

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO PARA EL CONTROL DE
HUMEDAD Y SONDEO DE PH DEL SUELO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA, PARA EL CULTIVO DE QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL
CAUCA**



JERSON AVENDAÑO SOLARTE
CAMILA ANDREA SEGURA OCAMPO

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA.
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2017

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO PARA EL CONTROL DE
HUMEDAD Y SONDEO DE PH DEL SUELO MEDIANTE ENERGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA, PARA EL CULTIVO DE QUINUA EN EL DEPARTAMENTO DEL
CAUCA**

**JERSON AVENDAÑO SOLARTE
CAMILA ANDREA SEGURA OCAMPO**

Trabajo modalidad investigación presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero físico

**Director
Dr. WILLFRAND PÉREZ URBANO**

**Codirector
Mg. RODRIGO MONTAÑO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE FÍSICA.
INGENIERÍA FÍSICA
POPAYÁN
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director _____

Dr. Willfrand Pérez Urbano

Jurado _____

Mg. Johan Manuel Zúñiga Collazos

Jurado _____

Mg. Luis Fernando Echeverri

Fecha y lugar de sustentación: Popayán, 09 de Febrero de 2018

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por permitirnos venir a este mundo, brindarnos su protección, alejarnos de mal camino, mantener viva nuestra fe y bendecir a todos nuestros seres queridos.

Dedico de manera especial a mi padre **Daniel Segura Sánchez** pues él fue el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación, en el tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlo cada día más.

A mi abuela **Maricela Smith** por siempre estar a mi lado enseñándome que todo en la vida con esfuerzo y dedicación es posible. Por darme apoyo en cada paso y etapa de mi vida, por darme ánimos en todo momento, por ser mi segunda madre. Te amo abuelita.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la comunidad educativa de la **Universidad del Cauca**, por habernos dado la oportunidad de compartir su sabiduría y con ello enriquecer nuestro conocimiento, por haber despertado ese sentimiento de crítica y superación constructiva, aquella que todo egresado debe adquirir en su continua preparación profesional.

A nuestras familias, a todas y cada una de las personas que de una u otra manera nos expresaron su apoyo, respaldo y comprensión, en la elaboración de este arduo trabajo, a quienes esperamos no defraudar.

Al Ingeniero **Rodrigo Montaña**, por habernos abierto las puertas de su sitio de trabajo para realizar gran parte del desarrollo de la metodología de nuestro trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 LA QUINUA EN EL CAUCA.....	3
2.2 COMPONENTES NUTRICIONALES DE LA QUINUA	3
2.3 REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE QUINUA.....	4
2.3.1 Suelo.....	4
2.3.2 pH.	4
2.3.3 Clima.....	4
2.3.4 Agua.....	4
2.3.5 Temperatura.....	4
2.3.6 Altitud.....	5
2.4 HUMEDAD DE SUELOS	5
2.4.1 Agua en el suelo.	5
2.4.2 Humedad en cultivos.....	6
2.5 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	6
2.5.1 pH en suelos.	7
2.6 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO	8

2.6.1 Baterías o acumuladores.	8
2.6.2 Panel solar.	9
2.6.3 Regulador de carga.....	9
2.6.4 Diseño sistema solar fotovoltaico.....	9
2.7 AUTOMATIZACIÓN.....	11
2.7.1 Sistema de control.	11
2.7.2 Actuadores.....	12
3. DIAGNOSTICO Y DISEÑO.....	13
3.1 DIAGNOSTICO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN LA CIUDAD DE POPAYÁN	13
3.2 SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS SENSORES	14
3.2.1 Sensor de humedad YL-69.	15
3.2.2 pH metro AMT-300.....	17
3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	19
3.3.1 Riego por goteo.....	19
3.2.2 Electroválvula.....	19
3.4 SELECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL	20
3.4.1 Tarjeta Arduino Mega 2560. Dadas las múltiples entradas analógicas,	20
3.5 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE RESPUESTA Y DISEÑO DE CONTROL DEL SISTEMA.....	22
3.5.1 Respuesta del sistema en laboratorio	22
3.5.2 Diseño de etapa de control.	23
3.5.3 Programación para el sistema de control.....	27
3.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA AL SISTEMA PILOTO	28

3.7 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL HUMEDAD Y MONITOREO DE PH.....	30
3.7.1 Pruebas iniciales.....	30
3.7.2 Pruebas Finales del sistema.....	32
4. RESULTADOS Y ANALISIS	34
4.1 PRUEBAS INICIALES DEL SISTEMA.....	34
4.1.1 Sistema sin Accionamiento de Electroválvula.....	34
4.1.2 Sistema con un (1) accionamiento por día.....	35
4.1.3 Sistema con tres (3) accionamientos por día.....	36
4.1.4 Tiempos de inercia del sistema.....	39
4.2 CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA.....	40
4.2.1 Consumo energético con un (1) accionamiento y diseño de sistema fotovoltaico.....	41
4.2.2 Consumo energético con tres (3) accionamientos y diseño de sistema fotovoltaico.....	42
4.2.3 Cálculo de un (1) día de autonomía con 3 accionamientos de la electroválvula.....	43
4.2.4 Sistema redimensionado para un (1) día de autonomía con 3 accionamientos.....	44
4.3 PRUEBA FINAL CON EL SISTEMA AJUSTADO.....	45
5. CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	57
ANEXO 1. DATASHEET ACOMULADOR FL12550	57

TABLA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Estados del agua en el suelo ^[12]	6
Ilustración 2. Sistema solar fotovoltaico con cargas de corriente continua ^[15]	8
Ilustración 3. Sensor de humedad YL-69 ^[32]	15
Ilustración 4. Sensor de pH AMT-300.....	17
Ilustración 5. Gotero 2(L/h).....	19
Ilustración 6. Electroválvula.....	20
Ilustración 7. Arduino Mega 2560.....	21
Ilustración 8. Esquema modular del sistema.....	24
Ilustración 9. Módulo 1 electroválvula.....	25
Ilustración 10. Módulo 2 display lcd.....	25
Ilustración 11. Módulo 3 tarjeta Arduino Mega 2560.....	26
Ilustración 12. Módulo 4 alarma.....	26
Ilustración 13. Reloj DS1307.....	27
Ilustración 14. Programa sistema de control.....	27
Ilustración 15. Esquema distribución de zonas del terreno.....	30
Ilustración 16. Zona 2 plantas con riego.....	31
Ilustración 17. Zona 1 plantas sin riego.....	31
Ilustración 18. Montaje sistema reacondicionado.....	33
Ilustración 19. Sistema de control del sistema.....	33
Ilustración 20. Sistema de riego cultivo.....	33

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Comparación entre los valores nutricionales de algunos granos y la quinua (comestible 100 g) ^[6]	3
Tabla 2. Escala de pH para describir categorías de acidez o alcalinidad ^[13]	7
Tabla 3. Registro de datos de equipos.	10
Tabla 4. Variables climatológicas Popayán Junio-Julio.	13
Tabla 5. Promedios variables climatológicas en Popayán en los meses de Junio-Julio.	14
Tabla 6. Valores de las variables que influyen en el cultivo de quinua.	14
Tabla 7. Especificaciones sensor de humedad.....	15
Tabla 8. Especificaciones pH metro AMT-300.....	17
Tabla 9. Especificaciones electroválvula.	20
Tabla 10. Especificaciones Arduino Mega 2560.	21
Tabla 11. Datos de equipos.....	28
Tabla 12. Calculo sistema solar fotovoltaico.....	28
Tabla 13. Cálculo de corriente y potencia del panel.	28
Tabla 14. Elementos constitutivos del sistema solar fotovoltaico.	29
Tabla 15. Registro variables.	37
Tabla 16. Registro de variables.	39
Tabla 17. Tiempos de inercia.....	39
Tabla 18. Tiempos de inercia.....	39
Tabla 19. Valores de % carga batería FL12550.	40
Tabla 20. Valores de voltaje, carga y delta de carga.	41
Tabla 21. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) accionamiento, parte 1. 41	41
Tabla 22. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) accionamiento, parte 2. . 42	42
Tabla 23. Valores de voltaje, carga y delta de carga.	42
Tabla 24. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (3) accionamientos, parte 1. 42	42
Tabla 25. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (3) accionamientos, parte 2. 43	43
Tabla 26. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 1.....	43

Tabla 27. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 2.....	44
Tabla 28. Elementos sistema solar fotovoltaico redimensionado.....	44
Tabla 29. Valores de voltaje, carga y delta de carga.	44
Tabla 30. Calculo elementos del sistema fotovoltaico redimensionado con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 1.	45
Tabla 31. Calculo elementos del sistema fotovoltaico redimensionado con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 2.	45
Tabla 32. Plantas registró fotográfico.	50

RESUMEN

El presente proyecto de grado consiste en el desarrollo de un sistema piloto autosustentable que permite el monitoreo de pH y el control humedad del suelo, a través de la implementación de diversos dispositivos electrónicos (microcontrolador, sensores y actuadores) junto al sistema solar fotovoltaico, para brindar al usuario la medición de variables físicas (pH y control humedad del suelo) en el cultivo. Para lograr dichas medidas se utilizarán diferentes tipos de sensores que arrojarán valores medidas de las variables de interés, sensadas en el transcurso del tiempo. Estos sensores estarán conectados a un dispositivo microcontrolador de la familia Arduino, que recibirá los datos, los mostrara en pantalla y posteriormente realizara una comunicación con la aplicación desarrollada para realizar la acción. Es importante denotar que el control implementado es del tipo on-off para la humedad, permitiendo mantener en un rango predefinido las variables de interés para el óptimo desarrollo del cultivo.

Una vez realizadas las pruebas y determinado el consumo de energía del sistema, se reajustará el sistema solar fotovoltaico con el fin de generar ahorro y determinar si el sistema diseñado inicialmente está sobredimensionado. La energía eléctrica obtenida servirá para activar el sistema de control, el cual cuenta con un software previamente establecido que permitirá encender y apagar, según sea su programación, una electroválvula dispuesta para el riego de la zona establecida. El sistema será completamente automático, los módulos fotovoltaicos brindarán la energía requerida, mientras que el sistema de control se encargará de dar las órdenes de cómo debe actuar la electroválvula para realizar el riego mediante goteo.

Palabras Clave: Control, energía solar, humedad, pH, quinua, sistema fotovoltaico.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con grandes recursos naturales y su economía en el transcurso de la historia ha dependido de la explotación de los mismos. La globalización de los mercados exige una mayor competitividad, esto es, cumplir con procesos de producción y calidad a fin de lograr comercializar sus productos en mercados tanto locales como internacionales; por tal motivo todo lo que se produzca en el país debe tener los mejores estándares de calidad y eficiencia que le permitan competir en esta nueva economía. Nuestro sector agrícola se explota u aprovecha en un bajo porcentaje por lo que la tecnificación y automatización de la producción agrícola es prioritaria si se desea competir en el ámbito económico mundial.

El agricultor es reacio a cambios de paradigmas, ya que asocia tecnología con dificultad de manejo y altos costos, es por eso que se busca diseñar e implementar un sistema fiable y autosustentable que cumpla con las necesidades del agricultor. Con la implementación de este sistema se puede controlar de forma automática la variable de humedad y monitorear el pH del suelo, facilitando de esta manera la administración del cultivo, aumentando la calidad de este con base en la precisión de los sensores y los actuadores junto con el constante monitoreo que permite este sistema autónomo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El departamento del Cauca está situado en el suroeste de Colombia entre las regiones pacífica y andina ^[1]. El gobierno departamental ha acogido la Política Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional ^[2], para lo cual estableció el Plan Departamental de Seguridad Alimentaria y Nutricional “Cauca sin Hambre” 2009-2018, en el que la quinua es el eje central de esa política pública. La inseguridad alimentaria y nutricional causa un gran impacto negativo sobre la salud y la calidad de vida de las personas.

Se identifican tres dificultades que limitan el desarrollo del cultivo de quinua: En primer lugar la elección inadecuada del tipo de suelo, ya que su nivel del pH afecta la disponibilidad y asimilación de nutrientes en distinto grado y forma. En segundo lugar, se encuentra la metodología del riego de este cultivo, la cual se realiza de forma artesanal (baldes o mecánicos) generando altos consumos de agua y elevando los valores de humedad en el suelo de la plantación. Finalmente, se encuentra la no prestación del servicio de electricidad o mal funcionamiento de la prestación de este servicio en el departamento del Cauca donde se encuentran o no plantaciones de quinua, impidiendo el desarrollo de instalaciones que permitan la tecnificación para este cultivo y que podrían mejorar la productividad del mismo ^[3].

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se pretende con este sistema aportar a la tecnificación de los cultivos de quinua en el departamento del Cauca y en el país en general, contribuyendo a mejorar la productividad. Debido al calentamiento global y a las condiciones climatológicas actuales, se hace más evidente la crisis y disponibilidad de agua siendo prioridad el control de su uso, por lo tanto, se pretende que este sistema ayude al cuidado y control (on-off) del consumo del agua en el cultivo, generando a su vez valores adecuados de humedad en el suelo de la plantación.

En complemento, la supervisión del pH también permitirá aportar en los anteriores aspectos y garantizará una intervención adecuada en el cultivo, nivelando así el pH del suelo, mejorando la vida útil y productiva de la plantación. Adicionalmente se brinda una solución a la falta del suministro eléctrico en diferentes zonas del Cauca, por medio de un sistema autosustentable mediante energía solar fotovoltaica, contribuyendo así a la masificación de estos sistemas en zonas no interconectadas ^[4], aprovechando energías alternativas y limpias que no contribuyen al calentamiento global.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema piloto autosustentable eléctricamente mediante energía solar fotovoltaica para el control de la humedad y la supervisión del pH del suelo para cultivos de quinua en el departamento del Cauca.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico respecto de las variables climatológicas de Popayán para el cultivo de quinua.
- Establecer las condiciones y elementos necesarios para la implementación del sistema piloto.
- Implementar un sistema automatizado de riego para control de humedad y sondeo de pH.
- Diseñar e implementar un sistema de energía solar fotovoltaica para el suministro de la energía eléctrica del sistema piloto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LA QUINUA EN EL CAUCA

La quinua se cultiva en la región andina desde hace más de siete mil años. El sector agroindustrial de la quinua en el Cauca, agremia a empresas que se integran a la cadena productiva de un grano que, además de ser considerado como un importante alimento, se constituye en una alternativa de ingresos para un gran número de familias caucanas [5]. De acuerdo con los datos de la Cámara de Comercio del Cauca, desde el 2001 han surgido 19 empresas en el departamento que se encargan de la transformación de este producto. Y un poco más de 2.000 productores se encargan del proceso agrícola de la cadena de producción [5]. La Quinua del departamento del Cauca es reconocida a nivel nacional por sus altos estándares de calidad y por su gran crecimiento en producción en los últimos años, tanto así que sus cosechas ya repuntan entre las más importantes, disputándose el primer puesto con el departamento de Nariño.

2.2 COMPONENTES NUTRICIONALES DE LA QUINUA

Tabla 1. Comparación entre los valores nutricionales de algunos granos y la quinua (comestible 100 g) [6].

Composición	Quinua	Arroz	Cebada	Trigo	Maiz	Centeno	Sorgo
Lípidos(g)	6.07	0.55	1.3	2.47	4.74	1.63	3.46
Proteínas(g)	14.12	6.81	9.91	13.68	9.42	10.34	10.62
Ceniza(g)	2.7	0.19	0.62	1.13	0.67	0.98	0.84
Fibra(g)	7.0	2.8	15.6	10.7	7.3	15.1	6.7
Carbohidratos(g)	64.16	81.68	77.72	71.13	74.26	75.86	72.09
Energía(Kcal)	368	370	352	339	365	338	329

La composición química proximal de los granos de quinua, está constituida por, la humedad entre 5.4% y 20.7%, promedio 12.9%; proteína de 9.6% a 22.1%, promedio de 14.3%, grasa entre 1.8% y 8.2%, promedio 4.6%; ceniza de 2.4% a 9.7%, promedio 3.5%; carbohidratos entre 46.0% y 77.4%, promedio 61.4%; fibra 1.1% y 5.8% promedio 3.0% y celulosa entre 2.9% y 12.2%, con un promedio de 5.3%. El valor biológico de los granos de quinua lavados es de 80.79 siendo mayor que los reportados para el arroz, el maíz, el centeno, el trigo y la torta de soya [6].

2.3 REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE QUINUA

Los requerimientos importantes del cultivo para una adecuada producción son pH del suelo, clima, agua, precipitación, temperatura, radiación y altitud.

2.3.1 Suelo. La planta requiere de suelos francos, franco-arenosos, franco-arcilloso, con pendientes moderadas, y deben tener contenidos altos de materia orgánica porque es exigente en nitrógeno. En suelos arenosos las plantas emergen más rápido de lo normal, pero el desarrollo de la arquitectura de la planta es débil. En suelos arcillosos el agua se anegara, pues la planta es muy susceptible a la humedad excesiva, en suelos con bajos niveles de materia orgánica su desarrollo será también muy débil propensa al ataque de plagas y enfermedades ^[7].

2.3.2 pH. El pH que requiere la planta es alrededor del neutro, sin embargo puede prosperar muy bien en suelos alcalinos de hasta 9, y también en suelos ácidos de hasta 4.5, esto dependerá de la variedad de quinua; pero el pH óptimo varía de 6.5-8.0 ^[7].

2.3.3 Clima. En cuanto al clima, la quinua por ser una planta muy plástica y tener amplia variabilidad genética, se adapta a diferentes climas desde el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando hasta las cabeceras de la ceja de selva con mayor humedad relativa y a la puna y zonas cordilleranas de grandes altitudes, por ello es necesario conocer que genotipos son adecuados para cada una de las condiciones climáticas ^[8].

2.3.4 Agua. La planta es muy eficiente en el uso del agua, porque prospera en suelos de costa que son secos y también en suelos de selva que son húmedos, pero la disponibilidad de humedad del suelo es un factor determinante especialmente en las primeras etapas del cultivo desde emergencia hasta las primeras cuatro hojas. El requerimiento mínimo de precipitación para la germinación es de 30 a 45 mm por dos a cinco días, soportando después veranillos hasta por dos meses por la presencia de papilas higroscópicas en las hojas y su sistema radicular muy desarrollado para resistir esas condiciones de sequía. La cantidad requerida óptima de agua es de 300-500 mm de precipitación por campaña agrícola, bajo estas condiciones se puede observar el crecimiento y desarrollo adecuado de la planta ^[7].

2.3.5 Temperatura. La quinua, por su alta variabilidad genética, se adapta a diferentes climas, desde aquellos calurosos y secos como el clima de la costa desértica, a aquellos templados lluviosos o secos de los valles interandinos y aquellos fríos y lluviosos o secos de la sierra alta y el altiplano. Las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo, dependiendo de las variedades, están en el rango de 15 a 25°C. Puede tolerar

las heladas y temperaturas altas durante las fases de desarrollo vegetativo y la formación de la inflorescencia y no desde la floración hasta el estado de grano pastoso. Tanto las bajas como las altas temperaturas originan esterilidad de polen y afectan el desarrollo y crecimiento de la planta, dando lugar a esterilidad o granos inmaduros, arrugados o de bajo peso; dependiendo del momento en que se produce el estrés de temperatura ^[10].

2.3.6 Altitud. La quinua crece y se adapta desde el nivel del mar hasta cerca de los 4,000 metros sobre el nivel del mar. Quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su período vegetativo, comparados a los sembrados en la zona andina, observándose que el mayor potencial productivo se obtiene al nivel del mar habiendo obtenido hasta 6,000 Kg/ha, con riego y buena fertilización ^[9].

2.4 HUMEDAD DE SUELOS

El contenido de humedad de suelo puede expresarse gravimétricamente con la siguiente formula, que expresa que el porcentaje de humedad basado en el peso del suelo ^[12].

$$W = \% \text{ de humedad gravimetrica} = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} \times 100 \quad (1)$$

Donde,

W : Humedad gravimétrica en porciento.

Psh : Peso del suelo húmedo.

Pss: Peso del suelo seco.

Esto es igual a:

$$W = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa del suelo seco}} \quad (2)$$

La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, de las plantas, de la profundidad de extracción de la muestra de suelo y de las características y condiciones físicas. En un momento dado y a una profundidad dada, es muy variable y depende de la ubicación en el terreno del punto en consideración. La humedad volumétrica se puede considerar también como la lámina de agua contenida en una unidad de profundidad de suelo; esta es una forma práctica para considerar la humedad de acuerdo con la terminología de riego y de la lluvia ^[11].

2.4.1 Agua en el suelo. En cultivo, cuando se realiza un riego se producen tres situaciones a lo largo del tiempo en cuanto al contenido de agua como se observa en la Ilustración 1 ^[12].

Saturación: En un primer momento se ocupan todos los poros con agua. Se expulsa todo el aire de los poros y la planta no puede respirar, no puede obtener energía y no puede absorber. Tanto el agua como los nutrientes en ella disueltos se pierden en profundidad.

Capacidad de campo: Una vez que se escurre el agua “sobrante”, comienzan a aparecer los poros con aire, momento en el cual se dan las condiciones de contenido de agua y aire que hacen posible el aprovechamiento del agua y los nutrientes disueltos.

Punto de marchitez permanente: Es la tercera condición de humedad del suelo en la cual, el agua que queda, es fuertemente retenida por el suelo, tanto que la raíz no puede vencer esa fuerza.

Ilustración 1. Estados del agua en el suelo ^[12].



2.4.2 Humedad en cultivos. El agua es un elemento fundamental que rige los procesos biológicos sobre la tierra. Su disponibilidad en cantidad y distribución respecto al tiempo en asociación con temperatura y la naturaleza geológica de la corteza terrestre define las formas de vida ^[12]. En relación con la producción agrícola, adicionalmente de que el agua es el principal factor en las plantas, su mayor importancia radica en el efecto que tiene sobre la producción en los cultivos. Así entonces el agua se comporta como un insumo como al que las plantas responde en forma significativa según el grado en que su disponibilidad sea adecuada en cantidad como oportunidad ^[12].

2.5 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

El concepto de pH (potencial de hidrógeno) deriva de la necesidad de cuantificar la acidez y la alcalinidad. La acidez es una propiedad que en los orígenes de la química se detectó por el sabor agrio de las sustancias naturales, mientras que la alcalinidad se apreció por

la sensación jabonosa de algunas sustancias al tacto. Para la medición de estas propiedades se creó una escala que se basa en la concentración de los iones de hidronio (H_3O^+) en una solución. En el agua pura estas concentraciones son exactamente iguales; es el punto de neutralidad y corresponde a un pH igual a 7 [15].

El valor del pH depende de la concentración molar de iones hidronio [H_3O^+], y se obtiene con la formula siguiente:

$$pH = -\log[H_3O^+] \quad (3)$$

La concentración molar [H_3O^+] varía generalmente de 10^{-1} a 10^{-14} mol, con lo que el pH varía de 1 a 14. Un pH menor de 7 indica acidez; mayor de 7 indica alcalinidad; igual a 7 neutralidad [13].

2.5.1 pH en suelos. En condiciones naturales el pH del suelo varía un suelo orgánico, con alta concentración de ácidos húmicos, tiene el valor más ácido (pH de 4 a 7), mientras que un suelo con alto contenido de sales como sulfatos carbonatos se acerca al valor 9. En términos generales la acidez puede ser incrementada por la segregación de las raíces y por acción microbiana, mientras que la alcalinidad se produce cuando predominan ciertas sales de calcio, magnesio y sodio [13].

La acidez en el suelo está muy relacionado con las concentraciones de hidrogeno y se considera que el pH del suelo está muy relacionado con las cantidades relativas de cationes de ácidos (H^+ y Al^{+++}) y de bases (Ca^{+++} , Mg^{+++} , K^+ y Na^+) en los sitios de intercambio, el pH sube cuando aumentan las concentraciones de bases y baja cuando se incrementan las concentraciones de ácidos. La condición acida del suelo reduce la disponibilidad de Ca, Mg, Mo, y P; mientras que incrementa la disponibilidad del Fe, Mn, B, Cu y Zn. El nitrógeno es más disponible con un pH entre 6.0 y 7.0 [14]. La expresión de categorías del pH, se expresa claramente en la Tabla 2.

Tabla 2. Escala de pH para describir categorías de acidez o alcalinidad [13].

pH	Denominación	Siglas
<5	Muy ácido	M. Ac.
5,0 – 5,5	Ácido	Ac.
>5,5 – 6,0	Medianamente ácido	Me. Ac.
>6,0 – 6,5	Ligeramente ácido	L. Ac.
> 6,5 – 7,0	Prácticamente Neutro	P. N.
7,0	Neutro	N.
> 7,5 – 8,0	Ligeramente alcalino	L. Al.

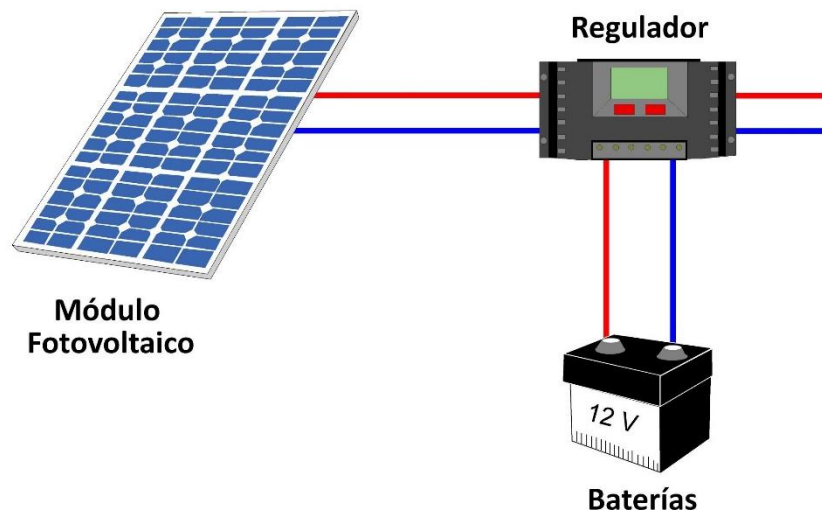
pH	Denominación	Siglas
> 8,0 – 8,5	Mediamente alcalino	Me. Al.
> 8,5	Alcalino	Al.

2.6 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable (o aprovechable) como energía eléctrica ^[15].

En el sistema solar fotovoltaico la energía producida por los módulos fotovoltaicos es almacenada en baterías de acumulación. La carga es alimentada, a través del regulador de carga, por la energía acumulada en las baterías ^[16-17].

Ilustración 2. Sistema solar fotovoltaico con cargas de corriente continua ^[15].



2.6.1 Baterías o acumuladores. En las instalaciones fotovoltaicas lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías asociadas en serie o paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula insolación. La fiabilidad de la instalación depende en gran medida del sistema de acumulación. Según su empleo en instalaciones de electrificación fotovoltaica, es necesario conocer los siguientes conceptos.

Capacidad: Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se

mide en Amperios - hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130Ah es capaz de suministrar 130A en una hora o 13A en diez horas.

Eficiencia de carga: Es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa que toda la energía empleada para la carga puede ser remplazada para la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja, es necesario dotarse de un mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.

Auto descarga: Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.

Profundidad de descarga: Se denomina profundidad de descarga al valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador plenamente cargado. Como ejemplo, si se tiene una batería de 100Ah se somete a una descarga de 20Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%.

2.6.2 Panel solar. El elemento principal de cualquier instalación de energía solar es el panel solar que convierte la energía del sol en energía eléctrica (corriente continua). Su funcionamiento se basa directamente la luz solar en energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en el efecto fotovoltaico. En un panel fotovoltaico la producción de corriente depende de la irradiancia (nivel de intensidad lumínica), de tal forma que a medida que aumenta la irradiancia, aumenta la intensidad de corriente a través de la célula.

2.6.3 Regulador de carga. Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación fotovoltaica en la unión de los paneles solares con la batería ha de instalarse un sistema de regulación de carga. Este sistema es siempre necesario, salvo en el caso de los paneles autorregulados. El regulador tiene como función fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima y la administración en el sistema solar fotovoltaico.

2.6.4 Diseño sistema solar fotovoltaico. De acuerdo con lo anterior para el diseño del sistema en primer lugar se procede al registro de carga de cada uno de los equipos constitutivo del sistema, cantidad, tiempo de uso, potencia y energía.

Tabla 3.Registro de datos de equipos.

Carga o consumo	Cantidad	Tiempo de uso (hora/día)	Potencia (W)	Energía Whora/día
Carga total diaria				

En segundo lugar a partir de la Tabla 3 y el factor de protección de la ciudad de Popayán definido en 1.3, se realiza el producto de este por la carga total diaria obteniendo el factor de protección del sistema.

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} * \mathbf{F}_p \quad (4)$$

F: Factor de protección del sistema.

E: Carga total diaria.

F_p: Factor de protección ciudad de Popayán.

En tercer lugar se prosigue al cálculo del valor del acumulador, a partir de la división del factor de protección entre la tensión del sistema (12 v).

$$\mathbf{G} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{T}_s} \quad (5)$$

G: Acumulador del sistema.

F: Factor de protección del sistema.

T_s: Tensión del sistema.

Los acumuladores, por recomendación, nunca deben descargarse por completo, por lo tanto se recalcula el valor del acumulador con una medida de protección del 30% en donde el valor que se obtiene será la requerida para el uso del sistema.

$$\mathbf{H} = \frac{\mathbf{G} * 100\%}{70\%} \quad (6)$$

H: Valor acumulador con medida de protección.

Una vez calculado el valor de acumulador con medida de protección, es necesario obtener las horas de radiación solar efectiva para la ciudad de Popayán encontradas el atlas solar del IDEAM con valores de 4 a 5 horas. Con dicho dato se efectúa el cálculo para conseguir la corriente total del sistema con un factor de protección de 1,2.

$$I_t = \frac{H}{H_r} \times 1,2 \quad (7)$$

I_t: Corriente total del sistema.

H_r: Horas de radiación solar.

Por ultimo una vez obtenida la corriente del arreglo fotovoltaico se procede a realizar el cálculo de potencia del arreglo fotovoltaico con el valor de máxima potencia que se encuentra en el datasheet del panel solar y la corriente total del sistema. Con este último cálculo se puede proceder a la selección de cada uno de los elementos constitutivos del sistema.

$$P = I_t * V_{mp} \quad (8)$$

P: Potencia arreglo fotovoltaico.

V_{mp}: Valor de máxima potencia (v).

2.7 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un proceso en el que se transfieren las tareas de producción, realizadas generalmente por operadores humanos, a un conjunto de elementos y herramientas tecnológicas que realizan tales funciones de manera autónoma.

Un sistema de automatización automático o semiautomático, básicamente se compone de tres partes principales los transductores, el sistema de control y los actuadores. Con la ausencia de alguno de estos tres componentes, el sistema de automatización queda imposibilitado para ejecutar la tarea para la cual fue diseñado ^[18].

2.7.1 Sistema de control. Un sistema de control es una interconexión de elementos que hacen posible el manejo controlado del cambio de una variable de salida a través de variaciones presentes en la variable de entrada de manera autónoma o por medio de la intervención de un operario ^[19].

Existen diferentes tipos de sistemas de control según las constantes de proporcionalidad adoptadas, las cuales afectan de cierta forma a la señal de entrada para entregar una señal de salida acorde ^[19]. Cada uno de los sistemas de automatización presenta unos requerimientos en cuanto al sistema de control a utilizar y que el personal debe conocer para hacer una buena elección a la hora de su implementación física. Entre los tipos de sistemas de control existentes, destaca el control ON/OFF, implementado en el presente proyecto, los actuadores y electroválvulas.

Controlador ON/OFF: Es el tipo más simple en cuanto a funcionamiento. Basa su comportamiento en dos estados de acción: activo o inactivo, que generalmente se denota como el todo o nada. Entre sus ventajas están la fácil implementación y costo relativamente bajo, utilizado ampliamente en tareas de menor complejidad. Entre sus desventajas esta la poca interacción entre entrada y salida, lo que provoca que el sistema no se auto regule a las condiciones actuales sino que simplemente actué de cierta forma frente a unas condiciones especificadas ^[19].

2.7.2 Actuadores. Transforman las señales de control de salida en esfuerzos de potencia. Entre estos se destacan los dispositivos mecánicos cuya función es proporcionar fuerza para mover otro elemento mecánico ^[19].

La fuerza que acciona al actuador puede provenir de presión neumática (actuadores neumáticos), de presión hidráulica (actuadores hidráulicos), y de fuerza eléctrica (actuadores electromecánicos). Para este proyecto se ha tenido en consideración los actuadores electromecánicos, pues la fuente eléctrica es una de las fuentes de energía más fáciles de utilizar ^[20].

Electroválvulas. Es un dispositivo accionado eléctricamente, normalmente mediante un solenoide, (que permite interrumpir o restablecer la circulación de un fluido por un circuito, mediante una acción mecánica). Las electroválvulas se caracterizan principalmente por dos elementos: el solenoide y la válvula. El solenoide transforma la energía eléctrica en energía mecánica, lo que permite, a su vez, la apertura y cierre mecánico de la válvula ^[20].

3. DIAGNOSTICO Y DISEÑO

3.1 DIAGNOSTICO DE LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS EN LA CIUDAD DE POPAYÁN

En la primera parte de este proyecto se efectúa el registro de las variables climatológicas (humedad, temperatura y precipitación) en Popayán Cauca brindadas por la torre de control del aeropuerto Guillermo León Valencia (ver tabla No. 4), en un tiempo de 5 semanas con horarios fijos de 09:00 am y 6:00 pm, días lunes y viernes durante el mes de junio – julio del 2017, con el fin de analizar si la ciudad de Popayán posee la climatología adecuada para la siembra de quinua.

Tabla 4. Variables climatológicas Popayán Junio-Julio.

Variables climatológicas				
Hora	Fecha	Temperatura (°C)	Humedad aire (%)	Precipitación diaria (mm)
9:00 a. m.	Semana 1 - Lunes	22	41	0
6:00 p. m.	Semana 1 - Lunes	21	56	0
9:00 a. m.	Semana 1 - Viernes	21	54	0
6:00 p. m.	Semana 1 - Viernes	22	41	0.2
9:00 a. m.	Semana 2 - Lunes	21	35	0.5
6:00 p. m.	Semana 2 - Lunes	21	68	0.2
9:00 a. m.	Semana 2 - Viernes	16	94	0.3
6:00 p. m.	Semana 2 - Viernes	20	83	0.8
9:00 a. m.	Semana 3 - Lunes	18	60	0
6:00 p. m.	Semana 3 - Lunes	24	55	0.1
9:00 a. m.	Semana 3 - Viernes	26	36	0
6:00 p. m.	Semana 3 - Viernes	21	63	0.1
9:00 a. m.	Semana 4 - Lunes	16	72	0
6:00 p. m.	Semana 4 - Lunes	21	53	0
9:00 a. m.	Semana 4 - Viernes	16	68	0
6:00 p. m.	Semana 4 - Viernes	21	48	0
9:00 a. m.	Semana 5 - Lunes	18	83	0
6:00 p. m.	Semana 5 - Lunes	20	78	0.3
9:00 a. m.	Semana 5 - Viernes	18	68	0
6:00 p. m.	Semana 5 - Viernes	24	41	0

Fundamentado en la Tabla 4 se obtiene un promedio (ver Tabla 5) de las variables suministrando un estipulado sobre las condiciones de Popayán respecto al cultivo de quinua.

Tabla 5. Promedios variables climatológicas en Popayán en los meses de Junio-Julio.

Variable	Promedio
Humedad del aire (%)	59,85
Temperatura(°C)	20,35
Precipitación(mm)	0

Durante el registro de las condiciones adicionalmente se obtiene el valor de la altitud de la ciudad de Popayán que corresponde a 1.738 metros sobre el nivel del mar.

En segunda instancia, se realiza una revisión bibliográfica en diferentes guías y libros del conocimiento de la quinua para poder hacer una medida de comparación consolidando así las especificaciones y requerimientos de nuestro sistema [26 - 31].

A partir de las consultas bibliográficas se obtienen los siguientes valores para el cultivo de quinua (ver Tabla 6):

Tabla 6. Valores de las variables que influyen en el cultivo de quinua.

Variable	Valor
Altitud	Hasta 4000 msnm
Temperatura máxima	25 °C
Humedad de suelo	44 - 88%
pH	4.5 - 9

Respecto al promedio del registro hecho durante las 5 semanas de las variables climatológicas y la comparación con las variables consultadas en la bibliografía se puede decir que la zona es apta para el cultivo, pero debido a la baja precipitación y corto periodo de registro, se proyecta que en el momento de la instalación las condiciones climatológicas cambien debido al clima templado que normalmente presenta Popayán.

3.2 SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS SENSORES

Una vez obtenida la climatología de la ciudad de Popayán y las necesidades del cultivo de quinua, se realiza la selección adecuada de los sensores para la implementación del sistema. Los sensores deben tener el rango y la resolución adecuada para poder

monitorear o controlar las variables del sistema, además de representar un balance entre costo y utilidad.

3.2.1 Sensor de humedad YL-69. Dado el rango de humedad del suelo en que subsiste la quinua (44% – 88% de humedad del suelo), se opta por utilizar el sensor YL-69 de tipo resistivo. Este sensor devuelve una tensión de 0v a 5v, según el nivel de humedad medido; adicionalmente este sensor trabaja en un rango de 0% a 100% de humedad haciéndolo adecuado para realizar la medida.

Ilustración 3. Sensor de humedad YL-69 [32].

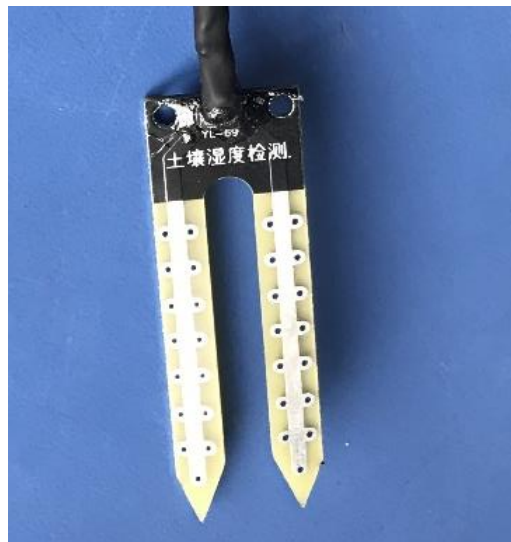
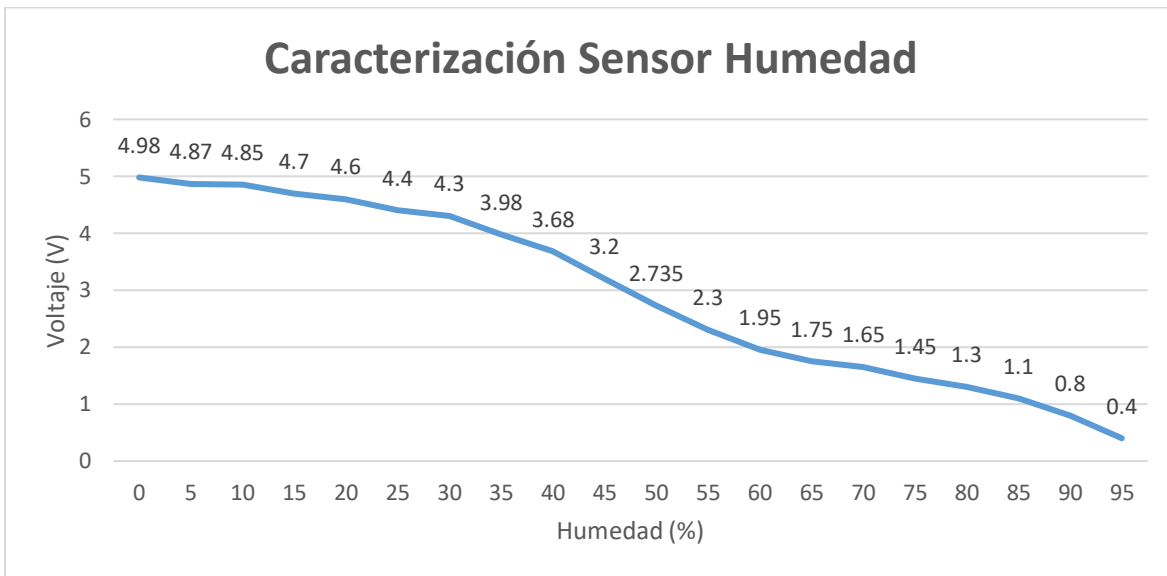


Tabla 7. Especificaciones sensor de humedad.

Sensor	Especificaciones
YL-69	Vin: 3.3V~ 5V
	Rango humedad 0%-95%

Caracterización Sensor de humedad. Una vez seleccionado el sensor de humedad se procede a realizar la caracterización. Inicialmente se dispone el sensor en una muestra de suelo totalmente seca (0% de humedad) y se registra el valor de voltaje correspondiente. Posteriormente se va adicionando cantidades de 5 ml de agua hasta alcanzar el nivel de humedad en el que el sensor alcanza su nivel de saturación. Los valores obtenidos se observan en la Gráfica 1.

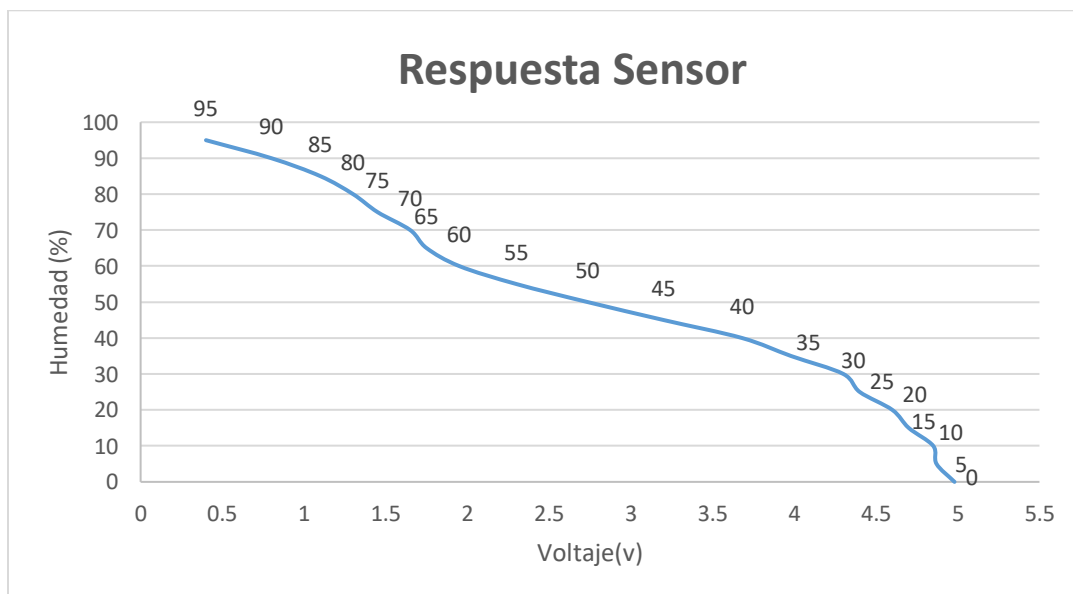
Gráfica 1. Caracterización sensor de humedad.



A partir de la gráfica 1 se observa que el voltaje de salida tiene una relación respecto a la humedad presente en la muestra en donde a mayor humedad menor voltaje.

Respuesta del sistema ante el aumento de humedad: Este procedimiento se realiza adicionado al suelo una cantidad de agua determinada (5 ml) en un volumen $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ registrando uno a uno los valores obtenidos hasta llegar a la saturación del sensor. La respuesta del sensor se evidencia en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Respuesta del sensor para aumento de humedad.



3.2.2 pH metro AMT-300. Considerando el rango de pH en el cual se desarrolla la quinua (4.5-9.0), se selecciona el pH metro digital AMT-300 el cual posee un rango de trabajo de 3.5 a 9.5 en la escala de pH, adaptándose a las condiciones necesarias de trabajo. Por otra parte este pH metro posee una fácil utilización en campo (Ver ilustración 4).

Ilustración 4. Sensor de pH AMT-300.

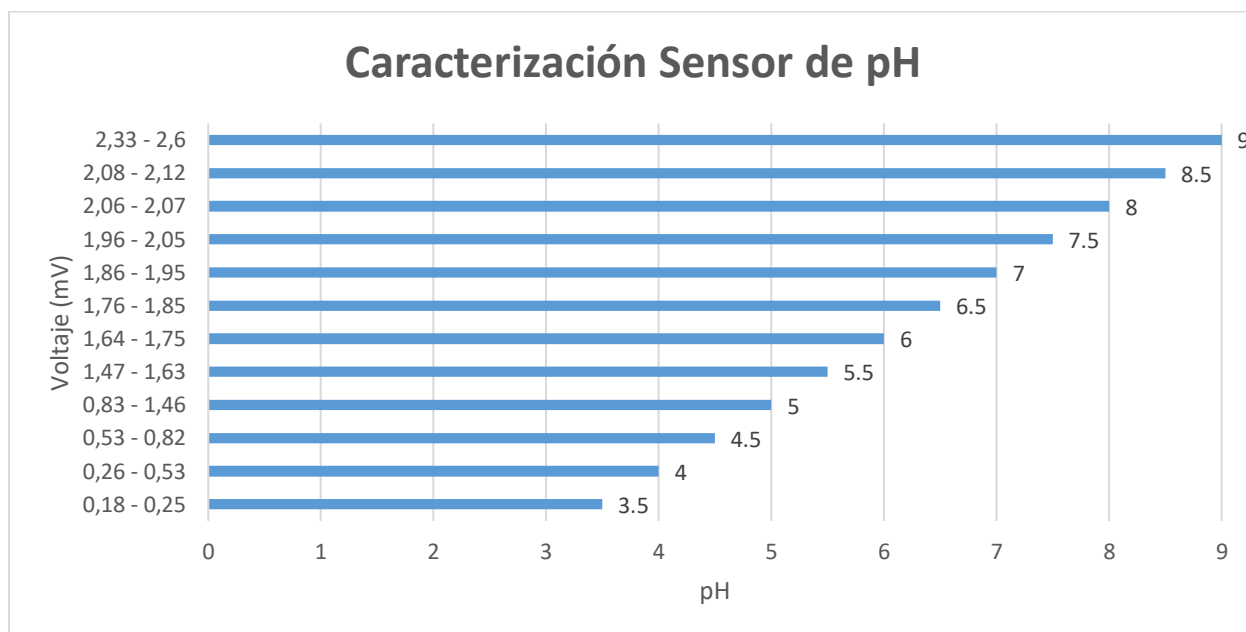


Tabla 8. Especificaciones pH metro AMT-300.

Sensor	Especificaciones
AMT-300	pH del suelo (9 niveles) 3.5-9.5
	Rango de temperatura: -9 a 50°C
	Sonda de 200mm de largo

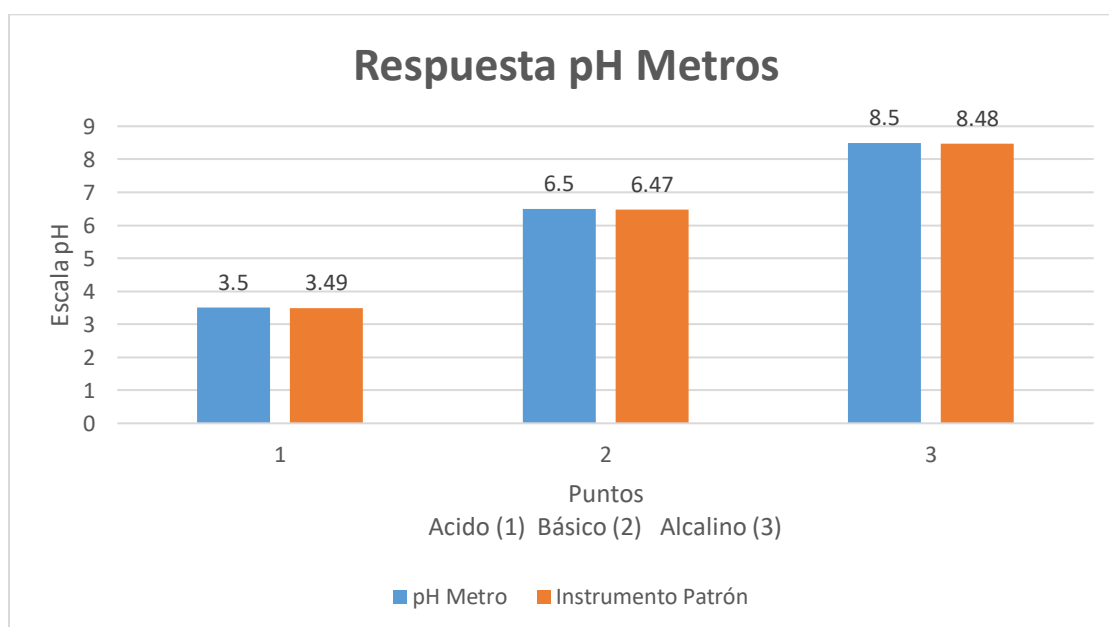
Caracterización sensor de pH: En primer lugar para el pH metro se obtiene la señal de medida correspondiente a cada valor de pH introducido, para posteriormente procesar la señal al sistema.

Gráfica 3.Caracterización sensor de pH.



En segunda instancia, se realiza la calibración. Para la respuesta del pH metro se efectúa una medida de comparación con el instrumento patrón Waterproof combo ph & Ec (Hanna instruments). Este procedimiento se realiza por medio de pasta saturada y a partir de este procedimiento se obtuvieron los siguientes valores:

Gráfica 4.Respuesta del sensor pH con respecto al instrumento patrón.



Los valores obtenidos fueron seleccionados según la escala de pH para un punto ácido, básico, y alcalino. A partir de los datos obtenidos se calcula el correspondiente error relativo porcentual en la medida que corresponde al 0,5 %.

De acuerdo con los errores porcentuales obtenidos, se concluye que el valor de las medidas de los puntos de pH tienen una buena aproximación por lo tanto el sensor de pH implementado es adecuado para el uso y registro en campo.

3.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

3.3.1 Riego por goteo. Una vez seleccionado los sensores del sistema se procede a la elección del sistema de riego a usar en el cultivo. Se selecciona el tipo de riego por goteo, ya que este método aplica el agua al suelo desde una fuente puntual, se infiltra en el terreno y se mueve en sentido vertical y horizontal, utiliza caudales pequeños a baja presión, genera menos pérdida de agua y mantiene un nivel de humedad constante en el suelo constante. Para este tipo de riego se seleccionó el gotero con caudal de salida 2 L/h, el cual se observa en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Gotero 2(L/h).



3.2.2 Electroválvula. A partir de la selección del tipo de riego se procede a optar por la electroválvula ZE-4F180, seleccionándose partiendo de la necesidad de permitir el paso del agua de riego a los goteros con una velocidad de apertura ≤ 0.15 segundos y fácilmente adaptable al sistema. La electroválvula adoptará el modo de abierto o cerrado dependiendo de la orden del sistema de control.

Ilustración 6.Electroválvula.

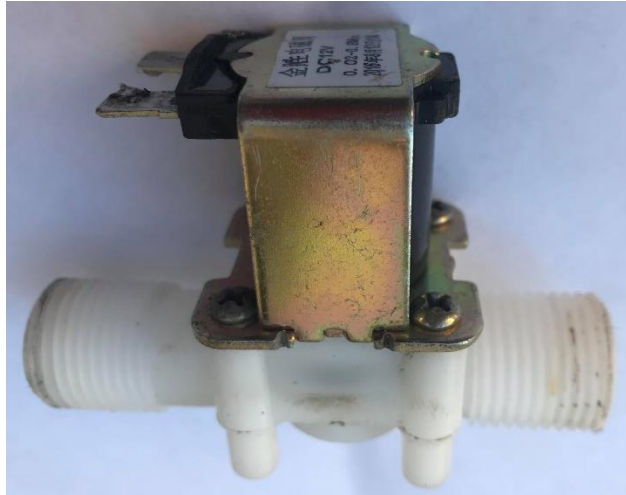


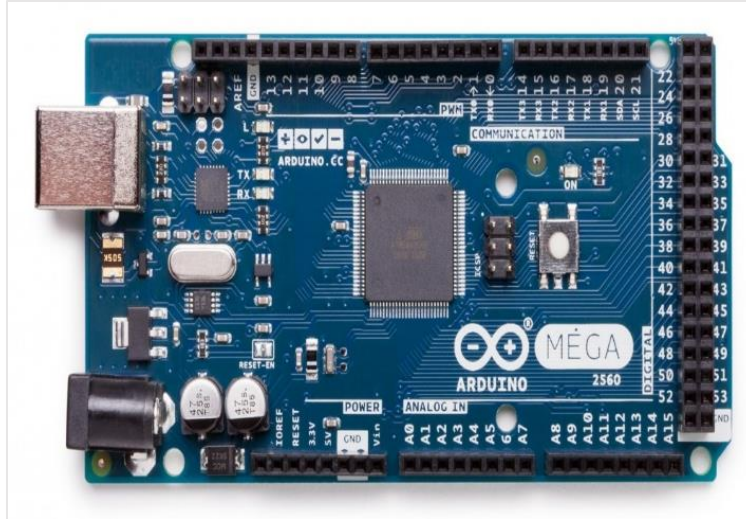
Tabla 9. Especificaciones electroválvula.

Electroválvula	Especificaciones
ZE-4F180	1/2" Nominal NPS
	Presión de trabajo: 0.02 Mpa – 0.8 Mpa
	Temperatura de trabajo: 1 °C – 75 °C
	Tiempo de respuesta (open): ≤ 0.15 sec
	Tiempo de respuesta (close): ≤ 0.3 sec
	Voltaje de actuación: 12VDC
	Vida útil: ≥ 50 millones de ciclos
	Potencia nominal 5W
Amperaje 0.4 A	

3.4 SELECCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL

3.4.1 Tarjeta Arduino Mega 2560. Dadas las múltiples entradas analógicas, sumado al bajo precio de mercado y a su versatilidad para realizar montajes electrónicos de control, registro de variables físicas se opta por la tarjeta Arduino Mega 2560 (Ver ilustración 7).

Ilustración 7. Arduino Mega 2560.



En la Tabla 10 se observan las especificaciones de la tarjeta de control:

Tabla 10. Especificaciones Arduino Mega 2560.

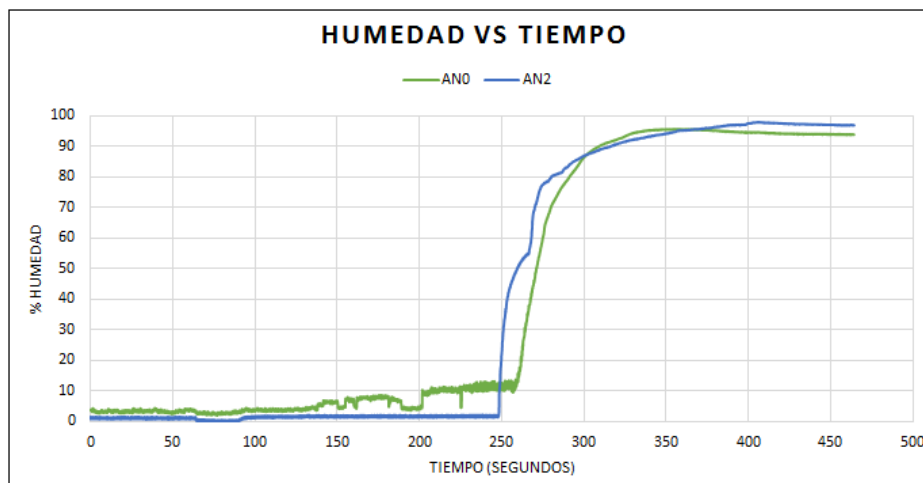
Arduino	Especificaciones
Arduino Mega 2560	Microprocesador ATmega2560
	Tensión de alimentación (recomendado) 7-12V
	Integra regulación y estabilización de +5Vcc
	54 líneas de Entradas/Salidas Digitales (14 de ellas se pueden utilizar como salidas PWM)
	16 Entradas Analógicas
	Máxima corriente continua para las entradas: 40 mA
	Salida de alimentación a 3.3V con 50 mA
	Memoria de programa de 256Kb (el bootloader ocupa 8Kb)
	Memoria SRAM de 8Kb para datos y variables del programa
	Memoria EEPROM para datos y variables no volátiles
	Velocidad del reloj de trabajo de 16MHz
Reducidas dimensiones de 100 x 50 mm	

3.5 ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO DE RESPUESTA Y DISEÑO DE CONTROL DEL SISTEMA.

3.5.1 Respuesta del sistema en laboratorio. A partir del tipo de sistema de riego y seleccionada la tarjeta de control se procede a realizar las pruebas de los sensores y electroválvula en laboratorio para determinar el posible comportamiento en campo antes de implementar el sistema piloto.

Respuesta del sistema ante aumento del nivel humedad con diferentes distancias del punto de goteo: En esta primera prueba se usan dos sensores los cuales se ubican a diferentes distancias, el sensor uno (AN2) se ubica a 6 cm y el segundo (AN0) a 10 cm del punto de goteo, se mide la variación de humedad respecto al tiempo en un volumen de $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

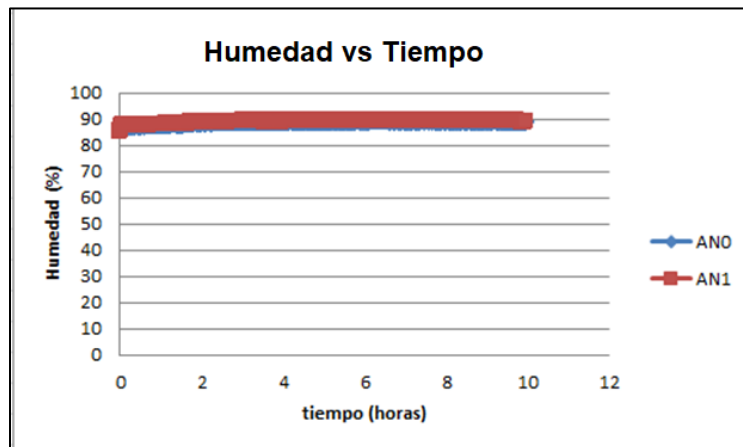
Gráfica 5. Respuesta de los sensores ante el incremento de la humedad.



De acuerdo con la Gráfica 5 el sensor AN0 presenta una respuesta similar al sensor AN2 el cual se encontraba ubicado a una distancia mayor del punto de goteo, donde se encontraban inicialmente en niveles de humedad de 1,5% y 3,1% hasta un 96,2% y 95,2% respectivamente. Se establece que para las distancias en que se ubicaron los sensores, este factor no influyó significativamente.

Respuesta del sistema ante disminución del nivel humedad a diferentes distancias del punto de goteo: En esta segunda prueba se realiza la toma de datos de dos sensores situados a distancia de 6 cm para el sensor 1 y el segundo a 10 cm del punto de goteo, buscando registrar el comportamiento de estos entre el descenso de humedad en un volumen de $2,6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. El procedimiento se realiza dejando el sistema a la intemperie.

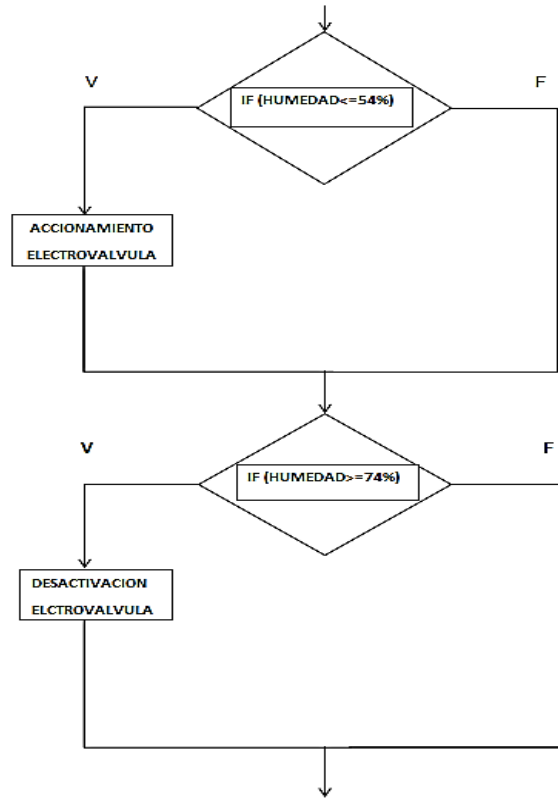
Gráfica 6. Respuesta de los sensores ante la disminución de la humedad.



De acuerdo a la Grafica 6 el sensor ANO y AN1 inician con humedad inicial de 87% y 86% respectivamente, esta prueba busco disminuir la humedad en el sistema y realizo dejando el sistema a intemperie durante 10 horas, pero como se observa el nivel de la humedad no bajo significativamente

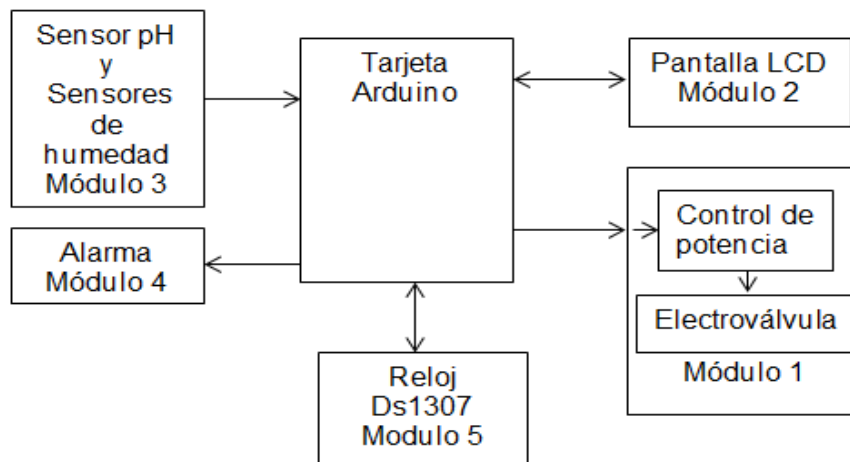
3.5.2 Diseño de etapa de control. Una vez hechas las pruebas del comportamiento del sistema en laboratorio se procede a realizar el diseño de la etapa de control del sistema. Para el rango de control se tendrá en cuenta el rango en que subsiste la quinua (44%-88%) y a partir de este se definen los límites de funcionamiento del sistema con límite superior de 74% e inferior de 54% dentro del cual la electroválvula adopta una posición de abierta cerrada (ver Ilustración 8).

Ilustración 8. Diagrama de flujo sistema de control.



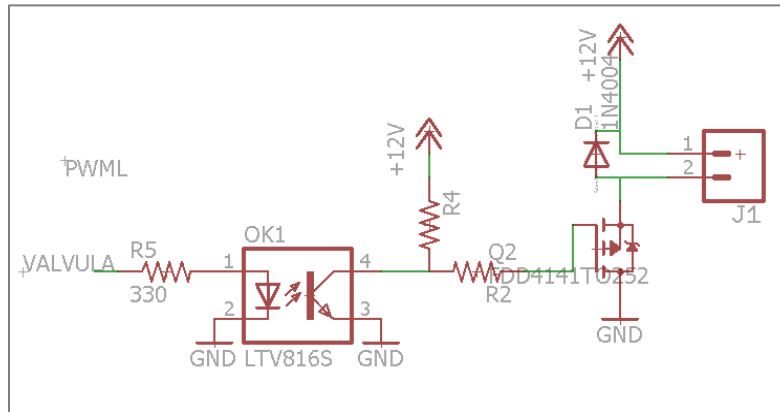
Una vez realizadas las pruebas iniciales con los límites establecidos, se procede a reacondicionar los límites del sistema. El diseño de la etapa de control se efectúa por medio de un programa en el cual se adecuan los diferentes módulos que conformaran la placa.

Ilustración 9. Esquema modular del sistema.



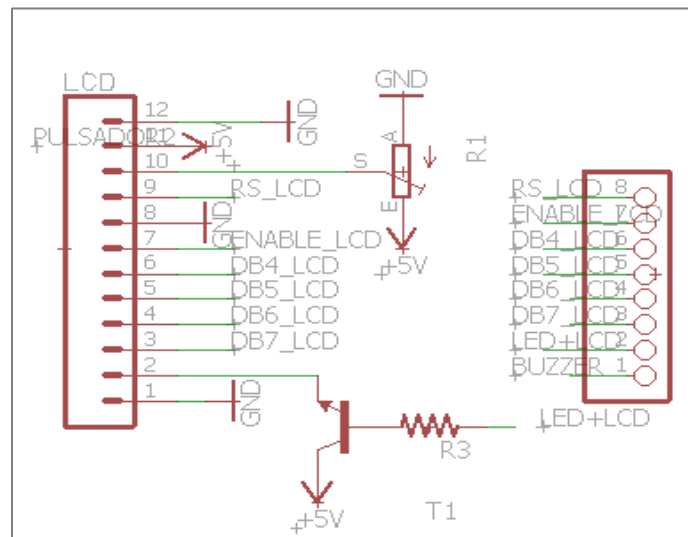
Módulo 1: Primero se plantea el control para el accionamiento de la electroválvula el cual se diseña con componentes como optoacopladores para aislar la etapa de control de la potencia. El accionamiento se hace por medio de un transistor MOSFET (10N60).

Ilustración 10. Módulo 1 electroválvula.



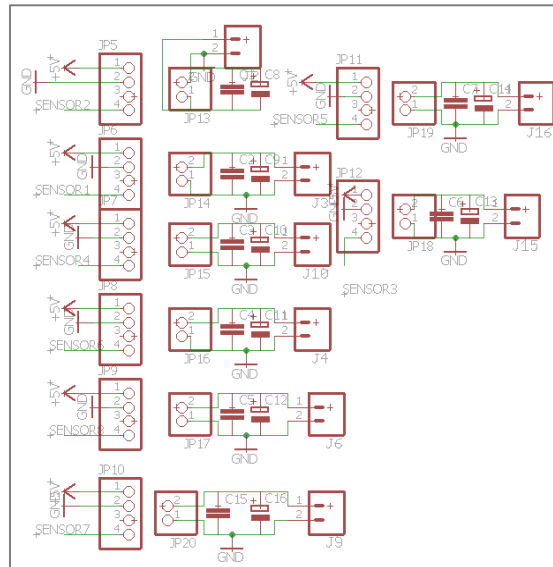
Módulo 2: Debido a la necesidad de visualizar los datos, se implementa en la placa el modulo lcd de 16 x 2 caracteres, la cual permite mostrar en pantalla la humedad del sistema, pH y voltaje del acumulador del sistema fotovoltaico.

Ilustración 11. Módulo 2 display lcd.



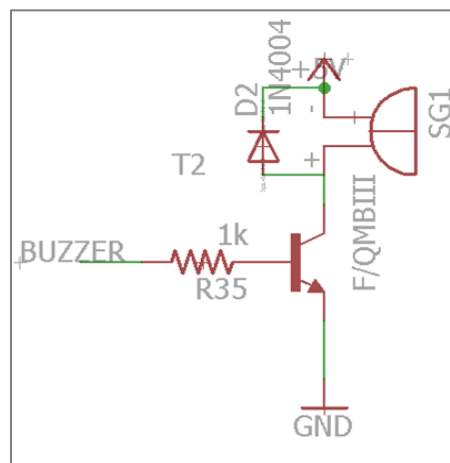
Módulo 3: Se establece la conexión adecuada para los módulos de los sensores, con su respectivo voltaje y la señal que propicia este módulo hacia el conversor análogo digital del Arduino Mega 2560.

Ilustración 12. Módulo 3 tarjeta Arduino Mega 2560.



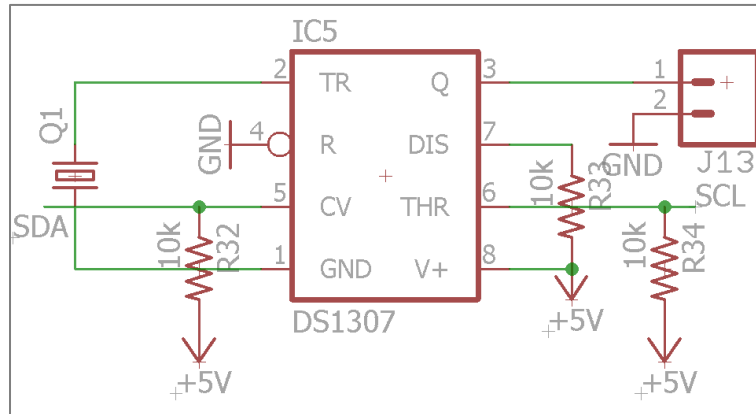
Módulo 4. Para obtener una alerta del cambio de pH en el suelo, se implementa un circuito que consta de un transistor (NPN 2N2222) en zona de corte y saturación para que por medio del transistor se active la sirena dando un alerta temprana del sobrepaso o disminución del rango (4.5 – 9.0) de pH del cultivo de quinua. Con base en lo anterior se proyecta que para siguientes proyectos con esta alarma los agricultores puedan realizar un control del pH.

Ilustración 13. Módulo 4 alarma.



Módulo 5. Para tener un registro de los días y las horas en que se toman los datos se implementa un reloj digital llamado DS1307 con su respectiva batería previendo un posible apagón del sistema y así mantener el registro de la hora constantemente.

Ilustración 14. Reloj DS1307.



3.5.3 Programación para el sistema de control. Con base a los requerimientos del sistema se desarrolló un programa capaz de adquirir las señales generadas por los sensores de humedad y de pH, dando una señal para el accionamiento de la electroválvula (encendido o pagado) teniendo en cuenta las condiciones necesarias del cultivo. El programa toma el promedio de los sensores de humedad en la zona de riego (visualizada en la pantalla lcd), además el reloj DS 1307 registra los datos en tiempo real y se visualiza cada una de las humedades de los sensores, pH, voltaje de batería además de tener la capacidad de accionar las electroválvulas.

Ilustración 15. Pantallazo del sistema de control.

```

GENE Arduino 1.8.2
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
GENE
// }
  lcd.begin(16, 2);
  digitalWrite(ELECTRO_V, HIGH);
  digitalWrite(LED_LCD, HIGH);
  lcd.print("SISTEMA AUTONOMO"); // Aqui va el mensaje
  delay(500);
  lcd.clear();
}

//sensor1_=an2, sensor2=an0, sensor3==an4,
//sensor4=an7, sensor5=an1, sensor6=an3
void SENSORES() {
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("H($)");
  HUM0 = analogRead(A2); delay(10);
  HUM00 = HUM0 * (5.0 / 1023.0);
  HUM000 = 111 - (HUM00*22);
  HUM1 = analogRead(A0); delay(10);
  HUM11 = HUM1 * (5.0 / 1023.0);
  HUM111 = 111 - (HUM11*22);
  HUM2 = analogRead(A4); delay(10);
}

```

3.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA AL SISTEMA PILOTO

Con los componentes seleccionados previamente se realiza el cálculo para determinar los diferentes componentes del sistema fotovoltaico:

Tabla 11. Datos de equipos.

Carga o consumo	Cantidad	Tiempo de uso (hora/día)	Potencia (W)	Energía W•hora/día
Sensor humedad	5	24	0,1	2,4
pH metro	1	24	0,0625	1,5
Arduino mega 2560	1	24	2,4	57,6
Electroválvula	1	0,5	4,8	2,4
Lcd	1	24	0,125	3
Carga total diaria			7,4875	66,9

En primer lugar, a partir del factor de protección 1.3 para la ciudad de Popayán se calcula el factor de protección del sistema; en segundo lugar el sistema a 12 v para el acumulador y finalmente el acumulador con protección en donde el valor que se obtiene equivale al 70 % y otro 30% como medida de protección como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12. Calculo sistema solar fotovoltaico.

Factor de protección	Acumulador	Acumulador con protección
$F = 66,9 \times 1,3 = 86,97 \text{ W}$	$G = \frac{86,97 \text{ w}}{12 \text{ v}} = 7,24 \text{ Ah}$	$H = \frac{7,24 \text{ Ah} * 100\%}{70\%} = 10,34 \text{ Ah}$



Tomado los datos del atlas solar del IDEAM se tiene que el total de horas de irradiación solar para la ciudad Popayán es de 4 a 5 horas. Con este dato se procede a calcular la corriente pico del sistema considerando 5 horas de radiación solar y se calcula la corriente pico del sistema. Obtenido la corriente del panel se procede a realizar el cálculo de potencia del arreglo fotovoltaico con un valor de V_{mp} de panel policristalino de 17,4 V (ver Tabla 13).

Tabla 13. Cálculo de corriente y potencia del panel.

Corriente panel	Potencia panel
$I_t = \frac{10,34 \text{ Ah}}{5\text{h}} \times 1,2 = 2,48 \text{ A}$	$P = 2,48 \text{ A} * 17,4 \text{ v} = 36,02 \text{ W} (13)$

Con base al dimensionamiento del sistema se procede a la selección de los elementos constitutivos del sistema solar fotovoltaico de acuerdo a las condiciones energéticas del sistema.

Tabla 14. Elementos constitutivos del sistema solar fotovoltaico.

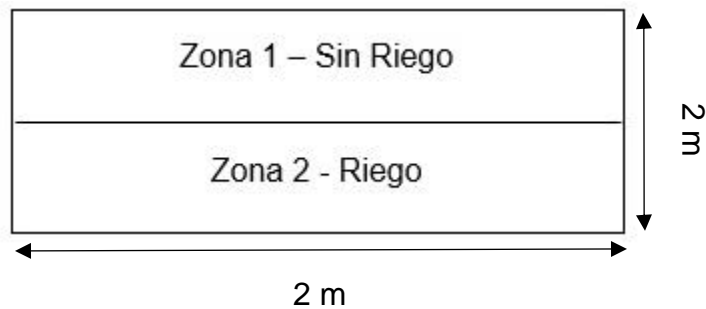
Elementos	Características	Modelo
	Panel solar	
	150 W – 12 V	CS4C-150P
	Regulador	
	10 A -12V/24V	TK20DU
	Acumulador	
	55 Ah -12 v	FL12550

3.7 RECONOCIMIENTO DEL TERRENO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL HUMEDAD Y MONITOREO DE PH

3.7.1 Pruebas iniciales. Para la implementación del sistema y las pruebas del mismo sistema se selecciona un terreno de 4 m², el terreno está localizado en el SENA Centro de Teleinformática y Producción Industrial al norte de la ciudad de Popayán, a una latitud 2°28'59.9"N y longitud 76°33'40.4"W, entre la vía principal Panamericana que comunica a Popayán-Cali.

Para iniciar con la construcción del sistema de riego por goteo, debe tenerse en cuenta la división de dos zonas en el terreno (ver Ilustración 16). En la zona 1 se encuentran las plantas de quinua sin sistema de riego y la zona 2 es la escogida para la implementación del sistema, esto se realiza con el fin de tener una referencia comparativa de absorción entre las dos zonas.

Ilustración 16. Esquema de distribución de zonas del terreno.



Se seleccionan cultivos de tres edades diferentes (uno, dos y tres meses) distribuidas en dos surcos, dos por cada edad, tanto para la zona 1 como la zona 2. Estas plantas son incrustadas en macetas con el fin de determinar con mayor precisión la cantidad de agua que absorbe, evitando además que el agua suministrada por el sistema de riego se disperse en el suelo.

Teniendo en cuenta las zonas y edades seleccionadas se procede a instalar el sistema piloto de control de riego y monitoreo de pH en la zona de riego. En la Ilustración 17 se observa la zona 2 con la instalación del sistema de riego para las 3 edades seleccionadas.

Ilustración 17. Zona 2 (plantas con riego).



En la ilustración 18 se muestra la disposición de los sensores de humedad en el surco que contiene las plantas de uno y tres meses de edad. El monitoreo se realiza solamente sobre una planta por cada edad. De acuerdo a lo anterior se buscan sensor los niveles de humedad presentes en las plantas que no tienen riego.

Ilustración 18. Zona 1 (plantas sin riego).



La infraestructura hidráulica del riego instalada en el cultivo posee una manguera, una electroválvula, goteros para riego y la llave de alimentación de agua. Cada línea de riego consiste en una manguera con espaciamiento entre goteros de 40 cm con un caudal de gotero 2 (l/h).

Ilustración 19. Fotografía de la electroválvula.



Puesta en funcionamiento del sistema piloto. Una vez realizada la instalación del sistema de riego se procede con la implementación del sistema piloto de control de humedad y monitoreo de pH. En primer lugar se instala el módulo de sensado en cada una de las plantas seleccionadas para monitoreo. Luego, se instala el módulo de pH y las conexiones respectivas de la electroválvula. Finalmente se realizan las respectivas conexiones de estos módulos a la tarjeta principal Arduino Mega 2560.

Ilustración 20. Montaje del sistema de control.



3.7.2 Pruebas Finales del sistema. Igualmente que en las pruebas iniciales, se selecciona un terreno de 4 m², ubicado en el parque del barrio Urbanización Caldas

comuna 4 de la ciudad de Popayán con el fin de realizar la implementación del sistema reacondicionado de control y registrar el crecimiento en talla y altura de las plantas en función del sistema de riego y sin él. En la Ilustración 20 se observa el cultivo con un techado en plástico para minimizar el efecto del agua de lluvia.

Ilustración 21. Montaje sistema reacondicionado.



En las ilustraciones 22 y 23 se observa el montaje de control del sistema de control y el sistema de riego del sistema.

Ilustración 22. Sistema de control del sistema.



Ilustración 23. Sistema de riego cultivo.



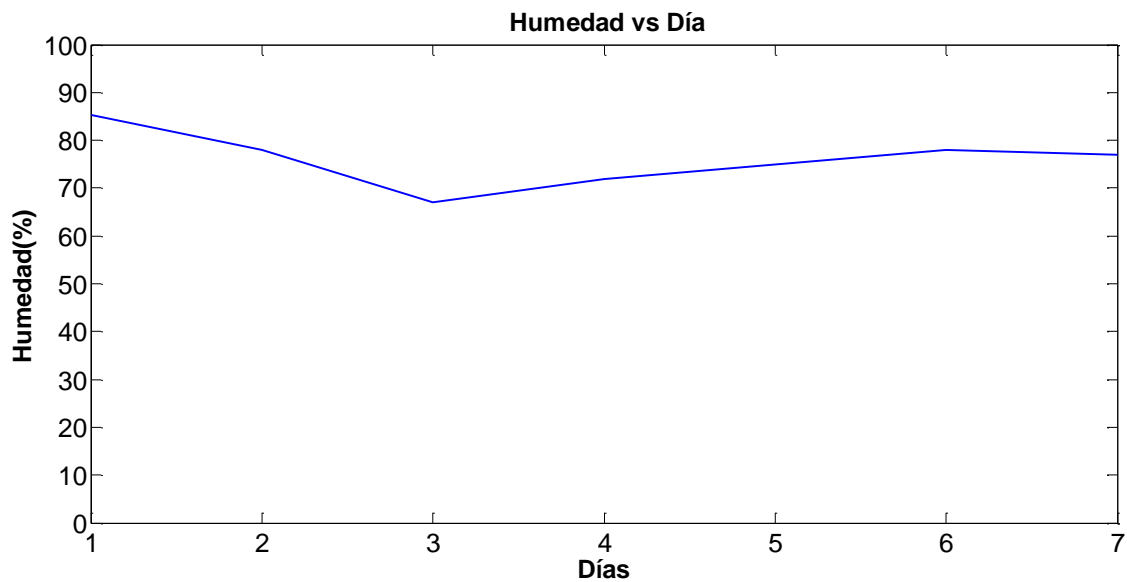
4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1 PRUEBAS INICIALES DEL SISTEMA

Se realiza en primer lugar las pruebas del sistema de control. Se busca que el sistema active la electroválvula cuando los niveles de humedad se encuentren por debajo del 54% y que la desactive una vez alcanzado el 74% de humedad. Con los datos obtenidos de esta prueba se realiza un reajuste al sistema buscando refinar su precisión.

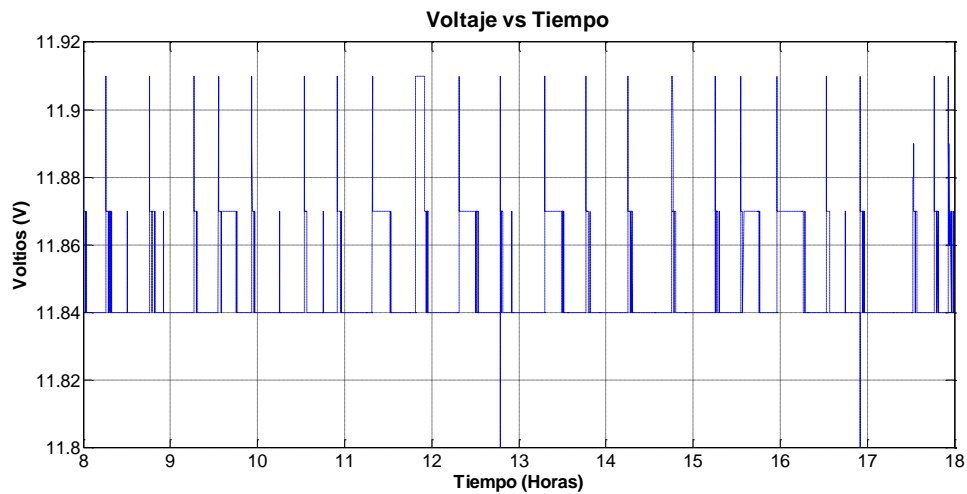
4.1.1 Sistema sin Accionamiento de Electroválvula. Inicialmente se realiza un seguimiento al cultivo durante una semana, pero debido a las condiciones climáticas de alta pluviosidad. El sistema de riego por goteo no se activó. Con base a esto se procede a realizar las gráficas de humedad promedio del suelo por día, voltaje consumido durante el día y energía respecto al tiempo en las Gráficas 7 y 8 respectivamente.

Gráfica 7. Humedades promedios por día.



Como se observa en la Gráfica 8, en los días monitoreados los valores de humedad se conservaron en un valor alto por encima de los límites establecidos, por lo que el sistema no se accionó.

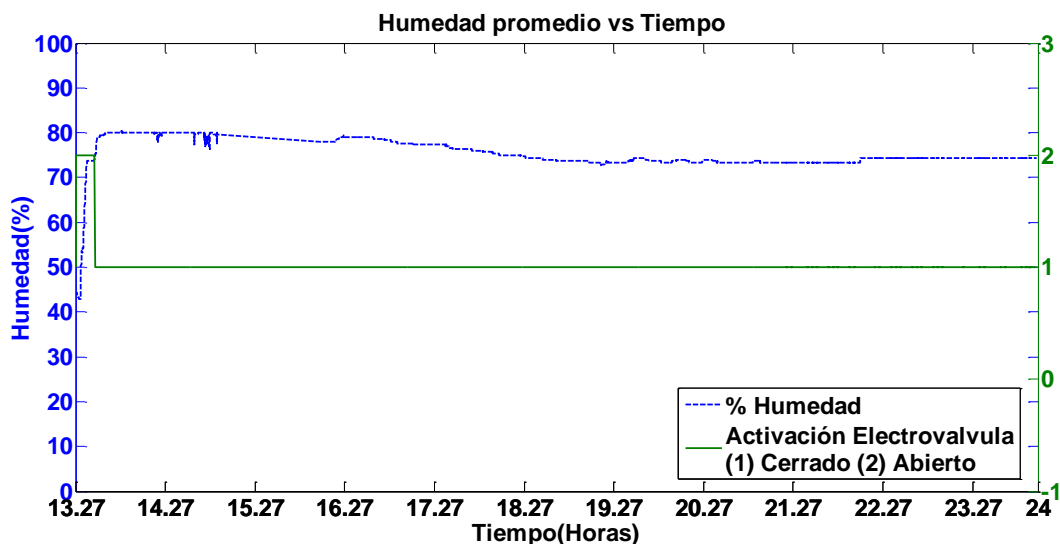
Gráfica 8. Voltaje consumido por el sistema.



En la Gráfica 8 se muestra la variación del voltaje del sistema en el transcurso de un día. Dado que no hubo activación de la electroválvula, el consumo de voltaje del sistema es mínimo, del orden de 30 mV (miliVoltios). En el gráfico se aprecian ciertas oscilaciones que corresponden a ruidos externos, debido a las pequeñas fluctuaciones de voltaje.

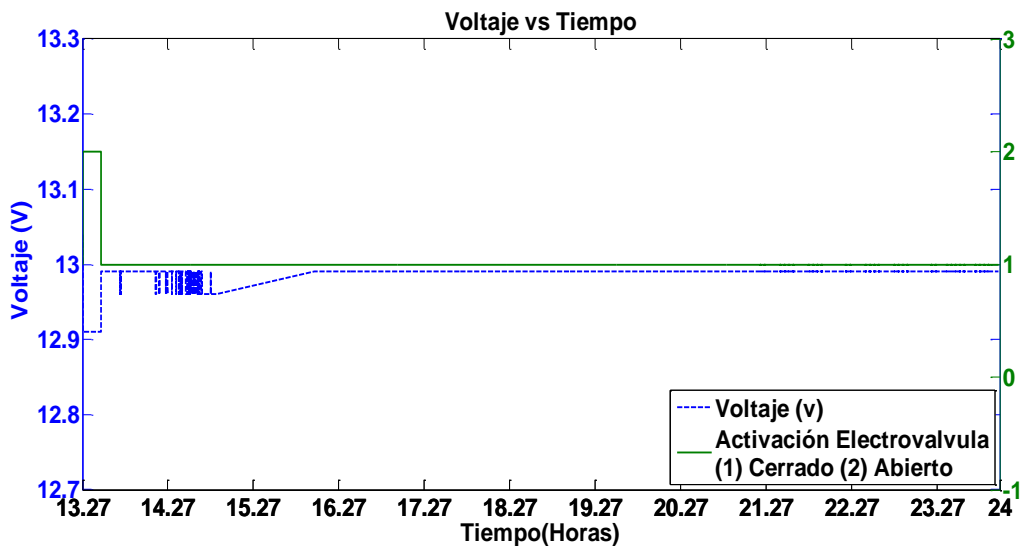
4.1.2 Sistema con un (1) accionamiento por día. Esta prueba se realiza durante dos días (2) de la segunda semana de trabajo. La electroválvula se acciona una vez al día forzada. Esta prueba se realiza tomando tierra seca en macetas de volumen $6,949 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$, propiciando una humedad por debajo del límite establecido, provocando la activación del sistema en una humedad inicial de 44%.

Gráfica 9. Humedad promedio día 1.



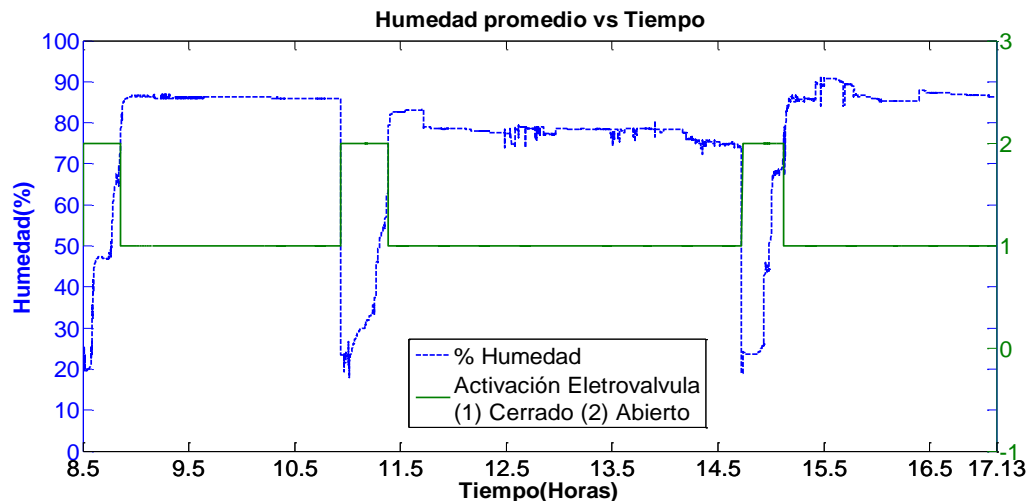
Una vez que se activa el sistema, la humedad asciende de manera progresiva en un periodo de tiempo, hasta alcanzar un nivel máximo de humedad obtenido por la inercia del riego y posteriormente esta desciende como causa única de los factores climáticos del día.

Gráfica 10. Voltaje y activación electroválvula.



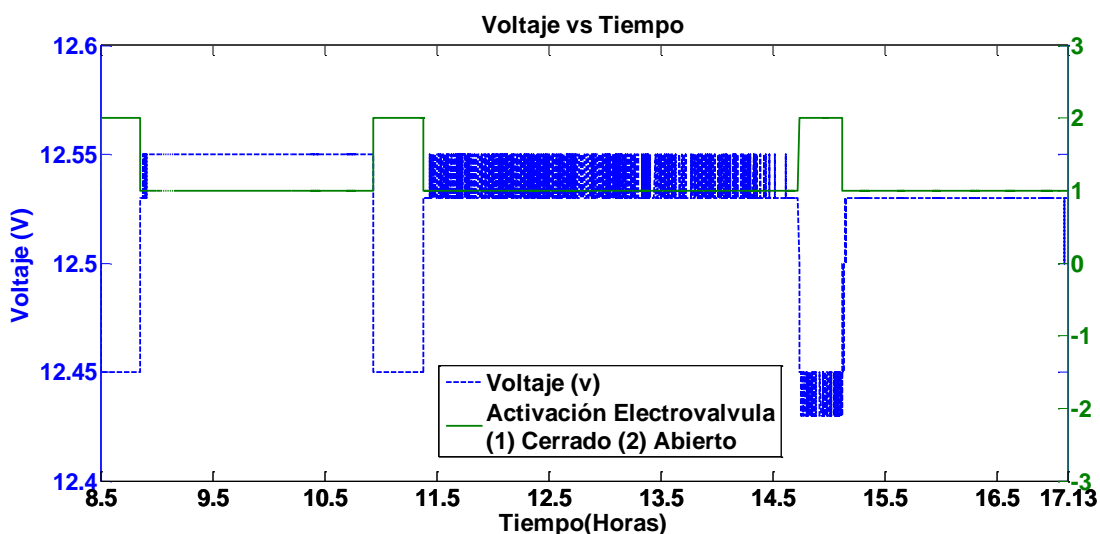
4.1.3 Sistema con tres (3) accionamientos por día. Esta prueba se realiza durante un día (1) de la segunda semana en donde la electroválvula se activa tres (3) veces. La activación se realiza tomando suelo seco en dos macetas de volumen $6,949 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$ y una tercera con volumen $10,028 \times 10^3 \text{ cm}^3$, de esta manera el sistema se activa en tres (3) humedades iniciales 26.67%, 23.33% y 19%.

Gráfica 11. Humedades promedio día 1.



En la Gráfica 11 se aprecia las tres activaciones de acuerdo a las humedades iniciales 26.67%,23.33% y 19% adicional a esto se observa como después del cierre de la electroválvula (1) las humedades por inercia se elevan a niveles de humedad por encima del 80%, lo cual no es propicio para el cultivo resaltando que los niveles en que vive la quinua se encuentra entre 44% y 88% de acuerdo con los resultados obtenidos se realizara un reacondicionamiento del sistema de control.

Gráfica 12. Voltaje y activación electroválvula.



En la Gráfica 12, se comprueba los accionamientos que presenta la electroválvula y en base a esto su consumo energético. La batería desciende su potencial en el tiempo de activación y posterior al cierra nuevamente se estabiliza.

A partir de las Pruebas 2 y 3 se realiza el registro del tiempo que tarda el sistema en alcanzar la humedad en el sensor desde un valor inicial, hasta la humedad límite (74%). El valor límite mínimo del sistema para la activación es de 54% y 74% límite máximo para desactivar la electroválvula respectivamente.

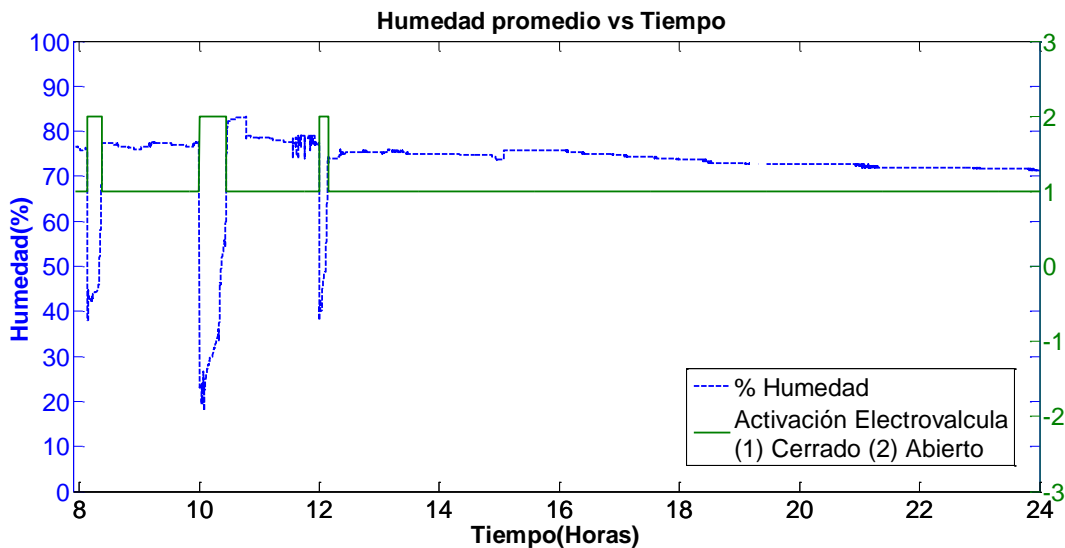
Tabla 15.Registro variables.

Humedad Inicial (H _i)	Humedad Final (H _f)	Tiempo (t)	Temperatura Ambiente (T _a)	pH	Volumen Macetas (V _m x 10 cm ³)
19,00 %	74,00 %	23'04"	29°C	5.0	6,949
23,33 %	74,00 %	26'02"	26°C	5.0	10,028

Humedad Inicial (H _i)	Humedad Final (H _f)	Tiempo (t)	Temperatura Ambiente (T _a)	pH	Volumen Macetas (V _m x 10 cm ³)
24,67 %	74,00 %	21'07"	21°C	5.0	6,949
44,00 %	74,00 %	12'08"	29°C	5.0	6,949
54,00 %	74,00 %	06'43"	18°C	5.0	6,949

En la Tabla 15 se observa el tiempo que demora en alcanzar una humedad inicial (H_i) a una humedad final (H_f) con sus respectivos tiempos los cuales presentan una tendencia entre sí. De acuerdo a la prueba en donde se forzó el sistema tres (3) veces durante el día se encontró que los tiempos son análogos entre sí, excepto por el punto donde la humedad inicial es de 23,33% donde su tiempo es mayor, por lo cual se busca con esta nueva prueba comprobar si su tiempo se vio afectado por el tamaño de maceta al momento de la prueba donde dos de la macetas tenían el mismo volumen y la tercera no por lo cual se realiza la prueba con las tres macetas de volumen 6,949 x 10³ cm³.

Gráfica 13. Valores de humedad en función del tiempo.



De acuerdo a la Grafica 13 se obtiene los valores presentados en la Tabla 16 que se presentan a continuación.

Tabla 16. Registro de variables.

Humedad Inicial (H_i)	Humedad Final (H_f)	Tiempo (t)	Temperatura Ambiente (T_a)	pH	Volumen Macetas (V_m x 10³ cm³)
23,00%	74,00 %	27'04''	17°C	5	6,949
39,67 %	74,00 %	14'04''	16°C	5	6,949
46,00 %	74,00 %	09'05''	20°C	5	6,949

De acuerdo con la Tabla 15 y 16 se comprueba que la variación del tiempo fue debido al volumen de la maceta, ya que los tiempos son análogos en la prueba.

4.1.4 Tiempos de inercia del sistema. Posterior al cierre de la electroválvula en cada accionamiento se presenta una inercia en el sistema, esta humedad sigue creciendo hasta llegar a un punto máximo, ya que en la tabla se observa el tiempo de inercia para cada valor de humedad inicial (H_i).

Tabla 17. Tiempos de inercia.

Humedad Inicial sistema	Humedad final sistema	Humedad máxima final inercia	Tiempo de inercia
54%	74%	77,67%	14'56''
44%	74%	80,33%	18'10''
23,33%	74%	83,33%	19'03''
24,67%	74%	87%	20'34''
19%	74%	90,67%	23'06''

Como se observa en la Tabla 17 para cada uno de los puntos de H_i existe una inercia debido al disparo. Conforme a la prueba en donde durante el día se encontró que los tiempos son análogos entre sí, excepto por el punto donde la humedad inicial es de 23,33%, por lo cual se busca con una nueva prueba comprobar si su tiempo se vio afectado por el tamaño de maceta también se comprueba el tiempo de inercia como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18. Tiempos de inercia.

Humedad Inicial sistema	Humedad final sistema	Humedad máxima final inercia	Tiempo de inercia
54%	74%	77,67%	14'56''
44%	74%	80,33%	18'10''

Humedad Inicial sistema	Humedad final sistema	Humedad máxima final inercia	Tiempo de inercia
23,33%	74%	83,33%	19'03"

A partir de los datos obtenidos en la nueva prueba se obtiene una ecuación en la cual a partir de una humedad inicial, se puede calcular el tiempo aproximado en que el sistema llegaría al límite superior de 74 %.

Función tiempos de inercia aproximados:

$$Y = -0,7817x + 45,026 \quad (9)$$

Y: Tiempo de inercia.

X: % Humedad.

La ecuación (14), representa la tendencia del tiempo de respuesta en lograr un valor de humedad final, a partir de cierto valor de humedad.

4.2 CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA

Para la pruebas se utilizó una batería de referencia FL12550 12v, 55Ah (Ver anexo 1), para lo cual se busca por medio de la hoja de características el consumo diario del sistema, en ella se encuentra el voltaje de una celda y el porcentaje que equivale de carga teniendo en cuenta que cada acumulador equivalen a 6 celdas.

Para el cálculo del sistema se adquiere el voltaje inicial y un voltaje final del día en el cual por medio de la ecuación calculada de la batería y porcentaje de carga, se determina los porcentajes a los que equivalen los voltajes tomados y se determina el consumo diario del sistema.

Tabla 19. Valores de % carga batería FL12550.

Celda (V)	Batería (V)	% Carga
1,75	10,5	2 %
2,00	12,00	41 %
2,25	13,5	75 %
2,50	15	100 %

Mediante la ecuación se puede determinar el porcentaje de carga (%) equivalente al voltaje inicial (V_i) y voltaje final (V_f) que se adquiere del consumo del sistema.

Ecuación de % carga:

$$Y = 23,867X - 247,3 \quad (10)$$

Y: % carga.

X: voltaje.

4.2.1 Consumo energético con un (1) accionamiento y diseño de sistema fotovoltaico. A partir de la ecuación con los respectivos voltaje inicial y final se determina el porcentaje de carga y delta de carga para un accionamiento en el día, este punto hace referencia a una $H_i = 44\%$.

Tabla 20. Valores de voltaje, carga y delta de carga.

Voltajes	% carga	Δ % carga
$V_i = 13,04$	$V_i = 63,925\%$	1,19335 %
$V_f = 12,99$	$V_f = 62,7323\%$	

Conversión delta de carga:

$$\text{Conversión} = \frac{55 \text{ Ah} * 1,19335\%}{100\%} = 0,6563 \text{ Ah} \quad (11)$$

Diseño Fotovoltaico: Una vez determinada la energía necesaria se procede a realizar el dimensionamiento del sistema para que este pueda funcionar autónomamente con un accionamiento por día (ver Tabla 21 y 22).

Tabla 21. Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) accionamiento, parte 1.

Consumo Energía	Factor de protección	Acumulador del sistema
$E_1 = 0,6563 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$ $= 7,876 \text{ W} \cdot \text{h}$	$F = 7,876 \text{ W} \cdot \text{h} * 1,3$ $= 10,2389 \text{ W} \cdot \text{h}$	$G = \frac{10,2389 \text{ W} \cdot \text{h}}{12 \text{ V}}$ $= 0,85324 \text{ Ah}$

De acuerdo con la Tabla 21 se procede a calcular el acumulador, corriente y potencia del panel como se observa en la Tabla 22.

Tabla 22.Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) accionamiento, parte 2.

Acumulador del sistema con protección	Corriente del panel	Potencia del panel
$H = \frac{0,85324 \text{ Ah}}{0,7}$ $= 1,2189 \text{ Ah}$	$I_t = \frac{1,2189 \text{ Ah}}{4 \text{ h}} * 1,2$ $= 0,3656 \text{ A}$	$P_{af} = 0,3656 \text{ A} * 17,85 \text{ V}$ $= 6,53 \text{ W}$

4.2.2 Consumo energético con tres (3) accionamientos y diseño de sistema fotovoltaico. A partir de la ecuación con los respectivos voltaje inicial y final se determina el porcentaje de carga y delta de carga para tres (3) accionamientos en el día, este punto hace referencia a las humedades iniciales $H_i= 19\%$, $H_i= 23,33\%$ y $H_i= 24,67\%$.

Tabla 23.Valores de voltaje, carga y delta de carga.

Voltajes	% carga	Δ % carga
$V_i= 12,5$	$V_i=51,0375 \%$	2,3867 %
$V_f = 12,4$	$V_f = 48,6508\%$	

Conversión delta de carga:

$$\text{Conversión} = \frac{55 \text{ Ah} * 2,3867 \%}{100 \%} = 1,312685 \text{ Ah} \quad (12)$$

Diseño Fotovoltaico: Para esta prueba se fuerza el sistema a 3 accionamientos durante el día, donde se tiene un consumo de energía de 15,75 W·h por lo tanto el sistema fotovoltaico necesario para garantizar el suministro de energía al sistema con 3 disparos diarios se determina a continuación (ver Tabla 24 y 25).

Tabla 24.Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (3) accionamientos, parte 1.

Consumo Energía	Factor de protección	Acumulador del sistema
$E_2 = 1,31 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$ $= 15,75 \text{ W} \cdot \text{h}$	$F = 15,75 \text{ W} \cdot \text{h} * 1,3$ $= 20,48 \text{ W} \cdot \text{h}$	$G = \frac{20,48 \text{ w} \cdot \text{h}}{12 \text{ V}}$ $= 1,7067 \text{ Ah}$

A partir de la Tabla 24 se procede a calcular el acumulador, corriente y potencia del panel.

Tabla 25.Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (3) accionamientos, parte 2.

Acumulador del sistema con protección	Corriente del panel	Potencia del panel
$H = \frac{G}{0,7} = \frac{1,7067 \text{ Ah}}{0,7}$ $= 2,4381 \text{ Ah}$	$I_t = \frac{2,4381 \text{ Ah}}{4 \text{ h}} = * 1,2$ $= 0,7314 \text{ A}$	$P_{af} = 0,7314 \text{ A} * 17,5 \text{ V}$ $= 12,7995 \text{ W}$

4.2.3 Cálculo de un (1) día de autonomía con 3 accionamientos de la electroválvula. Basado en el consumo de la prueba tres (3) se realiza un nuevo dimensionamiento del sistema con un día de autonomía (Desconexión del panel solar al regulador) teniendo en cuenta que el sistema deberá funcionar un día con el panel conectado al acumulador y otro día no, esto se busca con el fin de prever cualquier tipo de daño que no permita que cargue el acumulador.

Conversión delta de carga:

$$E_2 = 1,312685 \text{ Ah} * 12 \text{ V} = 15,75 \text{ W} \cdot \text{h} \quad (13)$$

Diseño Fotovoltaico: Para esta prueba se fuerza el sistema a 3 accionamientos durante el día, donde se tiene un consumo de energía total de autonomía es de 31,50 W·h por lo tanto el sistema fotovoltaico necesario para garantizar el suministro de energía al sistema con 3 disparos diarios se determina a continuación.

Tabla 26.Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 1.

Consumo Energía	Factor de protección	Acumulador del sistema
$E_2 = 15,75 \text{ Wh} * 2$ $= 31,50 \text{ W} \cdot \text{h}$	$F = 31,50 \text{ Watt} \cdot \text{h} * 1,3$ $= 40,95 \text{ W} \cdot \text{h}$	$G = \frac{40,95 \text{ W} \cdot \text{h}}{12 \text{ V}}$ $= 3,4 \text{ Ah}$

Con base en la Tabla 26 de modo similar se procede a calcular el acumulador, corriente y potencia del panel.

Tabla 27.Calculo elementos del sistema fotovoltaico con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 2.

Acumulador del sistema con protección	Corriente del panel	Potencia del panel
$H = \frac{3,4 \text{ Ah}}{0,7}$ $= 4,875 \text{ Ah}$	$I_t = \frac{4,875 \text{ Ah}}{4 \text{ h}} * 1,2$ $= 1,4624 \text{ A}$	$P_{af} = 1.4624 \text{ A} * 17,5 \text{ V}$ $= 25,592 \text{ W}$

Con base al dimensionamiento del sistema se procede a la selección de los elementos constitutivos del sistema solar fotovoltaico de acuerdo a las condiciones energéticas del sistema.

Tabla 28. Elementos sistema solar fotovoltaico redimensionado.

Elementos	Características	Modelo
Panel solar	20 W	SGM-20
Acumulador	7.5 Ah - 12 V	FL1275
Regulador	10 A -12V/24V	TK20DU

4.2.4 Sistema redimensionado para un (1) día de autonomía con 3 accionamientos.

En esta prueba se verifica el consumo total del sistema y la autonomía basados en los cálculos del redimensionamiento de la parte anterior y se fuerza el sistema nuevamente a tres (3) accionamientos. Para esta prueba se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en prueba de 3 accionamientos por día, como la capacidad de los acumuladores y potencia del arreglo solar fotovoltaico.

Ecuación de % carga:

$$Y = 0.2685 * e^{-\frac{x}{-0.38853}} + 6.36184 \quad (14)$$

Tabla 29.Valores de voltaje, carga y delta de carga.

Voltajes	% carga	Δ % carga
$V_i = 12.55$	$V_i = 64.8376\%$	20.43759%
$V_f = 11.55$	$V_f = 44.4 \%$	

Conversión delta de carga:

$$\text{Conversión} = \frac{7.5 \text{ Ah} * 20.34759 \%}{100 \%} = 1.533 \text{ Ah} \quad (15)$$

Diseño Fotovoltaico: Para esta prueba se forzó el sistema a 3 accionamientos durante el día, donde se tiene un consumo de energía total de autonomía es de 18.394 W·h por lo tanto el sistema fotovoltaico necesario para garantizar el suministro de energía al sistema con 3 disparos diarios se determina a continuación.

Tabla 30.Calculo elementos del sistema fotovoltaico redimensionado con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 1.

Consumo Energía	Factor de protección	Acumulador del sistema
$E_n = 1.533 \text{ Ah} * 12 \text{ V}$ $= 18.394 \text{ W} \cdot \text{h}$	$F = 18.394 \text{ W} \cdot \text{h} * 1,3$ $= 23.911 \text{ W} \cdot \text{h}$	$G = \frac{23.911 \text{ W} \cdot \text{h}}{12 \text{ V}}$ $= 1.993 \text{ Ah}$

Una vez obtenidos los valores de la Tabla 30 se procede a calcular el acumulador, corriente y potencia del panel.

Tabla 31.Calculo elementos del sistema fotovoltaico redimensionado con (1) día de autonomía, (3) accionamientos - Parte 2.

Acumulador del sistema con protección	Corriente del panel	Potencia del panel
$H = \frac{1.993 \text{ Ah}}{0,7}$ $= 2.85 \text{ Ah}$	$I_{tp} = \frac{2.85 \text{ Ah}}{5 \text{ h}} * 1,2$ $= 0.683 \text{ A}$	$P_{af} = 0.683 \text{ A} * 17,4 \text{ V}$ $= 11.88 \text{ W}$

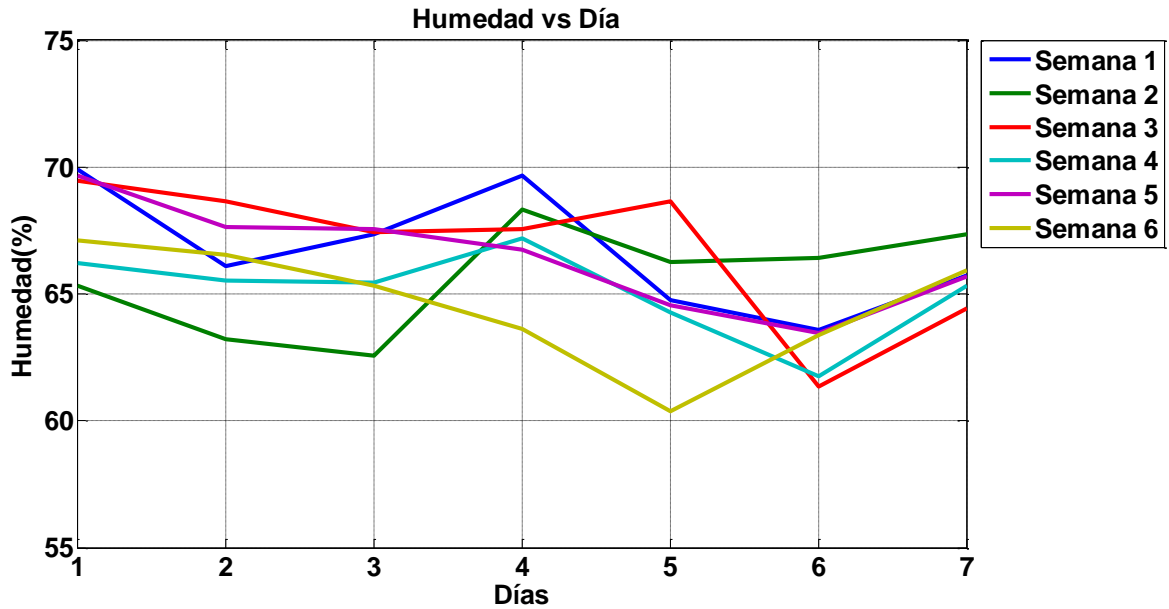
Según la potencia del arreglo solar fotovoltaico se comprueba que el sistema redimensionado funciona durante el día con 3 disparos óptimamente, pero el acumulador en este punto se encuentra en un punto de descarga del 50%, si no se conecta nuevamente el panel se corre el riesgo que al siguiente el sistema deje de funcionar.

4.3 PRUEBA FINAL CON EL SISTEMA AJUSTADO

A partir de las pruebas iniciales del sistema se procede a realizar ajustes al sistema de control y un seguimiento de 6 semanas. Se busca que el sistema al igual que en la pruebas iniciales active la electroválvula cuando los niveles de humedad se encuentren en este caso por debajo del 60% y desactive una vez alcanzado el 64%. Llevando el valor de humedad por inercia hasta 70%. De acuerdo a anterior se busca que los niveles

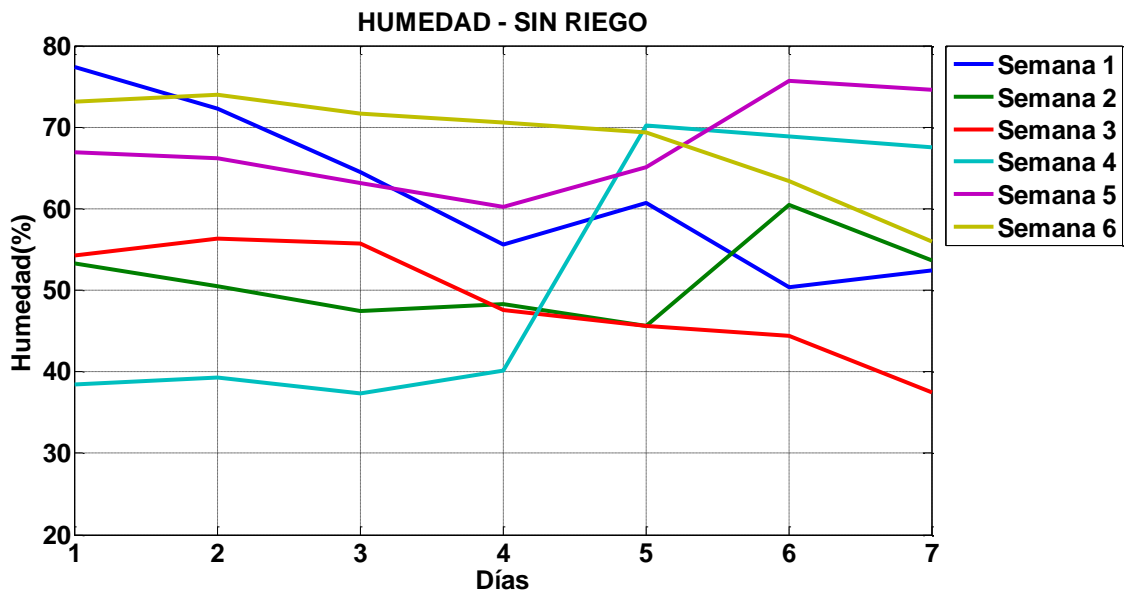
de humedad vivan entre un 60% y 70%, adicionalmente a esto se registran los valores de talla y altura.

Gráfica 14. Valor de la humedad con sistema de riego.



En la Grafica 14 se muestran los valores obtenidos durante las 6 semanas de seguimiento los 7 días de la semana en donde se evidencia que el sistema logro mantener los niveles establecidos de humedad en la zona de riego. A continuación se muestra en la Gráfica 15 los niveles de humedad en la zona donde no se utilizó el riego.

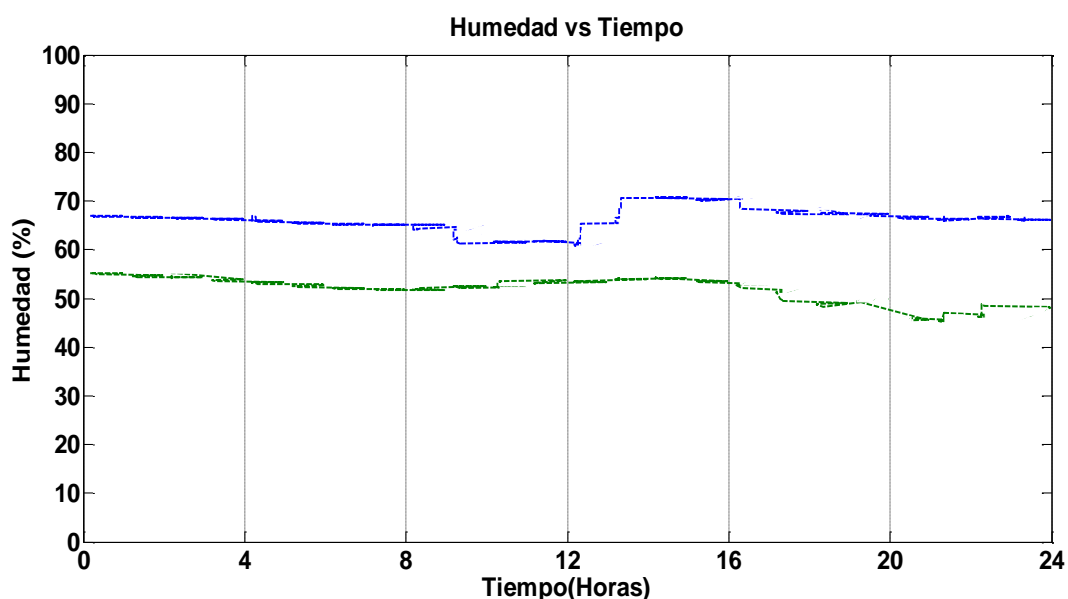
Gráfica 15. Valores de humedad en el sistema sin riego.



De acuerdo a la Grafica 15 se observa que los niveles de humedad no están en límites definidos como la Grafica 14, un ejemplo es contemplado en la semana 5 día 6, semana 1 día 1, donde el nivel se encuentra en casi a un 80% muy por encima de los límites de la zona de control. Los niveles de humedad presentes en la zona de no riego son característicos del suelo ya sea por el riego manual aleatorio o la inexistencia de agua.

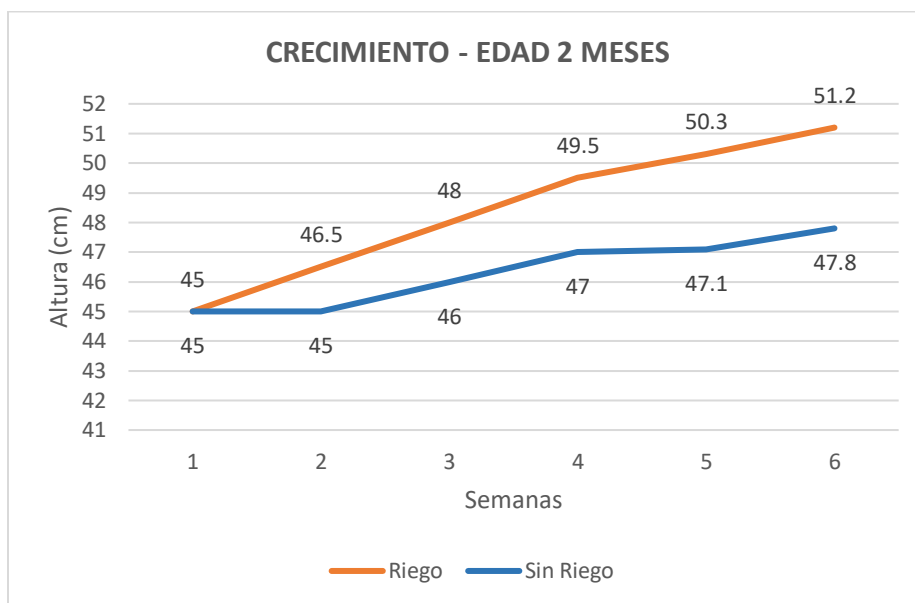
De igual modo en la Grafica 16 se evidencia la activación de la electroválvula en la semana 5 día 1, demostrando como la humedad en la zona de no riego deciente mientras que en la zona de riego al llegar al límite mínimo del 60% se pone en funcionamiento el sistema.

Gráfica 16. Niveles de humedad en el transcurso de un día.

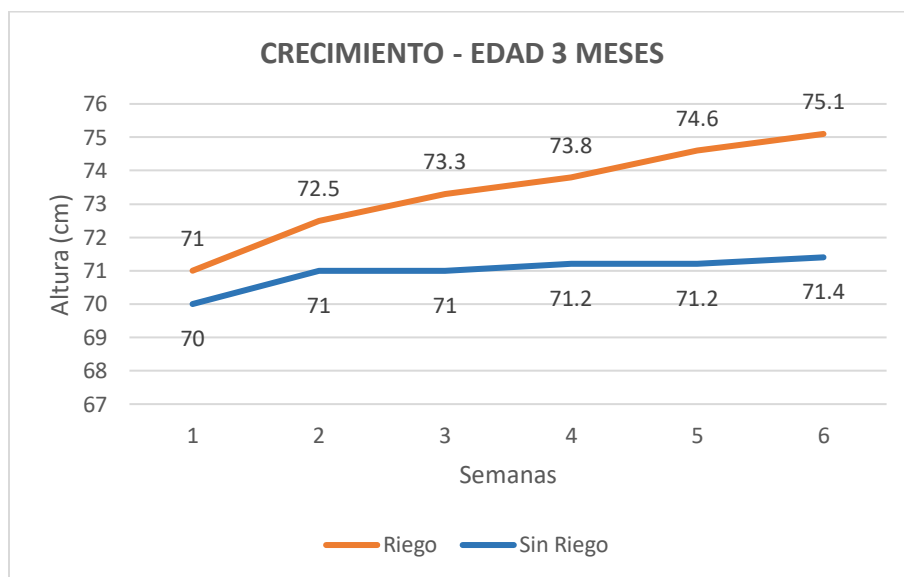


El agua cumple una función crucial en la vida de las plantas, para prevenir la deshidratación y propiciar los procesos alimenticios, las plantas deben absorber agua por las raíces y transportarla a la parte aérea. Pequeños desequilibrios entre la absorción de agua y la pérdida de agua a la atmósfera puede causar un déficit hídrico que puede llevar a un malfuncionamiento de muchos procesos celulares y repercutir en su crecimiento ^[31]. Dicho lo anterior se observa en la Grafica 17, 18, 19 y 20 la altura y talla de plantas de edad de 2 y 3 meses durante el trascurso de la prueba.

Gráfica 17. Altura vs semanas - Edad 2 meses.

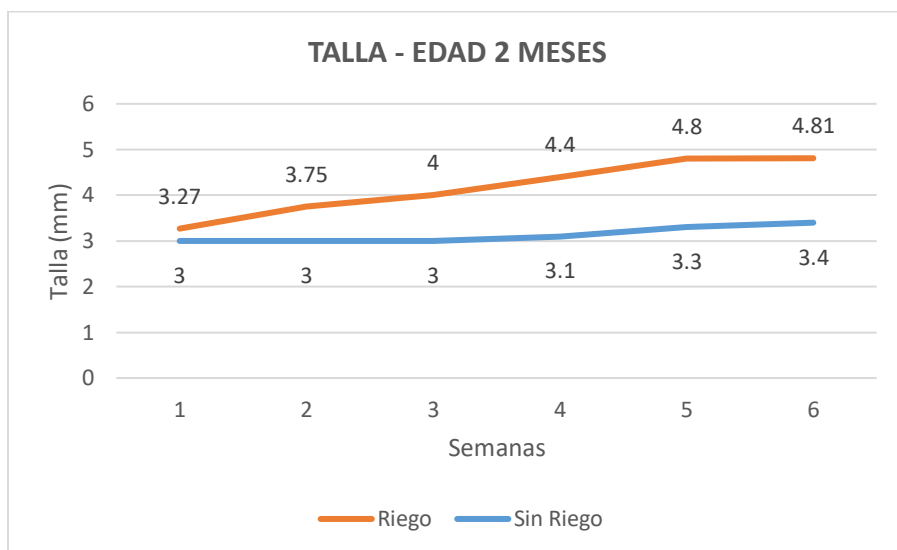


Gráfica 18. Altura vs semanas - Edad 3 meses.

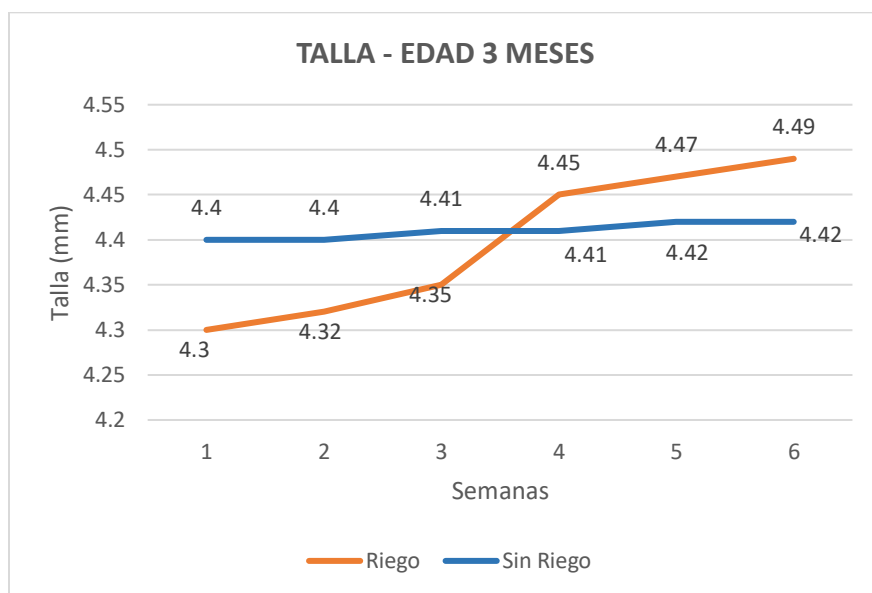


Como se observa en las Gráficas 17 y 18 el desarrollo en altura de las plantas que presenta riego es mucho mayor, en la pareja de edad 2 meses ambas inician con una altura de 45 cm y al cabo de 6 semanas la planta que se riega con el sistema de control riego es 3,4 cm más alta que la otra, igualmente en las plantas de 3 meses de edad la de sistema de riego inicia en 71 cm y la de no riego en 70 cm pero al cabo de 6 semanas la que está en la zona de control presenta 3,7 cm. El sistema de riego no solo evita la deshidratación sino que también repercute directamente en el desarrollo de las plantas

Gráfica 19.Talla semanas - Edad 2 meses.









Gráfica 20.Talla semanas - Edad 3 meses.



Cabe señalar que adicional al crecimiento en altura, se observa en la Grafica 19 y 20 el buen desarrollo en talla, donde la pareja de 2 meses que presenta riego inicia en 3,27 mm y la que no en 3 mm pero al cabo de 6 semanas se presenta una diferencia de 1,41 mm. En las plantas de 3 meses en donde hay riego inicia en 4,3 mm y la que no en 4,4 mm pero también al cabo de 6 semanas se presenta una diferencia de 0,07 mm. Se puede sospechar sobre el efecto de control de la humedad, sobre el crecimiento de la planta.

Tabla 32. Plantas registró fotográfico.

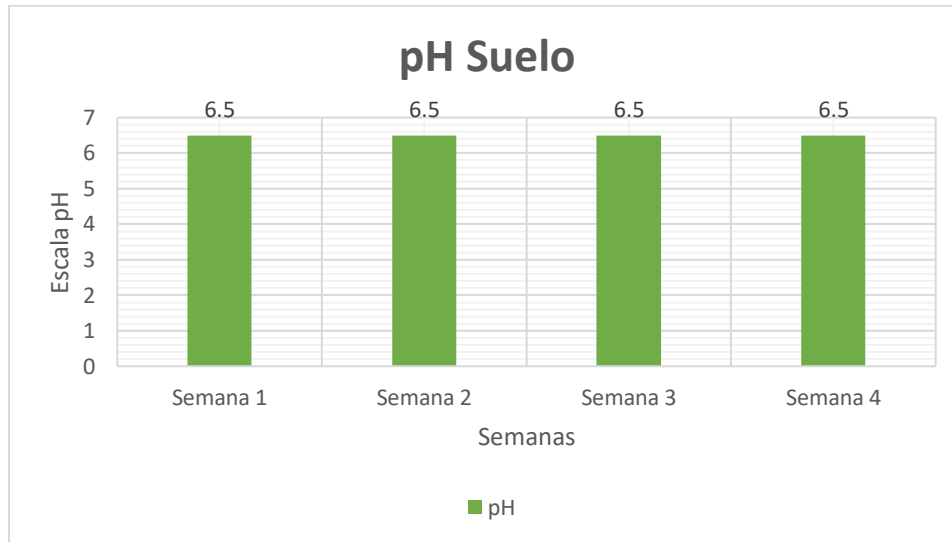
Sistema de Riego		
Semana 1	Semana 3	Semana 6
		
Sin Riego		
Semana 1	Semana 3	Semana 6
		

En la Tabla 32 se encuentra el registro fotográfico al inicio prueba, en la semana 3 y semana 6, de acuerdo a las imágenes, en la semana 1, tanto de la zona de riego como en el sistema que sin control de riego, ambas plantas presentan tonalidades iguales en sus hojas y tallo. En la semana 3 ya se nota el cambio en la tonalidad de la planta que no se encuentra en la zona de control de riego, presentando un color amarillento en su tallo, hoja y semillas. Se observa por último, en la semana 6 la planta de la zona de

sistema de control de riego posee hojas y tallo muy verdes, sus semillas son de tono vivo mientras que la planta que no se sometió al control de riego tiene un color mucho más amarillo, algunas hojas están secas y su semilla no se observa en buen estado.

Del mismo modo durante las seis (6) semanas se realiza un registro del pH presente en el cultivo como se observa en la Grafica 21.

Gráfica 21. Comportamiento del pH durante la prueba final.



Tal como lo ilustra la Grafica 21, el valor del pH no varía en el transcurso de las 6 semanas siendo un pH ácido con un valor de 6.5. El pH es comúnmente utilizado para indicar la acidez o alcalinidad del suelo, siendo uno de los factores más influyentes en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas, además de regir diferentes actividades biológicas y químicas que ocurren en los suelos. Aunado a esto, cada especie vegetal tiene un rango de tolerancia a distintos niveles de pH, lo cual influye también en la absorción de nutrientes efectuada por la raíz. Por lo que se refiere al rango en que vive la quinua (4.5 – 9) el valor presente en el cultivo es apto para el desarrollo de las plantas.

5. CONCLUSIONES

- Se logró la implementación de un sistema piloto que permite el control de la humedad relativa y la supervisión del pH del suelo para cultivos de quinua. Este sistema se diseñó para ser utilizado en el departamento del Cauca. Además, este desarrollo es autosustentable eléctricamente mediante energía solar fotovoltaica.
- Utilizando el sistema de monitoreo que tiene el Aeropuerto Guillermo León Valencia, se realizó el diagnóstico de las variables climatológicas de Popayán. Esta información permitió identificar el comportamiento climatológico del sitio escogido para el cultivo y compararlo con los rangos de estas variables apropiados para la quinua, los cuales están reportados en la bibliografía. De esta manera, se estableció que el sitio presenta condiciones climatológicas adecuadas para que las plantas de la quinua prosperen.
- Con base en la información recopilada respecto de las variables climatológicas y demás variables implicadas en el cultivo apropiado de la quinua, se establecieron las condiciones y los elementos que se requirieron para el desarrollo de este trabajo. En este sentido, se logró diseñar e implementar un sistema piloto automatizado de riego para el control de humedad y el sondeo del pH en el cultivo de quinua.
- Teniendo en cuenta que el sistema desarrollado en este trabajo está pensado para que se utilice en el área rural del Departamento del Cauca, la cual tiene amplias zonas no conectadas al sistema eléctrico convencional, se diseñó e implementó un sistema de energía solar fotovoltaica que brinda el suministro de energía eléctrica que requiere el sistema piloto, brindándole autonomía para su funcionamiento.
- Se identificó que el sistema de riego utilizado para mantener el control de la humedad del suelo en el cultivo de quinua, presenta un efecto positivo en el desarrollo de las plantas, ya que el crecimiento en talla y altitud durante el transcurso de la prueba fue mayor que el presentado por las plantas que no contaban con este componente.
- Durante las pruebas realizadas se evidenció que el sistema de monitoreo del pH del suelo utilizado en el cultivo de quinua, funcionó de manera correcta. Este componente del sistema permitió identificar que durante las pruebas, el pH del suelo no cambió por efecto del cultivo.
- Se debe destacar que para el diseño del sistema fotovoltaico, una vez realizadas las pruebas iniciales y establecido el consumo energético del sistema piloto, se realizaron ajustes a las características del mismo. Estos ajustes permiten que los costos totales del sistema disminuyan.

RECOMENDACIONES

- Para futuros trabajos se debe considerar agregar otras variables que tengan un efecto importante en el desarrollo del cultivo de la quinua, para que sean monitoreadas y/o controladas por un sistema automatizado. Por ejemplo, la temperatura, cantidad de luz solar, la humedad relativa del aire, entre otras.
- Realizar un seguimiento al cultivo durante la cosecha, ya que se espera que en las zonas donde hay control de la humedad del suelo, el desarrollo de las semillas sea mejor que en las zonas donde no existe esta posibilidad. Adicional a esto, se recomienda realizar un registro de la cantidad de semilla obtenida con el fin de obtener una medida de comparación en la producción del cultivo.
- Realizar el cultivo de la quinua desde la semilla y elaborar un registro más detallado del desarrollo de las plantas y el efecto de las variables sobre el cultivo, con el fin de determinar si un sistema automatizado es un factor determinante en el rendimiento en la cosecha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcaldía de Popayán. (2016). *Nuestra Geografía*. Recuperado de <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>
- [2] Cauca sin Hambre 2009-2018. (2009). *Plan de seguridad alimentaria y nutricional para el departamento de cauca*. Recuperado de http://www.cauca.gov.co/sites/default/files/informacion/cartilla_20cauca_20sin_20hambre_0.pf
- [3] Sistema de Información Eléctrico Colombiano. (2016). *Informe de Cobertura*. Recuperado de <http://www.siel.gov.co/Inicio/CoberturadelSistemaIntercontecadoNacional/ConsultasEstadisticas/tabid/81/Default.aspx>
- [4] Finder. (2011). *El Mundo Sustentable de las Energías Renovables*. Recuperado de https://www.findernet.com/sites/all/files/user_70/ar_wp_energias__renovables.pdf
- [5] Agrocadenas del Cauca. (2016). *Semilla del futuro Quinoa del Cauca*. Recuperado de <http://publicoquinua.agrocadenascauca.com/content/inicio#sthash.iWTskCaf.dpuf>
- [6] Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G. y Romero, A. (2006). *Proyecto Quinoa: Cultivo multipropósito para los países andino*. Lima, Perú. p.15
- [7] Gómez, L. y Aguilar, E. (2016). *Guía del cultivo de quinoa*. Lima, Perú. Segunda edición. Pág. 8-9
- [8] Unidad de gestión de riesgo en SAN y cambio climático. (2013). *Investigación sobre el cultivo de quinoa o quinoa*. Guatemala, p. 19
- [9] Unidad de gestión de riesgo en SAN y cambio climático. (2013). *Investigación sobre el cultivo de quinoa o quinoa*. Guatemala, p. 22
- [10] Núñez, J. (2000). *Fundamentos de edafología*. San José, Costa Rica. p. 76
- [11] Forsythe, W. (1985). *Física de suelos: Manuel de laboratorio*. San José, Costa Rica. p. 19
- [12] Holzmann, R. (2015). *Relación suelo-planta*. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Centro regional Patagonia norte. p. 14
- [13] Barba, L. y Córdoba, J. (1991). *Manual de técnicas microquímicas de campo para la arqueología*. Cuadernos de investigación Universidad nacional autónoma de México. Instituto de investigaciones antropológicas. México. p. 24-25

- [14] Leonor, A. y Cedeño, P. (2008). *Construcción de un invernadero para especies forestales y hortícolas*. Universidad técnica de Manabí facultad de ingeniería agronómica, tesis de grado. Santa Ana, Ecuador. p. 28
- [15] Mendez, J. y Cuervo, R. (2006). *Energía solar, Instituto de tecnología y formación*. Segunda edición. Madrid, España. p. 37
- [16] ITER. (2008). *Instalación solar fotovoltaica*. p. 7-9
- [17] Manual de Instalación. (2009). *Componentes de un sistema solar fotovoltaica*. p. 11.
- [18] Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica y control. (2011). *Funciones básicas, características y arquitectura de los sistemas automatizados*. p. 14
- [19] Bolton, W. (2001). *Ingeniería de Control*. México D.F., Alfaomega, p 225 – 236.
- [20] Pallás y Ramón. (1993). *Adquisición y Distribución de Señales*. Barcelona, Marcombo S.A., 1993, p 27-67.
- [21] Gómez, Luz., y Aguilar, Enrique. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- [22] Calla, Jael. (2012). *Guía técnica "Manejo agronómico del cultivo de quinua" .Ayacucho Peru*. Oficina Académica de Extensión Social.
- [23] Aguilar, Diana., y Cardenas, Jeisson. (2013). *Estudio de factibilidad de exportación de quinua elaborada como alimento, colegio mayor nuestra señora del rosario*, Bogotá. Recuperado de <http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4599/1020753236-2013.pdf?sequence=1>
- [24] Puentes, Carolina. (2006). *Implementación de los cultivos de quinua en el municipio de Saboya-Boyaca*. Escuela superior de administración publica especialización proyectos de desarrollo. Bogotá D.C.
- [25] Unidad de Gestión de Riesgo en SAN y Cambio Climático Dirección de Emergencias en SAN Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional. (2013). *Investigación sobre el cultivo de la quinua o quinoa* .Chenopodium Quinoa. Guatemala.
- [26] Reátegui, Walther. (2013).Especial del cultivo de quinua. *Revista Técnica Agropecuaria*. Perú: Artífice Comunicadores.
- [27] Tienda virtual de electrónica. (2016). *Vistrónica*. Recuperado de: https://www.vistronica.com/sensores/sonda-higrometro-sensor-de-humedad-de-suelodetail.html?gclid=EAlalQobChMllaCKruGy1gIVRkGGCh2MngmNEAQYAiABEGLOLvD_BwE

[28] Conrad.com. (2017). *Q 1100 4-in-1 Soil Meter from Conrad.com*. Recuperado de <http://www.conrad.com/ce/en/product/672506/Q-1100-4-in-1-Soil-Meter>

[29] Store.arduino.cc. (2017). *Arduino Mega 2560 Rev3*. Recuperado de <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>

[30] ElectronicaStore. (2017). *LCD 16x2 HD4478 Display con Luz de fondo Azul*. [Recuperado de <https://electronicastore.net/producto/lcd-16x2-hd4478-display-con-luz-de-fondo-azul/>]

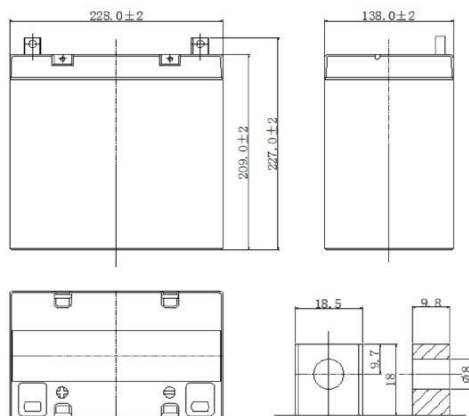
[31] Kramer, P.J. y Boyer, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press, San Diego, CA. 325 p.

ANEXOS

ANEXO 1. DATASHEET ACOMULADOR FL12550

FL12550

(12V55Ah/10hr)



General Series

General Series Valve Regulated Lead Acid batteries are designed with AGM (Absorbent Glass Mat) technology, high performance plates and electrolyte to gain extra power output for common power backup system applications widely used in the field of UPS, Emergency Lighting System.

Application

- Alarm System
- Cable Television
- Power tools
- Emergency Power System
- Security System
- Medical Equipment
- UPS
- Communication Equipment
- Control Equipment
- Toys

General Features

- Sealed and maintenance free operation.
- Non-Spillable construction design.
- ABS containers and covers (UL94HB, UL94V-0) optional.
- Safety valve installation for explosion proof.
- High quality and high reliability.
- Exceptional deep discharge recovery performance.
- Low self discharge characteristic.
- Flexibility design for multiple install positions.

CONSTRUCTION

Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Lead	Fiberglass	Sulfuric acid

TECHNOLOGY PARAMETER

Battery model	FL12550							
Designed Floating Life	8-10 Years							
Capacity (25°C)	10hR(5.5A, 10.8V)		5hR(9.07A, 10.5V)			1hR(34.4A, 9.60V)		
	55Ah		45.35Ah			34.4Ah		
Dimensions	Length		Width		Height		Total Height	
	228±2mm		138±2mm		209±2mm		214±2mm	
Approx. weight (±5%)	17.5Kg (38.58 lbs)							
Internal resistance	Full charged at 25°C: Approx. 8mOhms							
Self discharge	3% of capacity declined per month at 25°C (average)							
Capacity Affected by Temp.(10HR)	40 °C		25 °C		0 °C		-15 °C	
	102%		100%		85%		65%	
Charge Voltage (25°C)	Cycle use				Float use			
	14.4-14.7V(-30mV/°C), max. Current: 13.75A				13.6-13.8V(-20mV/°C)			

FL12550 (12V55Ah/10hr)

Constant current discharge ratings-amperes at 25°C

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	178	134	102	59.9	34.4	15.1	9.89	5.67	2.97
1.65V	169	128	97.3	58.8	33.2	14.7	9.62	5.63	2.94
1.70V	159	121	92.3	57.7	31.9	14.2	9.34	5.56	2.92
1.75V	149	114	87.3	56.6	30.6	13.6	9.07	5.52	2.88
1.80V	139	108	82.3	55.5	29.4	12.9	8.79	5.50	2.85

Constant power discharge ratings-watts at 25°C

End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	30min	1h	3h	5h	10h	20h
1.60V	320	243	186	110	63.4	28.0	18.4	10.6	5.58
1.65V	302	231	176	107	60.7	27.0	17.8	10.5	5.50
1.70V	283	217	166	104	58.1	25.9	17.2	10.3	5.43
1.75V	264	203	156	102	55.5	24.7	16.6	10.1	5.33
1.80V	244	191	146	99.3	52.9	23.4	16.0	9.87	5.24

