CTS (pin 8)	Borrado para enviado
DSR (pin 6)	Puesta de datos preparado
DCD (pin 1)	Detección Portadora
DTR (pin 4)	Terminal de datos preparado
Tierra (GND)	
GND (pin 5)	Tierra
Otros	
RI (pin 9)	Indicador de llamada

Figura 2.11. Configuración de pines para estándar RS232

6.4.7 Tecnología Táctil

La tecnología táctil consiste en una capacidad que se le da a una superficie para que mediante un toque directo permita la entrada de datos y órdenes a un dispositivo, generalmente una pantalla. La tecnología de pantalla táctil ha sido una de las claves del rápido desarrollo de las interfaces de usuario en equipos electrónicos portátiles y fijos.

La primera superficie de manejo táctil fue creada en 1971 por el ingeniero Samuel C. Hurst, y el primer computador con pantalla táctil fue el HP-150, que apareció en el mercado en 1983. Esta consistía en una pantalla de tubo de rayos catódicos sobre la cual se extendía superficialmente un campo de rayos infrarrojos, cuando el dedo incidía sobre algún punto de la pantalla, se producía una interferencia entre el campo de infrarrojos que el ordenador detectaba y localizaba espacialmente. Sus primeros usos fue en industria pesada, posteriormente se usó en terminales de servicios como cajeros automáticos, puntos de compra, etc.

Los dos principales tipos de pantallas que existen en el mercado son la resistiva y la capacitiva.

La pantalla táctil resistiva está provista de una membrana exterior flexible revestida de una capa más dura y una capa interior conductora, separada de otra capa conductora similar pero con puntos espaciadores aislantes. Puesto que se requiere de un contacto físico entre ambas capas conductoras, hay que ejercer presión sobre un punto (Figura 2.12), lo que se hace generalmente con una superficie puntiaguda. Este tipo de pantallas tienen un nivel de rendimiento establecido, aunque no muy alto; otra desventaja que presentan es una baja transmisibilidad de luz, alrededor de 75% a 80%, debido a las múltiples capas que presenta, además tiene una durabilidad limitada (entre 100,000 y 1,000,000 de toques).



Figura 2.12. Pantalla táctil resistiva

Las pantallas táctiles de capacitancia (Figura 2.13) proyectada tienen una sensibilidad al tacto directo en lugar de una presión puntual, tienen una transividad de luz del 90% o más, y tienen una duración mucho más larga que las resistivas. Pero lo que más ha contribuido a que las interfaces de usuario a través de estas pantallas se consideren más intuitivas y elegantes a través del toque ligero y “sin presión”, además de la capacidad multi-táctil, exclusiva de este tipo de pantallas. Están construidas a través de pantallas conductoras modeladas (una capa para el eje x y otra capa para el eje y) alineadas entre sí para crear una estructura

matricial. Una de las desventajas que presentan este tipo de pantallas es su elevado precio, de dos a cinco veces más caras que las resistivas, además el tiempo de desarrollo de nuevos dispositivos es alto, ya que no se cuentan con soluciones prefabricadas. Finalmente, se plantea al problema de la robustez eléctrica al implementar soluciones capacitivas. Para asegurar que el ruido originado por la pantalla LCD no repercuta en el rendimiento, se debe posicionar el controlador sensible al tacto lo más cerca del sensor; en la mayoría de los casos, esta posición está en el extremo flexible de la pantalla.



Figura 2.13. Pantalla táctil capacitiva

3. Metodología

3.1 Diseño y construcción del sistema

3.1.1 Control de Fotoperiodo (Intensidad Luminosa)

Para el control de fotoperiodo se construyó una lámpara basada en tecnología LED. El usuario puede programar la cantidad de horas de luz que desea proporcionar a los animales. La lámpara se prende progresivamente simulando un amanecer y se apaga de la misma forma simulando el anochecer a través de un PWM. A continuación se describen las actividades realizadas para la elaboración de este producto.

1. Revisión de la literatura. En base a artículos de evaluación de fotoperiodo en renacuajo se puede determinar la cantidad de horas de luz que se le debe brindar al renacuajo para mejorar sus parámetros de desarrollo.
2. Propuesta de diseño del sistema de control de fotoperiodo. Se realizó una primera propuesta del sistema de control y material a utilizar; para esto se estableció que la intensidad sería regulada a través de un PWM proporcionado por un microcontrolador 18F4550, con su electrónica digital y de potencia correspondiente. Para el conteo del tiempo se agregó un reloj de tiempo real. El diagrama del circuito se muestra en la Figura 3.1.

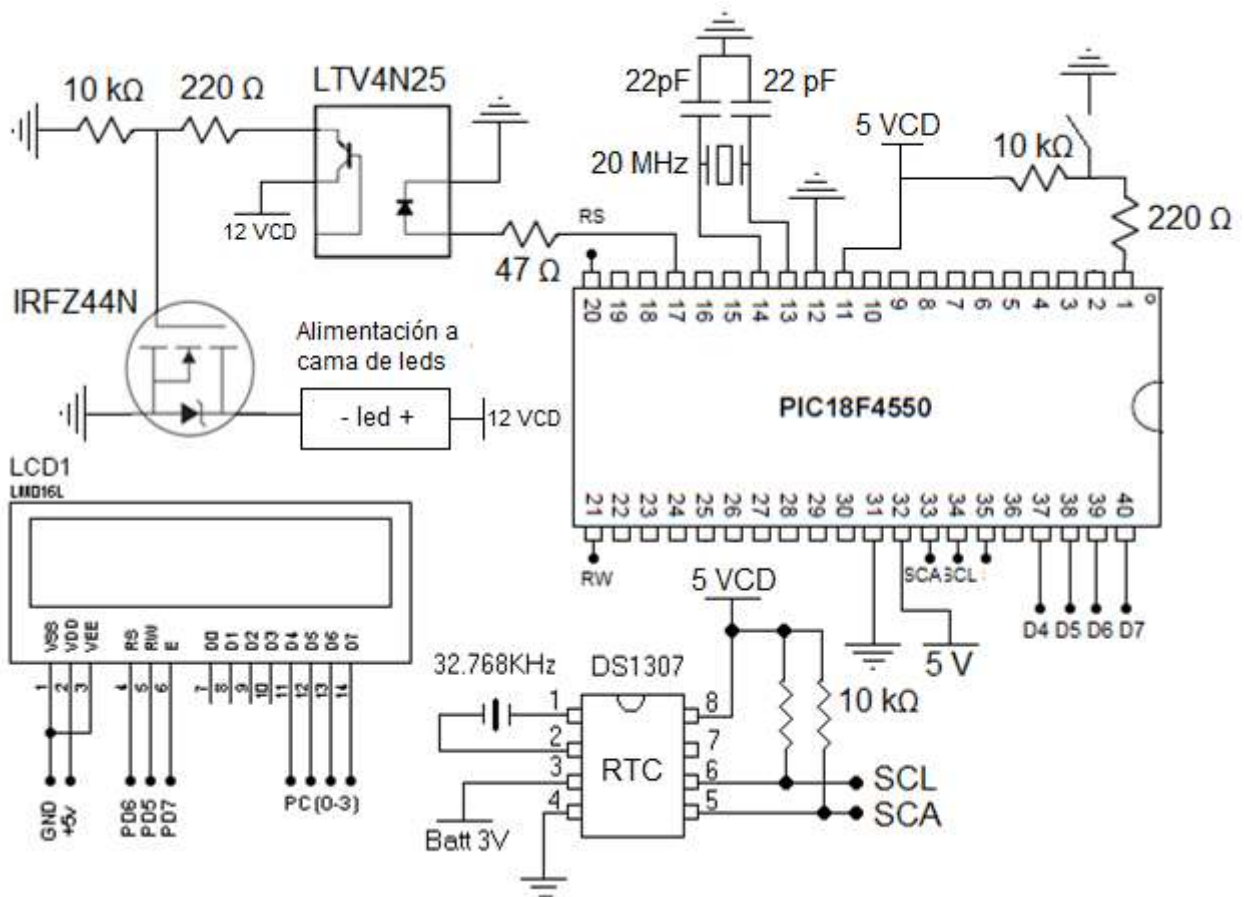


Figura 3.1. Circuito del sistema de control de fotoperiodo

3. Se elaboró la placa electrónica del sistema de control de intensidad luminosa y temperatura como se muestra en la Figura 3.2.

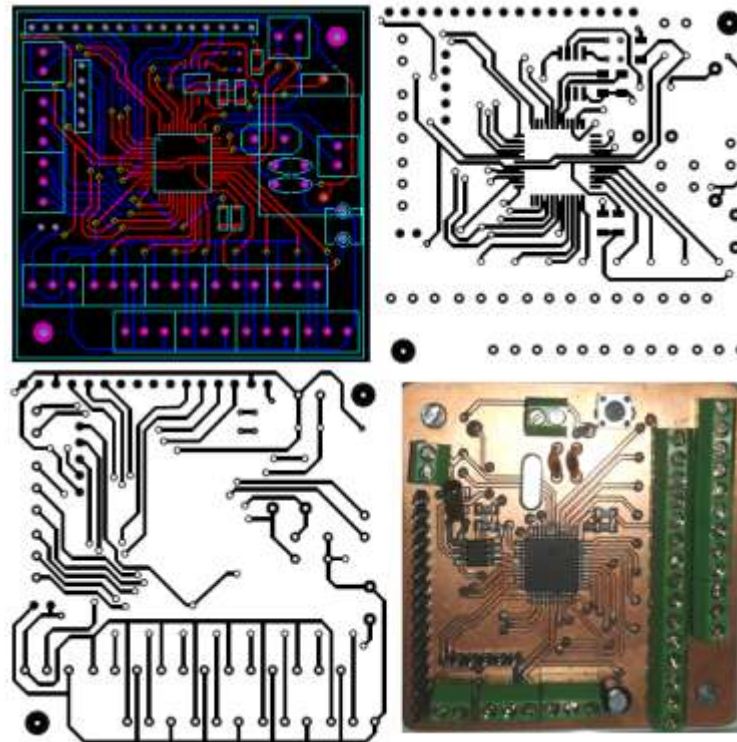


Figura 3.2. Sistema de control de temperatura y fotoperiodo

4. Se elaboró la placa para la matriz de leds como se muestra en la Figura 3.3.

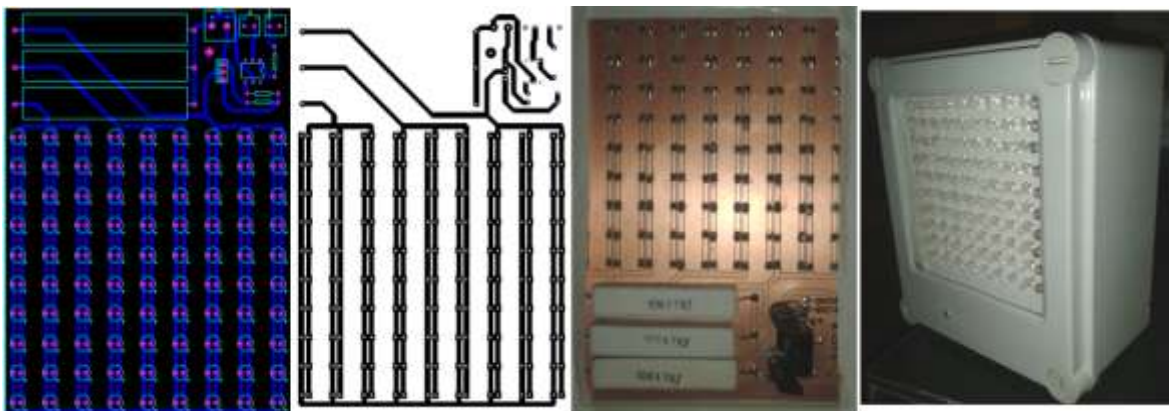


Figura 3.3. Placa de matriz de leds y lámpara

5. Se elaboró la fuente de alimentación para el dispositivo como se muestra en la Figura 3.4.

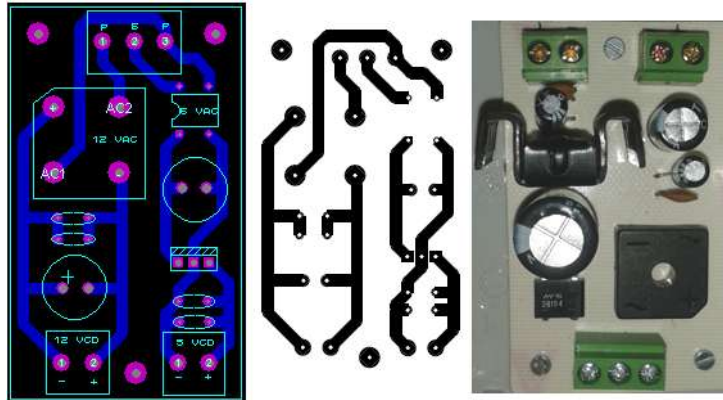


Figura 3.4. Fuente de alimentación del sistema (5 VCD y 12 VCD)

3.2.2 Control de temperatura

Para controlar la temperatura de los estanques se utilizó un sistema que recibe agua caliente de un calentador solar, la cual recircula a través de un serpentín conectado a una bomba sumergible. El sistema se instaló en cuatro estanques. Un mismo controlador (Figura 3.2) es capaz de controlar de manera independiente la temperatura de cada estanque. El usuario puede seleccionar la temperatura que desea en cada uno de los estanques. El diagrama general se muestra en la Figura 3.5. A continuación se describen las actividades realizadas para la elaboración de este producto.

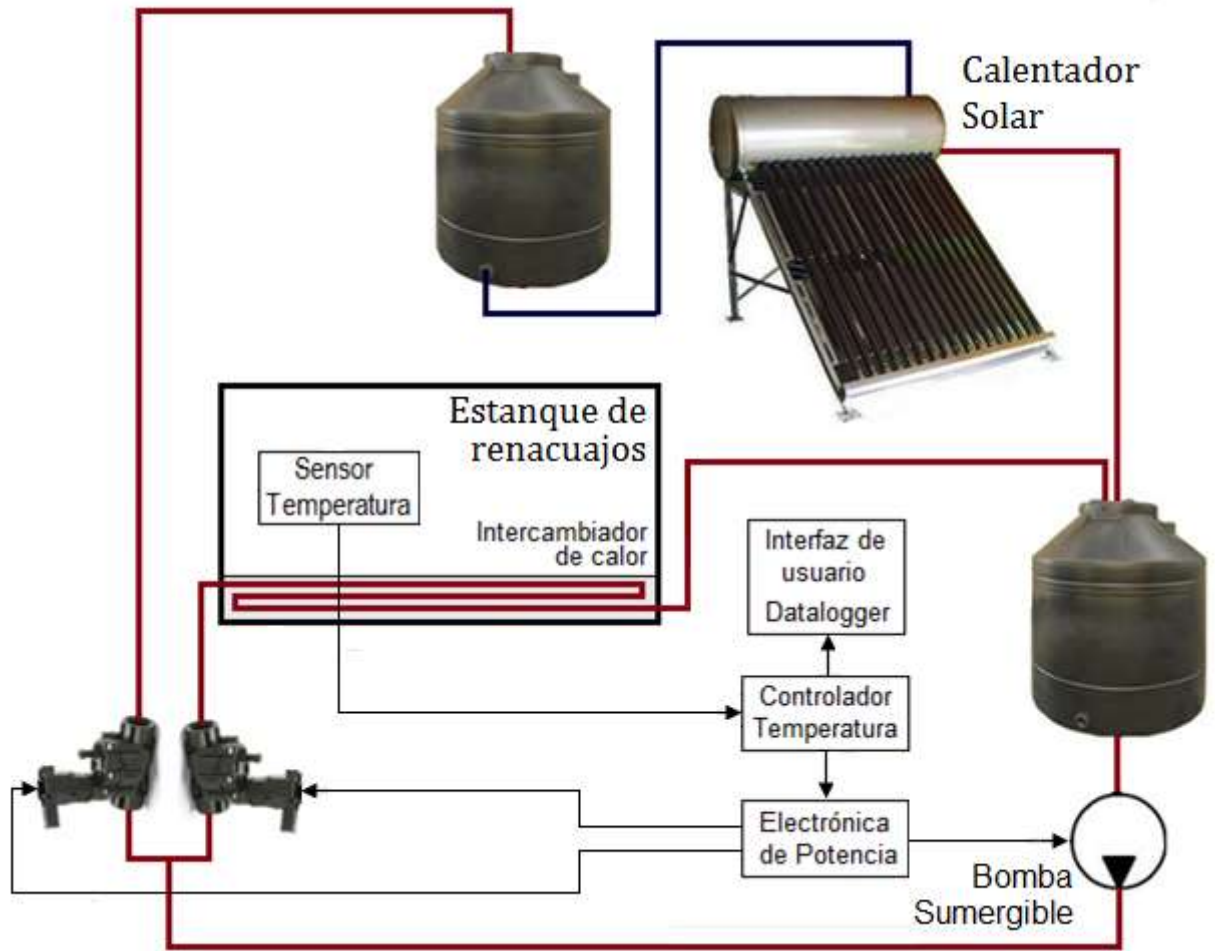


Figura 3.5. Diagrama general del sistema de control de temperatura de un estanque

1. Se instaló un tinaco dentro del invernadero con una bomba sumergible para la alimentación de agua del sistema como se ve en la Figura 3.6.



Figura 3.6. Tinaco de alimentación de agua para el sistema

2. Se cotizó y compro todo el material necesario para la instalación en sitio del sistema (tubería, electroválvulas, válvulas, etc.)
3. Se construyeron los intercambiadores de calor para los cuatro estanques como se ve en la Figura 3.7.

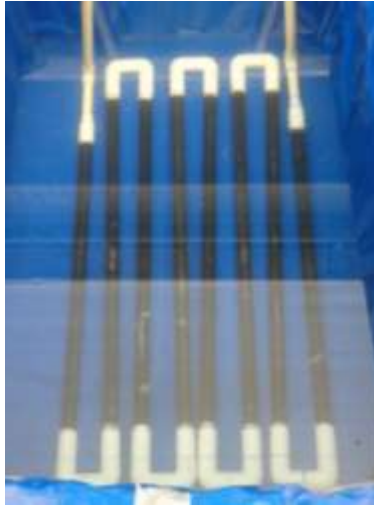


Figura 3.7. Intercambiador de calor dentro del estanque

4. Se instaló el calentador solar y el tinaco de alimentación del calentador solar como se muestra en la Figura 3.8. Para este paso primero se construyeron las estructuras de soporte para ambos elementos.



Figura 3.8. Tinaco y calentador solar

5. Se instalaron las electroválvulas y la tubería de recirculación del sistema como se muestra en la Figura 3.9.



Figura 3.9. Tubería de recirculación de agua caliente en los estanques

6. Se instaló el tinaco y una bomba sumergible, encargados de recircular el agua entre los estanques y devolver el agua fría al tinaco de alimentación del calentador solar como se ve en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Tinaco y bomba sumergible para recirculación

7. Se elaboró la placa para el control de temperatura (Figura 3.2).
8. Se elaboró la placa de alimentación de voltaje para el controlador (Figura 3.4).
9. Se elaboró la placa de electrónica de potencia para el prendido-apagado de las electroválvulas y de la bomba sumergible como se muestra en la Figura 3.11.

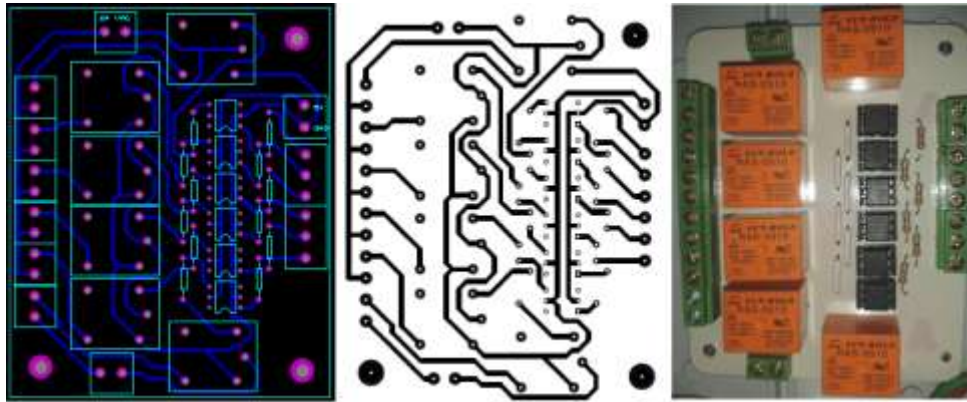


Figura 3.11. Electrónica de potencia para el control de temperatura

10. Se construyeron los sensores de temperatura (Figura 3.12) a través del integrado LM35, el cual proporciona una señal de salida lineal y proporcional en grados centígrados.



Figura 3.12. Sensor de temperatura

3.2.3 Interfaz de usuario

Para la interfaz de usuario se utilizó una pantalla táctil capacitiva, modelo uLCD Picasso 43PCT de 4.3 pulgadas, de la compañía 4D SYSTEMS como se muestra en la Figura 3.13.



Figura 3.13. Panta táctil (vista frontal y trasera)

A continuación se muestran las pantallas de navegación del programa para la interfaz de usuario.

Pantalla de inicio: esta es la primera pantalla que aparece cada que el sistema se prende. Solamente incluye el nombre y símbolo de la universidad, el título del proyecto, y la instrucción de “toque la pantalla para iniciar” (Figura 3.14)



Figura 3.14. Pantalla de inicio del sistema de navegación – interfaz de usuario

Pantalla principal: a través de esta pantalla se seleccionan las distintas funciones que ofrece la interfaz (Figura 3.15). Cuando se presiona en botón “SP” aparecerá la pantalla de selección de Setpoint de los estanques y de fotoperiodo (Figura 3.16). Cuando se presiona el botón “AN” aparecerá la pantalla de historial de

valores (Figura 3.17). Cuando se presiona el botón “Manual” aparecerá la pantalla de selección manual de electroválvulas y bomba (Figura 3.19). Cuando se presiona el reloj aparecerá la pantalla de configuración de reloj (Figura 3.20).

En la pantalla principal aparecen los setpoint seleccionados y los valores de temperatura de los estanques. En este caso se pueden medir hasta nueve sensores, establecer cuatro valores de temperatura como setpoint y dos valores de fotoperiodo.



Figura 3.15. Pantalla principal del sistema de navegación – interfaz de usuario

Pantalla de selección de setpoint: En esta pantalla aparece un teclado con el cual el usuario puede seleccionar los setpoint para cada una de las variables (Figura 3.18). Aparece la instrucción “Selecione SP”. Al presionar el botón “OK” se concluye la selección y al presionar el botón “←” se cancela la acción y regresará a la pantalla principal.



Figura 3.16. Pantalla de selección de setpoint del sistema de navegación – interfaz de usuario

Pantalla de historial de valores: en esta pantalla aparecerá la gráfica de los últimos 15 valores medidos durante los últimos 15 minutos (Figura 3.17). La X en ANX indica la variable analógica que se está graficando. Al presionar el botón “→” graficará la siguiente variable analógica. Al presionar el botón “OK” se regresará a la pantalla principal.



Figura 3.17. Pantalla de historial de valores del sistema de navegación – interfaz de usuario

Pantalla de selección manual: En esta pantalla se puede accionar manualmente las electroválvulas o bomba (Figura 3.18).



Figura 3.18. Pantalla de selección manual del sistema de navegación – interfaz de usuario

Pantalla de configuración de hora y fecha: en esta pantalla el usuario puede introducir la hora y fecha actual. Al seleccionar el botón “←” se cancelará la configuración y regresará a la pantalla principal. Al seleccionar el botón “OK” se guardará la configuración y regresará a la pantalla principal (Figura 3.19).



Figura 3.19. Configuración de hora y fecha del sistema de navegación – interfaz de usuario

El sistema cuenta con su propio datalogger a través de una memoria uSD que se conecta en la pantalla táctil (Figura 3.20). Los datos de las variables analógicas se guardan cada minuto en un archivo “.doc”.

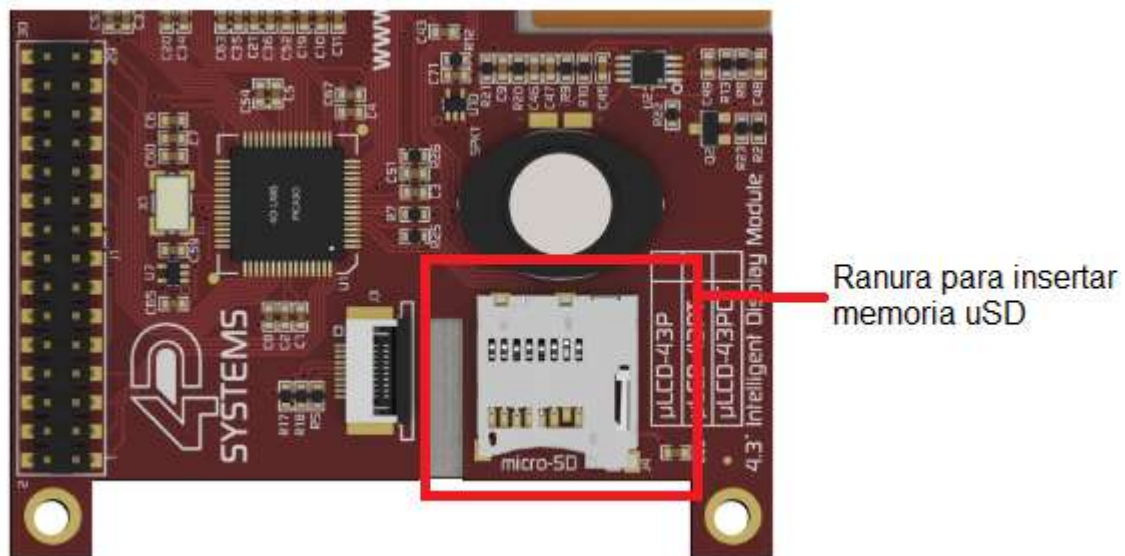


Figura 3.20. Ranura para insertar memoria uSD en parte trasera de pantalla táctil

3.2.4 Integración de los componentes

Los componentes del sistema se integraron en una caja termoplástica. En el interior se encuentra la placa de control, la placa de potencia, la placa de la fuente de alimentación, un contactor para activar la bomba, un transformador de 24 VAC y un transformador de 12 VAC (Figura 3.21). La pantalla táctil se insertó en la tapa de la caja (Figura 3.22). El diagrama de conexiones se especifica en el manual de usuario.



Figura 3.21. Integración de los componentes



Figura 3.22. Exterior de la caja de control con pantalla táctil

3.2.5 Comunicación entre pantalla táctil y controlador

La comunicación entre la pantalla táctil y el microcontrolador 18F4550 se establece a través del protocolo de comunicación RS232 con una velocidad de transmisión de 9600 baudios por segundo, sin paridad y con una trama de 8 bits por segmento.

La trama de caracteres del mensaje de la pantalla al controlador se compone de 29 caracteres dispuestos de la siguiente manera:

{'s', 'decenaSP0', 'unidadSP0', 'decenaSP1', 'unidadSP1', 'decenaSP1', 'unidadSP2', 'decenaSP2', 'unidadSP3', 'decenaSP4', 'unidadSP4', 'decenaSP5', 'unidadSP5', 'decena hora', 'unidad hora', 'decena minuto', 'unidad minuto', 'decena día', 'unidad día', 'decena mes', 'unidad mes', 'electroválvula manual 1', 'electroválvula manual 2', 'electroválvula manual 3', 'electroválvula manual 4', 'electroválvula cambio de agua', 'accionado de bomba sumergible', 'selección manual/automático', 'actualización de fecha y hora'}

3.3 Calibración

Se elaboraron dos pruebas de calibración. Para cada una de las pruebas se escogieron cuatro puntos de temperatura para hacer la comparación. Para la primera prueba los puntos correspondieron a 49.7 °C, 37.4 °C, 24.9 °C y 7.3 °C. Para la regulación de las primeras tres temperaturas se utilizó un horno de secado marca Memmert modelo 100 – 800 (Figura 3.23). Para la temperatura más baja se utilizó agua con hielo. Como instrumento patrón se utilizó el sensor de temperatura del horno de secado anteriormente mencionado. Una vez calibrado el sensor se programó la recta de ajuste en el microcontrolador.



Figura 3.23. Horno de secado marca Memmert modelo 100 – 800 del Laboratorio de Bioingeniería

Se realizó una segunda calibración. Los puntos correspondieron a 50 °C, 23.6 °C y 39.7 °C. Se utilizó el mismo horno de secado que en la primera prueba.

3.4 Implementación

El sistema (Figura 3.24) se instaló y se puso a prueba en el invernadero de producción acuícola (Figura 3.25) de la Universidad Autónoma de Querétaro campus Amazcala ubicado en el municipio del Marqués, Querétaro, localidad ubicada en el sector Suroeste del estado, entre los 20° 31' y 20° 58' de latitud y entre los 100° 09' y 100° 24' de longitud a 1 850 m SNM. Se realizaron tres pruebas.



Figura 3.24. Sistema de control de temperatura y fotoperiodo artificial conectado



Figura 3.25. Invernadero de producción de rana toro en la FI de la UAQ campus Amazcala

3.5 Prueba de funcionamiento 1: eficiencia del sistema

La primera prueba se realizó con la finalidad de obtener la eficiencia del sistema. Para ello se introdujo agua caliente en el tinaco de recirculación y se activó el sistema para calentar un estanque. Se monitoreó la temperatura del tinaco de recirculación, del estanque a calentar y de un estanque testigo empleando un Datalogger Watch Dog Model 1000, Spectrum® Technologies Comercial (Figura 3.26) hasta observar que la temperatura del estanque a calentar y del agua del tinaco de recirculación se mantuvieran constantes y con valores próximos uno del otro. La prueba tuvo una duración aproximada de 90 min.



Figura 3.26. Datalogger Watch Dog Model 1000, Spectrum® Technologies Comercial

3.6 Prueba de funcionamiento: controlador

La segunda prueba se realizó con la finalidad de verificar el funcionamiento del controlador y del sistema en general sin renacuajos. Se monitoreó la temperatura del tinaco de recirculación, de los cuatro estanques a calentar y de un estanque testigo empleando dos Datalogger (Watch Dog Model 1000, Spectrum® Technologies comercial). La prueba tuvo una duración de 2 días.

3.7 Diseño de experimento para prueba con organismos

La tercera prueba se realizó con la finalidad de verificar el funcionamiento del controlador y del sistema en general con renacuajos. Al final se presentan los resultados de dichas pruebas.

Para la evaluación del sistema se utilizaron ocho estanques con 300 litros c/u.

Se tuvieron cuatro tratamientos para la evaluación del control de fotoperiodo y temperatura en los renacuajos y dos repeticiones. La Figura 3.27 muestra la distribución de los tratamientos en los ocho estanques. La Figura 3.28 muestra la disposición de las lámparas en los estanques.

- Tratamiento 1: Testigo
- Tratamiento 2: Control de Temperatura
- Tratamiento 3: Fotoperiodo artificial
- Tratamiento 4: Control de Temperatura y Fotoperiodo artificial



Figura 3.27. Distribución de los tratamientos

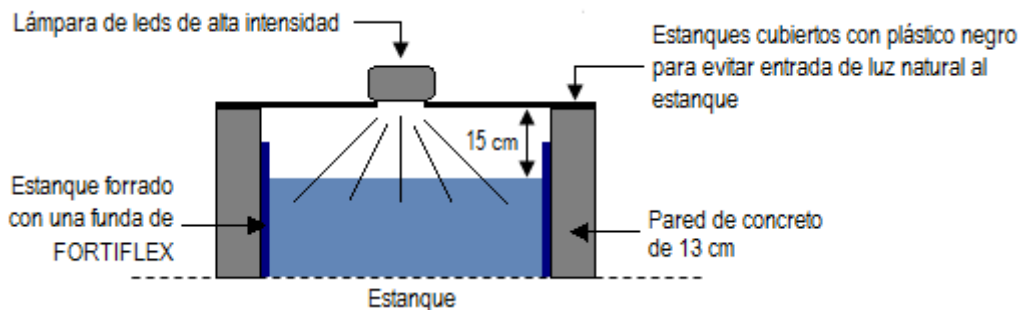


Figura 3.28. Disposición de las lámparas en los estanques que cuentan con control de fotoperiodo.

Para verificar el funcionamiento del sistema se midió la temperatura en cada uno de los estanques con el datalogger integrado en la pantalla táctil.

3.7.1 Selección de organismos

Para el experimento se utilizaron renacuajos de rana toro con un mes de edad adquiridos en la empresa AQUANIMALS. El experimento tuvo una duración de 45 días. Cada estanque contó con 300 litros de agua. En cada estanque se colocaron 272 renacuajos, lo que equivale a una densidad de 0.9066 renacuajos/litro, dando un total de 272 renacuajos por estanque. La alimentación fue ad libitum con pelet (alimento tipo croqueta para pez) molido. El pelet molido cuenta con la siguiente información nutrimental:

Grasas: 2.61%

Proteínas: 31.50%

Cenizas: 9.82%

Fibra: 5.63%

Carbohidratos: 44,27%

Calorías 326,57 kcal/100 g

3.7.2 Monitoreo de parámetros biológicos

Para la determinación de los parámetros de rendimiento se midieron las siguientes variables en los renacuajos: peso húmedo, largo total, largo del cuerpo, ancho de cuerpo y supervivencia. El largo total, largo del cuerpo, ancho de cuerpo se midió como lo reporta Mijares-Urrutia, Abraham (1997) y se muestra en la Figura 3.29. La longitud y peso húmedo se midieron cada semana a partir del inicio del experimento y cada 7 días. Para la supervivencia se contó el número inicial y final de individuos por estanque.

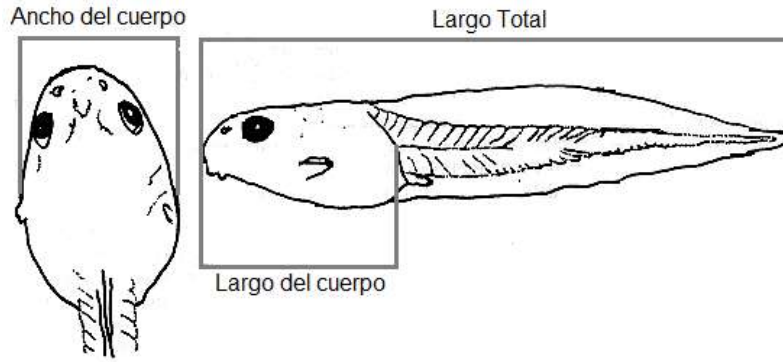


Figura 3.29. Parámetros morfológicos del renacuajo

El peso húmedo se midió con una balanza analítica Sartorius M-Prove (Figura 3.30). La longitud de cuerpo, ancho de cuerpo y longitud total se midieron con un vernier Multitoyo como se muestra en la Figura 3.31 (a) (b) y (c).



Figura 3.30 Balanza analítica Sartorius M-Prove utilizada para la medición de peso húmedo de los renacuajos

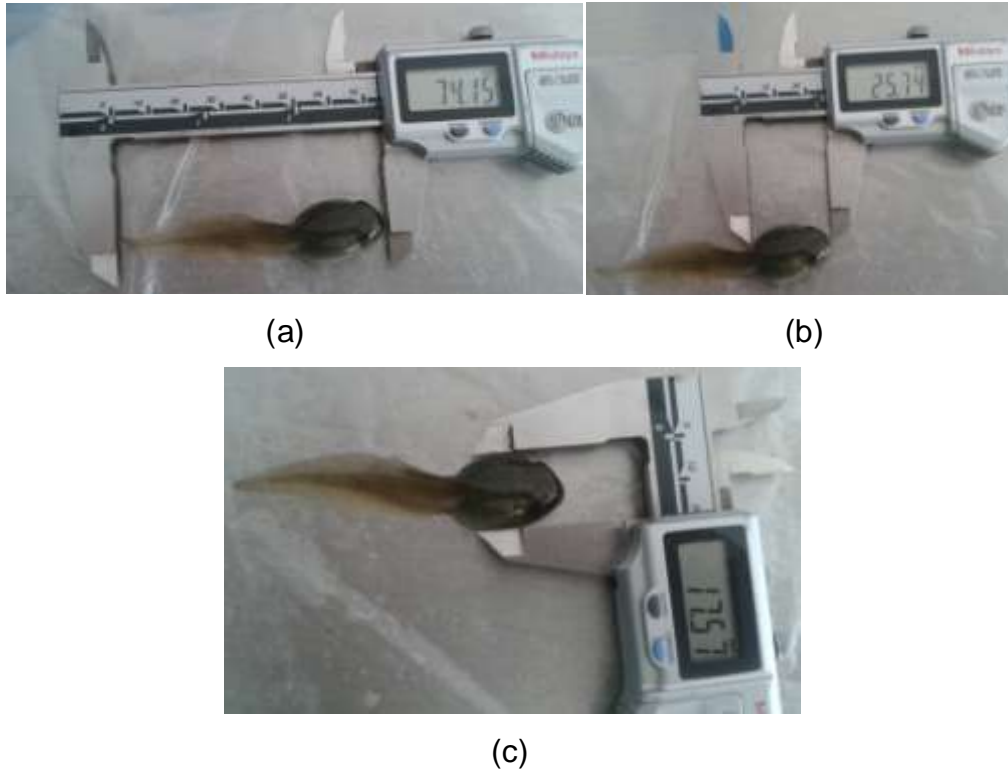


Figura 3.31. Medición de los renacuajos con vernier Multitoyo. (a) Longitud total (b) Longitud de cuerpo (c) Ancho de cuerpo

3.7.3 Monitoreo de parámetros de calidad del agua

Para la determinación de los parámetros de calidad de agua se midieron los siguientes parámetros: pH, oxígeno disuelto, nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$) y nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$). Se tomaron las muestras requeridas (una muestra por tratamiento) de los estanques 3 (control), 4 (control de fotoperiodo), 5 (control de temperatura) y 6 (control de temperatura y fotoperiodo) semanalmente. Para realizar las determinaciones se utilizaron los métodos descritos en el “HACH Water Analysis Handbook” del espectrofotómetro DR/6000, (HACH Company, Loveland Colorado, USA) (Figura 3.32), los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Bioingeniería de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro – Campus Amazcala.



Figura 3.32. Espectrofotómetro HACH DR/6000 utilizado para las mediciones de calidad de agua

A continuación se muestran los parámetros medidos.

a) Nitritos ($\text{NO}_2\text{-N}$). Se hizo reaccionar las muestras con ácido sulfanílico para formar una sal intermediaria de diazonio. Ambos reactivos se combinan con ácido cromotrópico para producir un complejo de color rosa directamente proporcional a la cantidad de nitritos presentes. Los resultados de la prueba se miden a 507 nm. (Método HACH 8507, 2010; Adaptado de USEPA, 1979).

b) Nitratos ($\text{NO}_3\text{-N}$). Se midió con el método de reducción de cadmio (Método HACH 8171, 2010); el cual establece que el cadmio metálico reduce el nitrato a nitrito en la muestra. El ion nitrito reacciona con ácido sulfanílico en un medio ácido para formar la sal de diazonio, la cual al combinarse con ácido gentísico formar una solución color ámbar. Los resultados del ensayo se miden a 400 nm.

c) Nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$): Se midió con el método de Nessler (Método HACH 8038, 2010). El Mineral Estabilizador complejos de dureza en la muestra (The Mineral Stabilizer complexes hardness in the sample). El agente de dispersión de alcohol polivinílico asiste en la formación de color en la reacción de Reactivo de Nessler con amoníaco y ciertas otras aminas. Un color amarillo se forma proporcional a la concentración de amoníaco. Los resultados del ensayo se miden a 425 nm.

d) pH: Se midió con un sensor de pH modelo pHTestr 10 de la marca OAKTON INSTRUMENTS, el cual cuenta con una resolución de 0.1 pH, una exactitud de ± 0.1 pH.

e) O₂: se midió con un sensor multisonda marca HACH modelo HQ40D.

7.8 Monitoreo de parámetros ambientales

Durante el experimento se monitorearon las condiciones climáticas del invernadero empleando un Datalogger Watch Dog Model 1000, Spectrum® Technologies Comercial (Figura 3.26). El fotoperiodo natural durante el experimento se obtuvo a contando el número de horas luz a través de la medición de radiación solar con una estación meteorológica marca Davis Pro2 inalámbrica (Figura 3.33), cada 15 minutos durante las 7 semanas del experimento.



Figura 3.33. Estación meteorológica Davis Pro2.

7.9 Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza de 95% con el programa JMP 9.0.1. (SAS Institute) entre los tratamientos (control, fotoperiodo, temperatura, fotoperiodo con temperatura). El método empleado para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0

4. Resultados y Discusión

4.1. Calibración

La Figura 4.1 muestra el resultado de la primera calibración de los ocho sensores de temperatura. AN0 corresponde al sensor utilizado en el estanque 1, AN1 corresponde al sensor utilizado en el estanque 2 y así sucesivamente. La Figura 4.2 muestra el resultado de la segunda calibración de los sensores. El resultado de la primera calibración muestra un comportamiento regular de los sensores. A través de la primera calibración se obtiene la curva de ajuste y se programa en el microcontrolador. La segunda calibración muestra que la recta de lecturas del sensor se acerca al valor de los datos reales.

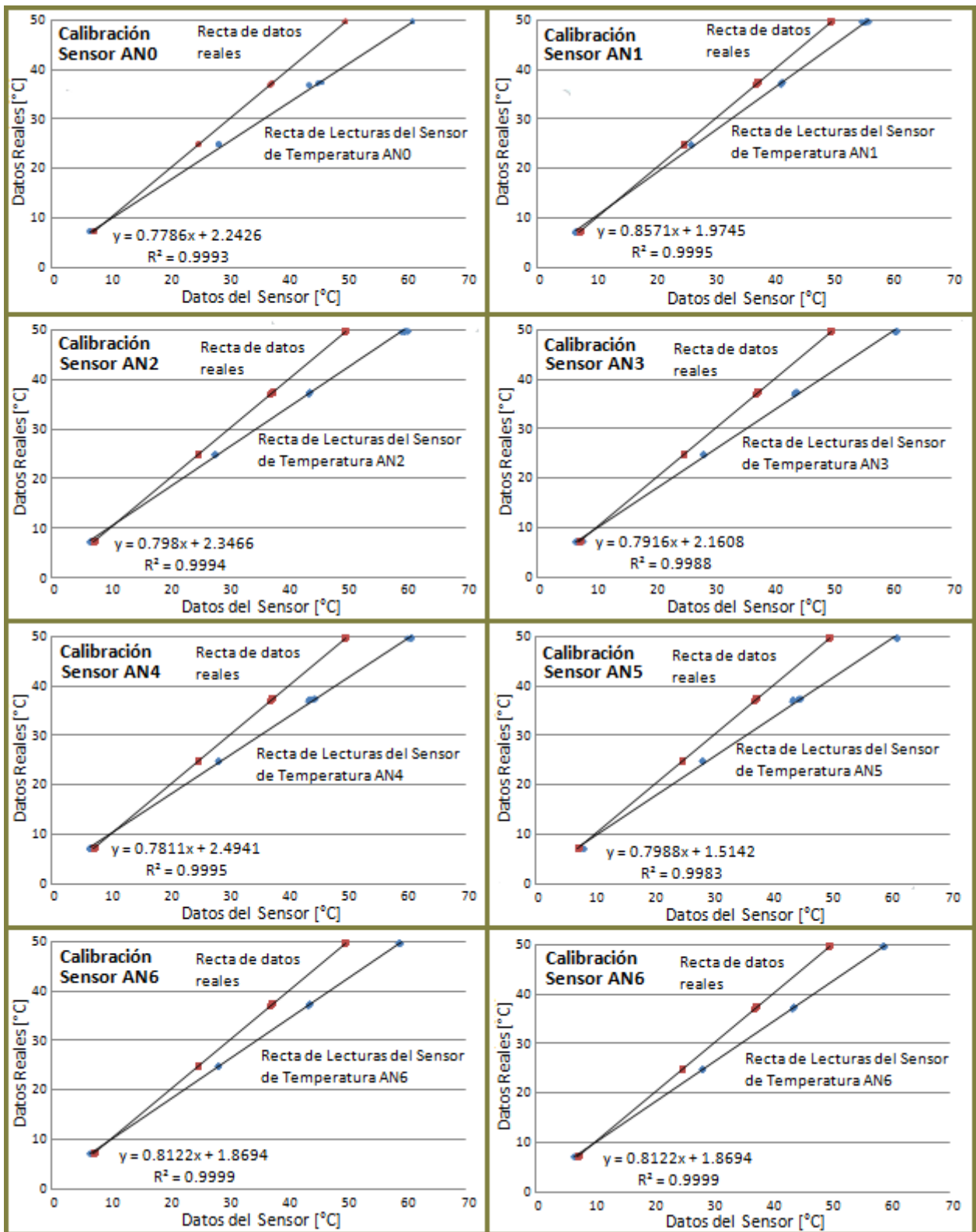


Figura 4.1. Primera calibración de los 8 sensores de temperatura (AN0 – AN7 correspondientes al Estanque 1 al 8)

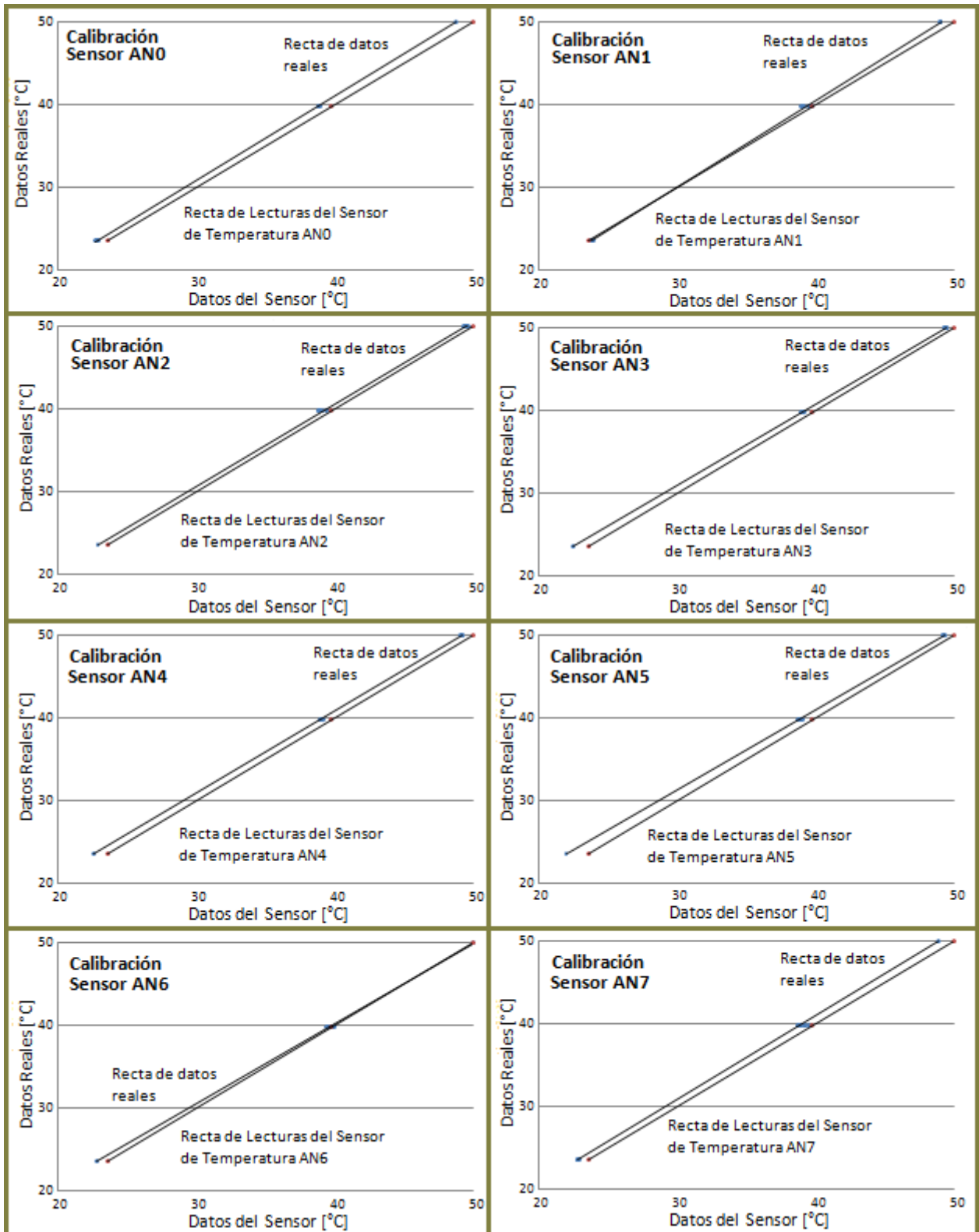


Figura 4.2. Segunda calibración de los 8 sensores de temperatura (AN0 – AN7 correspondientes al Estanque 1 al 8)

4.2 Primera prueba de funcionamiento 1: eficiencia

El sistema de control de temperatura y fotoperiodo artificial se instaló en los estanques de producción de renacuajo como se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4.3. Sistema de control de temperatura y fotoperiodo instalado en los estanques de producción de renacuajo de rana toro

Se elaboró la primera prueba de funcionamiento obteniendo los resultados mostrados en el Cuadro 1. Esta prueba indica que un 13.77% de la energía térmica del agua caliente se pierde al ambiente a través del tinaco de recirculación y de la tubería en general. Se observa que el volumen inicial de agua caliente no corresponde al volumen total del tinaco de recirculación, sin embargo solo se calentó un solo estanque. Para las pruebas posteriores se utilizaron 200 litros de agua caliente para mantener la temperatura de los cuatro estanques.

Cuadro 4.1. Resultados de la primera prueba del sistema de control de temperatura (eficiencia)

Valor	Variable
21.2	Temperatura inicial del estanque [°C]
32.2	Temperatura final del estanque [°C]
72.8	Temperatura inicial del tinaco de recirculación [°C]
35	Temperatura final del tinaco de recirculación [°C]

216.68	Volumen de agua del estanque [litros]
73.12	Volumen de agua caliente del tinaco de recirculación [litros]
4181.3	Calor específico del agua [J/Kg°C]
11556.96	Energía total del sistema [KJ]
9965.95	Energía que adquiere el estanque [J]
1591.01	Pérdida de energía [J]
86.23	Eficiencia del sistema [%]

La Figura 4.4 muestra la dinámica del sistema. Se observa como el agua caliente del tinaco de recirculación disminuye su temperatura mientras la del estanque donde recircula el agua caliente incrementa hasta que los dos encuentran un punto de equilibrio entre 27 °C y 30 °C.

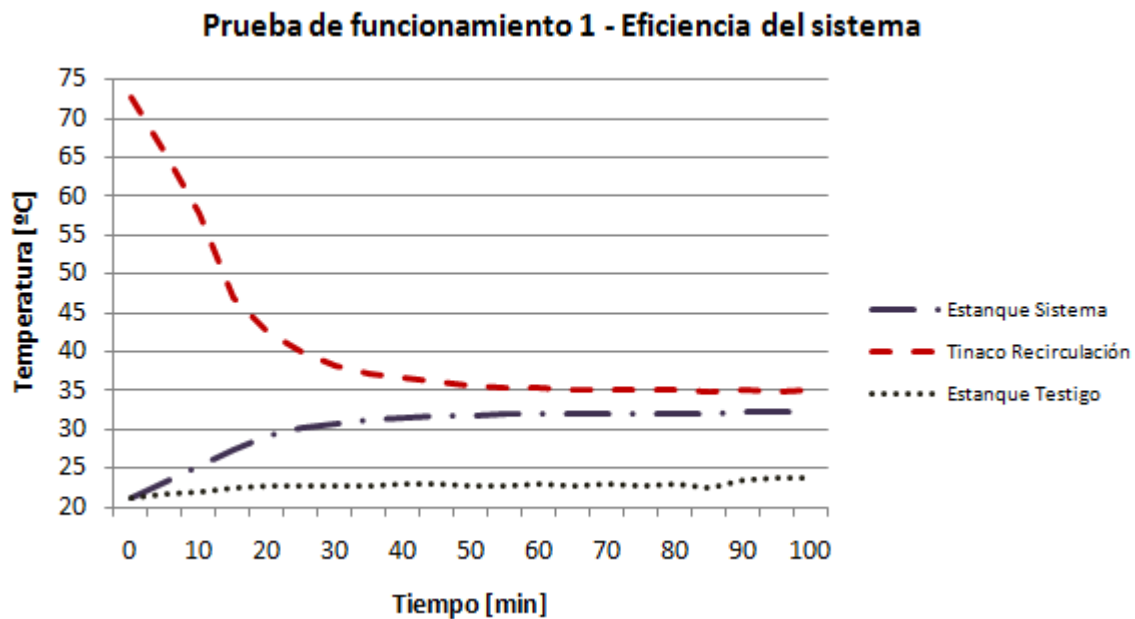


Figura 4.4 Gráfica de comportamiento térmico del sistema de control en uno de los estanques

4.3 Prueba de funcionamiento 2: controlador

Las Figuras 4.5 a 4.8 muestran el comportamiento de la temperatura de los estanque 5 a 8, donde se encuentra instalado el sistema y se implementó el sistema de control. Se observa como el controlador se activa principalmente en la

noche, cuando la temperatura baja. A lo largo del día el calor del invernadero contribuye a mantener la temperatura de los estanques.

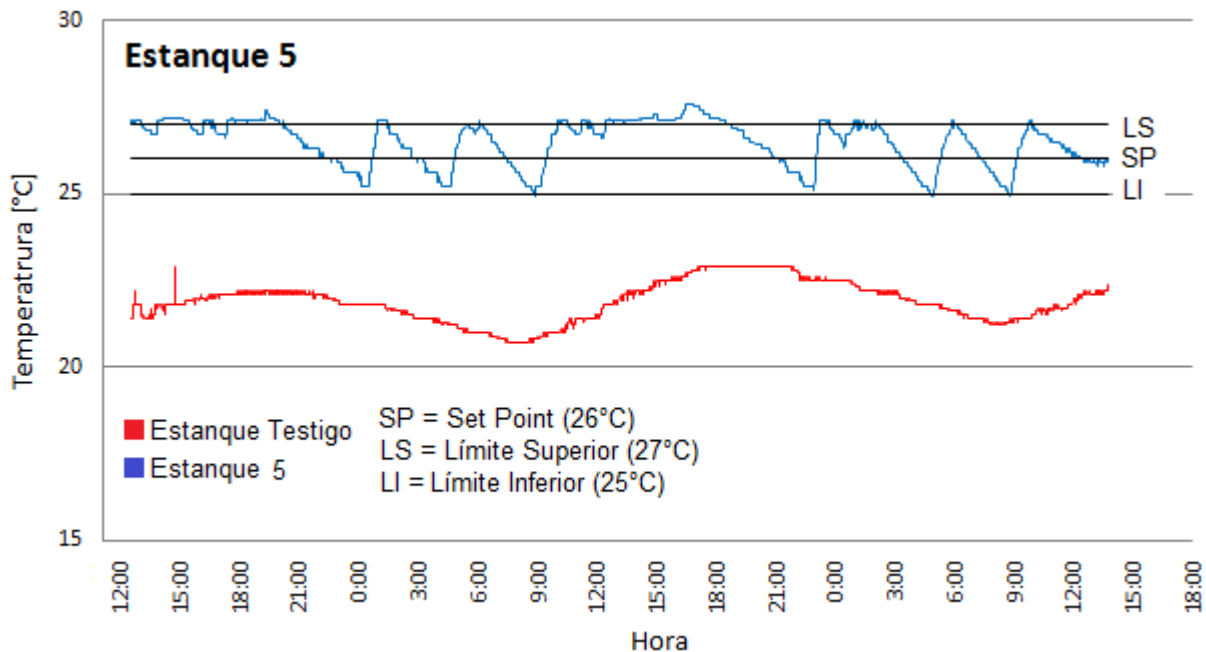


Figura 4.5. Comportamiento de temperatura del estanque 5

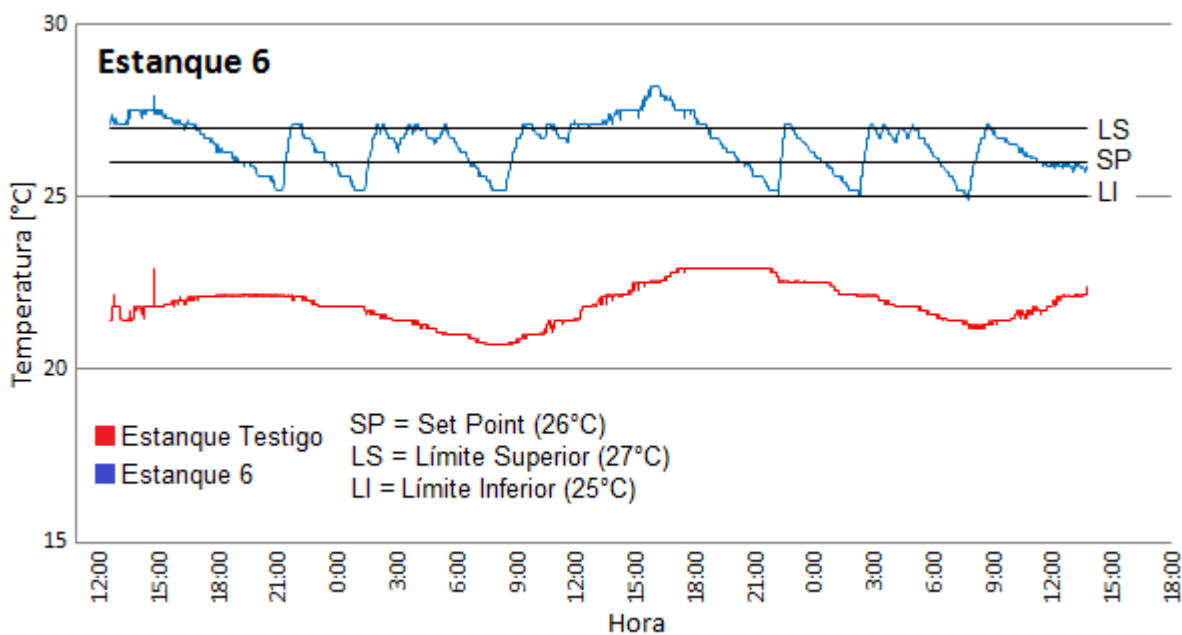


Figura 4.6. Comportamiento de temperatura del estanque 6

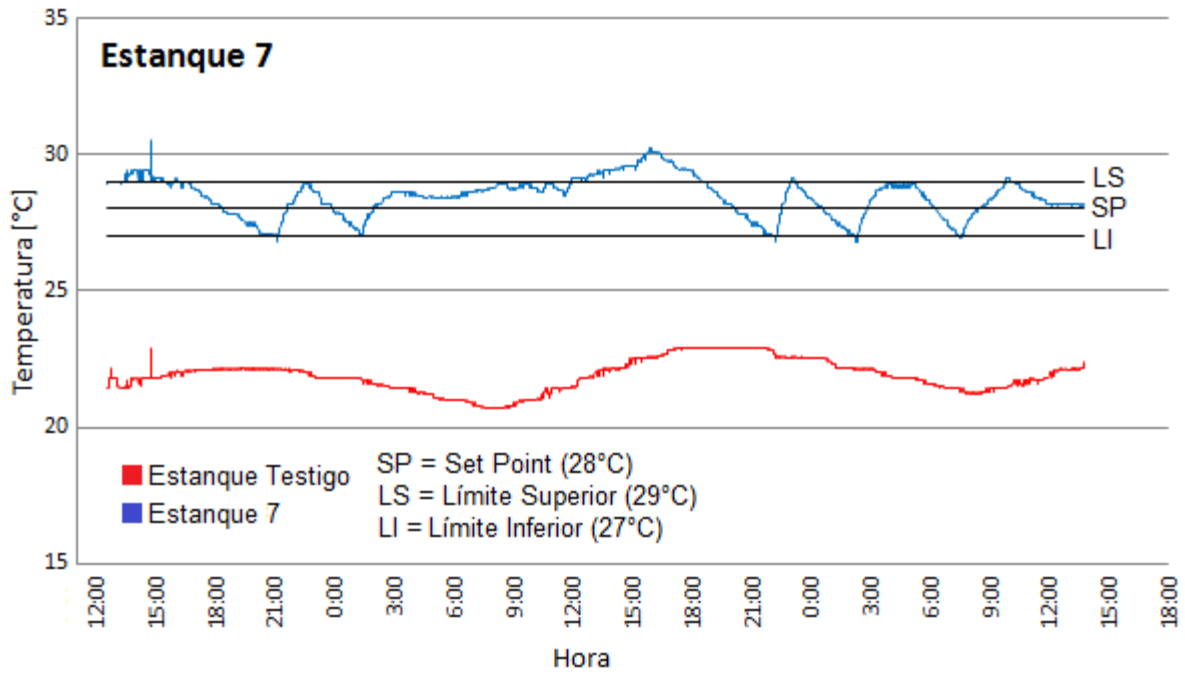


Figura 4.7. Comportamiento de temperatura del estanque 7

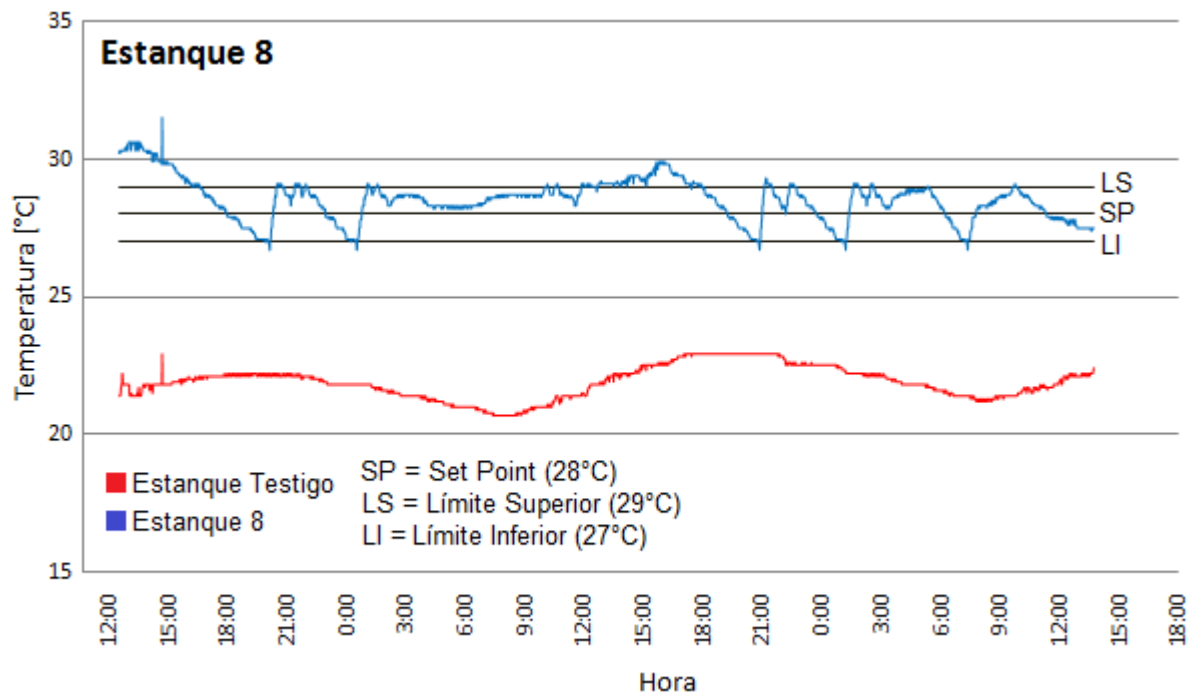


Figura 4.8. Comportamiento de temperatura del estanque 8

El sistema genera un archivo de texto (Figura 4.9) que se guarda en la memoria uSD de la pantalla táctil y que tiene la información de las temperaturas registradas a lo largo del experimento.

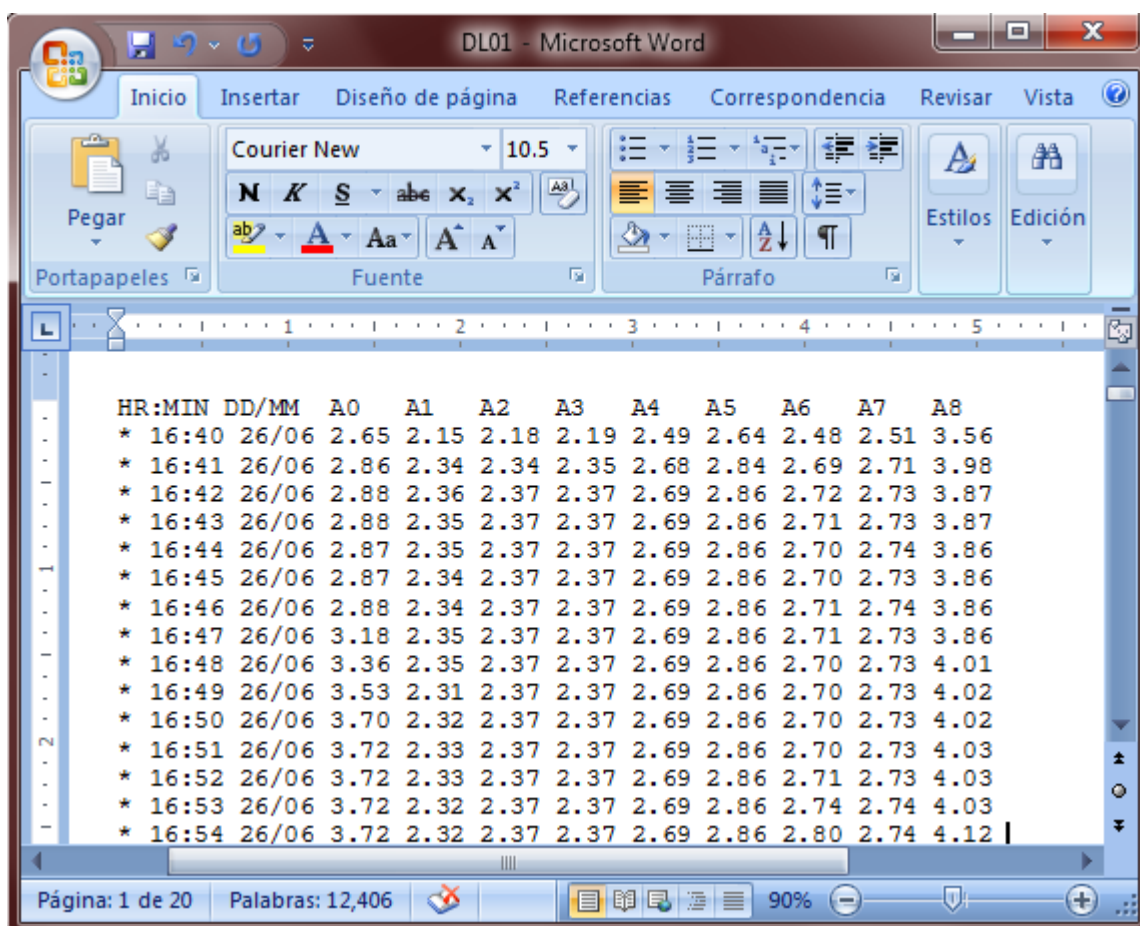


Figura 4.9. Archivo generado con la información de las temperaturas de los estanques

4.4 Prueba de funcionamiento de lámpara para fotoperiodo

La Figura 4.10 muestra el prendido progresivo de la lámpara a las 7:00 hrs y la Figura 4.11 muestra el apagado progresivo de la lámpara a las 17:00 hrs. Con este resultado se corrobora que las lámparas prenden y apagan progresivamente a la hora correspondiente.

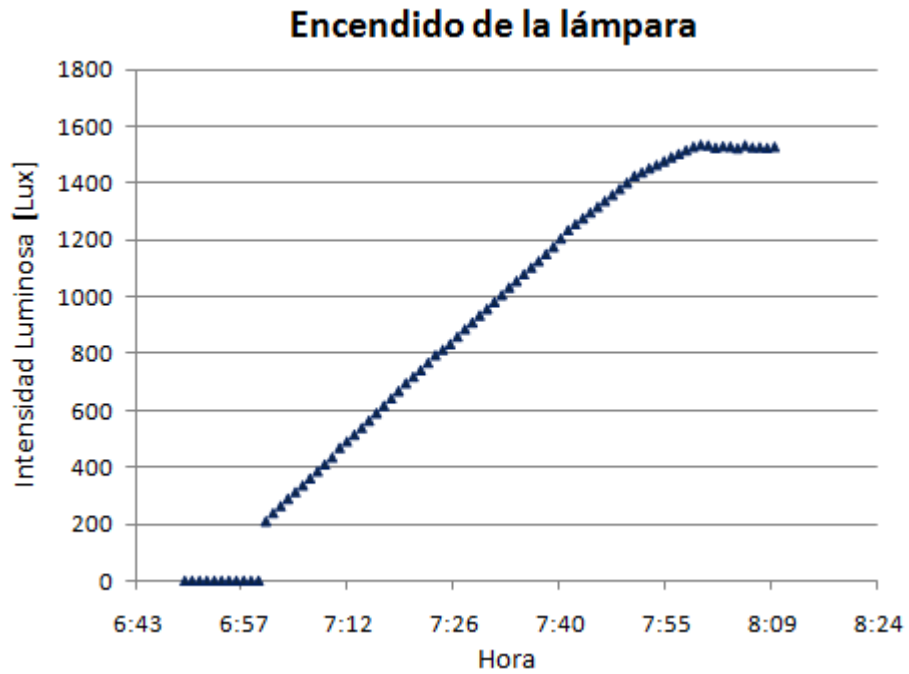


Figura 4.10. Prendido progresivo de la lámpara

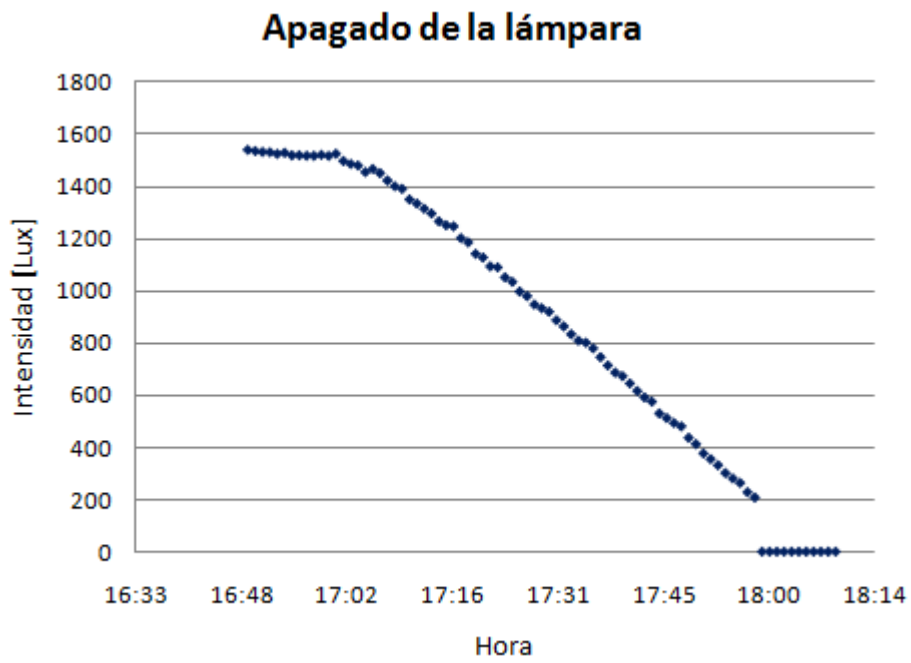


Figura 4.11. Apagado progresivo de la lámpara

4.5 Prueba en organismos

4.5.1 Tendencias de parámetros de crecimiento

La figura 4.12 muestra la tendencia de la longitud total a lo largo del experimento. Los tratamientos en los que los renacuajos presentaron una mayor longitud total fueron los que contaban con control de temperatura. Se observa que la variable fotoperiodo influye poco en la longitud total.

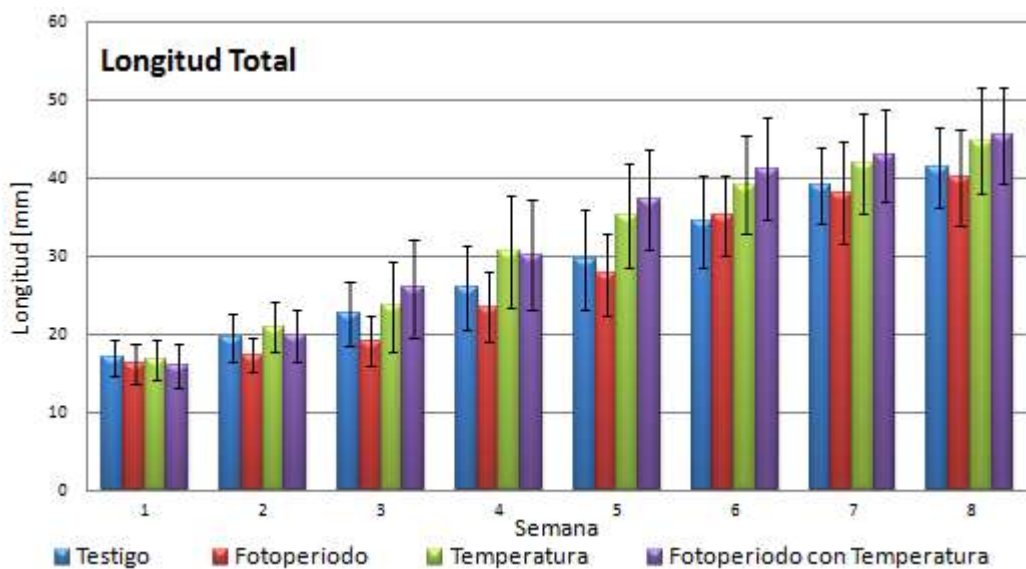


Figura 4.12. Longitud total a lo largo del experimento

La Figura 4.13 muestra la tendencia de la longitud de cuerpo a lo largo del experimento. Los tratamientos en los que los renacuajos presentaron una mayor longitud de cuerpo fueron los que contaban con control de temperatura. Se observa que la variable fotoperiodo influye poco en la longitud de cuerpo.

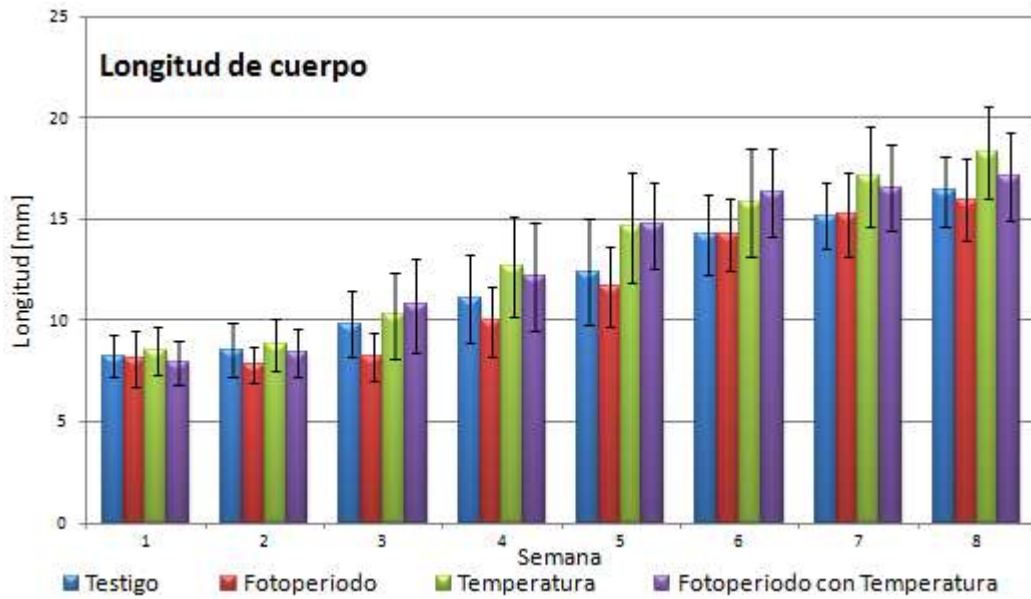


Figura 4.13. Longitud de cuerpo a lo largo del experimento

La Figura 4.14 muestra la tendencia del ancho de cuerpo a lo largo del experimento. Los tratamientos en los que los renacuajos presentaron una mayor longitud de cuerpo fueron los que contaban con control de temperatura. Se observa que la variable fotoperiodo influye poco en la longitud de cuerpo.

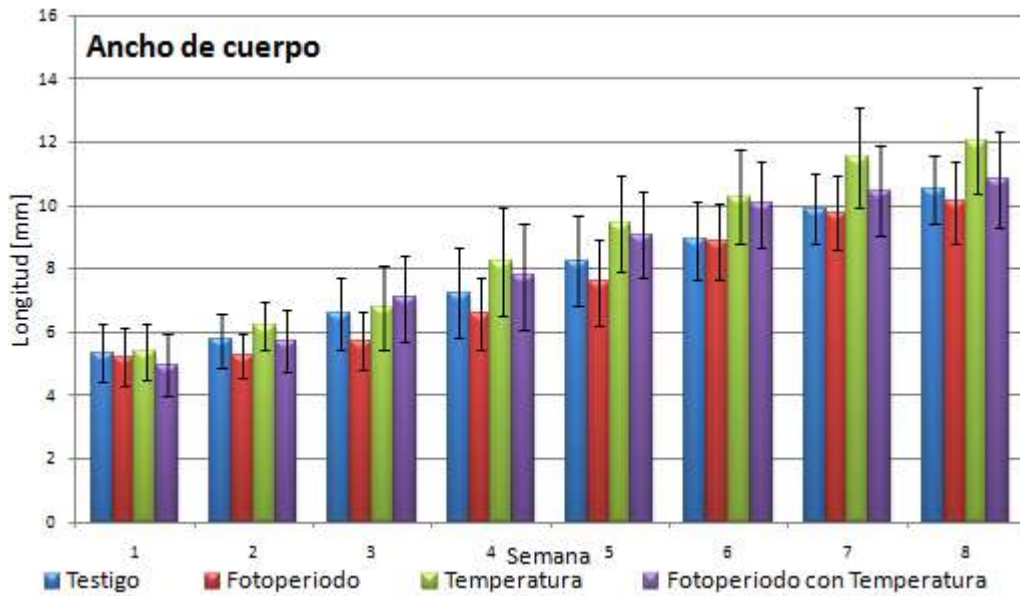


Figura 4.14. Ancho de cuerpo a lo largo del experimento

La Figura 4.15 muestra la tendencia del peso promedio individual a lo largo del experimento. Esta variable presenta diferencias significativas a simple vista en comparación con las variables anteriores, se observa claramente que los tratamientos con control de temperatura presentan un mayor crecimiento que aquellos que no lo tienen. También es notorio que la variable de fotoperiodo artificial tuvo un efecto negativo en el crecimiento de los organismos.

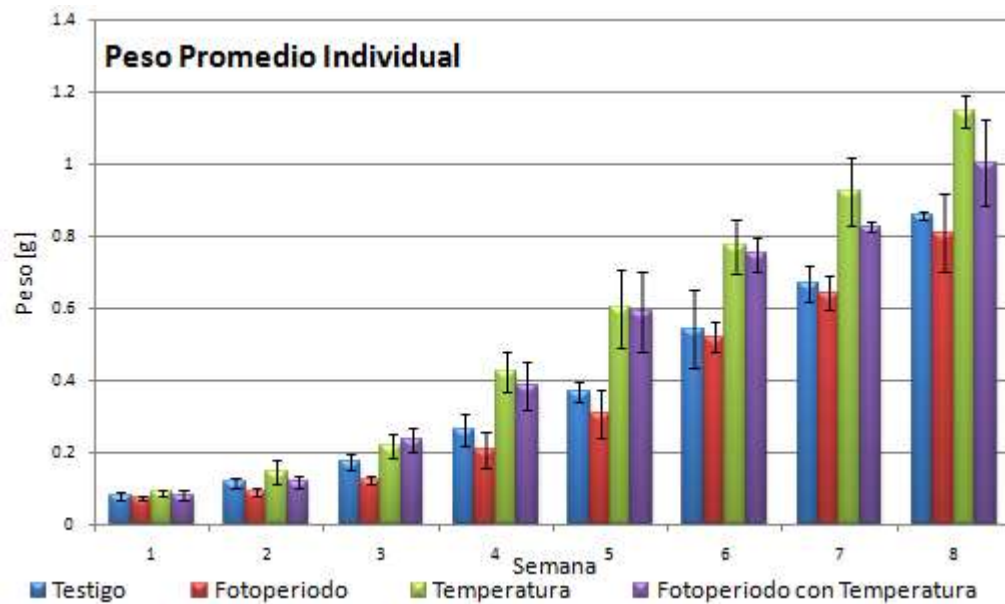


Figura 4.15. Peso promedio individual a lo largo del experimento

La Figura 4.16 muestra el índice de supervivencia de los cuatro tratamientos. El tratamiento que presentó un mayor porcentaje de supervivencia fue el de fotoperiodo con 36.21%. El tratamiento control presentó el nivel más bajo con 24.81%.

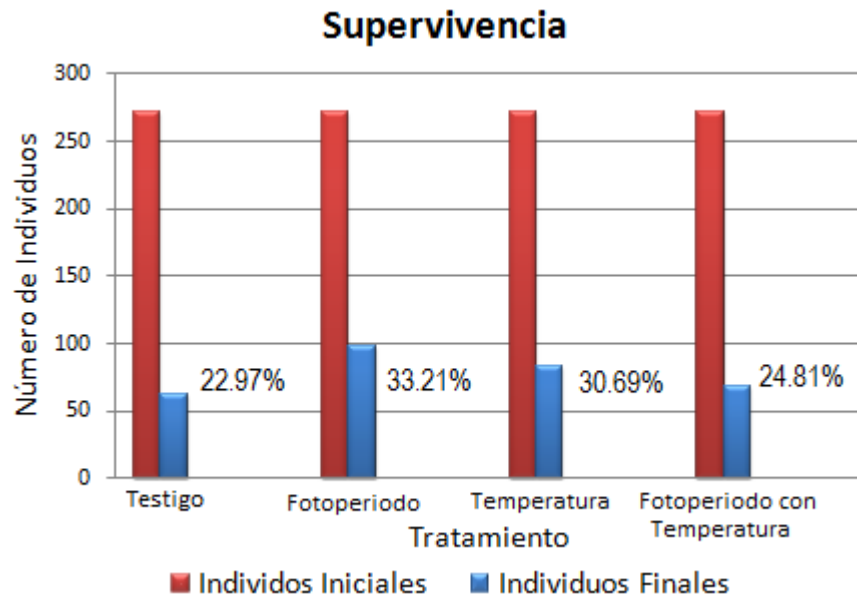


Figura 4.16 Número de individuos al inicio y al final del experimento en los cuatro tratamientos

4.5.2 Análisis de calidad de agua de los estanques

Los resultados de oxígeno disuelto se muestran en la Figura 4.17. Al principio del experimento la concentración varía un poco entre tratamientos pero al final se puede observar un comportamiento más homogéneo.

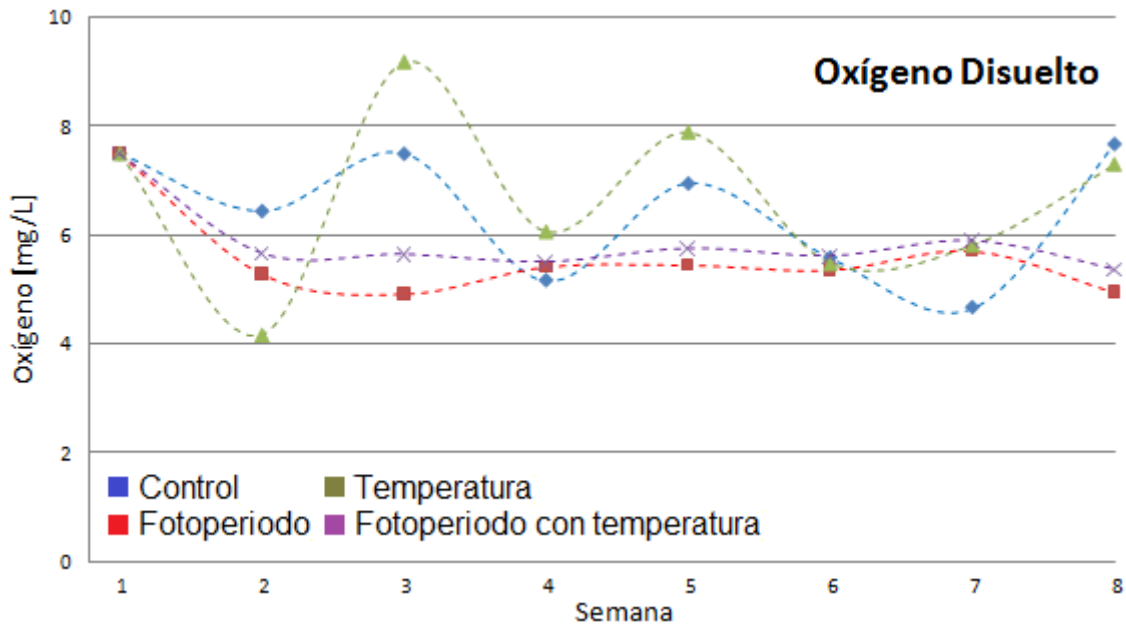


Figura 4.17. Comportamiento del oxígeno disuelto durante el experimento

Los resultados de pH se muestran en la Figura 4.18. El comportamiento del pH es homogéneo a lo largo de todo el experimento. El tratamiento que cuenta solo con control de temperatura muestra un ligero incremento a la mitad del periodo, pero se normaliza al final. La mayoría de los datos caen entre 8 y 10.

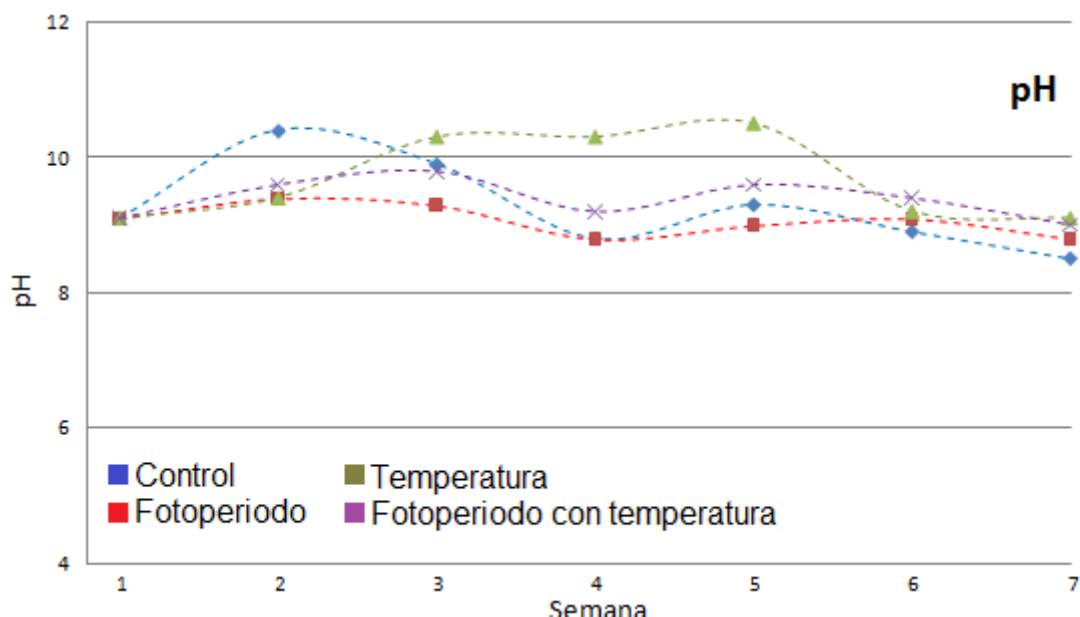


Figura 4.18. Comportamiento del pH durante el experimento

Los resultados de nitritos (NO_2) se muestran en la Figura 4.19. El comportamiento de nitratos no es homogéneo a lo largo del experimento. Los tratamientos que cuentan con control de fotoperiodo artificial muestran una mayor concentración que aquellos que cuentan con un fotoperiodo natural.

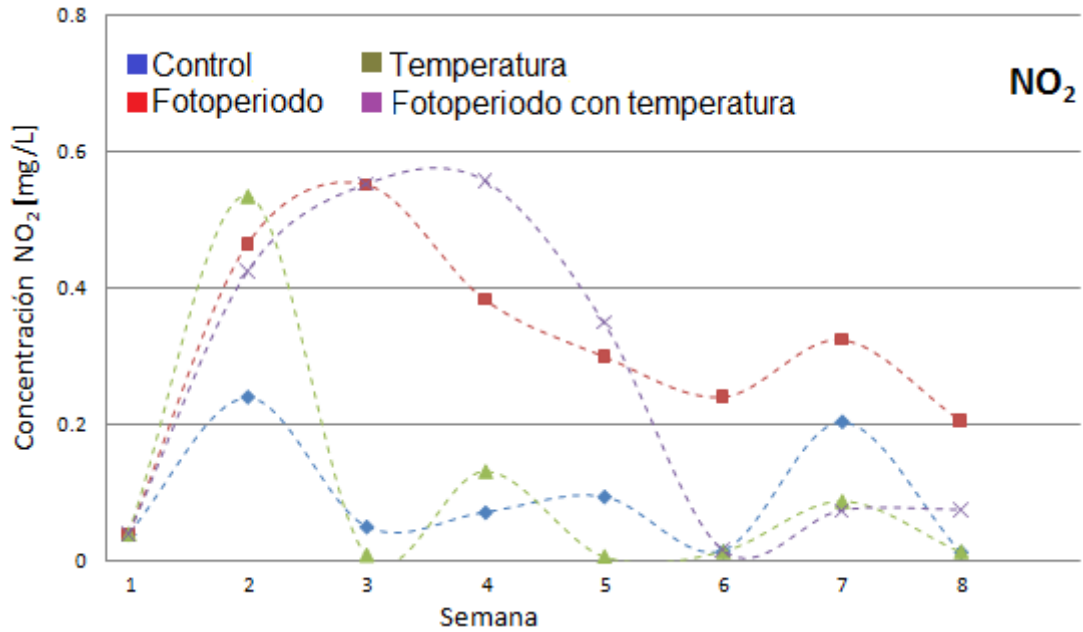


Figura 4.19. Comportamiento de NO₂ durante el experimento

Los resultados de nitratos (NO₃) se muestran en la Figura 4.20. El comportamiento de nitratos no es homogéneo a lo largo del experimento. Al igual que en la concentración de nitritos, los tratamientos que cuentan con control de fotoperiodo artificial muestran una mayor concentración que aquellos que cuentan con un fotoperiodo natural.

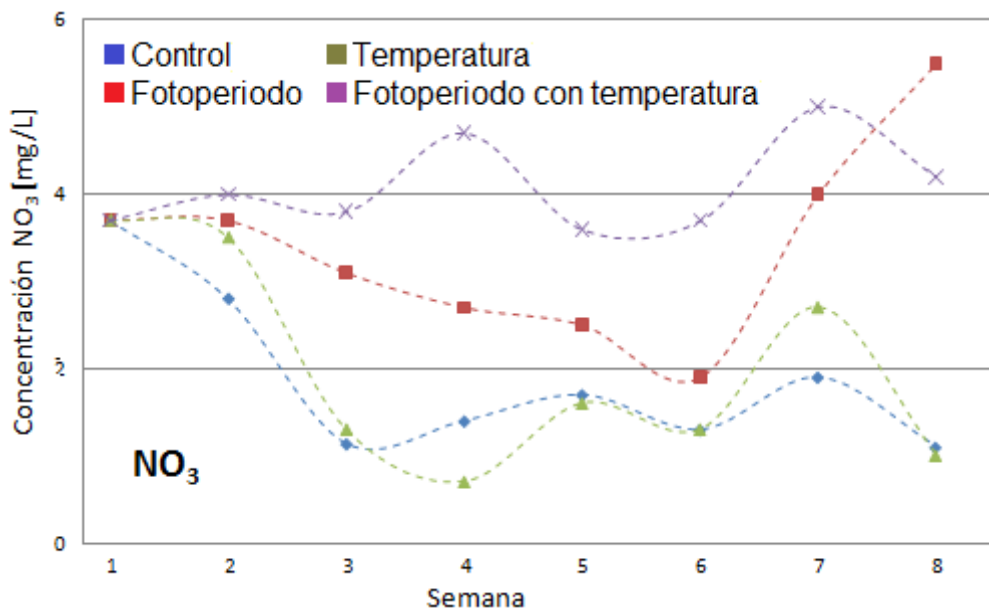


Figura 4.20. Comportamiento de NO₃ durante el experimento

Los resultados de nitratos (NH_4) se muestran en la Figura 4.21. El comportamiento de nitratos no es homogéneo a lo largo del experimento. Los tratamientos que contaron con control de temperatura mostraron menores niveles de concentración de amonio a aquellos que no contaban con él. El tener la temperatura controlada puede bajar los niveles de estrés en los renacuajos y por lo tanto, bajar su excreción de amonio en la orina.

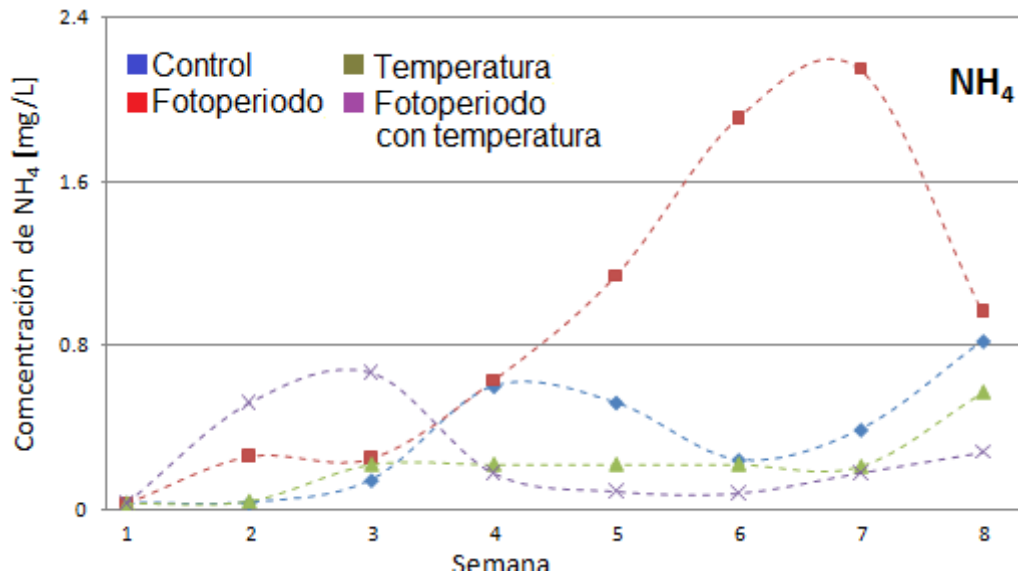


Figura 4.21. Comportamiento de NH_4 durante el experimento

La Figura 4.22 muestra el comportamiento de la temperatura de los estanques a lo largo del experimento y la Figura 4.23 muestra el comportamiento de la temperatura de los estanques los primeros dos días del experimento. Todos los estanques estuvieron forrados con una funda de FORTIFLEX. El tratamiento que presentó una mayor variación fue el testigo (línea azul) debido a que no presentaba ningún tipo de control. El tratamiento de fotoperiodo sin control de temperatura (línea roja) presentó un comportamiento más homogéneo debido a que además de la funda, el plástico negro con el que estaba cubierto, ayudaba a conservar el calor del agua. El tratamiento que contaba con control de temperatura y fotoperiodo (línea morada) muestra un control más suave que el que contaba solo con control de temperatura (línea verde) debido a la presencia de la cubierta de plástico negro que ayudó a la conservación de calor durante la noche, sin

embargo durante los últimos días influyó en el aumento de temperatura del estanque.

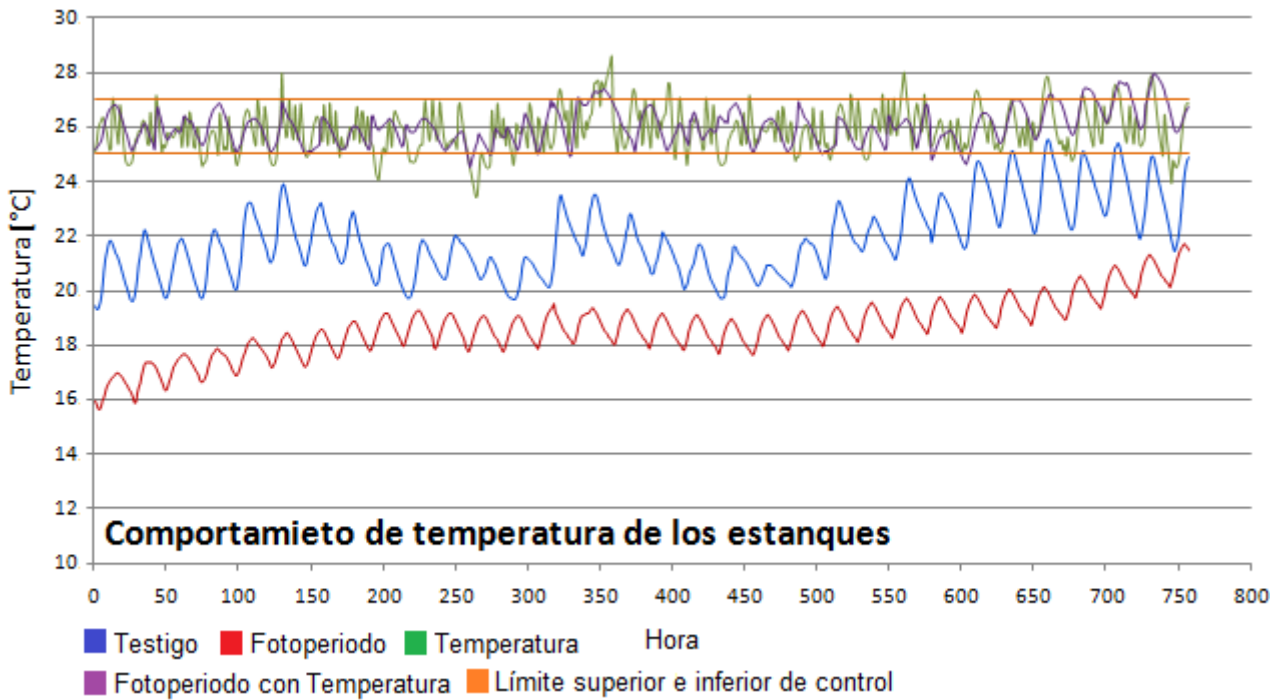


Figura 4.22. Comportamiento de la temperatura de los estanques a lo largo del experimento.

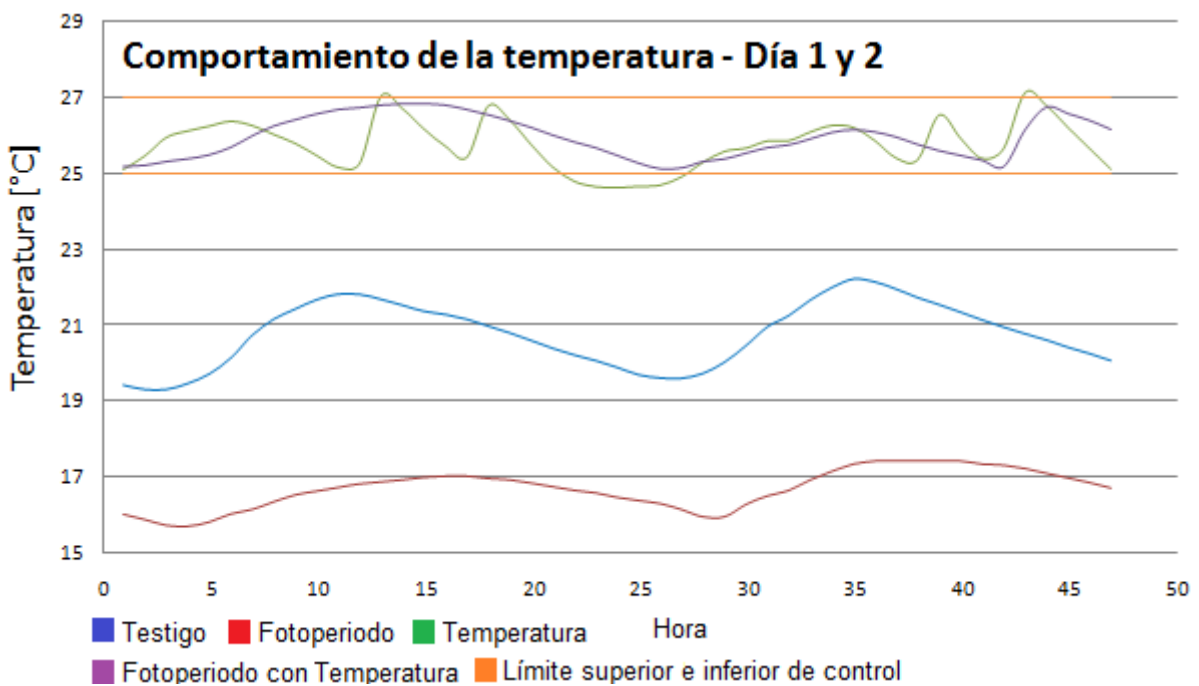


Figura 4.23. Comportamiento de la temperatura de los estanques en el día 1 y 2 del experimento.

La Figura 4.24 muestra el comportamiento de la radiación solar a lo largo del experimento. La Figura 4.24 muestra la radiación solar los días 23 y 24 de agosto (primeros dos días del experimento), en ella se puede observar que amanece aproximadamente a las 7:30 y que anochece a las 19:45, lo que equivale a una duración de fotoperiodo natural de 12 horas con 15 minutos. La duración de fotoperiodo artificial programada es de 10 horas de luz y 14 de oscuridad.

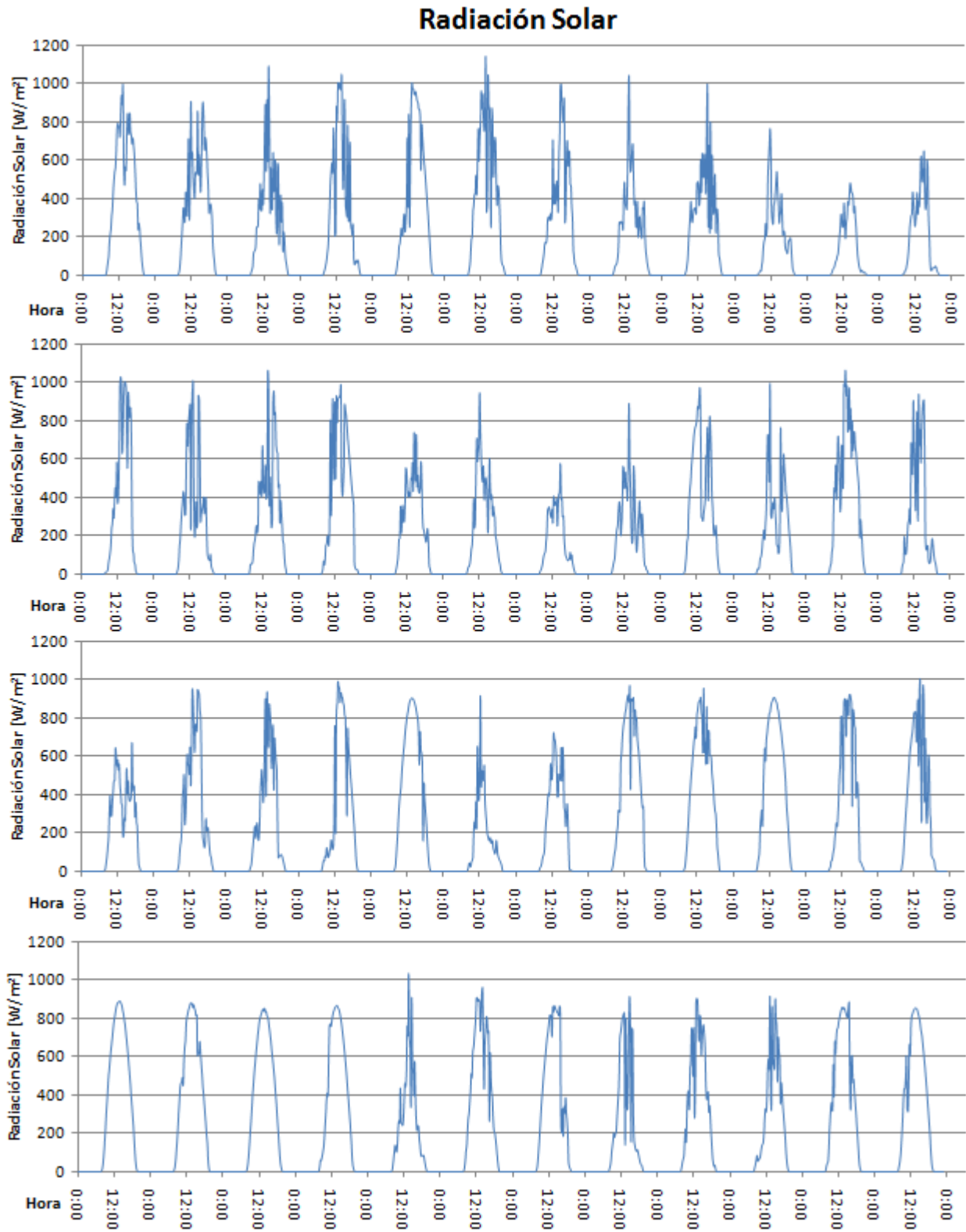


Figura 4.24. Radiación solar a lo largo del experimento.

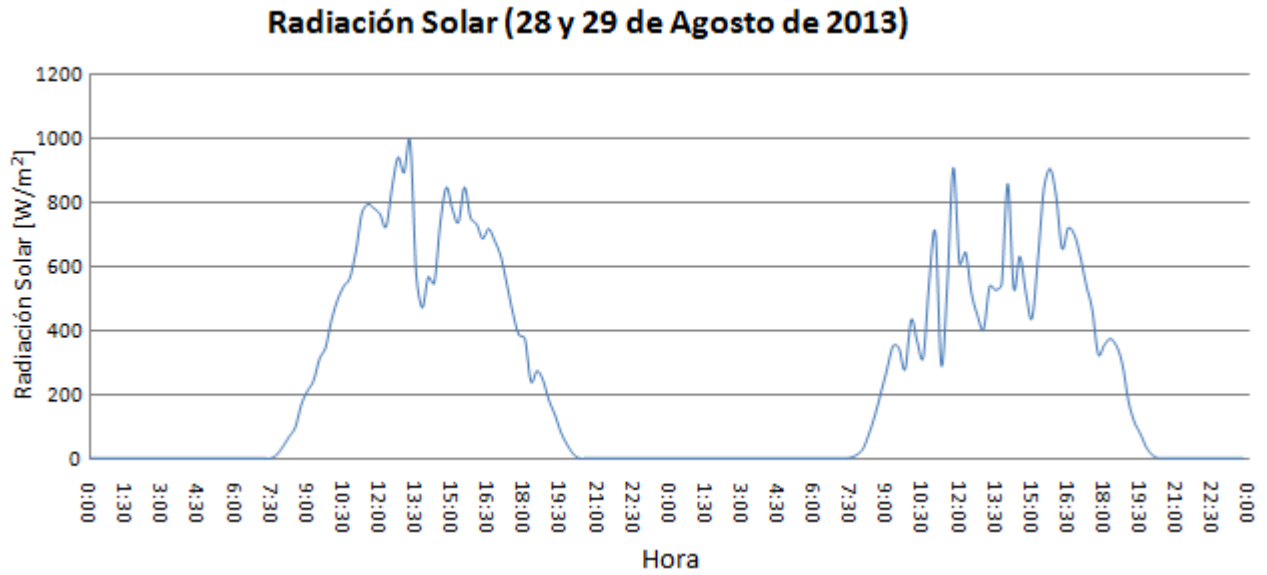


Figura 4.25. Radiación solar de los días 23 y 24 de Agosto. Fotoperiodo aproximado 12 horas con 15 minutos (de 7:30 a 19:45)

La Figura 4.26 muestra el comportamiento de la temperatura interna del invernadero y la Figura 4.27 muestra el comportamiento de la humedad relativa interna del invernadero.

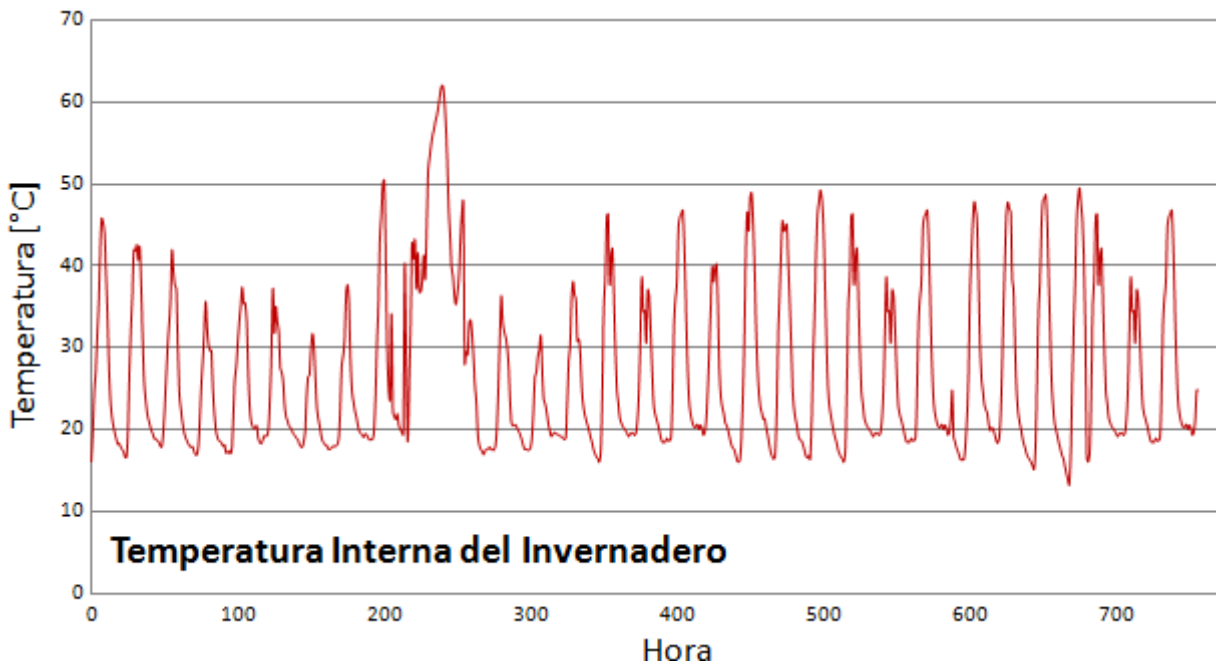


Figura 4.26. Comportamiento de la temperatura interna del invernadero

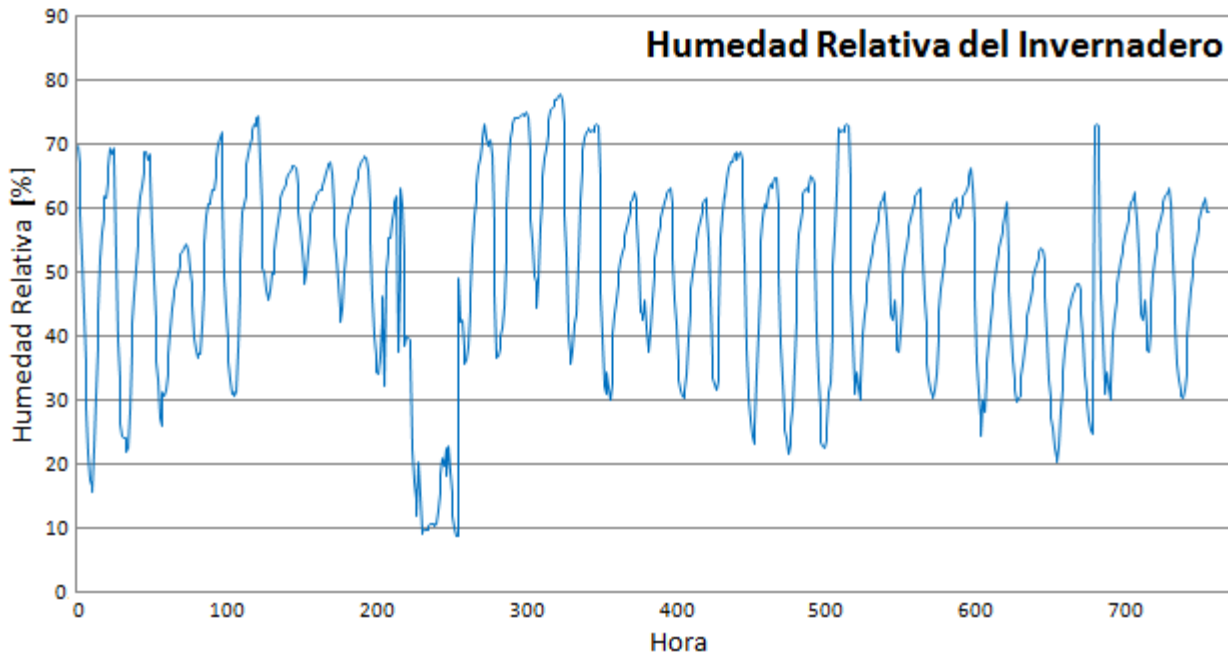


Figura 4.27. Comportamiento de la humedad relativa interna del invernadero

4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Longitud total del organismo

En el cuadro 4.2 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es la longitud total del renacuajo al inicio del experimento. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. Según la alineación no existen diferencias estadísticamente significativas entre los cuatro tratamientos. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Cuadro 4.2 Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “longitud total”. La alineación vertical de las X significa que no hay diferencias estadísticamente significativas.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo con temperatura	40	15.94	X
Fotoperiodo	40	16.24	X
Temperatura	40	16.76	X
Testigo	40	17.01	X

En el cuadro 4.3 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es la longitud total del renacuajo al final del experimento. Se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Se identificó que entre el tratamiento de fotoperiodo y de control no hay diferencia estadísticamente significativa. También se identificó que entre el tratamiento de temperatura y fotoperiodo con temperatura no hay diferencia estadísticamente significativa. Se encontró que los tratamientos que cuentan con control de temperatura muestran diferencia estadísticamente significativa con aquellos que no cuentan en él.

Cuadro 4.3. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “longitud total”. La alineación vertical de las X indica que los tratamientos que cuentan con control de temperatura muestran diferencia estadísticamente significativa con aquellos que no cuentan en él.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo	40	40.04	X
Testigo	40	41.22	X
Temperatura	40	44.73	X
Fotoperiodo con temperatura	40	45.34	X

La figura 4.28 muestra los valores de longitud total del renacuajo al inicio y al final del experimento. El análisis muestra que la longitud total de los renacuajos al inicio del experimento fue uniforme y que al final del experimento hay una diferencia significativa en los tratamientos que cuentan con el control de temperatura. Las

barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

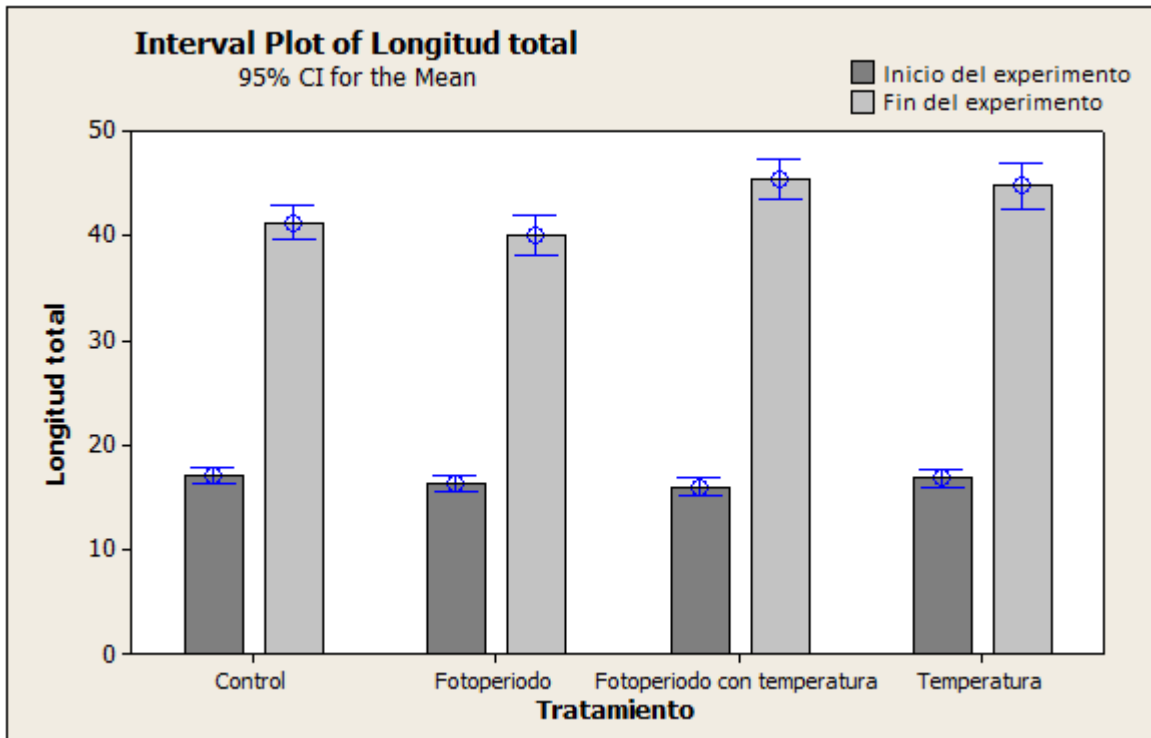


Figura 4.28. Las barras oscuras muestran la condición inicial para la longitud total del organismo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

4.6.2 Longitud de cuerpo

En el cuadro 4.4 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es longitud de cuerpo al inicio del experimento. Se identificaron 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. Se encontró que solo hay diferencia significativa entre el tratamiento de temperatura con el de fotoperiodo con temperatura.

Cuadro 4.4. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “longitud de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que hay diferencia significativa entre el tratamiento de temperatura con el de fotoperiodo con temperatura.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo con temperatura	40	7.93	X
Fotoperiodo	40	8.09	XX
Testigo	40	8.23	XX
Temperatura	40	8.48	X

En el cuadro 4.5 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es longitud de cuerpo al final del experimento. Se identificaron 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa. El tratamiento testigo no muestra diferencia estadística significativa con el tratamiento de fotoperiodo ni con el de fotoperiodo con temperatura.

Cuadro 4.5. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “longitud de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo	40	15.95	X
Testigo	40	16.37	XX
Fotoperiodo con temperatura	40	17.15	X
Temperatura	40	18.33	X

La figura 4.29 muestra los valores de longitud de cuerpo al inicio y al final del experimento. El análisis muestra que la longitud de cuerpo de los renacuajos al inicio del experimento presentó una ligera diferencia entre el tratamiento de temperatura y fotoperiodo con temperatura y que al final del experimento el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa. El tratamiento testigo no muestra diferencia

estadística significativa con el tratamiento de fotoperiodo ni con el de fotoperiodo con temperatura. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

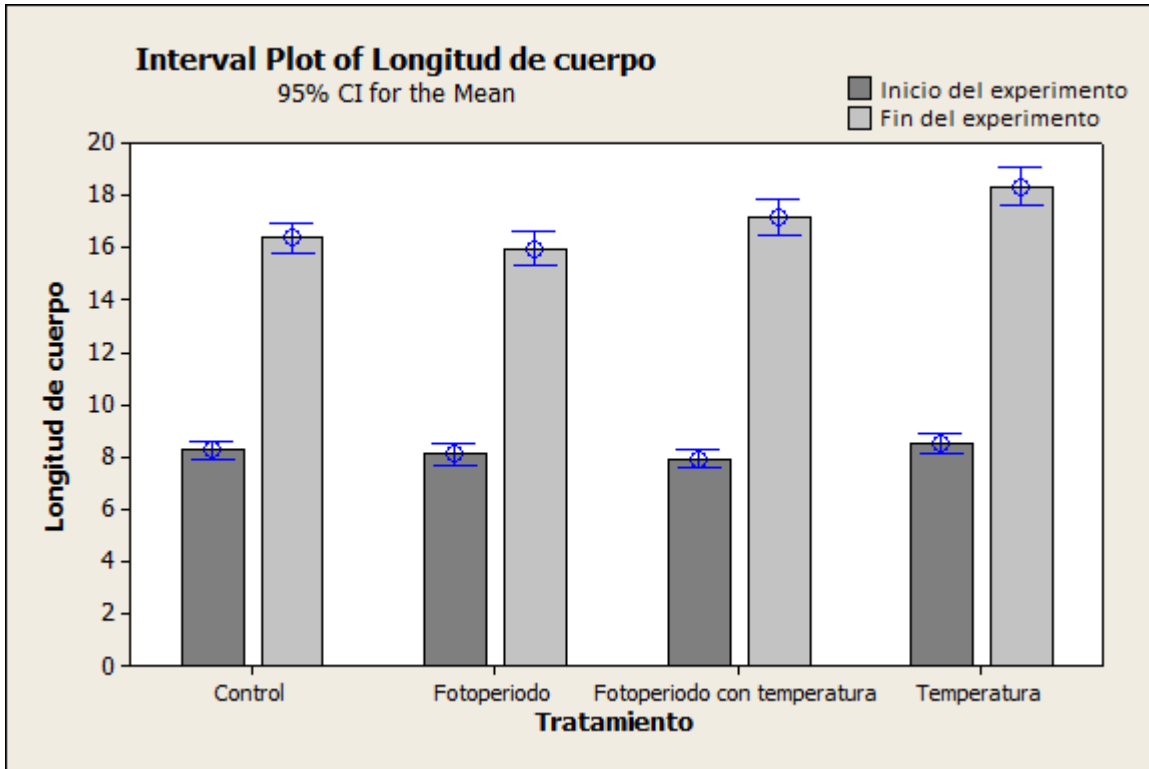


Figura 4.29. Las barras oscuras muestran la condición inicial para la longitud de cuerpo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

4.6.3 Ancho de cuerpo

En el cuadro 4.6 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es ancho de cuerpo al inicio del experimento. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Cuadro 4.6. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “ancho de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que no hay diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo con temperatura	40	4.96	X
Fotoperiodo	40	5.21	X
Testigo	40	5.33	X
Temperatura	40	5.36	X

En el cuadro 4.7 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es ancho de cuerpo al final del experimento. Se identificaron 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa. El tratamiento testigo no muestra diferencia estadística significativa con el tratamiento de fotoperiodo ni con el de fotoperiodo con temperatura.

Cuadro 4.7. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “ancho de cuerpo”. La alineación vertical de las X indica que el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo	40	10.11	X
Testigo	40	10.50	XX
Fotoperiodo con temperatura	40	10.83	X
Temperatura	40	12.03	X

La figura 4.30 muestra los valores de ancho de cuerpo al inicio y al final del experimento. El análisis muestra que el ancho de cuerpo de los renacuajos al inicio del experimento no presentó diferencias estadísticamente significativas y que al final del experimento el tratamiento de fotoperiodo, fotoperiodo con temperatura y temperatura muestran una diferencia estadística significativa. El tratamiento testigo no muestra diferencia estadística significativa con el tratamiento de fotoperiodo ni con el de fotoperiodo con temperatura. Las barras de

error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

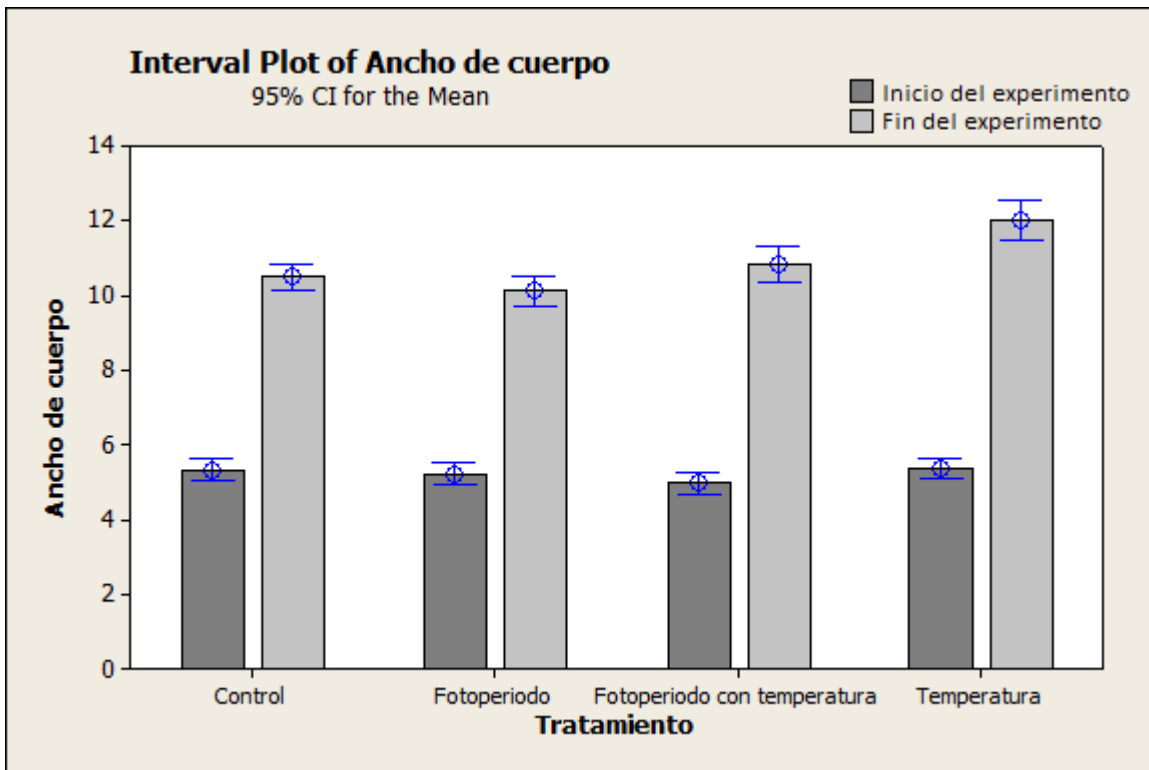


Figura 4.30. Las barras oscuras muestran la condición inicial para ancho de cuerpo y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

4.6.4 *Peso promedio individual*

En el cuadro 4.8 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es peso promedio individual al inicio del experimento. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se identificaron 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 4.8. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones iniciales del experimento de la variable “peso promedio individual”. La alineación vertical de las X indica que todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo	40	0.0732	X
Testigo	40	0.0777	X
Fotoperiodo con temperatura	40	0.0807	X
Temperatura	40	0.0882	X

En el cuadro 4.9 se muestra la aplicación de un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La variable evaluada es peso promedio individual al final del experimento. Se identificaron 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. Todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 4.9. Análisis de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para las condiciones finales del experimento de la variable “peso promedio individual”. La alineación vertical de las X indica que todos los tratamientos muestran diferencia estadísticamente significativa.

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Fotoperiodo	40	0.8093	X
Testigo	40	0.8553	X
Fotoperiodo con temperatura	40	1.0034	X
Temperatura	40	1.1447	X

La figura 4.31 muestra los valores de peso promedio individual al inicio y al final del experimento. El análisis muestra que el peso promedio individual de los renacuajos al inicio y al final del experimento presentó diferencias estadísticamente significativas. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

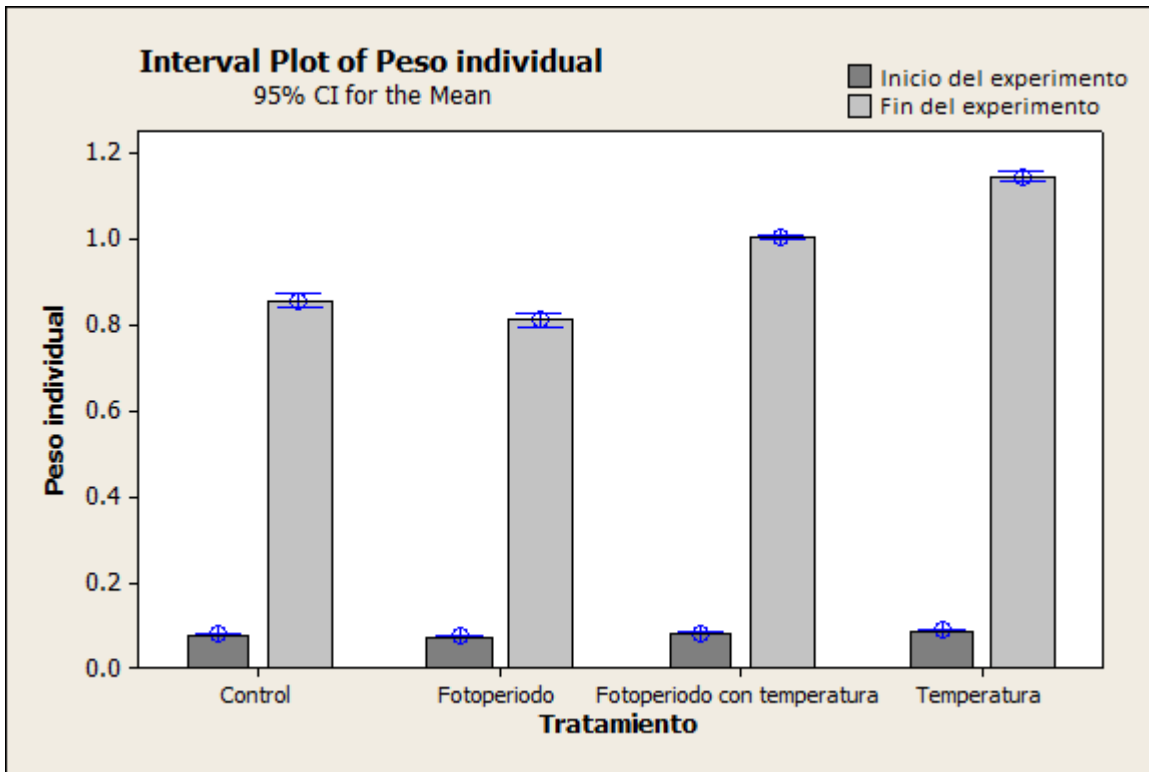


Figura 4.31. Las barras oscuras muestran la condición inicial para peso promedio individual y las barras claras muestran la condición final. Las barras de error en parte la parte superior de las barras muestran desviación estándar con un nivel de significancia del 95% de confianza.

4.7 Costo de producción del sistema

El cuadro 4.8 muestra el material utilizado y el costo para la producción del sistema de incubación de renacuajos de rana toro presentado en este documento. Se construyeron 4 intercambiadores de calor y 4 lámparas para la repetición de los tratamientos. El sistema es capaz de controlar la temperatura y el fotoperiodo de 4 estanques de 400 l.

Cuadro 4.10 Descripción detallado del costo de producción del sistema de incubación de renacuajos basados en el control de temperatura y fotoperiodo artificial para 4 estanques de 400

l c/u

Descripción	Unidades	Precio Unitario	Precio Total
Calentador Solar 180 litros Marca Bicentenario	1	\$8,000.00	\$8,000.00
Bomba sumergible para cisterna 0.5 hp Marca EVANS	1	\$1,950.00	\$1,950.00
Tinaco 600 litros Rotoplas	1	\$1,200.00	\$1,200.00
Tnaco 250 litros Rotoplas	1	\$670.00	\$670.00
Funda para estanque 67x98x63 Fortiflex	4	\$460.00	\$1,840.00
Tubo negro metálico C40 liso 3/4" tramo	4	\$329.00	\$1,316.00
Adaptador hembra CPVC 3/4"	80	\$8.25	\$660.00
Adaptador macho CPVC 3/4"	12	\$4.50	\$54.00
Adaptador macho CPVC 1"	2	\$18.00	\$36.00
Pegamento WELD-ON T-747 para PVC	1	\$113.00	\$113.00
Red bushing galvanizado 3/4"	10	\$20.25	\$202.50
Codo CPVC 3/4"	100	\$3.50	\$350.00
Cople CPVC 3/4"	7	\$3.00	\$21.00
Tee de CPVC 3/4"	10	\$7.00	\$70.00
Niple galvanizado C40 1x12"	3	\$38.25	\$114.75
Niple galvanizado C40 1x6"	1	\$17.93	\$17.93
Niple galvanizado C40 11/2x6"	1	\$49.75	\$49.75
Válvula Esfera CPVC 3/4"	10	\$92.00	\$920.00
Válvula Esfera CPVC 1/2"	1	\$78.00	\$78.00
Adaptador hembra CPVC 1/2"	2	\$7.00	\$14.00
Tubo de CPVC 3/4" tramo de 6 m	20	\$38.15	\$763.00
Caja termoplástica 14x16x5.8	4	\$95.00	\$380.00
Contactador 3P. 16A. 24 VAC	1	\$623.00	\$623.00
Caja termoplástica (integración de coponentes)	1	\$379.00	\$379.00
Electroválvulas con solenoide 24 VAC	5	\$300.00	\$1,500.00
Led de alta intensidad. Luz Blanca. 70°	360	\$3.50	\$1,260.00
Pantalla táctil cpacitiva 4.3" 4D SYSTEMES 43PCT	1	\$2,480.00	\$2,480.00
Cable programación para pantalla táctil	1	\$285.00	\$285.00
Transformador 110 VAC - 24 VAC 3 A	1	\$250.00	\$250.00
Transformador 110 VAC - 12 VAC 5 A	1	\$272.00	\$272.00
Relevador 5 VCD	6	\$12.50	\$75.00
Mosfet IRFZ44N	4	\$11.00	\$44.00
Cable calibre 22 (rojo y negro) - metros	50	\$2.00	\$100.00
Placa fenólica 15x20	6	\$26.00	\$156.00

Disipador de calor	6	\$10.00	\$60.00
Sensor de temperatura LM35	10	\$18.00	\$180.00
Resistencia 10W 47 Ohm	8	\$5.00	\$40.00
Microcontrolador 18F4550 montaje superficial	2	\$77.50	\$155.00
Pantalla LCD16X2	1	\$110.00	\$110.00
Electrónica varios construcción de placas (Resistencias, Capacitores, clemas, RTC, cristal, push button, etc)	1	\$500.00	\$500.00
Total			\$27,288.93

4.8 Conclusión

Los objetivos de este proyecto se cumplen satisfactoriamente. Se desarrolló un sistema de control de temperatura y de fotoperiodo artificial para renacuajo de rana toro. El sistema mantiene la temperatura $\pm 1^{\circ}\text{C}$ del setpoint seleccionado por el usuario. La lámpara es capaz de simular el atardecer y el amanecer al prender y apagar progresivamente. Para la interfaz de usuario se implementó una pantalla táctil capacitiva la cual cuenta con las herramientas para generar el datalogger del sistema. Para el desarrollo de este proyecto se construyeron tres placas (control, potencia y fuente de alimentación), es así que se propone la integración de las mismas en una sola placa como se observa en la Figura 4.32. Los tratamientos que presentaron mejores parámetros de crecimiento fueron los que contaban con control de temperatura. El fotoperiodo artificial influyó negativamente en el crecimiento de los renacuajos. Sin embargo, el tratamiento que presentó mayor nivel de supervivencia fue el de fotoperiodo. Los tratamientos con control de fotoperiodo muestran mayores niveles de nitritos y nitratos en el agua. Los tratamientos con control de temperatura muestran menores niveles de amonio en el agua. Este trabajo coincide con De Seixas, et al. (2008) ya que reportan un crecimiento de 20.61 mm en los días 15 a 45, longitud que se alcanzó en la semana 2 (tomando en cuenta que los renacuajos tenían aproximadamente un mes de eclosionados); sin embargo, no se llegó al peso que ellos reportan de 45 al 60 con 3.98 ± 0.18 g.

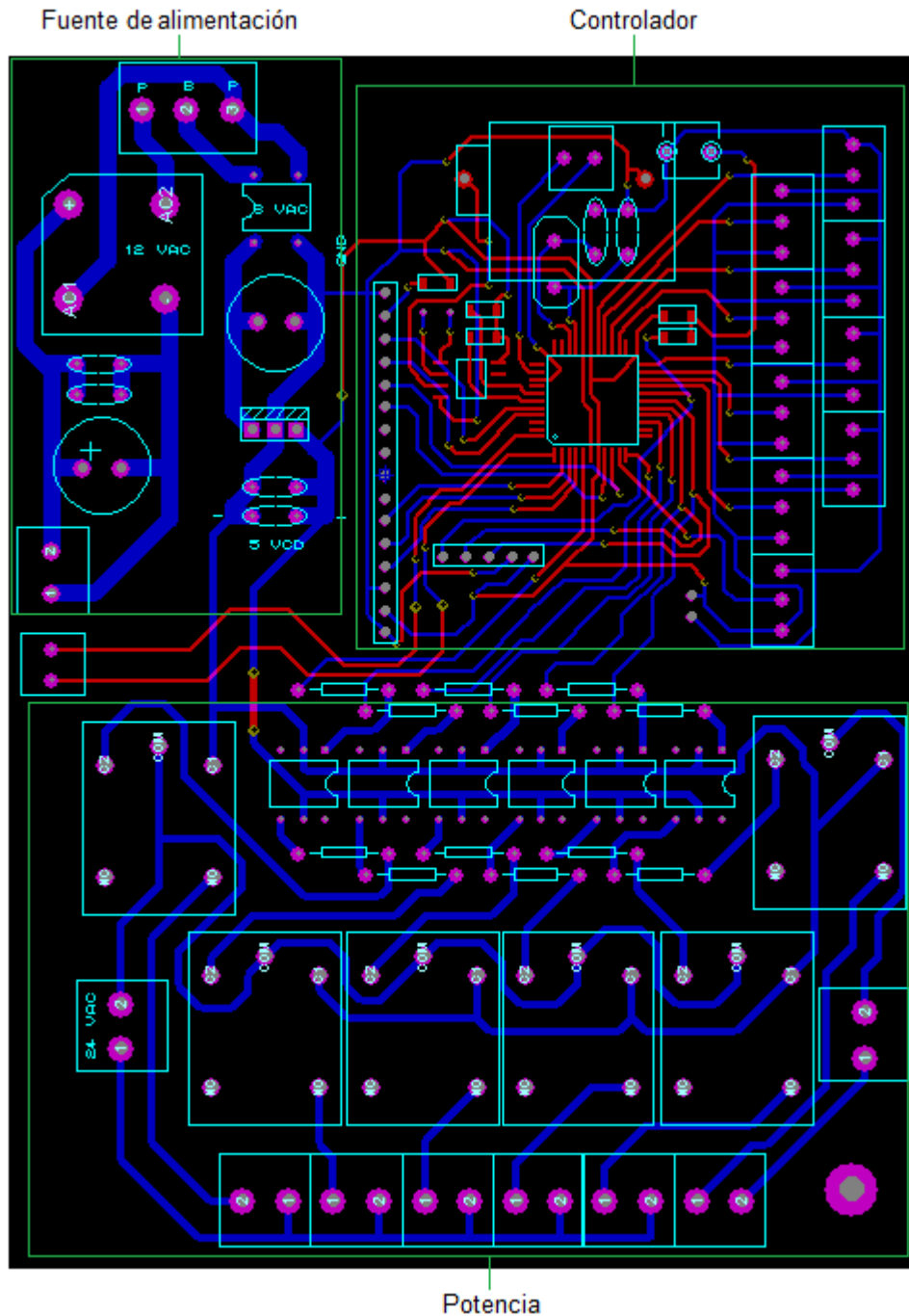


Figura 4.32. Integración de controlador, potencia y fuente de alimentación en una sola placa.

5. Referencias

Aguilar IV.V. 1970 "El Cultivo de la Rana en México". III Congreso Nacional de Medicina Veterinaria y Zootecnia; pp. 1-7.

Aguirre-Becerra Humberto, Munguía-Fragozo Perla V., García-Trejo Juan F., Soto-Zarazúa Genaro M., Rico-García Enrique. "Revisión de desarrollo tecnológico en acuicultura y sus posibles aplicaciones en ranicultura". 9º Congreso Internacional de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. México. 2013. ISBN: 978-607-513-050-7

Albarran Dante, Guerrero Victor, Maldonado Emilio, Pineda Kevin, Villegas Andrés. "Tecnología Táctil"; 8D Evolución 18 Informe De Nuevas Tecnologías. 2012. Colegio Salesiano, Puerto Montt.

Alvin Wong. "Pantallas táctiles capacitivas requieren tecnología innovadora para ampliar el mercado". Integrated Device Technology. IDT. Marzo 2011.

Angilleta JJ Jr. 2001. Variation in metabolic rate between populations of a geographically widespread lizard. *Physiol. Biochem. Zool.* 74:11–21

B. Schierwater and C. Hauenschild. 1990. "A Photoperiod Determined Life-Cycle in an Oligochaete Worm"; Zoologisches Institut der Technischen Universitaet, Pockelsstr. IOa, 3300 Braunschweig, West Germany, *Biol. Bull.* 178: I II-1 17.

Briseño D. 2007. Finsat. "Cultivo de rana toro, negocio con potencial". Info-Rural. México

C.I.M. Martins, E.H. Eding, M.C.J. Verdegem, L.T.N. Heinsbroek, O. Schneider, J.P. Blancheton, E. Roque d'Orbcastel, J.A.J. Verreth. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering, ELSEVIER.* Volume 43, Issue 3, Pages 83-93

De Seixas F. T. J., Almeida O. M. G., De Souza M. G., Ribeiro G. S. L., Teixeira A. L. E., Nogueira S. L. 2008. "Desempenho e atividades enzimáticas em girinos de ra-touro"; Centro Universitário Augusto Motta, Laboratório de Pesquisa em Biologia. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira.* ISSN 0100-204X. Rio de Janeiro, Brasil.

Cecchetto B. A., De Seixas F. J. T., Almada T.L., Yoshii O. L. M. 2008. Efeito do Fotoperíodo sobre o Desenvolvimento de Girinos de Rã-touro (*Rana catesbeiana* Shaw, 1802) *R. Bras. Zootec.*

Creus Solé, Antonio. "Instrumentación industrial". 6º Edición. ED. Alfaomega marcombo. 1997. Barcelona, España.

De Vlaming VL, Bury RB. 1970. Thermal selection in tadpoles of the tailed-frog, *Ascaphus truei*. *J. Herpetol.* 4:179–89

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "The state of world fisheries and aquaculture". 2012, Roma, Italia. ISSN 1020-5489. FAO Fisheries and Aquaculture Department.

Grahm TE, Hutchison VH. 1979. Effect of temperature and photoperiod acclimatization on thermal preferences of selected freshwater turtles. *Copeia* 1979:165–69

González J.J. S/F. "La reina de los pantanos"; S/FR: 5-9 pp.

H. Charles J. Godfray, John R. Beddington, Ian R. Crute, Lawrence Haddad, David Lawrence, James F. Muir, Jules Pretty, Sherman Robinson, Sandy M. Thomas, Camilla Toulmin. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Vol. 327 no. 5967 pp. 812-818 DOI: 10.1126/science.1185383

Hutchison VH, Maness JD. 1979. The role of behavior in temperature acclimation and tolerance in ectotherms. *Am. Zool.* 19:367–84

Idyll, C.P. 1974 Capacitación en Acuicultura: México. Progr. de Invest. y Fom. Pesq. México/ PNUD/FAO. Contribuciones al estudio de las pesquerías de México. CEPM: 12.

Joose J. 1984. Photoperiodicity, rhythmicity and endocrinology of reproduction in the snail *Lymnaea stagnalis*. In *Photoperiodic Regulation of Insect and Molluscan Hormones*, pp. 204–20, ed. R Porter, GM Collins. London: Pitman

Kosh RJ, Hutchison VH. 1968. Daily rhythmicity of temperature tolerance in eastern painted turtles, *Chrysemys picta*. *Copeia* 1968:244–46

Lashbrook MK, Livezey RL. 1970. Effects of photoperiod on heat tolerance in *Sceloporus occidentalis occidentalis*. *Physiol. Zool.* 43:38–46

Laurila A, Pakkasmaa SMJ, Merila J. 2001. Influence of seasonal time constraints on growth and development of common frog tadpoles: a photoperiod experiment. *Oikos* 95:451–60

Lili. A. Muñoz. & Pineda Velázquez. G. 2001. “Manual de Producción Comercial de Rana Toro – Instructivo para Productores” Consultoría de Desarrollo en Acuicultura. SEDAGRO. México

Lutz, G. & Jimmy L. Avery. 1999. “Bullfrog Culture”. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 436.

Mijares-Urrutia, Abraham. “Los renacuajos de los anuros (Amphibia) altoandinos de Venezuela: Morfología externa y claves”. ISSN 0034-7744. *Rev. biol. trop* vol.46 no.1 San José mar. 1998

National Instruments; “Serial Communication General Concepts”; Knowledge Base; Report Date: 10/06/1999; Last Updated: 25/01/2013; Document ID: 1M9E1L6Q Disponible en:

<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/2AD81B9060162E708625678C006DFC62>

Fecha de acceso: 05/05/13

Pat Willmer, Graham Stone, Ian Johnston; “Environmental Physiology of animals”; Second Edition; Blackwell Science Ltd; 2000, 2005.

Rastogi RK, Iela L, Saxena PK, Chieffi G. 1976. The control of spermatogenesis in the green frog, *Rana esculenta*. *J. Exp. Zool.* 196:151–66

Reis P. M. S. 2005. Ranicultura em América Latina. Boletín del Capítulo Latinoamericano & del Caribe de la Sociedad Mundial de Acuicultura.

Rivera Mejía, José. “Instrumentación”. ED. Trillas. 2007. México.

Robledo G. 2004. Avances sobre tecnologías y progresos en ranicultura en Argentina. Resumen de la exposición efectuada durante el Seminario Internacional de Acuicultura de Aguas cálidas-templadas; CFI-Gobierno de Formosa – Dirección de Acuicultura (SAGPyA).

Santos D., De Lara J., Muñoz F., Núñez B. J. F., Beaz. P. J. D. 2004. “Nuevas Tecnologías en Estructuras y Equipos para Acuicultura Artículo Técnico”. Trabajo presentado en las XLII Sesiones Técnicas de Ingeniería Naval. Valencia. España

Uller T, Olsson M. 2003. Life in the land of the midnight sun: Are northern lizards adapted to longer days? *Oikos* 101:317–22

Wayne Tomasi; “Sistemas de comunicaciones electrónicas”; Cuarta Edición; DeVry Institute of Technology, Phoenix , Arizona. ED. Prentice Hall. 2003.

William E. Bradshaw and Christina M. Holzapfel. “Evolution of Animal Photoperiodism” Center for Ecology and Evolutionary Biology, University of Oregon, Eugene, Oregon 97403; *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2007. 38:1–25.

Wright ML, Jorey ST, Myers YM, Fieldstad ML, Paquette CM, Clark MB. 1988. Influence of photoperiod, daylength, and feeding schedule on tadpole growth and development. *Dev. Growth Differ.* 30:315–23

Anexos


```

txt_MoveCursor(5,23);
print("SP0="); print(SP0);
txt_MoveCursor(8,2);
print("AN1=");
print([CHR]receive[19]);print([CHR]receive[21]);print([CHR]rec
eive[20]);print([CHR]receive[22]);
txt_MoveCursor(8,23);
print("SP1="); print(SP1);
txt_MoveCursor(11,2);
print("AN2=");
print([CHR]receive[24]);print([CHR]receive[26]);print([CHR]rec
eive[25]);print([CHR]receive[27]);
txt_MoveCursor(11,23);
print("SP2="); print(SP2);
txt_MoveCursor(14,2);
print("AN3=");
print([CHR]receive[29]);print([CHR]receive[31]);print([CHR]rec
eive[30]);print([CHR]receive[32]);
txt_MoveCursor(14,23);
print("SP3="); print(SP3);
txt_MoveCursor(17,2);
print("AN4=");
print([CHR]receive[34]);print([CHR]receive[36]);print([CHR]rec
eive[35]);print([CHR]receive[37]);
txt_MoveCursor(17,23);
print("SP4="); print(SP4);
txt_MoveCursor(20,2);
print("AN5=");
print([CHR]receive[39]);print([CHR]receive[41]);print([CHR]rec
eive[40]);print([CHR]receive[42]);
txt_MoveCursor(20,23);
print("SP5="); print(SP5);
txt_MoveCursor(23,2);
print("AN6=");
print([CHR]receive[44]);print([CHR]receive[46]);print([CHR]rec
eive[45]);print([CHR]receive[47]);
txt_MoveCursor(26,2);
print("AN7=");
print([CHR]receive[49]);print([CHR]receive[51]);print([CHR]rec
eive[50]);print([CHR]receive[52]);
txt_MoveCursor(29,2);
print("AN8=");
print([CHR]receive[54]);print([CHR]receive[56]);print([CHR]rec
eive[55]);print([CHR]receive[57]);
repeat
ch := serin1();
if (ch != -1)
duerme:=0;
gfx_Contrast(9);
asig := 0;
if(ch == "**")
while(ch!='-')
//print([CHR]ch);
file_Mount();
archivo := file_Open("DL01.docx", 'a');
file_PutC(ch,archivo);
file_Close(archivo);
file_Unmount();
receive[asig] := ch;
ch:= serin1();
asig++;
wend

com1_Reset();
com_SetBaud(COM1, 960);
com1_Init(combuf, 240, 0);
endif
e := 0;
endif
if(e==0)
VA0 := ((receive[14]-48)*100)+((receive[16]-
48)*10)+(receive[17]-48);
VA1 := ((receive[19]-48)*100)+((receive[21]-
48)*10)+(receive[22]-48);
VA2 := ((receive[24]-48)*100)+((receive[26]-
48)*10)+(receive[27]-48);
VA3 := ((receive[29]-48)*100)+((receive[31]-
48)*10)+(receive[32]-48);
VA4 := ((receive[34]-48)*100)+((receive[36]-
48)*10)+(receive[37]-48);
VA5 := ((receive[39]-48)*100)+((receive[41]-
48)*10)+(receive[42]-48);
VA6 := ((receive[44]-48)*100)+((receive[46]-
48)*10)+(receive[47]-48);
VA7 := ((receive[49]-48)*100)+((receive[51]-
48)*10)+(receive[52]-48);
VA8 := ((receive[54]-48)*100)+((receive[56]-
48)*10)+(receive[57]-48);
//print(VA0); print(" "); print([CHR]receive[14]);
print([CHR]receive[16]); print([CHR]receive[17]); print(" ");
e :=1;
AN0[vectpos+3] := VA0/10;
AN1[vectpos+3] := VA1/10;
AN2[vectpos+3] := VA2/10;
AN3[vectpos+3] := VA3/10;
AN4[vectpos+3] := VA4/10;
AN5[vectpos+3] := VA5/10;
AN6[vectpos+3] := VA6/10;
AN7[vectpos+3] := VA7/10;
AN8[vectpos+3] := VA8/10;
vectpos++;
if(vectpos==15)
vectpos:=0;
endif
goto Actualiza;
endif
state := touch_Get(TOUCH_STATUS);
if (state == TOUCH_PRESSED)
duerme:=0;
gfx_Contrast(9);
na0 := img_Touched(imgBAN, -1);
ns0 := img_Touched(imgBSP, -1);
manual := img_Touched(imgManual, -1);
reloj := img_Touched(imgReloj, -1);

if(reloj != -1)
tec := 1;
Teclado();
endif
if(manual != -1)
Pmanual();
endif
if(ns0 != -1)
tec := 0;
Teclado();

```

```

endif
if(na0 != -1)
    historial();
endif
endif
pause(100);
duerme++;
if(duerme==200)
    gfx_Contrast(0);
endif
forever
endfunc

func Pmanual()
    gfx_Cls();
    gfx_BGcolour(0x0000);
    file_Mount();
    imgAuto := file_LoadImageControl("Automat.dat",
"Automat.gci", 0);
    imgPmanual := file_LoadImageControl("Pmanual.dat",
"Pmanual.gci", 0);
    img_SetPosition(imgAuto, -1, 5, 40);
    img_Show(imgAuto,ALL);
    img_SetPosition(imgPmanual, -1, 5, 120);
    img_Show(imgPmanual,ALL);
    file_Unmount();
        SPser[27]:='1';    SPser[26]:='0';
        SPser[25]:='0';    SPser[24]:='0';
        SPser[23]:='0';    SPser[22]:='0';
        SPser[21]:='0';
        while (i<=28)
            serout1(SPser[i]);
            i++;
        wend
        i:=0;
        while (i<=28)
            serout1(SPser[i]);
            i++;
        wend
    pause(1000);
    txt_Width(1);
    txt_Height(1);
    txt_FGcolour(0xFFFF);
    txt_MoveCursor(1,3);
    print("Toque para prender o apagar");
    txt_MoveCursor(13,12); print("E1");
    txt_MoveCursor(22,12); print("E2");
    txt_MoveCursor(31,12); print("E3");
    txt_MoveCursor(10,19); print("E4");
    txt_MoveCursor(19,19); print("CA");
    txt_MoveCursor(29,18); print("BMB");

repeat
    Ciclo:
    state := touch_Get(TOUCH_STATUS);
    x := touch_Get(TOUCH_GETX);
    y := touch_Get(TOUCH_GETY);
    SPser[28]:='0';
    if (state == TOUCH_PRESSED)
        auto := img_Touched(imgAuto, -1);
        if(auto != -1)
            SPser[27]:='0';    SPser[26]:='0';

```

```

SPser[25]:='0';    SPser[24]:='0';
SPser[23]:='0';    SPser[22]:='0';
SPser[21]:='0';
while (i<=26)
    serout1(SPser[i]);
    i++;
wend
i:=0;
while (i<=26)
    serout1(SPser[i]);
    i++;
wend
pant_var();
endif
if(x>8 && x<90 && y>150 && y<245 && E1==0)
    E1:=1;
    txt_MoveCursor(14,12);
    txt_FGcolour(0x0400);
    print("ON ");
    SPser[21]:='1';
    goto Envia;
endif
if(x>8 && x<90 && y>150 && y<245 && E1==1)
    E1:=0;
    txt_MoveCursor(14,12);
    txt_FGcolour(0xF800);
    print("OFF");
    SPser[21]:='0';
    goto Envia;
endif
if(x>8 && x<90 && y>260 && y<355 && E2==0)
    E2:=1;
    txt_MoveCursor(23,12);
    txt_FGcolour(0x0400);
    print("ON ");
    SPser[22]:='1';
    goto Envia;
endif
if(x>8 && x<90 && y>260 && y<355 && E2==1)
    E2:=0;
    txt_MoveCursor(23,12);
    txt_FGcolour(0xF800);
    print("OFF");
    SPser[22]:='0';
    goto Envia;
endif
if(x>8 && x<90 && y>370 && y<465 && E3==0)
    E3:=1;
    txt_MoveCursor(32,12);
    txt_FGcolour(0x0400);
    print("ON ");
    SPser[23]:='1';
    goto Envia;
endif
if(x>8 && x<90 && y>370 && y<465 && E3==1)
    E3:=0;
    txt_MoveCursor(32,12);
    txt_FGcolour(0xF800);
    print("OFF");
    SPser[23]:='0';
    goto Envia;
endif
endfunc
endif

```

```

E4==0) if(x>170 && x<250 && y>120 && y<220 &&
        serout1(SPser[i]);
        i++;
        wend
        goto Ciclo;
        endif
    forever
endfunc

func Teclado()
gfx_Cls();
gfx_BGcolour(0x0000);
file_Mount();
imgTeclado := file_LoadImageControl("Teclado.dat",
"Teclado.gci", 0);
img_SetPosition(imgTeclado, -1, 10, 150);
img_Show(imgTeclado,ALL);
file_Unmount();
pause(1000);
txt_Width(1);
txt_Height(1);
if(tec!=1)
posSP:=1;
txt_MoveCursor(2,3);
print("Seleccione SP");
txt_MoveCursor(4,3);
print("S1 S3 S2 S4 S5 S6 ");
txt_MoveCursor(9,2);
print("0 - 99");
txt_MoveCursor(11,2);
print("Sistema de control");
gfx_Line(20,98,40,98, 0xFFFF);
gfx_Line(60,98,80,98, 0xFFFF);
gfx_Line(100,98,120,98, 0xFFFF);
gfx_Line(140,98,160,98, 0xFFFF);
gfx_Line(180,98,200,98, 0xFFFF);
gfx_Line(220,98,240,98, 0xFFFF);
txt_MoveCursor(6,3);
txt_Width(1);
txt_Height(2);
else
posHF:=13;
txt_MoveCursor(2,2);
print("Introduzca Hora y Fecha");
txt_MoveCursor(11,2);
print("Sistema de control");
gfx_Line(30,98,65,98, 0xFFFF);
gfx_Line(78,98,113,98, 0xFFFF);
gfx_Line(126,98,161,98, 0xFFFF);
gfx_Line(174,98,209,98, 0xFFFF);
txt_Width(2);
txt_Height(2);
txt_MoveCursor(2,2);
print("HR MN DD MM");
txt_MoveCursor(3,2);
endif
repeat
state := touch_Get(TOUCH_STATUS);
x := touch_Get(TOUCH_GETX);
y := touch_Get(TOUCH_GETY);
if (state == TOUCH_PRESSED)
if(x>190 && x<260 && y>368 && y<469) //ok
posSP:=1;
E4:=1;
txt_MoveCursor(11,18);
txt_FGcolour(0x0400);
print(" ON");
SPser[24]:='1';
goto Envia;
endif
if(x>170 && x<250 && y>120 && y<220 &&
E4==1) E4:=0;
txt_MoveCursor(11,18);
txt_FGcolour(0xF800);
print("OFF");
SPser[24]:='0';
goto Envia;
endif
if(x>170 && x<250 && y>230 && y<330 &&
CA==0) CA:=1;
txt_MoveCursor(20,18);
txt_FGcolour(0x0400);
print(" ON");
SPser[25]:='1';
goto Envia;
endif
if(x>170 && x<250 && y>230 && y<330 &&
CA==1) CA:=0;
txt_MoveCursor(20,18);
txt_FGcolour(0xF800);
print("OFF");
SPser[25]:='0';
goto Envia;
endif
if(x>170 && x<2340 && y>340 && y<470 &&
BMB==0) BMB:=1;
txt_MoveCursor(30,18);
txt_FGcolour(0x0400);
print(" ON");
SPser[26]:='1';
goto Envia;
endif
if(x>170 && x<250 && y>340 && y<470 &&
BMB==1) BMB:=0;
txt_MoveCursor(30,18);
txt_FGcolour(0xF800);
print("OFF");
SPser[26]:='0';
goto Envia;
endif
Envia:
i:=0;
while (i<=26)
serout1(SPser[i]);
i++;
wend
i:=0;
while (i<=26)

```

```

posHF:=1;
if(tec==1) //Selección de hora y fecha
hora:= (10*(SPseraux[13]-48))+(SPseraux[14]-48);
minuto:= (10*(SPseraux[15]-48))+(SPseraux[16]-48);
dia:= (10*(SPseraux[17]-48))+(SPseraux[18]-48);
mes:= (10*(SPseraux[19]-48))+(SPseraux[20]-48);
if(hora>24 || minuto>60 || dia>31 || mes>12 || dia==0 ||
mes==0)
goto Back;
endif
SPser[28]:='1';
f:=13;
for(f:=13;f<=20;f++)
  SPser[f]:=SPseraux[f];
next
i:=0;
while (i<=28)
  serout1(SPser[i]);
  i++;
wend
i:=0;
while (i<=28)
  serout1(SPser[i]);
  i++;
wend
endif
if(tec!=1) //Selección de sp
if(SPseraux[1] != '0' || SPseraux[2] != '0')
SP0aux:=(10*(SPseraux[1]-48))+(SPseraux[2]-48);
SP0 := SP0aux;
SPser[1]:=SPseraux[1];
SPser[2]:=SPseraux[2];
endif
if(SPseraux[3] != '0' || SPseraux[4] != '0')
SP1aux:=(10*(SPseraux[3]-48))+(SPseraux[4]-48);
SP1 := SP1aux;
SPser[3]:=SPseraux[3];
SPser[4]:=SPseraux[4];
endif
if(SPseraux[5] != '0' || SPseraux[6] != '0')
SP2aux:=(10*(SPseraux[5]-48))+(SPseraux[6]-48);
SP2 := SP2aux;
SPser[5]:=SPseraux[5];
SPser[6]:=SPseraux[6];
endif
if(SPseraux[7] != '0' || SPseraux[8] != '0')
SP3aux:=(10*(SPseraux[7]-48))+(SPseraux[8]-48);
SP3 := SP3aux;
SPser[7]:=SPseraux[7];
SPser[8]:=SPseraux[8];
endif
if(SPseraux[9] != '0' || SPseraux[10] != '0')
SP4aux:=(10*(SPseraux[9]-48))+(SPseraux[10]-
48);
SP4 := SP4aux;
SPser[9]:=SPseraux[9];
SPser[10]:=SPseraux[10];
endif
if(SPseraux[11] != '0' || SPseraux[12] != '0')
SP5aux:=(10*(SPseraux[11]-48))+(SPseraux[12]-
48);
SP5 := SP5aux;

```

```

SPser[11]:=SPseraux[11];
SPser[12]:=SPseraux[12];
endif
i:=0;
SPser[28]:='0';
while (i<=28)
  serout1(SPser[i]);
  i++;
wend
i:=0;
while (i<=28)
  serout1(SPser[i]);
  i++;
wend
endif
SPser[27]:='0';
pant_var();
endif
if(x>18 && x<88 && y>398 && y<469) //bk
Back:
if(tec=1)
  SP0 := SP0aux;   SP1 := SP1aux;
  SP2 := SP2aux;   SP3 := SP3aux;
  SP4 := SP4aux;   SP5 := SP5aux;
endif
SPser[28]:='0';
posHF:=13;
posSP:=1;
pant_var();
endif
if(x>106 && x<176 && y>398 && y<469 && posSP<13
&& posHF<21)//0
print("");
if(tec=1)
  if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
    print(" ");
  endif
  SPseraux[posSP]:='0';
  posSP++;
endif
if(tec==1)
  if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
    print(" ");
  endif
  SPseraux[posHF]:='0';
  posHF++;
endif
endif
if(x>190 && x<260 && y>318 && y<389 && posSP<13
&& posHF<21)//9
print("9");
if(tec=1)
  if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
    print(" ");
  endif
  SPseraux[posSP]:='9';
  posSP++;
endif
if(tec==1)
  if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)

```



```

        print(" ");
    endif
    SPseraux[posHF]='9';
    posHF++;
endif
endif
if(x>106 && x<176 && y>318 && y<389 && posSP<13
&& posHF<21)//8
    print("8");
    if(tec!=1)
        if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posSP]='8';
        posSP++;
    endif
    if(tec==1)
        if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posHF]='8';
        posHF++;
    endif
endif
endif
if(x>18 && x<88 && y>318 && y<389 && posSP<13 &&
posHF<21)//7
    print("7");
    if(tec!=1)
        if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posSP]='7';
        posSP++;
    endif
    if(tec==1)
        if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posHF]='7';
        posHF++;
    endif
endif
endif
if(x>190 && x<260 && y>238 && y<309 && posSP<13
&& posHF<21)//6
    print("6");
    if(tec!=1)
        if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posSP]='6';
        posSP++;
    endif
    if(tec==1)
        if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posHF]='6';
        posHF++;
    endif
endif

```

```

    endif
    if(x>106 && x<176 && y>238 && y<309 && posSP<13
&& posHF<21)//5
        print("5");
        if(tec!=1)
            if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posSP]='5';
            posSP++;
        endif
        if(tec==1)
            if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posHF]='5';
            posHF++;
        endif
    endif
    if(x>18 && x<88 && y>238 && y<309 && posSP<13 &&
posHF<21)//4
        print("4");
        if(tec!=1)
            if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posSP]='4';
            posSP++;
        endif
        if(tec==1)
            if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posHF]='4';
            posHF++;
        endif
    endif
    if(x>190 && x<260 && y>158 && y<229 && posSP<13
&& posHF<21)//3
        print("3");
        if(tec!=1)
            if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posSP]='3';
            posSP++;
        endif
        if(tec==1)
            if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posHF]='3';
            posHF++;
        endif
    endif
    if(x>106 && x<176 && y>158 && y<229 && posSP<13
&& posHF<21)//2
        print("2");
        if(tec!=1)

```

```

        if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posSP]:='2';
        posSP++;
    endif
    if(tec==1)
        if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
            print(" ");
        endif
        SPseraux[posHF]:='2';
        posHF++;
    endif
    endif
    if(x>18 && x<88 && y>158 && y<229 && posSP<13 &&
posHF<21)//1
        print("1");
        if(tec!=1)
            if(posSP == 2 || posSP == 4 || posSP == 6 || posSP
== 8 || posSP == 10)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posSP]:='1';
            posSP++;
        endif
        if(tec==1)
            if(posHF == 18 || posHF == 14 || posHF == 16)
                print(" ");
            endif
            SPseraux[posHF]:='1';
            posHF++;
        endif
    endif
    //pause(200);
    forever
    endfunc

func historial()
Grafica:
gfx_Cls();
file_Mount();
imgOK := file_LoadImageControl("OK.dat", "OK.gci", 0);
imgNextB := file_LoadImageControl("NextB.dat", "NextB.gci",
0);
img_SetPosition(imgOK, -1, 10, 400);
img_Show(imgOK,ALL);
img_SetPosition(imgNextB, -1, 180, 400);
img_Show(imgNextB,ALL);
file_Unmount();
com1_Reset();
com1_SetBaud(COM1, 960);
com1_Init(combuf, 240, 0);
txt_Width(1);
txt_Height(1);
txt_MoveCursor(1,3);
print(" Historial de valores AN");
print(grfanalog);
txt_MoveCursor(3,2);
print("35");
txt_MoveCursor(7,2);

print("30"); txt_MoveCursor(11,2);
print("25"); txt_MoveCursor(15,2);
print("20"); txt_MoveCursor(19,2);
print("15"); txt_MoveCursor(23,2);
print("10"); txt_MoveCursor(27,3);
print("5");
gfx_Line(35,36,35,386, 0xFFFF); //Eje vertical
gfx_Line(35,386,245,386, 0xFFFF); //Eje horizontal
gfx_Line(35,36,245,36, 0x7412); //35
gfx_Line(35,86,245,86, 0x7412); //30
gfx_Line(35,136,245,136, 0x7412); //25
gfx_Line(35,186,245,186, 0x7412); //20
gfx_Line(35,236,245,236, 0x7412); //15
gfx_Line(35,286,245,286, 0x7412); //10
gfx_Line(35,336,245,336, 0x7412); //5
if(vectpos>0)
    gfx_Line(35+((vectpos-1)*14),36,35+((vectpos-1)*14),385,
0xF800);
endif
graf:=0;
if(grfanalog==0)
    while(graf<=15)
    if(AN0[graf+4]>0)
        gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN0[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN0[graf+4]))+386,0xFFFF);
    endif
    graf++;
wend
endif
if(grfanalog==1)
    while(graf<=15)
    if(AN1[graf+4]>0)
        gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN1[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN1[graf+4]))+386,0xFFFF);
    endif
    graf++;
wend
endif
if(grfanalog==2)
    while(graf<=15)
    if(AN2[graf+4]>0)
        gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN2[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN2[graf+4]))+386,0xFFFF);
    endif
    graf++;
wend
endif
if(grfanalog==3)
    while(graf<=15)
    if(AN3[graf+4]>0)
        gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN3[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN3[graf+4]))+386,0xFFFF);
    endif
    graf++;
wend
endif
if(grfanalog==4)
    while(graf<=15)

```

```

if(AN4[graf+4]>0)
    gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN4[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN4[graf+4]))+386,0xFFFF);
endif
graf++;
wend
endif
if(grfanalog==5)
while(graf<=15)
if(AN5[graf+4]>0)
    gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN5[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN5[graf+4]))+386,0xFFFF);
endif
graf++;
wend
endif
if(grfanalog==6)
while(graf<=15)
if(AN6[graf+4]>0)
    gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN6[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN6[graf+4]))+386,0xFFFF);
endif
graf++;
wend
endif
if(grfanalog==7)
while(graf<=15)
if(AN7[graf+4]>0)
    gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN7[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN7[graf+4]))+386,0xFFFF);
endif
graf++;
wend
endif
if(grfanalog==8)
while(graf<=15)
if(AN8[graf+4]>0)
    gfx_Line((14*graf)+35,((-
10)*(AN8[graf+3]))+386,(14*graf)+49,((-
10)*(AN8[graf+4]))+386,0xFFFF);
endif
graf++;
wend
endif
repeat
ch := serin1();
if (ch != -1)
    asig := 0;
    if(ch == '*')
        while(ch!='-')
            //print([CHR]ch);
            file_Mount();
            archivo := file_Open("DL01.docx", 'a');
            file_PutC(ch,archivo);
            file_Close(archivo);
            file_Unmount();
            receive[asig] := ch;
            ch:= serin1();
            asig++;
        wend
    endif
    print("\n");
    e := 0;
endif
if(e==0)
    VA0 := ((receive[14]-48)*100)+((receive[16]-
48)*10)+(receive[17]-48);
    VA1 := ((receive[19]-48)*100)+((receive[21]-
48)*10)+(receive[22]-48);
    VA2 := ((receive[24]-48)*100)+((receive[26]-
48)*10)+(receive[27]-48);
    VA3 := ((receive[29]-48)*100)+((receive[31]-
48)*10)+(receive[32]-48);
    VA4 := ((receive[34]-48)*100)+((receive[36]-
48)*10)+(receive[37]-48);
    VA5 := ((receive[39]-48)*100)+((receive[41]-
48)*10)+(receive[42]-48);
    VA6 := ((receive[44]-48)*100)+((receive[46]-
48)*10)+(receive[47]-48);
    VA7 := ((receive[49]-48)*100)+((receive[51]-
48)*10)+(receive[52]-48);
    VA8 := ((receive[54]-48)*100)+((receive[56]-
48)*10)+(receive[57]-48);
    e := 1;
    AN0[vectpos+3] := VA0/10;
    AN1[vectpos+3] := VA1/10;
    AN2[vectpos+3] := VA2/10;
    AN3[vectpos+3] := VA3/10;
    AN4[vectpos+3] := VA4/10;
    AN5[vectpos+3] := VA5/10;
    AN6[vectpos+3] := VA6/10;
    AN7[vectpos+3] := VA7/10;
    AN8[vectpos+3] := VA8/10;
    vectpos++;
    if(vectpos==15)
        vectpos:=0;
    endif
    goto Grafica;
endif
state := touch_Get(TOUCH_STATUS);
if (state == TOUCH_PRESSED)
    ok := img_Touched(imgOK, -1);
    nxt := img_Touched(imgNextB, -1);
    if(ok != -1)
        pant_var();
    endif
    if(nxt != -1)
        grfanalog++;
        if(grfanalog==9)
            grfanalog:=0;
        endif
        goto Grafica;
    endif
endif
forever
endfunc

```



```

{
  output_high(PIN_D7);
  EV1=0;
}
//Control de electroválvula estanque 6
if(V5<(SPE6-1)/10)
{
  output_low(PIN_B3);
  EV2=1;
}
if(V5 > (SPE6-1)/10 && V5 < (SPE6+1)/10 && EV2==1)
{
  output_low(PIN_B3);
}
if(V5>(SPE6+1)/10)
{
  output_high(PIN_B3);
  EV2=0;
}
//Control de electroválvula estanque 7
if(V6<(SPE7-1)/10)
{
  output_low(PIN_B4);
  EV3=1;
}
if(V6 > (SPE7-1)/10 && V6 < (SPE7+1)/10 && EV3==1)
{
  output_low(PIN_B4);
}
if(V6>(SPE7+1)/10)
{
  output_high(PIN_B4);
  EV3=0;
}
//Control de electroválvula estanque 8
if(V7<(SPE8-1)/10)
{
  output_low(PIN_B5);
  EV4=1;
}
if(V7>(SPE8-1)/10 && V7<(SPE8+1)/10 && EV4==1)
{
  output_low(PIN_B5);
}
if(V7>(SPE8+1)/10)
{
  output_high(PIN_B5);
  EV4=0;
}
//Activar o desactivar la bomba
if(EV1==1 || EV2==1 || EV3==1 || EV4==1)
output_low(PIN_B7);
if(EV1==0 && EV2==0 && EV3==0 && EV4==0)
output_high(PIN_B7);
//Cambiar agua de tinaco de recirculación
if((hrs == 12 || hrs == 19) && CambioAgua == 0)
{
  // Prende EV de cambio y bomba por 3 min
  output_low(PIN_B7);

  output_low(PIN_B6);
  i=0;
  for(i=0;i<=30;i++){
    delay_ms(1000);}
  //Apaga EV de cambio y bomba
  output_high(PIN_B6);
  output_high(PIN_B7);
  CambioAgua=1;
}
if(hrs != 12 && hrs != 19)
  CambioAgua=0;
} //Llave del if control automático
//Control de fotoperiodo Lámpara 1
FP1=10;
FP2=10;
if(hrs==7 && FP1!=0)
{
  Prendiendo1=min;
  set_pwm1_duty (Prendiendo1);
  Apagando1=120;
}
if(hrs>7 && hrs<FP1+7)
  set_pwm1_duty (250);
if(hrs==FP1+7)
{
  Apagando1 = Apagando1 - 2;
  set_pwm1_duty (Apagando1);
  Prendiendo1=0;
}
if(hrs>=FP1+7 || FP1==0)
  set_pwm1_duty (0);
//Control de fotoperiodo Lámpara 2
if(hrs==7 && FP2!=0)
{
  Prendiendo2=min;
  set_pwm2_duty (Prendiendo2);
  Apagando2=120;
}
if(hrs>7 && hrs<FP2+7)
  set_pwm2_duty (250);
if(hrs==FP2+7)
{
  Apagando2 = Apagando2 - 2;
  set_pwm2_duty (Apagando2);
  Prendiendo2=0;
}
if(hrs>=FP2+7 || FP2==0)
  set_pwm2_duty (0);
} //Llave del while
} //Llave la función principal

void config_PWM()
{
  setup_ccp1(CCP_PWM);
  setup_ccp2(CCP_PWM);
  setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1);
}

```

Anexo 3.
Artículo *in extenso*



9° CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA
PROCESO TÉCNICO E INNOVACION TECNOLÓGICA, SISTEMAS CIVIL Y AMBIENTAL, AUTOMATIZACIÓN Y MATERIALES PLÁSTICOS Y METÁLICOS

La UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
a través de la FACULTAD DE INGENIERÍA,
otorga la presente

CONSTANCIA

a:

**Humberto Aguirre Becerra, Perla Valeria Munguía Fragozo,
Juan Fernando García Trejo,
Genaro Martín Soto Zarazúa y Enrique Rico García**
por su participación como autores del trabajo

***“Revisión de desarrollo tecnológico en acuicultura y
sus posibles aplicaciones en ranicultura”***

en el Congreso Internacional de Ingeniería en su novena edición
realizado del 13 al 17 de Mayo del 2013
en la ciudad de Santiago de Querétaro, México.

presentado en el libro Ingeniería y sus áreas afines, 9°
Congreso Internacional de Ingeniería (memorias in extenso)
con ISBN: 978-607-513-050-7.



Dr. Aurelio Domínguez González
Director



creando conciencia

REVISIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ACUICULTURA Y SUS POSIBLES APLICACIONES EN RANICULTURA

A REVIEW OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT IN AQUACULTURE AND ITS POSSIBLE APPLICATIONS IN FROG CULTURE

Humberto Aguirre-Becerra^{a*}, Perla V. Munguía-Fragozo^a, Juan F. García-Trejo^a, Genaro M. Soto-Zarazúa^b, Enrique Rico-García^a

^a C.A. de Biosistemas. Facultad de Ingeniería, Campus Amazcala. Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro del las Campanas s/n. Col. Las Campanas, CP. 76010. Santiago de Querétaro, México.

^b C.A de Sistemas Embebidos y Aplicaciones. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro del las Campanas s/n. Col. Las Campanas CP. 76010. Santiago de Querétaro, México.

* Autor Correspondiente. humbertoagbe@hotmail.com

1. Resumen

El desarrollo tecnológico en la acuicultura ha presentado un gran progreso en sistemas de control, adquisición de datos y monitoreo. Algunas variables de interés en esta actividad son temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica, oxígeno, remoción de amonio, densidad de población, crecimiento y sexo de individuo. Sistemas de Recirculación en Acuicultura (RAS) con autolimpieza se han generado a partir de filtros que remueven partículas sólidas y compuestos químicos que mejoran la calidad del agua. Sistemas de alimentación automáticos y semiautomáticos hacen más eficiente el uso de alimento, reduciendo costos de inversión y evitando su descomposición en el agua. Una de las herramientas utilizadas en los últimos años para elaborar los sistemas anteriores es la visión por computadora. Los paquetes tecnológicos se han aplicado en su mayoría a la camaronicultura, piscicultura y ostricultura dejando a un lado la ranicultura. El objetivo de esta revisión es presentar diversos adelantos tecnológicos en acuicultura y hacer una recomendación en cuanto a su aplicación en ranicultura.

Summary

Technological development in aquaculture has made a large progress in control systems, data acquisition and monitoring. Some variables of interest in this activity are temperature, pH, salinity, conductivity, oxygen, ammonia removal, population density, and individual growth and sex. Self-cleaning Recirculating Aquaculture System (RAS) were designed with filters that remove solid particles and chemical compounds that improve the water quality. Automatic and Semi-automatic Feeding Systems make more efficient use of food, reducing investment costs and avoiding its decomposition in water. One of the tools used in recent years to develop those systems is computer vision. The technology packages have been applied mostly to fish culture, shrimp culture and oyster culture, leaving behind the frog culture. The aim of this review is to present some technological advances in aquaculture and make a recommendation to their applications in frog culture.

Palabras clave: recirculación, alimentadores, control, monitoreo, adquisición de datos, visión por computadora

2. Introducción

El crecimiento de la población a nivel mundial y el incremento en la demanda de alimentos continuará durante 40 años más, es por eso que la competencia por tierra, agua y energía, además de la sobreexplotación de la pesca, afectará la habilidad del hombre para producir alimentos. Productos acuáticos tienen un rol imprescindible en la producción de alimentos, brindando aproximadamente a 3 billones de personas con al menos 15% del consumo de proteína animal (H. Charles J. Godfray et al. 2010).

El desarrollo e implementación de tecnología en acuicultura presenta una serie de ventajas económicas y ambientales a pesar del alto costo inicial de inversión. Producir alimentos de alta calidad con un amplio sentido ecológico es actualmente uno de los objetivos más importantes de la acuicultura. Los RAS ofrecen oportunidades del uso eficaz del agua y reúso de nutrientes, haciendo que la producción intensiva de organismos sea una opción sustentable (Martins, et al, 2010). Los RAS también ayudan a resolver un problema de calidad del agua y altos costos de producción debido a la acumulación de alimento dentro de los estanques, lo que produce materia orgánica y productos tóxicos nitrogenados (Avnimelech, 2006).

La ranicultura es una actividad consolidada en Latinoamérica, donde Brasil es el protagonista de este cultivo, el cual vendió sistemas de producción sin sustento técnico, lo que llevó a la cría de estos animales a un estado de crisis desde 1994 a la fecha (Robledo 2004). El cultivo de rana forma parte importante dentro de la acuicultura; sin embargo, la falta de sistemas de control especializados en esta especie, disminuye el rendimiento de la producción y aumentan el tiempo de cultivo de la misma (Briseño, 2007). En México la abundancia de poblaciones de *Rana Catesbeiana* y *Rana Pipiens* era capaz de viabilizar la captura para la industria de exportación, principalmente para los Estados Unidos; sin embargo, la disminución de las poblaciones en la naturaleza, junto con las restricciones sanitarias y ecológicas influyó la disminución de la captura y aumento de producción cautiverio (Reis, 2005).

En la acuicultura medir y controlar las variables de entrada y salida que forman parte del proceso de producción de una especie ayudan a incrementar la eficiencia energética, mejorar el rendimiento del cultivo y disminuir costos. La tecnología en RAS es básica, prácticamente “fuera de ingeniería”; muchas innovaciones técnicas necesitan permitir al usuario poder ser implementadas en la producción de un rango más amplio de especies, cultivos, condiciones y etapas de vida del organismo, bajando costos y haciendo más eficiente el uso de energía; sin embargo, la automatización, robotización y control cibernéticos están lejos de ser comúnmente implementados en sistemas acuícolas (Martins, et al, 2010).

Para esta revisión se describen con más detenimiento trabajos partir del año 2000, los cuales caen en cuatro categorías: sistemas de monitoreo, control y adquisición de datos; sistemas de alimentación; sistemas de recirculación y visión por computadora. Se describe de forma general tecnologías usadas en la década de los 90's y 80's.

3. Sistemas de monitoreo, control y adquisición de datos

El control de parámetros para el cultivo de una especie fue uno de los primeros temas dentro del desarrollo de tecnología para acuicultura. Uno de los primeros trabajos especializados para esta rama registrado consistió en un sistema de control de condiciones ambientales para peces, en el cual se monitoreaba y controlaba fotoperiodo, temperatura, nivel de agua y presión de aire comprimido, el cual podía notificar condiciones críticas, localmente al personal a través de alarmas y remotamente a través de un teléfono de disco (Schlieder, 1984; Plaia 1987). Durante la década de los 80's los sistemas SCADA (Supervisory, Control And Data Adquisition) fueron muy populares como fuente para la realización de sistemas de control. En la década de los 90's se sumaron los Sistemas de Control Distribuido (DCS) y los Controladores Lógicos Programables (PLC), donde la integración de software tenía mayor compatibilidad al establecerse estándares industriales de arquitectura e implementación (Lee, 2000). En esta década la aplicación de inteligencia artificial se volvió más común dado al surgimiento de conocimiento experto, reducción en costos de mano de obra, mayor eficiencia, estabilidad y entendimiento de procesos (Lee, 2000). El surgimiento de las redes neuronales marca una pauta importante para los sistemas de control al implementar múltiples neuronas tridimensionales permitiendo al sistema "aprender" a controlar el proceso siempre y cuando se tuviera una base de datos actualizada (Lee, 2000). Actualmente el monitoreo, control y adquisición de datos está implícito en cualquier tipo de experimento, sin embargo técnicas, como las redes neuronales y otras formas de inteligencia artificial presentan nuevos avances y técnicas tradicionales siguen vigentes. También surgen nuevas variables que forman parte específica del proceso y que anteriormente no se tomaban en cuenta.

La identificación de individuos es útil para obtener parámetros cuantitativos del cultivo; además ofrece la oportunidad de tener un seguimiento de algún animal que presenta características de interés. Es así que se desarrolló un sistema de identificación de peces simple y de bajo costo, en el cual un transpondedor se inserta en su abdomen (figura 1) y a través de ondas de radiofrecuencia se obtiene una lectura a distancia; la tecnología de comunicación se basa en ondas ultrasónicas ya que no sufren mucha distorsión en agua salina; este sistema tiene muchas posibilidades de automatización además te traer múltiples ventajas (Holm, et al. 2007).



Figura 1. Chip en el abdomen del pez

Conforme avanza la tecnología surgen variables poco comunes, pero que ayudan a mejorar la calidad del cultivo, o simplemente disminuyen pérdidas de producción. Por ejemplo, se implementó un sensor para determinar si el proceso de remoción de concha del ostión había sido completado, el cual se inserta en una máquina automática Wheaton de desconchado donde la válvula de la concha es removida con la finalidad de no destruir la carne en pasos posteriores del proceso; su principio de funcionamiento está basado en la diferencia de absorción de luz (producida por una fotocelda) entre la carne y el caparazón (figura 2) (Wheaton, 2008).

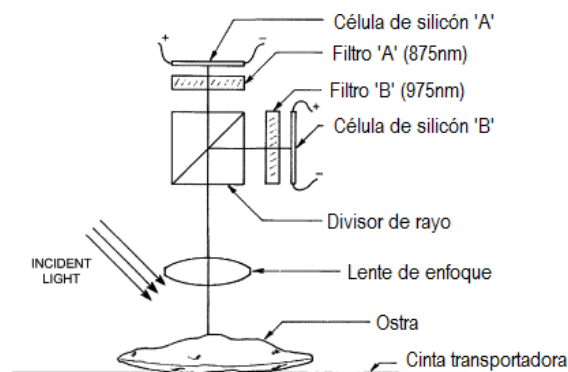


Figura 2. Esquema del sensor de carne-concha

También se siguen desarrollando sistemas de control para variables de uso común en los RAS. Se desarrolló un proyecto de calentado/enfriado para desconchar ostras (*Crassostrea virginica*) a través una inyección de vapor, lo notable de este trabajo es que usa un sistema de monitoreo y control de temperatura a través de termopares tipo T y un datalogger para el historial de valores (Martin, 2007). También se implementó un sistema de calentamiento de estanques a través de agua calentada geotérmicamente, el cual cuenta con termopares tipo T para la medición de temperatura mandando su señal a un controlador para posteriormente prender o apagar válvulas; cabe mencionar que para la programación se tomaron en cuenta parámetros biológicos de los organismos del cultivo (G. Hall, et al. 2002).

Hoy en día, en la mayoría de estanques comerciales, controlar variables ambientales es parte del paquete tecnológico. Es así que un sistema de cría de larvas fue desarrollado con la finalidad de reducir la variabilidad de un estanque a otro al medir y controlar temperatura, fotoperiodo, filtración, oxígeno y pH a través de un PLC (Programmable Logic Controlled) (Kolkovski, 2004). También se desarrolló un proyecto semi-continuo de

detección y medición de alta precisión de temperatura, pH, oxígeno disuelto, amonio y dióxido de carbono en un RAS para que diversas especies puedan ser cultivadas en las condiciones que ofrece el sistema, ya sean de agua dulce o salada; el análisis de amonio tarda 13 min, el de CO₂ 7 min, el de O₂ 6 min y el de pH 3 min respectivamente (KT Stiller, et al. 2013).

4. Sistemas de alimentación

En la década de los 80's se desarrollaron una serie de proyectos para hacer más eficiente el uso de alimento. En 1985 se usó una microcomputadora para estimar la cantidad de alimento que debía ser entregada a un estanque de peces, además medía y controlaba temperatura (Hoy, 1985); en 1987 otra microcomputadora se usó para estimar la tasa de frecuencia de alimentación por individuo en diferentes estanques de langostas (Grimsen, et al. 1987); en 1993 se produjo un alimentador (a escala de producción) con un control digital que determinaba la velocidad de un motor que activaba el alimentador (Widmyer and Widmyer, 1993).

Recientemente un sistema automático de control de crecimiento y densidad de rotíferos con base en alimentación se construyó en Noruega con la finalidad de estabilizar la producción; el controlador computariza las tasas de alimentación basados en un setpoint de densidad y velocidad de ovoposición, brindando un periodo rápido de crecimiento y estabilización; al mismo tiempo la sobrealimentación es prevenida reduciendo la probabilidad de mortalidad (Omholt, 2010). Una retroalimentación inteligente se desarrolló en un sistema de alimentación para anguilas, se recolecta información del comportamiento de los animales a través de un sensor fotoeléctrico infrarrojo y en base a esto, el controlador determina la cantidad de alimento que se debe entregar; la estrategia de control tiene parámetros ajustables y en caso de que el sensor falle, la entrega de alimento se detiene para prevenir contaminación del agua (Chang, 2005). Por otra parte se desarrolló un sistema computarizado para una granja intensiva de larvas, las cuales se alimentan con plancton; el sistema utiliza un serie de parámetros preestablecidos en base a la concentración de plancton en los estanques para activar bombas de suministro de alimento a lo largo de todo el día (Papandroulakis, et al. 2002).

5. Sistemas de recirculación en acuicultura (RAS)

Los RAS se introdujeron en los años 80's incrementando el volumen de producción y ampliando la variedad de especies a producir (Martins, 2010). Todavía en los 90's la relación entre costo y rendimiento de los RAS no era buena, dejando muy pocos márgenes de ganancia, lo que limitaba su uso para especies de alto valor comercial (Lee, 1995). Con el paso del tiempo, los sistemas de recirculación mejoraron al hacer más eficiente el filtraje, aumentando la calidad del agua, reduciendo su costo, resolviendo problemas generales cada vez mejor, y solucionando problemas específicos para cada cultivo.

En el cultivo de algunos peces se trabaja con altos valores de salinidad por lo que el reúso de esta agua es importante para evitar la descarga de grandes cantidades de sal al medio ambiente, es así que se evaluaron reactores de membranas biológicas que combinan el

tratamiento de lodos activos con filtración a diferentes valores de salinidad. Además de remover residuos orgánicos biodegradables, sólidos suspendidos, nutrientes como fósforo y potasio, las membranas fueron capaces de retener microorganismos e inclusive excluirlas en la descarga de agua (figura 3) (Sharrer, et al. 2007). También se desarrolló un RAS de agua de mar para cultivo de camarones con la finalidad de desnitrificar a través de una columna presurizada de desoxigenación, una columna con sustrato bacterial y una columna de re-aireación. (Menasveta, et al, 2001)



3. Resultado de la filtración de agua de estanques

Los concentradores son importantes en el cultivo de organismos como la artemia, sin embargo los dispositivos tradicionales presentan obstrucciones que limitan el flujo de agua y pueden llegar a dañar a los animales, es por eso que se desarrollo un tambor rotativo con autolimpieza que crea un flujo constante de agua a través de una pantalla filtrante. Comparado con los sistemas tradicionales, el tambor es más rápido y estable al filtrar y concentrar a los organismos, además no presenta fugas y las operaciones son completamente automáticas (Yu-Heng, et al. 2007). Por otra parte se ha evaluado el efecto de la presión y el pH en la remoción de amonio en sistemas de recirculación, considerando su alta toxicidad para los peces; el trabajo evaluó la retención de amonio cuando la presión de transmembrana en nanofiltros y membranas de osmosis de reversa son cambiadas, con lo que se pudo determinar valores críticos donde la retención decrece irreversiblemente (16 y 24.5 bar y pH menores a 7) (Cancino-Madariaga, et al. 2011)

Recientemente en Noruega se creó la primera granja con recirculación en tierra de langostas europeas (*Homarus gammarus L.*) con la finalidad de disminuir costos y tiempo de producción y aumentar calidad del producto; el sistema cuenta con un paquete tecnológico patentado basado en camas móviles biofiltrantes donde la recirculación está diseñada para ajustar el manejo del agua; además cuenta con robots para una alimentación precisa y un sistema de visión por computadora para monitoreo del organismo (Asbjørn and Asbjørn. 2012).

6. Visión por computadora

En 1994 la visión por computadora ya era una realidad, y se usaban comercialmente para otros campos de la ciencia, sin embargo su sinergia con la automatización y el análisis en tiempo real no era posible, a pesar de eso, las ideas de poder analizar ciertos parámetros morfológicos, estimación de índices de movimiento, de biomasa, de alimentación, de estrés o de densidad de población utilizando esta herramienta ya estaban planteados (Lee, 1995). En la actualidad, la visión por computadora es una herramienta utilizada por diversos científicos para resolver problemas específicos en acuicultura.

Esta herramienta se utilizó para elaborar un sistema automático de orientación de ostras (*Crassostrea virginica*), el sistema determina la posición inicial del organismo y a través del algoritmo de control los orienta a un sentido determinado. Las ostras pueden tener una gran variedad de tamaños. El sistema es capaz de posicionar 60 ostras por minuto (E. Little, et al. 2007). Otro trabajo está basado en un robot cartesiano guiado por un sistema de visión es utilizado para vacunar hasta 2000 lenguados (*Pleuronectiformes*) por hora con la finalidad de ahorrar tiempo y mano de obra; la inyección se hace a través de un algoritmo de ubicación de sitio y una técnica de coincidencia de patrones (figura 4), siendo capaz de posicionar la aguja en diversos ángulos e inyectar diversos tamaños de pez dispuestos en diferentes posiciones en el plano de hasta 500 mm de grosor (Dong-Gil Lee, et al. 2012).

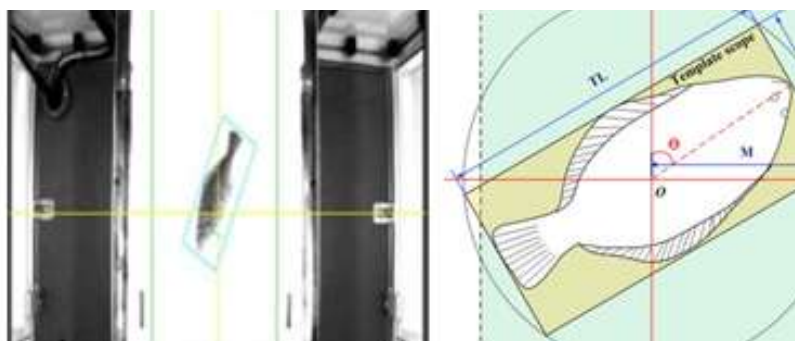


Figura 4. Optimización de inyección de lenguado

El análisis de imágenes se ha utilizado para estudiar el comportamiento de algunas especies. Por ejemplo, se obtuvo un índice cuantitativo para el comportamiento de lenguados (*Pleuronectiformes*) a través de videos nocturnos, para el análisis se tomaron imágenes consecutivas teniendo como resultado una diferencia en ellas debido al movimiento del organismo, con este dato se calculó un índice de actividad midiendo el porcentaje de área diferente; este valor se comparó con observaciones en los mismos intervalos para la calibración del instrumento (Duarte, et al. 2009). Otro trabajo utilizó una cámara CCD para analizar la respuesta de jaulas marinas en movimiento ante la presencia de olas; los parámetros evaluados fueron la deformidad de la red o jaula y la pérdida de agua de la misma, la técnica se implementó en un software para hacer el análisis y modelos de prueba (Gui, et al. 2006).

Dentro del cultivo de peces es importante conocer el tamaño, sexo y anomalías físicas de los individuos, de tal forma que se incremente la calidad del producto y se cumpla con estándares estrictos dentro del mercado internacional, además de explotar al máximo al organismo para su reproducción. Es así que un sistema de visión por computadora fue desarrollado para el pez robalo (*Dicentrarchus labrax, L.*) basado en el análisis de imagen (figura 5) tomando en cuenta la morfometría del animal y utilizando Fourier Elíptico y técnicas multivariadas (modelo parcial de mínimos cuadrados) como herramientas (Costa, et al. 2013).

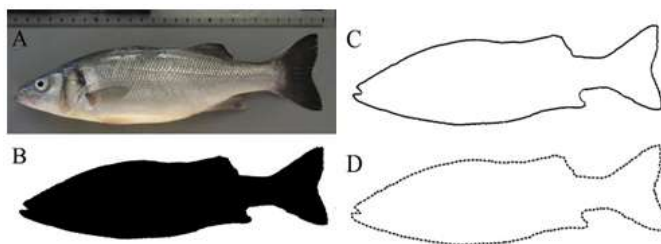


Figura 5. Resultado del procesamiento de imagen; (A) Original, (B) Binarizada, (C) Contorno, (D) 200 puntos equidistantes

Otro sistema utilizó también análisis de imágenes a través de Fourier Elíptico con un algoritmo geométrico y una red neuronal para corrección de errores, se usaron dos cámaras para determinar tamaño y orientación del pez dentro del estanque (figura 6); el prototipo está diseñado para cultivos que están permanentemente sumergidos, evitando estrés al momento de hacer muestras y pruebas en los organismos, además de poder ser usado para muestras de población salvaje al caracterizar comunidades y dinámicas de peces (Costa, et al. 2006).

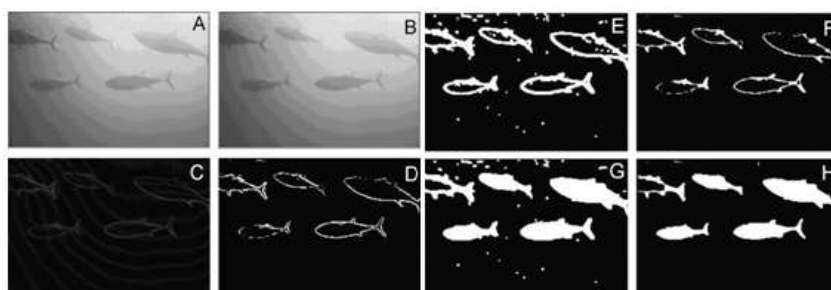


Figura 6. Secuencia de filtración de imagen

7. Aplicaciones de tecnología en ranicultura

Las cuatro herramientas anteriores han demostrado ser de gran utilidad para diferentes actividades dentro de la acuicultura. Sin embargo, si se quisieran aplicar en rana se deberían hacer adecuaciones a estos proyectos ya que se utilizaron para especies completamente acuáticas y la mayoría de las ranas producidas actualmente, como la Rana Toro (*Rana catesbeiana*, Shaw 1802) y la Rana Leopardo (*Lithobates pipiens*), pasan la mayor parte de su vida adulta (joven y engorda) fuera del agua.

El sistema de identificación más utilizado por la mayoría de los biólogos es el corte de dedos, el cual consiste en amputar dedos de las cuatro extremidades siguiendo un patrón específico; es el más barato y sencillo aunque parezca cruel (Martínez, 2008). Para evitar esta situación, el trabajo de Holm, et al. (2007) de identificación de peces mediante inserción de chips en el animal puede ser aplicado a las ranas, teniendo como beneficio adicional, la posibilidad de tener una base de datos con los parámetros físicos de cada individuo del cultivo. Los parámetros físicos y químicos del agua son importantes para el desarrollo del cultivo. La temperatura juega un papel importante al proporcionar confort a las ranas en cualquier etapa del cultivo, desde renacuajo hasta etapa de engorda. El pH,

oxígeno disuelto, amonio, y otras variables químicas pueden llegar a afectar el desarrollo y metamorfosis del renacuajo. Es por eso que trabajos como el de Martín (2007), G. Hall, et al. (2002), KT Stiller, et al. 2013 y Kolkovski (2004) son esenciales para obtener animales de buena calidad y descargar efluentes al medio ambiente con el menor impacto ecológico posible.

Los trabajos de recirculación como el de Sharrer (2009), Cancino-Madariaga, et al. (2011), Asbjørn and Asbjørn (2012) y (Menasveta, et al, 2001) y (Yu-Heng, et al. 2007) son importantes para mejorar la calidad del agua dentro de los estanques, ya que las ranas producen una gran cantidad de eses y por lo tanto de sólidos disueltos; además el alimento que se les proporciona, generalmente basado en pellets, no debe caer al agua, sin embargo el movimiento de los animales ocasiona que caiga al estanque y se descomponga, generando malos olores y microorganismos perjudiciales.

El trabajo de Duarte (2009) y Chang (2005) pueden ser empleados a la rana para determinar un índice de comportamiento y en base a esto poder establecer una frecuencia de alimentación para hacer más eficiente el uso de alimento. Trabajos como los de Costa (2006) y Costa, et al, (2013) pueden ser empleados para determinar anomalías y tamaño de la rana, e inclusive poder determinar la cantidad de hembras y machos dentro de un estanque al estimar el tamaño de su aparato auricular. El Trabajo de Dong-Gil Lee, et al. (2012) junto con un mecanismo para sujetar ranas puede ser empleado para inyectarlas, ya sea para evitar enfermedades o para inducir las a la reproducción.

8. Referencias

- Asbjørn Drengstig and Asbjørn Bergheim. 2012. Commercial land-based farming of European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculating aquaculture system (RAS) using a single cage approach. *Aquacultural Engineering*. ELSEVIER.
- Beatriz Cancino-Madariaga, Carlos Felipe Hurtado, Rene Ruby. 2011. Effect of pressure and pH in ammonium retention for nanofiltration and reverse osmosis membranes to be used in recirculation aquaculture systems (RAS). *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 45, Issue 3, Pages 103-108
- Briseño D. 2007. Finsat. "Cultivo de rana toro, negocio con potencial". *Info-Rural*. México
- C. Costa, A. Loy, S. Cataudella, D. Davis, M. Scardi. 2006. Extracting fish size using dual underwater cameras. *Aquacultural Engineering*. ELSEVIER. Volume 35, Issue 3, October 2006, Pages 218-227
- C. Costa, F. Antonucci, C. Boglione, P. Menesatti, M. Vandeputte, B. Chatain. 2013. Automated sorting for size, sex and skeletal anomalies of cultured seabass using external shape analysis. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 52, pp. 58-64
- C.I.M. Martins, E.H. Eding, M.C.J. Verdegem, L.T.N. Heinsbroek, O. Schneider, J.P. Blancheton, E. Roque d'Orbcastel, J.A.J. Verreth. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 43, Issue 3, Pages 83-93

- C.M. Chang, W. Fang, R.C. Jao, C.Z. Shyu, I.C. Liao. 2005. Development of an intelligent feeding controller for indoor intensive culturing of eel. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 32, Issue 2, Pages 343-353
- Daniel E. Martin, John Supan, Jeremy Theriot, Steven G. Hall. 2007. Development and testing of a heat-cool methodology to automate oyster shucking. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 37, Issue 1, Pages 53-60
- Dong-Gil Lee, Bong-Jin Cha, Seong-Wook Park, Mun-Gyeong Kwon, Guo-Cheng Xu, Hee-Je Kim. 2012. Development of a vision-based automatic vaccine injection system for flatfish. *Aquacultural Engineering*. ELSEVIER.
- Fukun Gui, Yucheng Li, Guohai Dong, Changtao Guan. 2006. Application of CCD image scanning to sea-cage motion response analysis. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 35, Issue 2, August 2006, Pages 179-190
- Fred Wheaton. Oyster shell-meat sensor. 2008 *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 38, Issue 2, Pages 127-134
- Grimsen, S., Jaques, R.N, Ernest, V. & Balchen J.G. 1987. Aspects of automation in a lobster farming plant. In *Automation and Data Processing in Aquaculture*. Ed. J.G Balchen. Pergamon Press, Oxford, pp 221 – 4.
- H. Charles J. Godfray, John R. Beddington, Ian R. Crute, Lawrence Haddad, David Lawrence, James F. Muir, Jules Pretty, Sherman Robinson, Sandy M. Thomas, Camilla Toulmin. 2010. *Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People*. Vol. 327 no. 5967 pp. 812-818 DOI: 10.1126/science.1185383
- Hoy J.B. 1985. A micro-computer based system for feed control, temperature control and temperature recording in an external fish hatchery. *Computers and Electronics in Agriculture* 1, 105 – 10.
- Kevin Torben Stiller, Damian Moran, Klaus Heinrich Vanselow, Kai Marxen, Sven Wuertz, Carsten Schul. 2013. A novel respirometer for online detection of metabolites in aquaculture research: Evaluation and first applications. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER.
- Martínez-Silvestre Albert. 2008. Métodos actuales de identificación individual en reptiles. *ANIMALIA*. No. 211.
- Mark J. Sharrer, Yossi Tal, Drew Ferrier, Joseph A. Hankins, Steven T. Summerfelt. 2007. Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*. ELSEVIER, Volume 36, Issue 2.
- Morten Omholt Alver, Jo Arve Alfredsen, Gunvor Øie, Werner Storøy, Yngvar Olsen. 2010. Automatic control of growth and density in rotifer cultures Original Research Article. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER . Volume 43, Issue 1, Pages 6-13
- Nadine E. Little, Oliver H. Smith, Fred W. Wheaton, Mark A. Little. 2007. Automated oyster shucking: Part II. Computer vision and control system for an automated oyster orienting device. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 37, Issue 1, Pages 35-43
- Nikos Papandroulakis, Papaioannou Dimitris, Divanach Pascal. 2002. An automated feeding system for intensive hatcheries. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 26.
- Piamsak Menasveta, Tanya Panritdam, Pakitsin Sihanonth, Sorawit Powtongsook, Benjamas Chuntapa, Phillip Lee. 2001. Design and function of a closed,

- recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 25, Issue 1, August 2001, Pages 35-49
- Phillip G. Lee. 1995. A review of Control Systems for Aquaculture and Design Criteria for Their Implementation. Marine Biomedical Institute. University of Texas Medical Branch. *Aquacultural Engineering*. ELSEVIER. Volume 14, Pages 205 – 207.
- Phillip G. Lee. 2000. Process Control and Artificial Intelligence Software for Aquaculture. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 23, Issues 1–3, September 2000.
- Plaia W.C. 1987. A computerized environmental monitoring and control system for use in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, 6, 27- 37.
- Reis P. M. S. 2005. Ranicultura em América Latina. Boletín del Capítulo Latinoamericano & del Caribe de la Sociedad Mundial de Acuicultura.
- Robledo G. 2004. Avances sobre tecnologías y progresos en ranicultura en Argentina. Resumen de la exposición efectuada durante el Seminario Internacional de Acuicultura de Aguas cálidas-templadas; CFI-Gobierno de Formosa – Direccion de Acuicultura (SAGPyA).
- S. Duarte, L. Reig, J. Oca. 2009. Measurement of sole activity by digital image analysis Original Research Article. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 41, Issue 1.
- Sagiv Kolkovski, John Curnow, Justin King. 2004. Intensive rearing system for fish larvae research: I. Marine fish larval rearing system. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER.
- Schlieder, R.A. 1984. Environmentally controlled sea water systems for maintaining large marine finfish. *Progressive Fish Culturist*, 46 (4), 285 – 8.
- Steven G Hall, James Finney, R.Paul Lang, Terrence R Tiersch. 2002. Design and development of a geothermal temperature control system for broodstock management of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 26, Issue 4.
- Sverre Holm, John Brungot, Arne Rønnekleiv, Lars Hoff, Vibeke Jahr, Kai M. Kjølrbakken. 2007. Acoustic passive integrated transponders for fish tagging and identification. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 36, Issue 2, Pages 122-126
- Widmyer, R. & Widmyer, T. 1993. Capabilities and management of a continuous feeding system; spring fed feeders. In *Techniques for Modern Aquaculture*. Ed. J.K. Wang. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, pp. 431 – 438.
- Yoram Avnimelech. Bio-filters: The need for an new comprehensive approach. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 34, Issue 3, May 2006, Pages 172-178
- Yu-Heng Wu, Yuan-Nan Chu. 2007. Development of a self-cleaning rotating drum *Artemia nauplii* concentrator. *Aquacultural Engineering*, ELSEVIER. Volume 36, Issue 1