

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL DE RIEGO DE AGUA APLICADO A CULTIVOS DE CAFÉ EN UN SISTEMA A PEQUEÑA ESCALA.

Juan Alejandro Rivera Oquendo
Dámaso Villarreal Yepes

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Tecnólogo en Electrónica

Asesor
Paula Andrea Ortiz Valencia

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento de Antioquia
Medellín, Colombia
2021

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

En este trabajo de grado se presenta el desarrollo de un sistema a pequeña escala aplicado al riego de cultivos de café con el objetivo de tener un monitoreo de dichos cultivos para un mejor cuidado y desarrollo, mejorando el consumo de agua en estas plantaciones con un sistema de riego controlado, esto con el fin de disminuir la cantidad de agua necesaria para su cultivo. Para ello se implementó inicialmente un sistema de riego por goteo en donde se mostró una mejoría, pero no la deseada; de modo que se desarrolló un sistema de riego controlado, para el cual se utilizaron cuatro sensores de humedad de tierra (YL38), un sensor de temperatura (DHT22), un sensor de lluvia (FC-37) y una motobomba de agua sumergible pequeña para Arduino, con su respectiva manguera para simular el riego del cultivo. Logrando así obtener las mediciones de humedad y temperatura y mediante el sensor de lluvia se logró aprovechar este recurso natural con el cual fue regado el cultivo obteniendo así un recurso en el consumo de agua- con el sensor de lluvia digital si llovía o no para hacer una recolección de agua, y por medio del sistema de riego controlado se contribuirá al ahorro de agua utilizada en ellos.

Palabras clave: Café, sistema, automatización, riego, monitoreo, cultivos, agua.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y.....	34
REFERENCIAS	37
ANEXOS.....	39

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Estructura física a escala del cultivo de café. Fuente: foto tomada por los autores.....	11
Figura 2. Sensor de humedad YL38. Fuente: https://www.ardobot.co/sensor-de-humedad-de-suelo-sonda-higrometro-yl38-y-yl69.html	12
Figura 3. Sensor de lluvia FC-37. Fuente: https://uelectronics.com/producto/sensor-de-lluvia-para-arduino/	12
Figura 4. Sensor de Temperatura DHT22. Fuente: https://www.ardobot.co/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22.html	12
Figura 5. Sensor de nivel de agua para Arduino. Fuente: https://www.ardobot.co/sensor-de-nivel-de-agua-analogico.html	13
Figura 6. Puente H. Fuente: https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/modulo-l298n-puente-h-driver-motores/	13
Figura 7. Adaptación de sensores de humedad YL-38, número 1 y 3. Fuente: foto tomada por los autores.....	14
Figura 8. Adaptación de sensores de humedad YL-38, número 2 y 4. Fuente: foto tomada por los autores.....	14
Figura 9. Adaptación de sensor de temperatura DHT22. Fuente: foto tomada por los autores.....	14
Figura 10. Adaptación de sensor de lluvia FC-37. Fuente: foto tomada por los autores.....	15
Figura 11. Adaptación de sensor de nivel de agua para Arduino. Fuente: foto tomada por los autores.....	15
Figura 12 Esquema de conexión del sistema.....	16
Figura 13. Inicio de las lecturas sensores de humedad.....	20
Figura 14. Señales de humedad de las 4 hectáreas a trabajar con su respectivo momento de riego.	21
Figura 15 Momento en el que se inicia el riego de la hectárea número 1.....	22
Figura 16. Proceso de riego hectárea 1.....	23
Figura 17. Lectura de humedad hectárea 1 durante las 14 horas de monitoreo.	24
Figura 18. Momento en el que se inicia el riego de la hectárea 2.....	25
Figura 19. Proceso de riego hectárea 2.....	26
Figura 20. Lectura de humedad hectárea 2 durante las 14 horas de monitoreo.	27
Figura 21. Momento en el que se inicia el riego de la hectárea 3.....	28
Figura 22. Proceso de riego hectárea 3.....	29
Figura 23. Lectura de humedad hectárea 3 durante las 14 horas de monitoreo.	30
Figura 24. Proceso de riego hectárea 4.....	31
Figura 25. Lectura de humedad hectárea 4 durante las 14 horas de monitoreo.	32
Figura 26. Temperatura tomada durante el proceso de 14 horas de monitoreo del sistema.....	33

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

Generalidades

En la industria agrícola, los cultivos cafeteros son plantaciones que requieren grandes cantidades de agua para su desarrollo, ocasionando que en muchos de dichos cultivos el uso de esta sea desmedido a la hora de realizar el riego. Dependiendo del clima en el que se desarrollen las plantas, para la producción y consumo de 1kg de café la huella hídrica está cuantificada entre 19.500, 19.800 y hasta 20.000 litros de agua, (ANA Perú, 2020) de modo que se suele utilizar un goteo continuo de agua, trabajando de durante aproximadamente 12 horas continuas al día para el riego de las plantaciones.

En primavera y verano es necesario que el sustrato (tierra) de la planta del café siempre esté húmedo, mientras que en otoño e invierno se puede hacer de uno a dos riegos por semana, aunque la planta no crece de la misma manera que en un clima más cálido. En Colombia predomina el clima cálido y templado, esto implica que se tenga uno de los consumos más elevados de agua en la producción del café.

Por ello, en este trabajo de grado se pretende facilitar el monitoreo y cuidado de los cultivos, además al mismo tiempo mejorar la calidad de las plantas, implementando un sistema de riego controlado que podría reducir de manera significativa el gasto del recurso hídrico utilizado comúnmente. Para el desarrollo del trabajo se plantean los siguientes objetivos:

Objetivos

General

- Desarrollar un sistema de monitoreo y control de riego de agua aplicado a cultivos de café en un sistema a pequeña escala.

Específicos

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Diseñar y construir un modelo a pequeña escala de un cultivo de café con su respectiva instrumentación.
- Implementar un sistema de control de humedad y temperatura que garantice el correcto desarrollo de la planta de café
- Desarrollar una interfaz gráfica de usuario donde se visualice el comportamiento del sistema controlado y compruebe la eficacia del sistema.

Organización de la tesis

En el trabajo se mostrará el proceso detallado de cómo fue diseñado y construido el sistema de monitoreo y riego de cultivos de café a pequeña escala, donde se dará inicio en el marco teórico para explicar la importancia que tienen dichos cultivos en Colombia y su economía, mostrando diferentes datos de por qué el proyecto es viable, e investigaciones relacionadas para sentar unas bases sólidas del sistema desarrollado donde se mostrarán precedentes de diferentes sistemas aplicados con el mismo objetivo y sus beneficios en el problema abordado que es el consumo excesivo de agua en diferentes cultivos.

Inicialmente se describirá el proceso realizado para el diseño de la estructura donde fue implementado el sistema y los materiales utilizados, y los sensores seleccionados para la medición de humedad de suelo y temperatura, además de la plataforma seleccionada para la programación.

A continuación, se describe el proceso seguido para la implementación de todos los sensores del sistema a la plataforma seleccionada y el método que se tomó para definir los procesos que ejecutaría el código y cumplir con las tareas deseadas, ya sea mostrar un mensaje, ejecutar una acción o ambas.

Finalmente se presenta la interfaz gráfica amigable y fácil de entender, que permita al usuario monitorear el estado de los cultivos constantemente sin tener que estar presente en ellos, donde se mostrarán datos tales como, nivel de humedad, nivel del tanque de agua, temperatura o si el sistema de riego se encuentra activado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

En Colombia la planta de café fue introducida a principios del siglo XIX por el Orinoco y los Santanderes, luego ingresó a la zona cafetera central o eje Cafetero para expandirse hacia el norte del país y luego hacia el sur (Café de Colombia, 2021). A pesar de no ser Pioneros en el cultivo de café, Colombia logró posicionarse como uno de los principales exportadores del mundo ya que a finales del siglo, la producción pasó de 60.000 a 600.000 sacos, ocasionando que fuera el producto principal de exportación por el que el país recibía moneda extranjera y representando hoy en día el 15% del producto interno bruto (PIB) agrícola del país; la producción para el 2021 se estima en alrededor de 14,1 millones de sacos (Rodríguez Hernández, L., 2021).

Colombia está posicionado como el tercer país productor de café en el mundo, teniendo zonas propicias para el cultivo de grano de café, donde las condiciones de operación para que la planta opere en su óptimo desarrollo requieren temperaturas entre 19 y 21.5 grados centígrados, ser sembrados en alturas entre 1200 y 1800 metros sobre el nivel del mar y una cantidad de lluvia entre 1800 y 2800 milímetros anuales (Grupobancolombia.com, 2018). Un estudio realizado por IHE Delft (Institute for Water Education), afirma que se necesitan cerca de 140 litros de agua para producir una taza de café de 125 ml, (Oliveira, R., 2020). Por lo tanto, es necesario desarrollar un sistema de control de riego de agua con el fin de cambiar la manera convencional del riego de los cultivos, ya que el riego desmedido del agua genera un gran aumento en el consumo en los períodos de verano y primavera.

En algunas fincas cafeteras se han implementado sistemas para reducir la huella ambiental, tales como: sistema de goteo controlado y no controlado o sistemas de riegos por aspersión sin lograr el resultado deseado, el proyecto planteado propone un sistema de riego y monitoreo donde las variables del suelo son tomadas por sensores de humedad y visualizadas en una interfaz gráfica para un mejor seguimiento de los cultivos, donde el sistema realiza acciones programadas dependiendo de los datos adquiridos. Artículos científicos relacionados con el tema de monitoreo de cultivos, han hablado de excelentes resultados al implementar un sistema de riego automático controlado con tensiómetros o sensores de humedad, demostrando que un sistema de control contribuye al ahorro de agua y un mejor cuidado y desarrollo de las plantas.

En la investigación realizada en Egipto, donde se implementaron tres tratamientos de riego, se utilizaron tensiómetros para medir la humedad de la tierra a diferentes profundidades,

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

con la intención de observar cómo estos niveles afectaban las plantaciones de guisantes. Con el primer método se mantuvo una humedad del 85% se obtuvo resultados estables de humedad en todos sus niveles de profundidad durante 60 días, reduciendo así el consumo de agua y el estrés hídrico en las plantas, manteniendo una mejor calidad que con un sistema de riego no controlado. Los tensiómetros utilizados tenían un rango diferente para realizar el respectivo riego de manera autónoma, así se le pudo atribuir un ahorro del 16% al 35% del agua suministrada para el cultivo, (Sakthipriya, N., 2014). Además de esto con los sensores ubicados al nivel de las raíces se pudo optimizar el riego de las plantas debido a que se realizaba en el momento adecuado.

China por su parte dio a conocer un sistema implementado de control de bajo costo realizado con sensores inalámbricos donde la plataforma medía variables como la temperatura ambiental, lluvia y PH de la tierra, contó con un buen alcance de comunicación debido a que la función de los sensores es por radio frecuencia, debido a su implementación tiene un gran desempeño y medidas muy acertadas. Este sistema de monitoreo puede ser fácilmente adaptable a diferentes cultivos ya que al trabajar con (IOT) se puede tener un fácil acceso a toda la información registrada durante el día y está programado de forma que permite entrar en un modo ahorro de energía administrando los tiempos de muestreo de cada sensor y activando el hardware solo en momentos necesarios, además de todo esto cuenta con una cámara que permite seguir de cerca el desarrollo del cultivo, (Liqiang, Z., Shouyi, Y., Leibo, L., Zhen, Z. and Shaojun, W., 2011). Este sistema de monitoreo sin duda es bastante completo ya que se tiene un historial de registro y promedio de las lecturas en un sistema fácil de manipular, de bajo costo y bajo consumo energético, donde se tienen los datos necesarios para estar al tanto en todo momento del desarrollo del cultivo y evitar futuras pérdidas.

En Colombia, un sistema implementado por la corporación universitaria del huila plantea un sistema de monitoreo para cultivos bajo cubierta por medio de WSN (redes inalámbricas de sensores), con comunicación por radio frecuencia donde la señal sería captada por un módulo XBEE y enviadas a un equipo de cómputo donde los datos serán procesados para una toma de decisiones del sistema o ser visualizados y almacenados en una plataforma que, en este caso es Visual Basic. El sistema controlaría las variables climáticas al interior del invernadero de manera automática contribuyendo con un mejor desarrollo y la calidad de los cultivos, además de mejorar la eficiencia en el uso de agua y suelo, también permitiría cultivar vegetación no nativa de la zona solo variando parámetros de humedad y temperatura, (Alarcón López, A., 2017). Sin duda una gran muestra de cómo un sistema monitoreo controlado podría ser implementado tanto en exterior como en interior.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la India se plantea un sistema de monitoreo y riego de cultivos para campos de arroz que consiste en un sistema WSN (Redes de sensores inalámbricos), cada sensor cuenta con un módulo de comunicación por radio frecuencia (micaz) que se comunica con una placa de administración de datos la cual gestiona la comunicación hacia un computador almacena y visualizando los datos y define las acciones a tomar por el sistema, también cuenta con una variedad de sensores bastante completa para el monitoreo, entre ellos se encuentra sensor de temperatura, humedad del ambiente, humedad de la tierra y un sensor para medir el PH de la misma, y se programa de forma que permite reducir el consumo energético activando el sistema solo en los periodos de medición y comunicación, además de esto los datos recopilados y enviados al PC de mando son visualizados en la interfaz gráfica de (Mote View) donde los datos son mostrados en una gráfica para apreciar las variaciones en los cultivos, (Abd El- Baset, M., Ramadan Eid, A., Wahba, S., El-Bagouri, K. and ElGindy, A., 2017). Este sistema es bastante útil ya que ayuda a reducir los costos por fertilización innecesaria, además es versátil y de bajo costo con posibilidad de adaptar a otro tipo de cultivos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se realizaron investigaciones acerca de la problemática del consumo de agua en los cultivos, enfocado principalmente en las plantaciones de café, siendo este uno de los principales productos de exportación de Colombia y también de los de mayor consumo actualmente. Entre los datos a investigar se tuvo en cuenta ***cómo es el desarrollo de un cultivo de café, a que temperatura se cultiva etc.*** La temperatura media ideal es de entre 15° y 24° C para la planta de café Arábica y de entre 24° y 30° C para la planta de café Robusta que puede soportar más calor y sequedad, pero en cambio no tolera temperaturas por debajo de 15° C, mientras que el Arábica puede soportar temperaturas por debajo de los 15° C si es por poco tiempo (Clifford, M. N. and Willson, K.C. 1985), ***cuál es el cuidado de sus plantas***, la buena luminosidad y calor, el trasplante, riego y humedad y el abonado son esenciales para un buen desarrollo de la planta de café (Verdecora, 2004), ***cuál es su tiempo de desarrollo***, la formación de raíces, ramas, nudos y hojas, comprende tres etapas: germinación a trasplante (2 meses), almácigo (5-6 meses) y siembra definitiva a primera floración (11 meses) (Pulgarín, J. 2007), ***cuánto es su consumo de agua en metros cúbicos***, para la producción y consumo de 1kg de café la huella hídrica está cuantificada entre 19.500, 19.800 y hasta 20.000 litros de agua, (ANA Perú, 2020), ***métodos de riego***, el riego por goteo mantiene una humedad del suelo óptima y uniforme con una excelente aireación, entregando agua y nutrientes directamente a la raíz de sus cultivos, esto reduce significativamente el riesgo de caída de la fruta y garantiza altos rendimientos cada temporada y aumenta los rendimientos al mismo tiempo que se reduce el uso de agua y nutrientes (Netafim, 2015), ***variantes cultivadas en el país***, las variedades de café arábigo que se siembran en Colombia son: Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y Variedad Colombia. Las variedades de arábigo son de porte alto o de porte bajo y tienen los frutos rojos o amarillos. (Gomez, E. 2002), ***entre otros***. Con los datos investigados y con el fin de llevar este proyecto a la realidad se desarrolló un sistema de monitoreo y control de riego de agua aplicado a cultivos de café en un sistema a pequeña escala, pero para dar una mejor explicación del desarrollo del sistema se procederá a explicar cómo fueron alcanzados cada uno de los objetivos específicos planteados anteriormente.

Diseño y construcción del modelo a pequeña escala de un cultivo de café con su respectiva instrumentación.

En la Figura 1 se presenta el diseño de la estructura en la cual se sembraría el cultivo, la cual fue construida en madera por practicidad con dimensiones de 32x29x5cm en total, esta

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

estructura fue dividida en 4 hectáreas cada una con una medida de 8x29x5cm. Para la recolección de agua se reutilizó la parte de inferior de una botella plástica de 2L, dejando una profundidad de 10cm, además para adecuar el riego se utilizó una manguera de 1m con orificios de 1ml de diámetro, cada 4cm por el ancho de la estructura que son 29cm. En cada hectárea se sembró 4 plantas de café pequeñas para realizar las pruebas pertinentes.



Figura 1. Estructura física a escala del cultivo de café. Fuente: foto tomada por los autores

Una vez construido el sistema se procedió a la selección de los sensores para las diferentes variables que se requerían medir, en donde para la medición de la humedad de suelo se utilizó un sensor (YL38) como se observa en la Figura 2, estos sensores no tienen la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero para este sistema esta medición no es necesaria ya que es un modelo a escala y la variación en los sensores no afecta el resultado del sistema, el sensor entrega una señal resistiva para un rango de humedad en bits de 0 a 1023; para censar la lluvia se utilizó el sensor de lluvia (FC-37) el cual se observa en la Figura 3, el cual detecta la presencia de lluvia por la variación de conductividad del sensor al entrar en contacto con el agua; nivel de agua para el cual se utilizó un sensor para Arduino, análogo de líneas expuestas, este sensor trabaja en un rango de 0 a 1023 bits y finalmente, temperatura, la cual fue medida con un sensor de temperatura (DHT22) el cual se presenta en la Figura 4, este sensor trabaja en un rango de -40 a 80°C, con una precisión de $\pm 0,5^\circ$ y dispone de un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la medición mediante una señal digital, por lo que resulta muy sencillo obtener la medición desde un Arduino, la plataforma seleccionada para la programación fue Arduino uno, el cual es un micro controlador de bajo costo que permite obtener el resultado deseado en la aplicación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

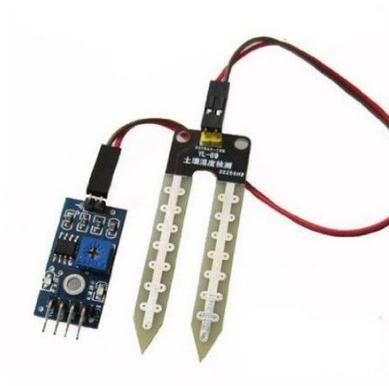


Figura 2. Sensor de humedad YL38. Fuente: <https://www.ardobot.co/sensor-de-humedad-de-suelo-sonda-higrometro-yl38-y-yl69.html>



Figura 3. Sensor de lluvia FC-37. Fuente: <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-lluvia-para-arduino/>



Figura 4. Sensor de Temperatura DHT22. Fuente: <https://www.ardobot.co/sensor-de-temperatura-y-humedad-dht22.html>



Figura 5. Sensor de nivel de agua para Arduino. Fuente: <https://www.ardobot.co/sensor-de-nivel-de-agua-analogico.html>

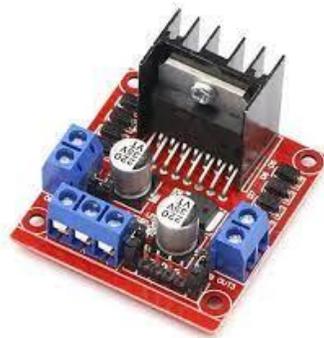


Figura 6. Puente H. Fuente: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/modulo-l298n-puente-h-driver-motores/>

La adaptación de los sensores se evidencia en las Figuras 6, 7, 8, 9 y 10.



Figura 7. Adaptación de sensores de humedad YL-38, número 1 y 3. Fuente: foto tomada por los autores



Figura 8. Adaptación de sensores de humedad YL-38, número 2 y 4. Fuente: foto tomada por los autores



Figura 9. Adaptación de sensor de temperatura DHT22. Fuente: foto tomada por los autores



Figura 10. Adaptación de sensor de lluvia FC-37. Fuente: foto tomada por los autores



Figura 11. Adaptación de sensor de nivel de agua para Arduino. Fuente: foto tomada por los autores

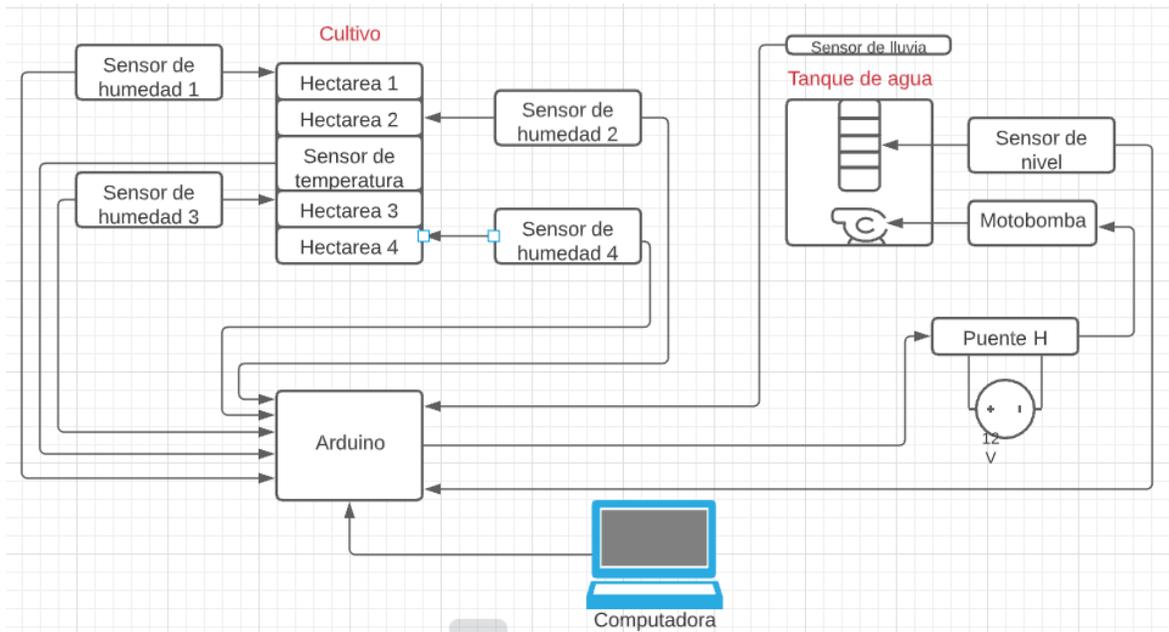


Figura 12 Esquema de conexión del sistema

Implementación del sistema de control de humedad y temperatura que garantiza el correcto desarrollo de la planta de café.

Una vez seleccionado los sensores se procedió con las conexiones físicas de cada uno de ellos a la plataforma Arduino, después de realizadas las conexiones se plantean las etapas del sistema para definir cuál será su comportamiento y acciones a ejecutar. Para la programación se toma la lectura de los sensores y se realiza la estructura de las etapas previamente establecidas en la cual dependiendo de los datos el sistema realizará una acción e informará al usuario acerca del estado de este.

Se seleccionaron los sensores basados en la compatibilidad de conexión con el microcontrolador a utilizar y el mínimo presupuesto para que el modelo a escala del cultivo no se convirtiera en un gasto extra para los participantes del proyecto. Los sensores de humedad terrestre (YL38) son sensores analógicos los cuales miden desde 0 hasta 1023, indicando que entre más cercano sea el valor a 0 la humedad en la tierra será mucho mayor y entre más cercano sea 1023 la humedad será menor, es decir, a menor medición, mayor humedad y a mayor medición, menor humedad, para este proyecto la humedad va de 0 a 1000. El sensor de lluvia (FC-37) es un sensor digital que envía una señal de 1 cuando no hay presencia de lluvia o de 0 cuando si hay presencia de esta. Además, se cuenta con un sensor

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de temperatura (DHT22), el cual entrega una lectura análoga fácil de interpretar con mediciones bastante aproximadas de la temperatura ambiente; para este proyecto la temperatura se toma de 0 a 50°C debido a las condiciones climáticas que se puedan presentar.

Una vez programado el sistema se procede a realizar las pruebas necesarias, en las que se verifica el funcionamiento de todas las etapas y casos programados, donde en caso de ser necesario se efectuaron las correcciones o modificaciones pertinentes para garantizar que los procesos se ejecuten correctamente. El código de programación puede ser visualizado en el Anexo A.

El sistema de monitoreo de cultivos está programado para escanear cada sensor en orden, con el fin de mantener la interfaz gráfica actualizada constantemente, de esta manera mantendrá informado al usuario y permitirá que el programa tome acciones automáticas dependiente de los datos recolectados.

El método utilizado para el riego de los cultivos consiste en un solo motor al cual se le regula la potencia para así poder llegar a las hectáreas que lo requieran, es decir, dependiendo de la hectárea que el sistema identifique que está carente de humedad o que se encuentre inferior al valor establecido, regulará su potencia para así permitir que el riego del agua llegue a cualquiera de las 4 hectáreas construidas.

Desarrollo de una interfaz gráfica de usuario donde se visualiza el comportamiento del sistema controlado y se comprueba la eficacia del sistema.

Para alcanzar este objetivo se seleccionó el programa LabVIEW para realizar la interfaz gráfica ya que este es compatible con la plataforma de Arduino. Se realizó un diseño base en donde se toma la lectura de cada uno de los sensores y se muestran en la pantalla, dando como resultado una interfaz fácil de entender y amigable para el usuario; la interfaz se muestra en el Anexo B.

Para una correcta comunicación entre el Arduino y LabVIEW se debe hacer una adaptación del código, que consiste en eliminar los mensajes y alertas ya que estas se programan en la interfaz, además los datos deben ser enviados en cadena de caracteres (String) para ser interpretados de manera correcta, esta adaptación puede visualizarse en el Anexo C.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Para finalizar se realizan las pruebas de la interfaz gráfica en conjunto con el Arduino para verificar que la lectura de los sensores y el funcionamiento de las etapas mencionadas anteriormente se ejecuten de la forma correcta.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con este proyecto se llegó a una mejor solución de las que se tienen actualmente para un sistema de riego, ya que con el sistema controlado se mejora el consumo de agua, gracias al monitoreo y la automatización de este, lo que reduciría en gran medida la huella hídrica de la industria agrícola, además de esto, gracias al riego automático las plantas sufren menor estrés hídrico generando mejores resultados en su desarrollo; una de las limitaciones más notables es que a pesar de ser un sistema que no requiere gran presupuesto y es fácil de aplicar en la industria colombiana este no está visualizado entre los planes de la misma, ya que su uso es mayormente aplicado a invernaderos, a diferencia de otros países donde es desarrollado como agricultura de precisión, otra de las limitaciones del proyecto es que todo fue realizado con cableado, en comparación con los sistemas aplicados en otros países donde cada sensor es inalámbrico, aumentando un poco su costo pero mejorando su desempeño y practicidad, abriendo puertas a diferentes mejoras, el sistema en este caso no tiene grandes restricciones ya que solo con modificaciones de parámetros puede ser aplicado a diferentes cultivos. Aun así, se aprecia la viabilidad del proyecto para su proyección a gran escala debido a que durante el proceso de monitoreo del proyecto se evidenció que no es necesario un sistema de goteo continuo teniendo los sensores de humedad conectados con el sistema de riego controlado.

Resultados

Cabe aclarar que las imágenes que a continuación serán mostradas y explicadas se dan con base en un historial de la señal de cada uno de los sensores que se guarda en una base de datos a la cual se puede acceder desde el LabVIEW con el fin de tener registro del comportamiento del sistema, este registro se guarda por fecha y hora para mayor facilidad en caso de que deba ser revisado por algún motivo; la información mostrada en la interfaz gráfica del ANEXO B está dada en tiempo real con el fin de dar información rápida del estado del cultivo al usuario.

Los sensores de humedad realizan una lectura entre 0 bits y 1024 bits, donde 1024 bit es el 0% de humedad y 0 bits es el 100% de humedad, así, cuando se tienen 100 bits el porcentaje de humedad está cerca del 90%, cuando se tienen 200 bits el porcentaje de humedad está cerca del 80%, cuando se tienen 300 bits el porcentaje de humedad está cerca del 70%, cuando se tienen 400 bits el porcentaje de humedad está cerca del 60%, cuando se tienen

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

500 bits el porcentaje de humedad está cerca del 50% y así es la interpretación de los porcentajes de humedad hasta llegar al 0%.

Debido a las exigencias del cultivo se trabaja en un rango de 300 bits y 430 bits donde una medida por debajo de los 300 bits indica una correcta humedad en la tierra, dado que las plantaciones de café requieren que la tierra siempre este húmeda, se realiza el riego después de una medida de 430 bits, que en este caso indica que la tierra está perdiendo sus condiciones óptimas de humedad.

En la Figura 11 se ilustra la medición inicial de la humedad, donde en el eje X se encuentra la posición del tiempo con medidas tomadas con un intervalo de un segundo y en el eje Y de se encuentra el número de bits medidos por cada sensor, las señales presentadas en la graficas no sufren de interferencia su forma se debe al tiempo de muestreo y a la precisión de los sensores.

Al tener monitoreado el cultivo a pequeña escala durante 14 horas expuesto a la intemperie, la mayoría de este tiempo bajo luz solar, se obtuvo los siguientes resultados:

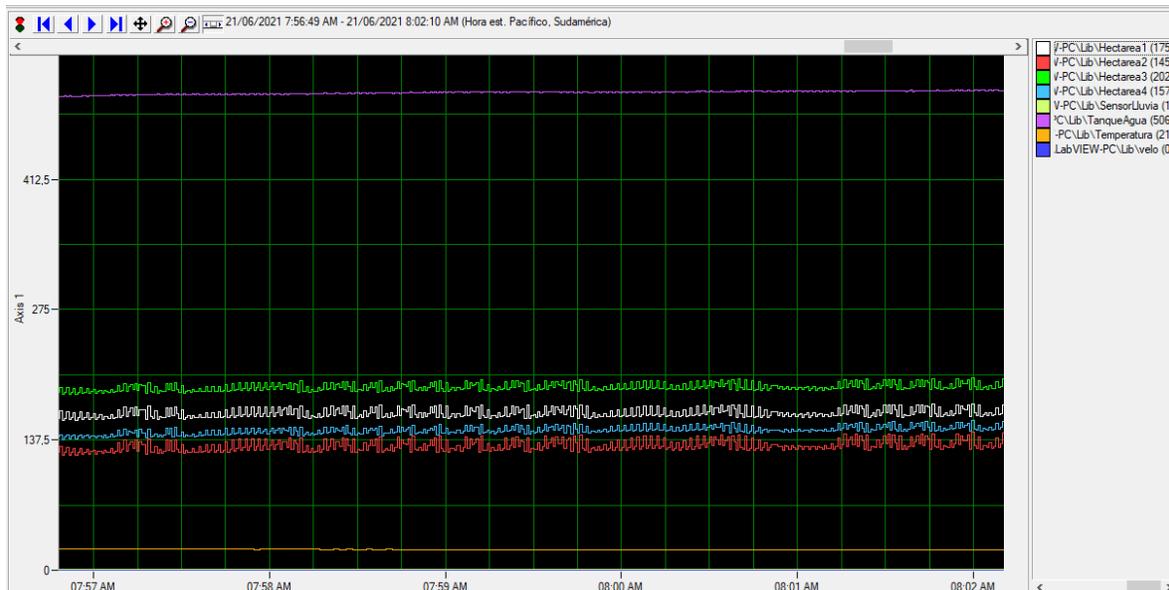


Figura 13. Inicio de las lecturas sensores de humedad

El monitoreo que fue iniciado aproximadamente a las 8 de la mañana, comienza con valores de humedad altos en cada una de las hectareas. Para la hectarea 1 que es de color blanco como se muestra en la grafica y tabla de variables se inicia con una medida 175 bits, para la hectarea 2 que se identifica con el color rojo se inicia con una medida 145 bits, para la hectarea 3 que se identifica con el color verde se inicia con una medida 202 bits, para la

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

hectarea 4 se inicia con una medida de 157 bits, con el fin de apreciar como seran los cambios durante el tiempo de monitoreo. Se debe tener en cuenta que entre el numero bits recibidos sea menor, la humedad en el suelo será mayor y entre mas altos sean los bits recibidos la humedad en el suelo sera menor; la señal de color morado corresponde al nivel del tanque de agua el cual inicia en 506 bits este debe ser superior a 240 bits ya que si es menor el sistema de riego se apagará para proteger el motor.

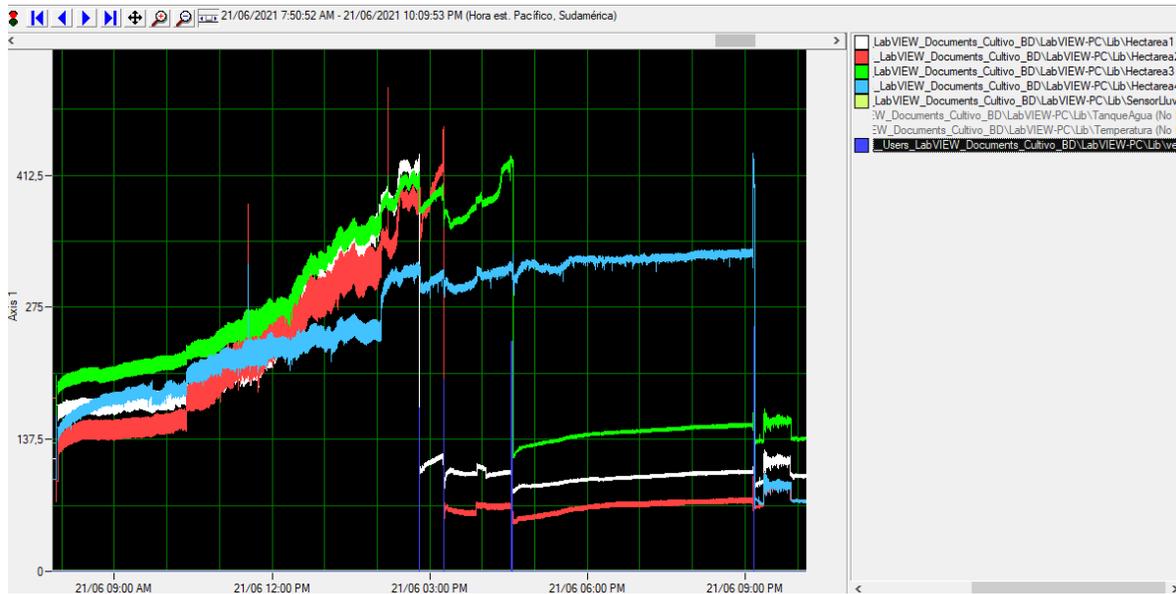


Figura 14. Señales de humedad de las 4 hectáreas a trabajar con su respectivo momento de riego.

En la Figura 12 se pueden visualizar las señales de todas las hectáreas durante las 14 horas de monitoreo, donde se puede evidenciar que durante las primeras horas el número de bits entregados por los sensores fue aumentando, lo que indica que la tierra se estaba secando progresivamente, el sistema está programado para realizar el riego cuando alguna de las medidas de las hectáreas sobrepase los 430 bits ya que se busca que la tierra no se seque en ningún momento y se detenga cuando la medida sea menor a 300bits, también se puede ver que cada hectárea se rego en diferentes horas, un ejemplo es la señal de la hectárea 1 la cual entrega un número menor de bits indicando que fue regada alrededor de las 2:50 de la tarde y donde también se evidencia que en horas posteriores este proceso se repetirá para las demás hectáreas, pero para ser más claro se dará una explicación más detallada de cada una de las señales en las siguientes figuras.

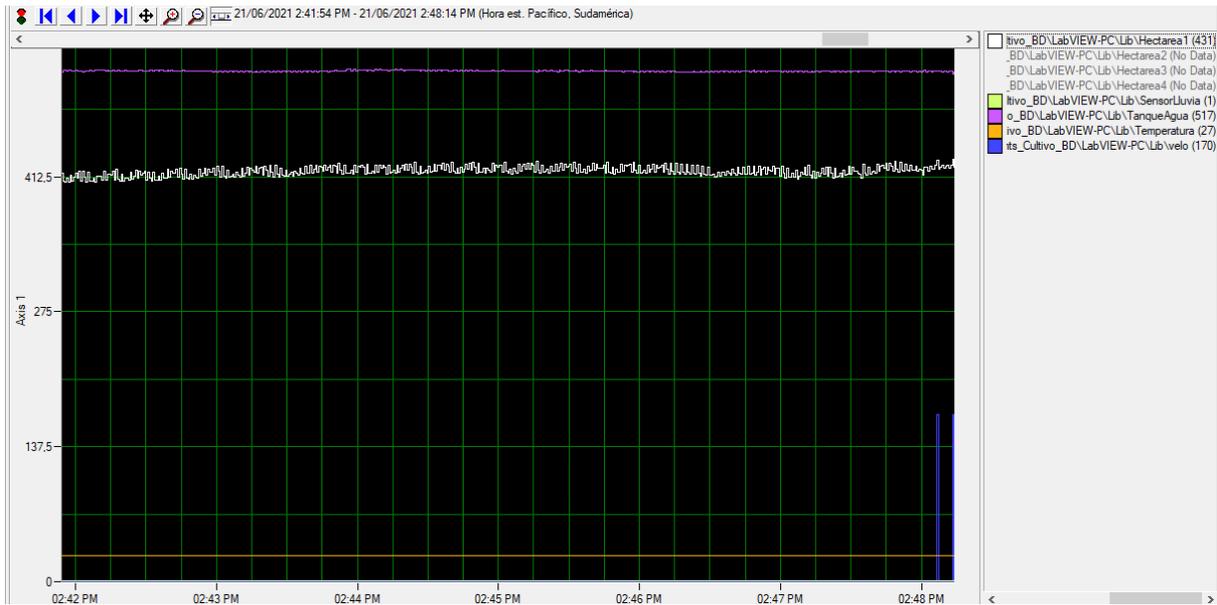


Figura 15 Momento en el que se inicia el riego de la hectárea número 1

Como se puede evidenciar en la Figura 13 la medida del sensor de la hectárea número 1 se encuentra en 431 bits, superando el límite de los 430 bits lo que ocasionó que se encendiera el motor de riego con una potencia de 170 bits como lo indica la variable “velo”, a la cual le corresponde la señal de color azul.

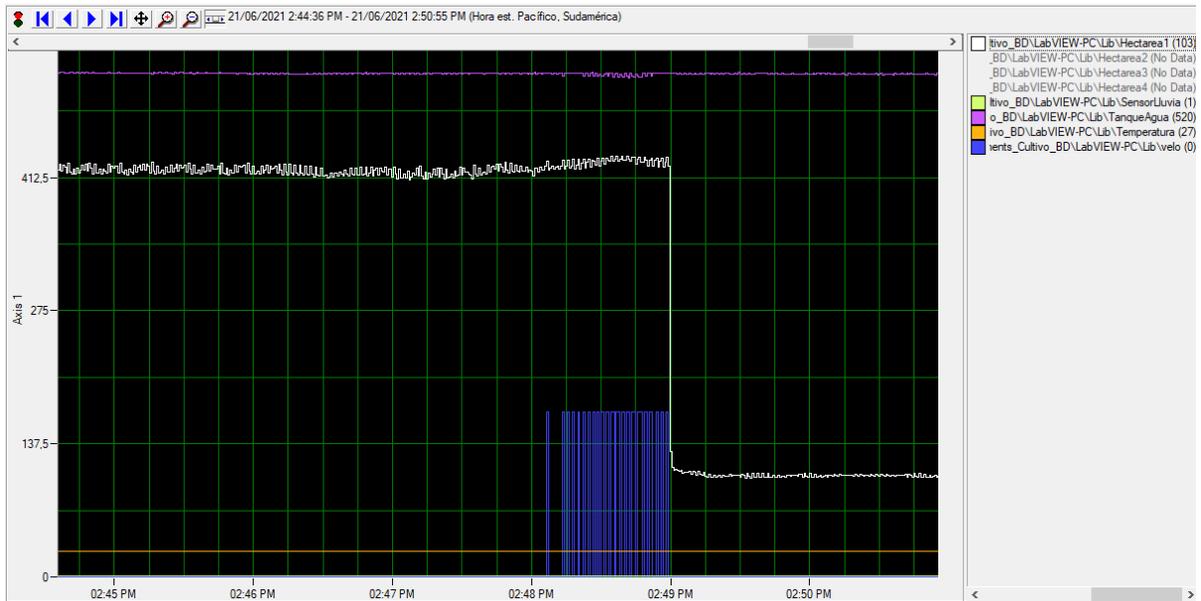


Figura 16. Proceso de riego hectárea 1

En la Figura 14 se puede visualizar que la señal del motor se dio en varias ocasiones debido a que la medida del sensor sufre variaciones, ya que el sensor utilizado cuenta con una alta exactitud, pero una baja precisión, esta variación no representa un problema ya que el sistema de riego sigue cumpliendo su función y en el momento en el que el sensor detecta la humedad envía el número de bits correspondientes y le ordena al sistema apagar el motor cuando la hectárea ha sido regada. La medida de nivel no se ve afectada por no ser una variación muy grande, de igual manera se procuró que el tanque se encontrara siempre abastecido.

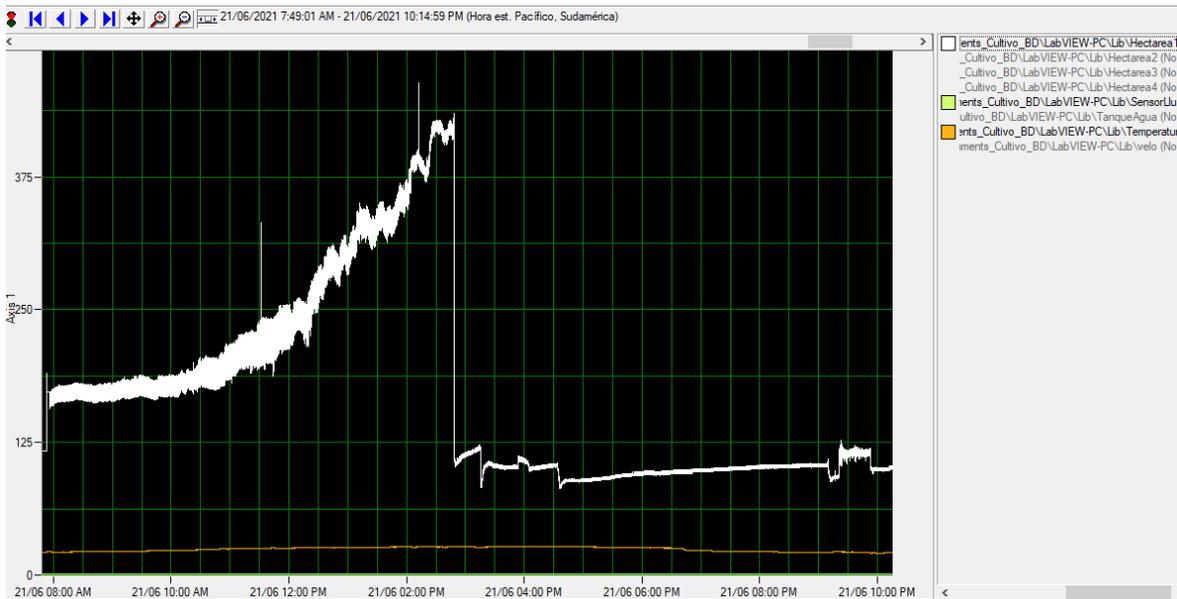


Figura 17. Lectura de humedad hectárea 1 durante las 14 horas de monitoreo.

En la Figura 15 se puede evidenciar como fue el comportamiento de la hectárea número 1 durante las 14 horas de monitoreo, en donde en las primeras horas se aprecia como la medida fue en aumento indicando que la tierra se estaba secando y en donde después de superar los 430 bits se realiza su respectivo riego. Horas después de realizado el riego de la hectárea se puede visualizar el leve cambio de humedad de suelo indicando que este se está secando nuevamente.

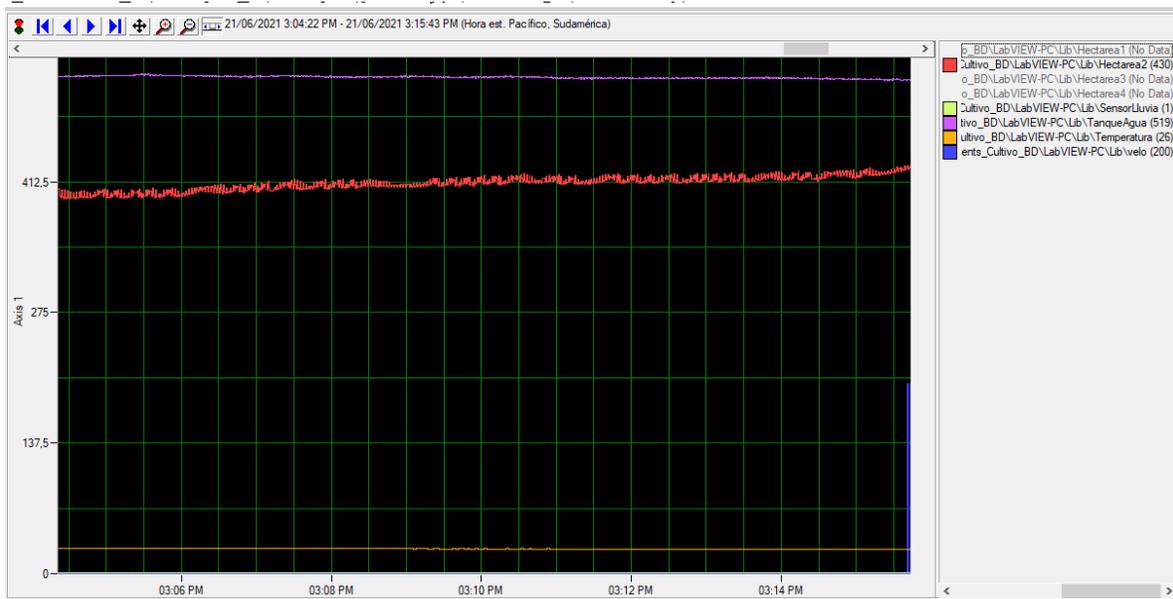


Figura 18. Momento en el que se inicia el riego de la hectárea 2

Como se puede evidenciar en la Figura 15, el sensor de la hectárea 2, el cual corresponde a la señal de color rojo, se encuentra en 430 bits, el límite de medida para que se inicie el riego, ocasionando que el motor se encienda con una potencia de 200 bits como lo indica la variable “velo”, la cual corresponde a la señal azul, la potencia es mayor a la de la hectárea 1 ya que la hectárea 2 se encuentra más lejos de la fuente irrigadora de agua.

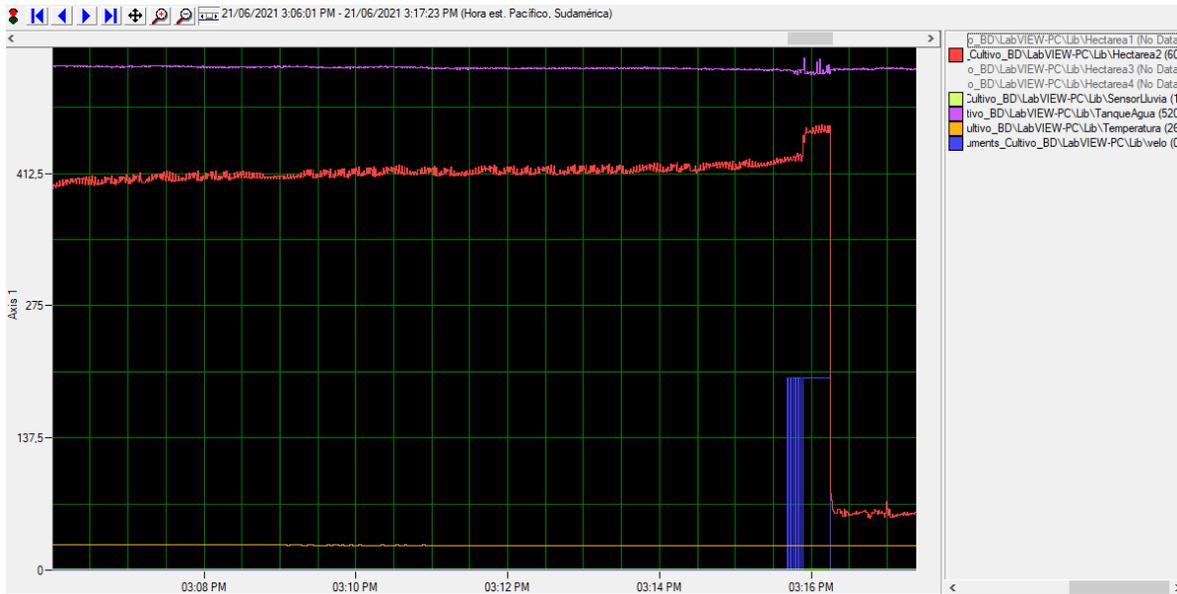


Figura 19. Proceso de riego hectárea 2.

Como se puede visualizar en la Figura 17, la señal del motor la cual corresponde al color azul se dio repetidas veces, esto es ocasionado por la variación del sensor pero esto no representa un problema para el sistema de riego, en este caso una vez que el número de bits del sensor de la hectárea 2 supero por completo el valor de 430bits la señal al motor fue continua realizando de igual manera el correcto riego de la hectárea; una vez el sensor detecta la humedad da la señal al sistema para apagar el motor, la señal del nivel del tanque no sufre un gran cambio debido a que el consumo de agua no fue muy grande.



Figura 20. Lectura de humedad hectárea 2 durante las 14 horas de monitoreo.

En La Figura 18 se puede evidenciar como fue el comportamiento de la hectárea número 2 durante las 14 horas de monitoreo, donde las primeras horas de lectura de los sensores corresponde al periodo de secado de la tierra, una vez alcanzado y superado el límite de los 430 bits el sistema realiza el riego de la hectárea alrededor de las 3:15pm, posteriormente se puede observar que las lecturas de los sensores indican que la tierra se está secando nuevamente.

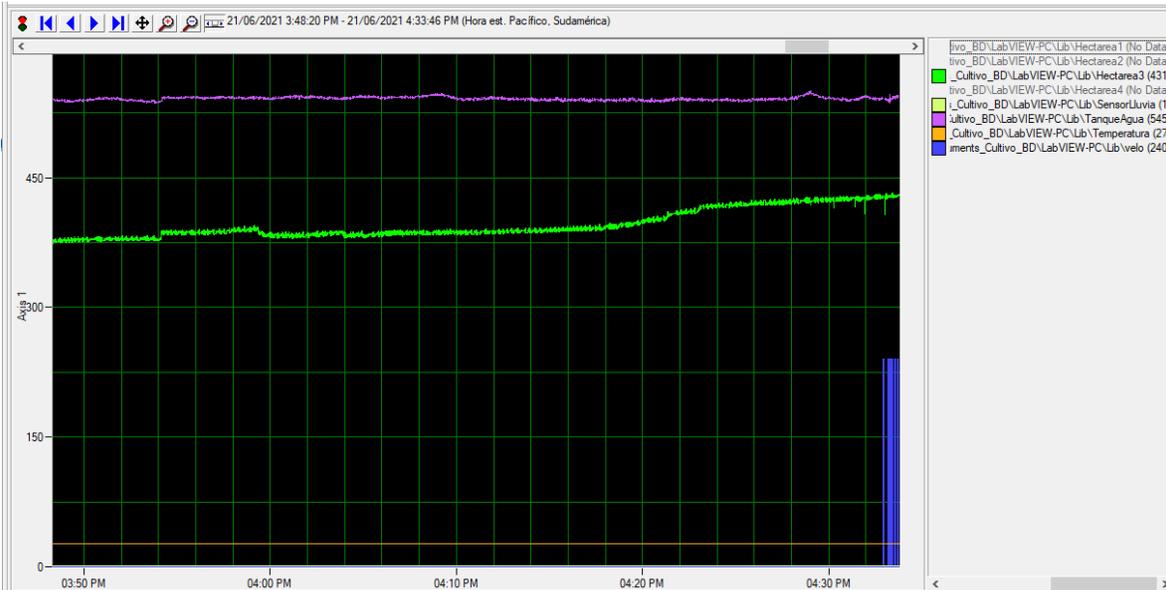


Figura 21. Momento en el que se inicia el riego de la hectárea 3

Como se puede evidenciar en la Figura 19, la medida del sensor de la hectárea 3, la cual corresponde al color verde, se encuentra en 431 bits, superando el límite de los 430 bits lo que ocasionó que se encendiera el motor de riego con una potencia de 200 bits como lo indica la variable “velo”, a la cual le corresponde la señal de color azul, la potencia para esta hectárea es mucho mayor que las anteriores ya que se encuentra más lejos de la fuente de irrigación de agua.

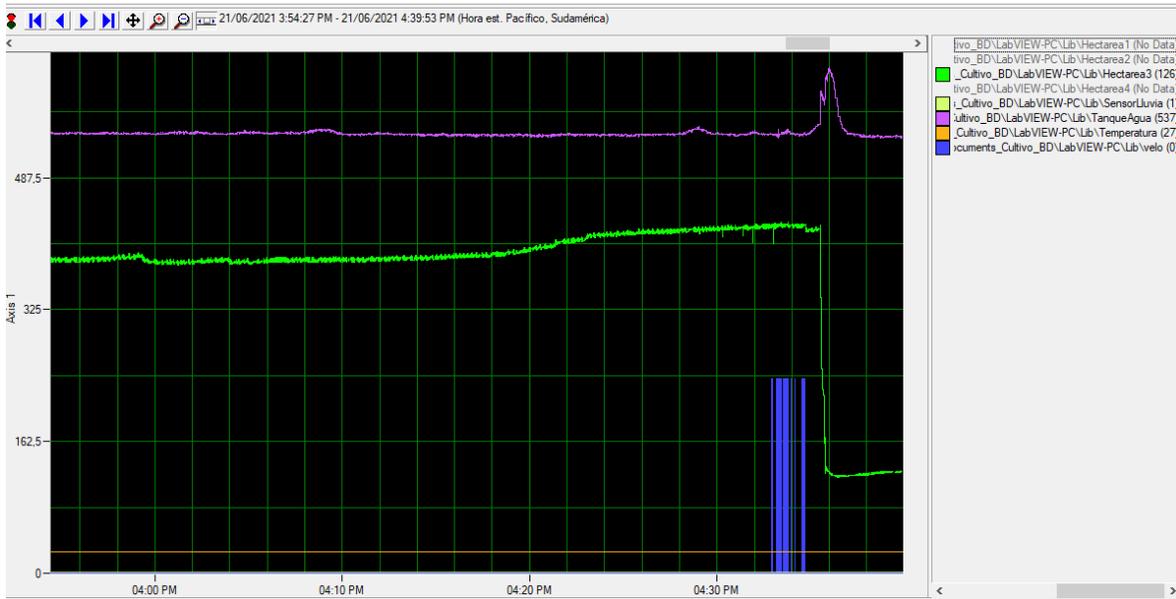


Figura 22. Proceso de riego hectárea 3.

Como se observa en la Figura 20, hay un pico en la señal de nivel del tanque la cual corresponde al color morado, esto se debe al movimiento del agua por la activación del motor ya que la potencia cada vez es mayor, pero una vez que el riego de la hectárea 3 termina la señal vuelve a ser estable; se puede visualizar que la señal del motor que corresponde al color azul se da varias veces, esto se debe a la variación de la lectura del sensor de la hectárea 3, pero esto no representa un problema ya que el riego se realiza de manera exitosa.



Figura 23. Lectura de humedad hectárea 3 durante las 14 horas de monitoreo.

En la Figura 21 se puede evidenciar como fue el comportamiento de la hectárea 3 durante las 14 horas de monitoreo, donde los bits entregados en las primeras horas corresponden al periodo de secado del suelo, a las 4:33pm la lectura del sensor supera el límite de 430 bits y realiza el riego de la hectárea, posteriormente la lectura del sensor muestra claramente que la tierra se encuentra en periodo de secado.

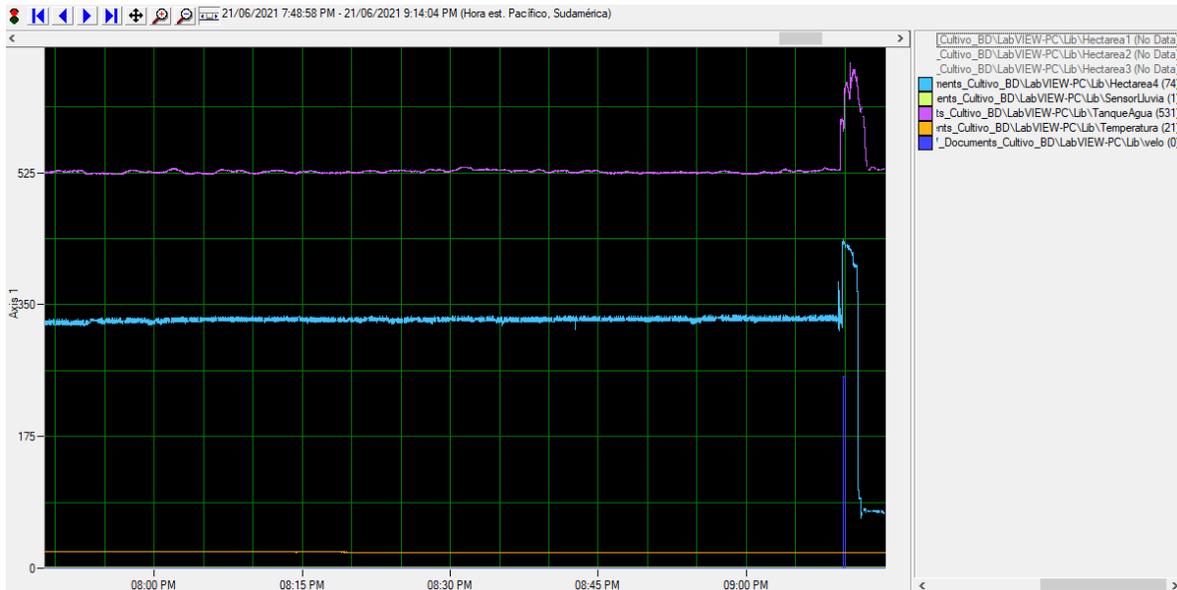


Figura 24. Proceso de riego hectárea 4.

Como se ilustra en la Figura 22, la humedad de la hectárea número 4 permaneció estable hasta las horas de la noche en alrededor de 330 bits, pero debido a un fenómeno externo no previsto la señal de nivel que corresponde al color morado y la señal de humedad de la hectárea 4 que corresponde al color turquesa se ven afectados, el sistema detecta el cambio ocasionando que se encienda el motor con una potencia de 255 bits provocando el riego de la hectárea 4. Aun cuando el fenómeno externo altero las lecturas el sistema ejecuto la tarea para el cual fue programado.

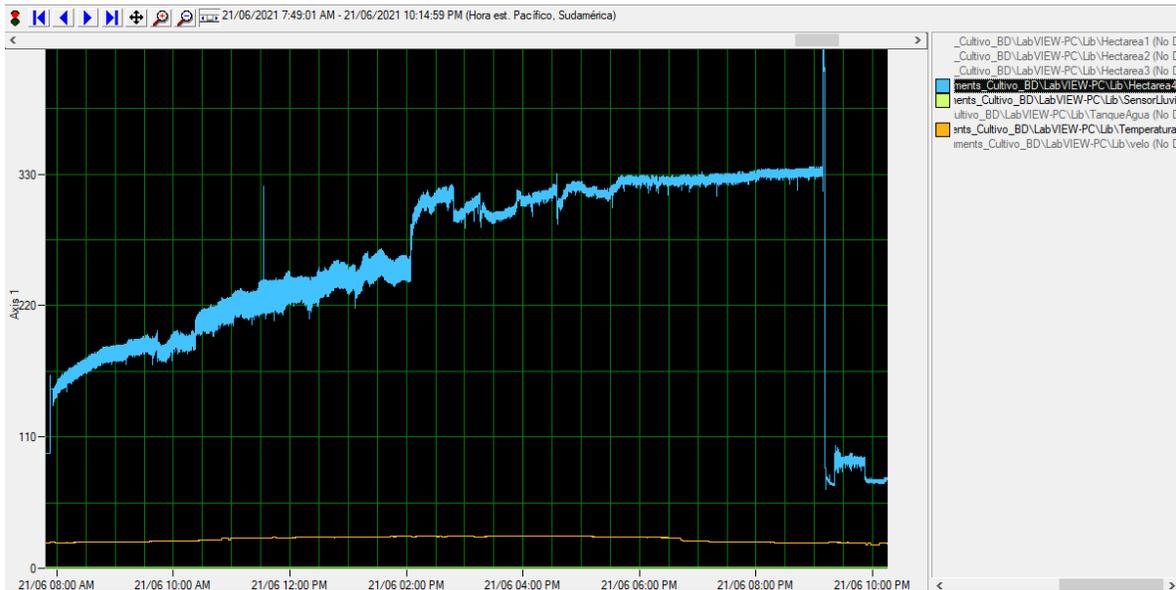


Figura 25. Lectura de humedad hectárea 4 durante las 14 horas de monitoreo.

En la Figura 23 se puede evidenciar como fue el comportamiento de la hectárea 4 durante las 14 horas de monitoreo donde los bits entregados en las primeras horas corresponden al periodo de secado del suelo, esta hectárea mantuvo la humedad estable de 330 bits hasta las horas de la noche, pero al ser afectado por un fenómeno externo no previsto se superó el límite de 430 bits ejecutando el riego de la hectárea. Se debe tener en cuenta que, al tener esta lectura errónea superior al límite de riego, se evidencia que el programa cumple su función realizando el riego y manteniendo la humedad dentro de un rango no nocivo para la planta y sin presentar mayores dificultades en el sistema.

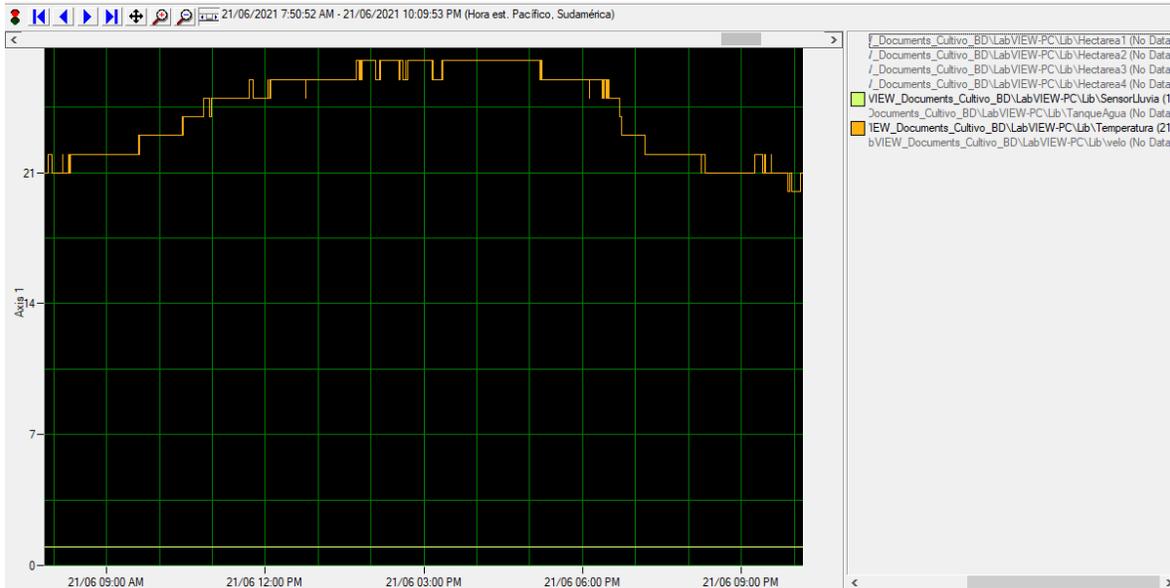


Figura 26. Temperatura tomada durante el proceso de 14 horas de monitoreo del sistema.

En la Figura 24 se puede evidenciar el comportamiento del sensor de temperatura durante las 14 horas de monitoreo el cual corresponde a la señal de color naranja, se observa el cambio en la lectura del sensor en diferentes horas del día, los datos evidencian bajas temperaturas en horas de la mañana y la noche y altas temperaturas en las horas de la tarde; adicionalmente el sensor de lluvia el cual corresponde a la señal de color amarillo no sufrió cambios en todo el día indicando que hubo tiempo soleado durante todo el monitoreo.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Una vez finalizado el proyecto se evidencia que el diseño planteado a pequeña escala se pudo llevar a la realidad, evidenciando que el sistema de monitoreo y riego de cultivos contribuye a una mejora en el consumo de agua de las plantaciones de café, tomando esta última como una de las principales fortalezas. El sistema cuenta con pocas limitaciones ya que es fácilmente aplicable a diferentes cultivos y prácticas, tales como un invernadero; asimismo el sistema al ser monitoreado con sensores económicos contribuye a que sea aplicado con mayor facilidad.

Además, es importante resaltar que, para desarrollar un sistema de monitoreo, riego y cuidado de cultivos es esencial el conocimiento a profundidad de la planta a la que se quiere aplicar el sistema, ya que se pueden tener los conocimientos técnicos a nivel de control y electrónica, pero si no se realiza una investigación adecuada de la plantación se podría afectar el desarrollo de esta si es que se somete a un estrés hídrico, no obstante, el sistema tiene la posibilidad de adaptarse a cualquier tipo de cultivo, conociendo los niveles de humedad que se requieren para el desarrollo del mismo, se cambiarían las variables de riego y los valores de activación del motor, buscando así el cuidado y monitoreo correcto de las plantas a tratar.

Después de realizada la programación en el Arduino con esta se procede a realizar la interfaz gráfica del sistema, se puede concluir que los conocimientos en programación son esenciales para poder llevar la estructura planteada al código de ejecución, pero gracias a toda la información disponible de diferentes fuentes fue más manejable su desarrollo con conocimientos básicos en creación de interfaces gráficas.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Recomendaciones

Se recomienda que en la implementación de un sistema de este tipo se utilicen sensores con alta resistencia a la corrosión y certificados en la norma IP67 para su uso en exteriores.

Se recomienda la implementación de un sistema de guardado de datos en Excel aparte del historial de cambios por grafica implementado en el sistema, ya que haría más comprensible los datos.

Se recomienda tener muy presente los parámetros de elaboración de la salida del sistema de irrigación de agua (en este caso la manguera), para que la salida sea uniforme y pueda llegar a cada hectárea de la plantación.

Se recomiendo utilizar sensores más precisos para la lectura de variables tales como nivel y humedad de suelo para evitar variaciones.

Trabajo futuro

Para el trabajo futuro se tendrán en cuenta realizar diversos cambios, tales como mejora en la calidad de los sensores, comunicación inalámbrica de los sensores con la plataforma de programación, comunicación SMS del sistema con el agricultor, implementar el diseño a mayor escala.

Con el fin de aprovechar el clima cálido en los que se desarrollan las plantaciones de café se implementará un sistema seguidor de sol con paneles para la recolección de energía solar, con foto receptores, haciendo el sistema más eficiente en la recolección de energía y pueda suplir las necesidades energéticas del sistema de cuidado.

Se contemplará la implementación de sensores de PH de suelo en donde el sistema de riego automático llevará fertilizante líquido a la hectárea que lo requieran y así mejorar el cuidado del cultivo.

Es importante resaltar que el sistema no solo se puede aplicar o servir en plantaciones de café, también se puede adaptar a todo tipo de cultivo que requiera el riego de agua controlado para su cuidado y correcto desarrollo; se pueden modificar los valores de medición de la humedad, teniendo como base el conocimiento de los porcentajes de dicha

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

variable, y claridad en los valores que debe tener la tierra para que las plantaciones crezcan de manera sana y con calidad.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

Sakthipriya, N., (2014). *An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network*. [online] Scholar Google. Available at: <https://scholar.google.com.co/scholar?q=An+Effective+Method+for+Crop+Monitoring+Using+Wireless+Sensor+Network&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar> [Accessed 15 February 2021].

Alarcón López, A., (2017). *Diseño de un sistema de control y automatización de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa para optimizar el rendimiento de cultivos bajo cubierta en CORHUILA*. [online] researchgate. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/320958815_Diseño_de_un_sistema_de_control_y_automatización_de_temperatura_humedad_del_suelo_y_humedad_relativa_para_optimizar_el_rendimiento_de_cultivos_bajo_cubierta_en_CORHUILA> [Accessed 13 February 2021].

Liqiang, Z., Shouyi, Y., Leibo, L., Zhen, Z. and Shaojun, W., (2011). *A Crop Monitoring System Based on Wireless Sensor Network*. [online] science direct. Available at: <https://scholar.google.com.co/scholar?q=A+Crop+Monitoring+System+Based+on+Wireless+Sensor+Network&hl=es&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar> [Accessed 20 February 2021].

Abd El- Baset, M., Ramadan Eid, A., Wahba, S., El-Bagouri, K. and El-Gindy, A., (2017). *Scheduling Irrigation Using Automatic Tensiometers for Pea Crop*. [online] cigr journal. Available at: <<https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4440>> [Accessed 23 February 2021].

Café de Colombia. (2021). *HISTORIA DEL CAFÉ DE COLOMBIA - Café de Colombia*. [online] Available at: <<https://www.cafedecolombia.com/particulares/historia-del-cafe-de-colombia/>> [Accessed 5 March 2021].

Grupobancolombia.com. (2018). *Guía para cultivar café en Colombia*. [online] Available at: <<https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/negocios/actualizate/sostenibilidad/guia-cultivo-cafe-colombia>> [Accessed 8 March 2021].

Rodríguez Hernández, L., (2021). *Los tres retos de la caficultura colombiana para 2021*. [online] RCN Radio. Available at: <<https://www.rcnradio.com/economia/los-tres-retos-de-la-caficultura-colombiana-para->

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXOS

Anexo A

Código de programación del sistema

```

//// Autor: Juan Alejandro Rivera
#include "DHT.h"

#define DHTPIN 2 // Pin donde está conectado el sensor

//#define DHTTYPE DHT11 // Descomentar si se usa el DHT 11
#define DHTTYPE DHT22 // Sensor DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
///

float MSH1;
float MSH2;
float MSH3;
float MSH4;
//Motobomba
byte girarmotorD = 9;
byte girarmotorI = 8;
int velo = 5;
//Nivel de agua del tanque
float nivel = 0;
//Sensor de lluvia
int Slluvia = 11;
int estado = 0;
//Motor tapa tanque
#include <Servo.h> // librería para poder controlar el servo
Servo servoMotor;// Declaramos la variable para controlar el servo

//parametros adicionales
byte contador = 0; //regular activacion de motor
byte norepetidor = 0;// no repetir mensajes

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(MSH1, INPUT);
  pinMode(MSH2, INPUT);
  pinMode(MSH3, INPUT);
  pinMode(MSH4, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  //Motobomba
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  //Nivel de agua del tanque
  pinMode(A4, INPUT);
  //Motor tapa de tanque
  servoMotor.attach(6);
  ///temperatura
  dht.begin();
}

void loop() {

```

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

```

//Serial.println("nivel");
//Serial.println(nivel);

//////////hectarea 1
//Realiza la lectura del sensor y me imprime el estado de la humedad terrestre
MSH1 = analogRead(A0);

//Motobomba hectarea 1

while (contador == 0)
{

  if (nivel >= 240)
  {

    MSH1 = analogRead(A0);
    //Serial.println("Sensor 1");
    //Serial.println(MSH1);

    if (MSH1 >= 430)
    {

      analogWrite(5, 170);
      velo = 170;

      digitalWrite(9, HIGH);
      digitalWrite(8, LOW);
      lecturas(1);
    }

    if (MSH1 <= 300)
    {
      analogWrite(5, 0);
      velo = 0;
      digitalWrite(9, LOW);
      digitalWrite(8, LOW);
      contador = 1;
    }
  }

  //Esta line se activa cuando el nivel del tanque esta muy bajo y apaga el sistema de riego
  if (nivel <= 239)
  {
    contador = 8; //Este contador en 8 es para que no entre a encender el motor y desactive el sistema de riego por nivel bajo
  }

  //delay(1000);
}

```

De la misma forma se realiza el código para las otras hectáreas del cultivo.

Se crea un ciclo de trabajo para definir el funcionamiento de la motobomba y la regulación de su potencia de regado en el cultivo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo B

Pantalla de visualización de datos del cultivo



Anexo C

Adaptación del código de Arduino para LabVIEW

```

void lecturas(int h) {

    nivel = analogRead(A4); // Nivel tanque
    MSH1 = analogRead(A0); // Humedad 1
    MSH2 = analogRead(A1); // Humedad 2
    MSH3 = analogRead(A2); // Humedad 3
    MSH4 = analogRead(A3); // Humedad 4
    estado = digitalRead(11);

    //Temperatura

    float tem = dht.readTemperature(); //Leemos la temperatura en grados Celsius
    //-----Enviamos las lecturas por el puerto serial-----

    // Serial.print("Temperatura: ");
    //Serial.println(tem);

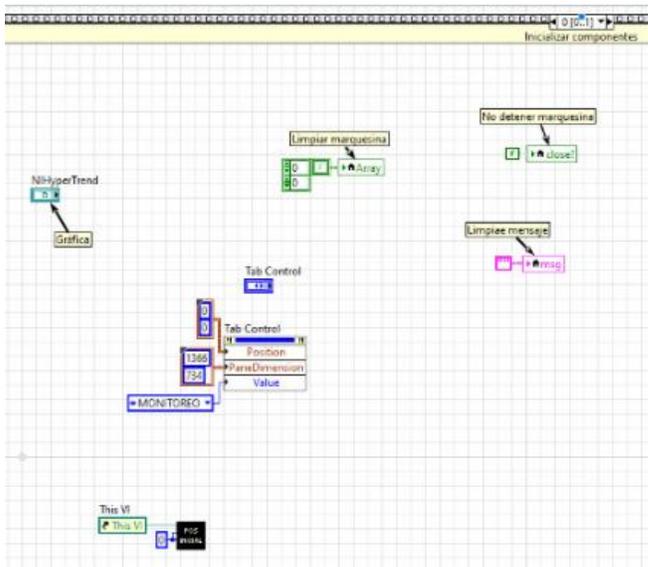
    String str = String(nivel) + " " + String(MSH1) + " " + String(MSH2) + " " + String(MSH3) + " " + String(MSH4) + " " + String(estado) + " " + String(tem) + " "
    + String(velo) ;
    Serial.println(str);
}

```

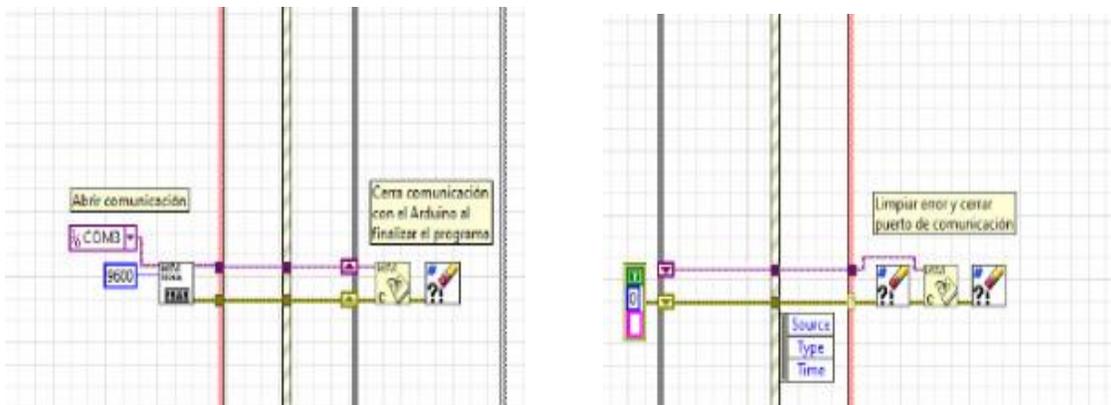
Anexo D

Estructura de programación para la interfaz grafica

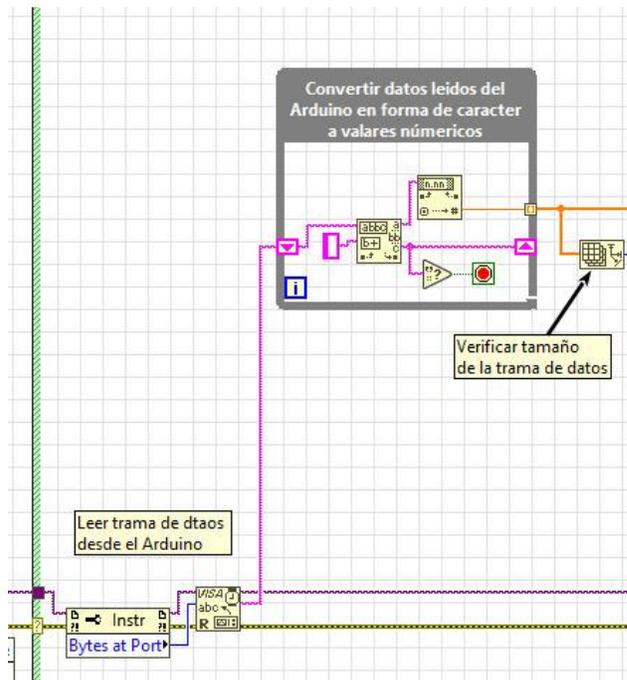
Se establece la estructura secuencial a inicializar, donde principalmente se dan las coordenadas para la visualización de la interfaz gráfica, se instauran parámetros a utilizar como el tablero de control y se crean variables para que permita mostrar mensajes y repetirlos.



El programa establecerá la conexión con el Arduino donde el sistema automáticamente identifica si hay un error de conexión he informa al usuario, después limpia el error y sigue intentando la conexión con el Arduino. Una vez lo logre, envía todos los datos del programa hecho en Arduino en forma de caracteres (String).



Esta parte del programa lee los datos enviados por el Arduino en forma de caracteres y los direcciona a un convertidor donde toma los valores individuales, en este caso de los sensores, los convierte a valores numéricos, verifica el tamaño de los datos y los ordena número a número asignando un espacio a cada dato recibido desde cada sensor.



A continuación, se dará una explicación del sistema de la interfaz gráfica a grosso modo en sus diferentes partes, mostrando lo señalado al final de la explicación en una imagen.

Los datos de todos los sensores quedan almacenados en el recuadro verde donde se direccionan a necesidad, el orden en el que están los datos se da desde el Arduino.

1

En el recuadro amarillo se encuentra la interfaz gráfica que se encargará de mostrar los datos de cada sensor en tiempo real.

2

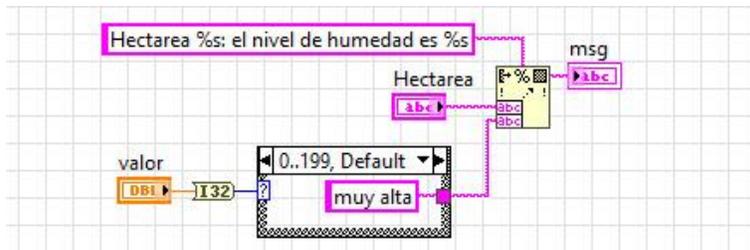
En el recuadro azul se encuentran establecidos los límites programados en el Arduino con sus respectivos mensajes. En el caso del tanque de agua que se muestra como "nivel", envía los datos a la interfaz gráfica de tanque de agua para que sea visualizado y a la marquesina en forma de aviso.

3

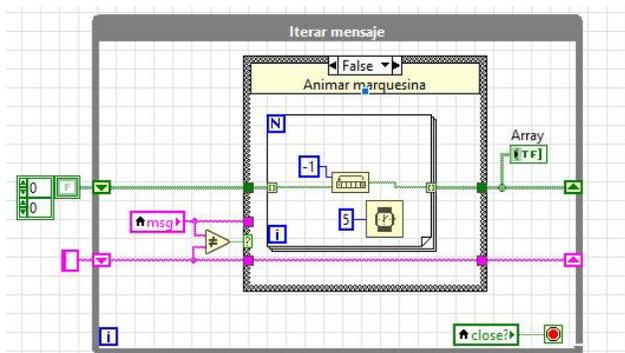
Aquí se encuentra el diseño de programa que se utilizó para los sensores de humedad terrestre, cuando los datos son leídos el programa inmediatamente los muestra en los

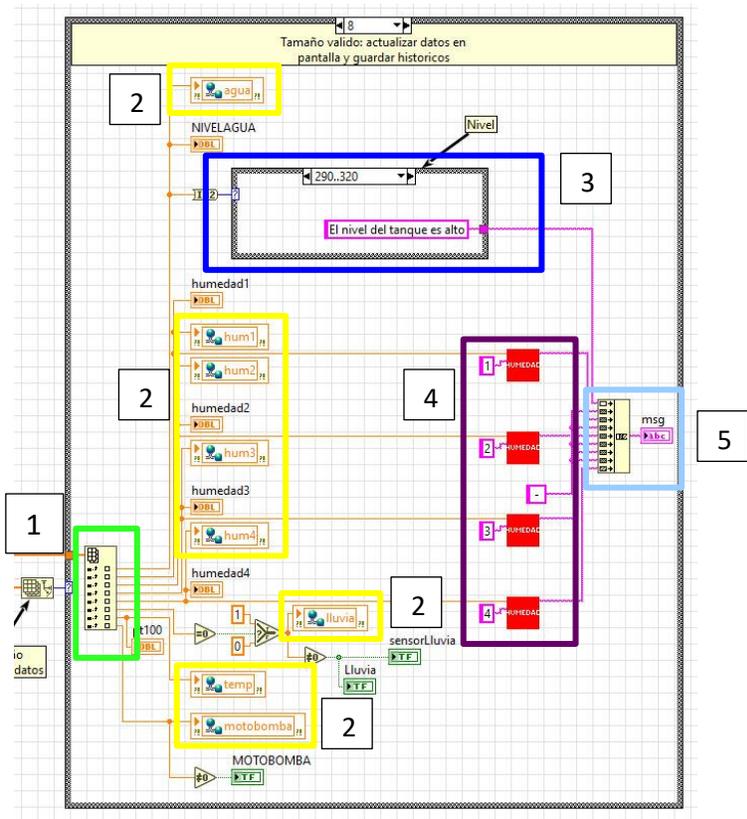
4

medidores de la interfaz gráfica y compara el valor con los límites establecidos y muestra un mensaje en la marquesina.

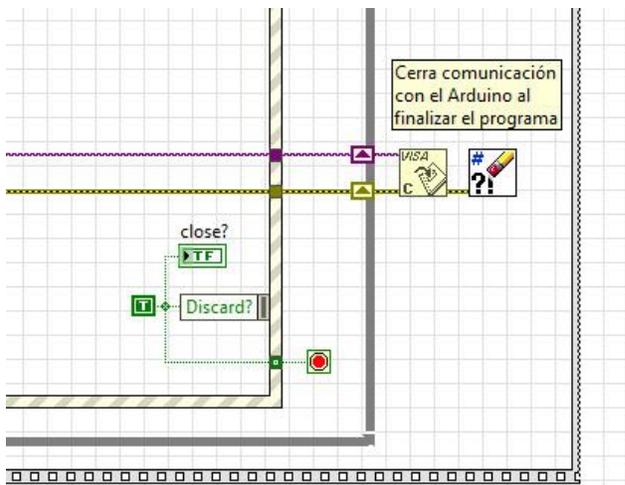


En esta parte del programa se encuentra la marquesina (panel de avisos) que es la encargada de mostrar mensajes de aviso para hacer más amigable la información al usuario.





Cuando se cierra el programa se ejecuta esta parte del código cortando toda comunicación con el Arduino.



FIRMA ESTUDIANTES Juan Rivera

Dámaso Villarreal Yepes

FIRMA ASESORES Paula D. Octavio

FECHA ENTREGA: 28/06/2021