



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**

**TRABAJO MONOGRAFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Sistema de Control Electrónico para un Secador Solar de Cacao
Enfocado a Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua**

AUTOR:

Saul Enrique Gonzales Gaitan	2012-42308
José Humberto Alejos Ñurinda	2014-1225U

TUTOR:

Ing. Carlos Alberto Ortega Huembés

Managua

12 de octubre del 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios por proveerme sabiduría, perseverancia, fortaleza, habilidades para lograr mis metas una de ellas culminar mi carrera.

A mis padres José Julián Alejos Hernández y María Elena Ñurinda Martínez. Por trabajar duro para lograr sacarme adelante y guiarme en la senda de la rectitud, enseñarme a ser humilde, honesto, disciplinado, perseverante y de muy buenos principios morales, por brindarme todo su amor y comprensión, por corregirme para lograr ser una buena persona y ayudar a quien me necesite por el apoyo brindado en los momentos adversos en mi vida y por creer en mí para poder lograr mis objetivos como finalizar mis estudios universitarios.

De manera muy especial a nuestro maestro Carlos Ortega por depositar su confianza, Por ser pacientes, tolerantes, y proveernos de conocimientos y experiencia que fueron las herramientas del éxito de nuestra tesis

José Humberto Alejos

RESUMEN

Este trabajo monográfico tiene el propósito de brindar una alternativa de solución al problema de secado de grano de cacao que afecta al pequeños y medianos productores en las zonas atlántico sur y norte. El problema radica en las diferentes técnicas de secado utilizado, carencia de recursos económicos y el sitio bastante tropical, además de la carencia para aumentar los niveles de calidad en el secado. De las opciones evaluadas hay muchas que dan solución, pero no cumplen estándares de secado por la ICCO, para dar solución al problema se optó por implementar un sistema de secado controlado para el grano de cacao en las cooperativas “**la campesina**”.

El sistema es capaz de monitorear: el estado del secado del silo bolsa para un correcto control de las mediciones y parámetros influyentes, el estado del grano fermentado del cacao es influyente como principales variables de entrada, analizadas por un sistema de medición entre las unidades. Para el proceso de secado va acorde a los múltiples datos de las variables recibidas.

Se presenta el diseño de cada uno de los sistemas de las unidades que conforman el prototipo. Esto incluye el desarrollo de hardware y software necesario. De igual forma el desarrollo de cálculo de sistema de alimentación para las mismas.

Para el desarrollo de este proyecto se conformó un grupo con miembros de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de las diferentes especialidades para el estudio del proyecto piloto.

El documento termina con las conclusiones obtenidas por la elaboración del sistema y con las recomendaciones necesarias de acuerdo al interés con que el proyecto será usado.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
JUSTIFICACION	6
MARCO TEÓRICO	7
ORIGEN DEL CACAO	7
NORMAS INTERNACIONALES PARA EL CACAO.....	7
ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE SECADO DEL CACAO.....	8
<i>Algunos requisitos de calidad ICCO</i>	9
MÉTODOS DE SECADO	14
- <i>Método de Cajas Rohan:</i>	14
- <i>Método Secado al sol:</i>	15
<i>Método Domo o invernadero:</i>	16
TIPOS SISTEMAS DE CONTROL.....	18
- <i>Sistemas De Control En Lazo Abierto</i>	19
- <i>Sistemas De Control En Lazo Cerrado</i>	19
<i>Los elementos de un sistema de control son:</i>	20
- <i>Sensores</i>	20
<i>Concepto de Censo de Humedad</i>	22
PROCESO DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA DEL SOL	23
<i>Factores que influyen en los niveles de radiación UV</i>	23
PRINCIPIOS FÍSICOS QUE AFECTAN AL FUNCIONAMIENTO DE UN SECADOR SOLAR DE CACAO.....	25
COMPONENTES INFLUYENTES AL SECADO	26
<i>Fan o ventilador:</i>	26
<i>Velocidad del aire:</i>	27
<i>Resistencia Térmica</i>	27
CAPÍTULO I: REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO TIPO SECADOR SOLAR	28
REQUERIMIENTOS AL PROTOTIPO BOLSA SOLAR.	30
REQUERIMIENTOS PREVIOS DEL GRANO A SECAR.....	32
TASA DE ERROR ACEPTABLE EN MEDICIONES.	32
CAPITULO II: DISEÑO DEL PROTOTIPO SECADOR SOLAR	33
CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA ELECTRÓNICO	33
DIAGRAMA DE BLOQUE DEL SISTEMA DE MONITOREO.	34
<i>Descripción del diagrama de control</i>	35
SELECCIÓN DE HARDWARE A USAR	36
<i>Sensor UV</i>	37
<i>Sensor de Temperatura</i>	38
<i>Sensor de Temperatura y Humedad del Ambiente</i>	39
<i>Visualización de Datos</i>	40
<i>Módulo de lectura y escritura para tarjetas SD</i>	41
<i>Reloj en Tiempo Real</i>	42
<i>Relé</i>	43
<i>Selección de Fan o ventilador</i>	44

<i>Selección del controlador</i>	49
<i>Calefactor de aire termostático</i>	51
<i>Alarma de doble señal. Acustica+Luminosa</i>	52
CENSO DE CARGA	54
<i>Cálculo de potencia requerida</i>	54
<i>Cálculo de Batería</i>	55
<i>Selección de Panel Solar</i>	56
<i>Controlador De Carga</i>	58
DISEÑO DE BOLSA SOLAR PROTOTIPO	59
DISEÑO PCB.....	62
PRESUPUESTO.....	67
CAPITULO III CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS	68
CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO	68
PSEUDOCÓDIGO	71
PERSPECTIVA DEL PROTOTIPO DE BOLSA A ESCALA.....	73
CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA PARA SOPORTE DEL FAN	74
CALIBRACIÓN Y PRUEBA DE SENSORES	75
<i>Calibración y Prueba de Sensores Termocuplas</i>	75
<i>Calibración y Prueba de Sensores DHT11 y AM2315 de Mediciones Relativas</i>	76
PRUEBAS DE SECADO CON GRANO DE MAÍZ.....	78
<i>Conclusiones de Pruebas Realizadas</i>	81
CAPITULO IV RESULTADOS FINALES	82
MODIFICACIONES DEL EQUIPO	82
VISITA Y PRUEBA DEL SECADOR EN WASLALA.....	83
<i>Pruebas de la Bolsa Solar Bajo lluvia en finca Tininiska</i>	84
<i>Visita al campo y cosecha del Grano de cacao</i>	85
<i>Proceso de Pre-secado</i>	85
PROCESO DE SECADO FINAL EN CENIA DEL INTA MANAGUA.....	88
<i>Revisión de cacao fermentado</i>	93
<i>Resumen del proceso</i>	94
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES.....	101
BIBLIOGRAFÍA	102

Índice de Tablas

CONTENIDO	4
TABLA 1 PARÁMETROS DEL SENSOR UV SI1145	38
TABLA 2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MÓDULO MAX6675 +SONDA	39
TABLA 3 DETALLES TÉCNICOS DEL SENSOR DHT11	39
TABLA 4 DETALLES TÉCNICOS DEL AM2315	40
TABLA 5 CONEXIÓN I2C	41
TABLA 6 DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO SDCARD	42
TABLA 7 PARÁMETROS DE RELOJ DS3231	43
TABLA 8 ESPECIFICACIONES DE MODULO DE RELÉS	44
TABLA 9 DETALLES TÉCNICOS DE FAN UNIVERSAL	45
TABLA 10 PARÁMETROS DEL MÓDULO DE POTENCIA MOSFET	46
TABLA 11 REGULACIÓN DE PWM	47
TABLA 12 PARÁMETROS PARA SELECCIÓN DE CONTROLADOR	49
TABLA 13 PARÁMETROS ATMEGA2560 SEGÚN PÁGINA DE ARDUINO	50
TABLA 14 DETALLES TÉCNICOS DEL CALEFACTOR DE AIRE	52
TABLA 15 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ALARMA.	53
TABLA 16 CENSO DE CARGA DE DISPOSITIVOS CONSUMIDORES	54
TABLA 17 CENSO DE CARGA	54
TABLA 18 DETALLES DEL CONTROLADOR DE CARGA	56
TABLA 19 DETALLES TÉCNICOS DEL PANEL SOLAR	57
TABLA 20 DETALLES DEL CONTROLADOR DE CARGA	58
TABLA 21 COSTO DE COMPONENTES	67
TABLA 22 TABLA 22 DATOS DEL PROCESO DE SECADO	95

Índice de Imágenes

IMAGEN 1 DISTINTOS TIPOS DE CACAO Y SU NIVEL DE PIGMENTACIÓN. FOTO: G.RAMOS.	9
IMAGEN 2 BUENA FERMENTACIÓN EN PILA. FOTO: G.RAMOS.....	11
IMAGEN 3 LA FERMENTACIÓN NO DEBE INCLUIR GRANOS NEGROS O ENFERMOS. FOTO: G.RAMOS..	11
IMAGEN 4 SECADO AL SOL Y SECADO ARTIFICIAL. FOTOS POR M.GILMOUR, D.SUKHA.....	12
IMAGEN 5 SECADO SOBRE ASFALTO // ANIMALES PASTEANDO EN GRANOS FOTOS POR M.GILMOUR, D.SUKHA	13
IMAGEN 6 ALMACENAMIENTO EN AMBIENTE CONTROLADO Y SIN PLAGAS. FOTOS POR M.GILMOUR, D.SUKHA	14
IMAGEN 7 CAJAS ROHAN	15
IMAGEN 8 SECADO AL SOL.....	16
IMAGEN 9 DOMO O INVERNADERO.....	17
IMAGEN 10 SOLAR BUBBLE DRYER.....	18
IMAGEN 11 EJEMPLO DE SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	19
IMAGEN 12 SENSOR ÓPTICO	21
IMAGEN 13 OBTENCIÓN DE FOTONES: PANEL SOLAR	23
IMAGEN 14 FAN 12V/DC.....	27
IMAGEN 15 EJEMPLO DE RESISTENCIA TÉRMICA.....	27
IMAGEN 16 EJEMPLO DE SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO	34
IMAGEN 17 DIAGRAMA DE BLOQUE PROTOTIPO DE SISTEMA DE MONITOREO	35
IMAGEN 18 SENSOR UV SI1145	37
IMAGEN 19 EJEMPLO DE MODULO MAX6675 +SONDA.....	38
IMAGEN 20 EJEMPLO DE DHT11.....	39
IMAGEN 21 EJEMPLO DE SENSOR AM2315	40
IMAGEN 22 EJEMPLO DE PANTALLA LCD.....	41
IMAGEN 23 EJEMPLO DE MÓDULO SDCARD	42
IMAGEN 24 EJEMPLO DE RELOJ DS3231 RTC (REAL TIME CLOCK)	43
IMAGEN 25 EJEMPLO DE MÓDULO DE RELÉS	44
IMAGEN 26 VENTILADORES EN SBD ANAR	44
IMAGEN 27 FAN UNIVERSAL	45
IMAGEN 28 EJEMPLO DE MÓDULO DE POTENCIA MOSFET	46
IMAGEN 29 PRUEBAS DE REGULACIÓN DE PWM CON ANEMÓMETRO	47
IMAGEN 30 EJEMPLO DE ARDUINO MEGA2560	50
IMAGEN 31 ARDUINO IDE	51
IMAGEN 32 EJEMPLO DE CALEFACTOR DE AIRE	52
IMAGEN 33 EJEMPLO DE ALARMA SONORA LUMÍNICA	53
IMAGEN 34 BATERÍA ACIDO DE PLOMO.....	55

IMAGEN 35 PANEL SOLAR DE 150W	57
IMAGEN 36 CONTROLADOR DE CARGA.....	58
IMAGEN 37 VISITA DE CAMPO A ANAR.....	59
IMAGEN 38 ASIGNACIÓN DE MEDIDAS DE BOLSA SOLAR	60
IMAGEN 40 VISTA LATERAL IZQUIERDA	61
IMAGEN 41 VISTA FRONTAL SUPERIOR.....	61
IMAGEN 42 VISTA INFERIOR	62
IMAGEN 43 REPRESENTACIÓN DE CIRCUITO DE CIRCUITOS CON SUS COMPONENTES.....	63
IMAGEN 44 REPRESENTACIÓN GENERAL DE TODOS LOS EQUIPOS	64
IMAGEN 45 VISTA: PISTAS DE CONEXIONES.....	65
IMAGEN 46 VISTA INFERIOR	65
IMAGEN 47 VISTA LATERAL.....	66
IMAGEN 48 PRIMERAS PRUEBAS DE PROGRAMACIÓN	68
IMAGEN 49 MONTAJE EN BAQUELITA CONEXIÓN Y PROGRAMACIÓN.....	69
IMAGEN 50 PROTOTIPO FINAL DEL SISTEMA DE CONTROL	70
IMAGEN 51 VISUALIZACIÓN FRONTAL DE MODELADO CAJA TERMOPLÁSTICA	71
IMAGEN 52 PRIMERA IDEAS DE BOLSA SOLAR.....	73
IMAGEN 53 PROTOTIPO DE BOLSA SOLAR	73
IMAGEN 54 PRIMER MODELO DE PRUEBA DE SOPORTE DEL FAN.	74
IMAGEN 55 ESTRUCTURA DE SOPORTE FIJO PARA EL SECADOR BOLSA SOLAR	74
IMAGEN 56 COMPARACIÓN DE RTC CON RESPECTO A EQUIPO BAÑO TÉRMICO	75
IMAGEN 57 TERMÓMETRO DE REFERENCIA VS SONDAS.....	76
IMAGEN 58 PRUEBA DE SENSORES DHT11, AM2315 VS LOS TESTO	76
IMAGEN 59 SENSORES DE HUMEDAD RELATIVA VS SONDA TESTO	77
IMAGEN 60 HUMEDADES RELATIVAS DEL TESTO VS SENSORES	78
IMAGEN 61 TEMPERATURAS RELATIVAS DE SENSORES VS TESTO.....	78
IMAGEN 62 PRUEBA DE SECADO CON MAÍZ	79
IMAGEN 63 CURVA DE SECADO DE MAÍZ	80
IMAGEN 64 MEDIDOR DE HUMEDAD DE GRANO	80
IMAGEN 65 MUESTRA DE SENSORES EN BOLSA SOLAR.....	83
IMAGEN 66 PRUEBA DE BOLSA SOLAR BAJO LLUVIA.....	84
IMAGEN 67 PRUEBA DE EQUIPO Y BOLSA SOLAR.....	84
IMAGEN 68 CORTE DE CACAO EN FINCA TININISKA WASLALA	85
IMAGEN 71 SECADOR DE BURBUJA BAJO TECHO	86
IMAGEN 72 PESO DE LA MUESTRA DE GRANO A SECAR	86
IMAGEN 73 DISTRIBUCIÓN DE SENSORES EN DÍA DE PRE-SECADO.....	87

IMAGEN 74 MEDICIÓN DE HUMEDAD EN PRE-SECADO.....	87
IMAGEN 75 MEDICIÓN DE HUMEDAD INTERNA DEL GRANO	88
IMAGEN 76 EQUIPO EN PATIO DE SECADO CENIA.....	89
IMAGEN 77 UBICACIÓN DE SENSORES EN PROCESO DE SECADO	90
IMAGEN 78 REGISTRO DE LECTURAS DE SENSORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURAS RELATIVAS.....	91
IMAGEN 79 LECTURAS RECOPIADAS POR TERMOCUPLAS	92
IMAGEN 80 MUESTRA DE LECTURAS DE SENSORES EN PANTALLA LCD	92
IMAGEN 81 MUESTREO DE LECTURAS PARA MEDICIONES DE HUMEDAD INTERNA.....	93
IMAGEN 69 REVISIÓN DE CACAO FERMENTADO.....	94
IMAGEN 70 REVISIÓN DE PRUEBAS DE CORTE	94
IMAGEN 82 LECTURA FINAL DE HUMEDAD DEL GRANO.....	96
IMAGEN 83 MEDIDOR DE HUMEDAD SOBRE GRANOS DE CACAO EN BANDEJAS	96
IMAGEN 84 MUESTRA DE MEDICIONES RELATIVAS EN EL PROCESO DE SECADO	97
IMAGEN 85 MEDICIONES REALIZADAS POR TERMOCUPLAS	97



INTRODUCCIÓN

El cacao es una planta nativa de Nicaragua desde tiempos inmemorables, la expansión en la producción y consumo de chocolate de cacao, dio renombre al país por sus diversos usos. Se cultivan en los departamentos de Rivas, Granada, Río San Juan, Matagalpa, Jinotega y la Costa Caribe. [1]

Un cacao producido en el Caribe Norte de Nicaragua está entre los 50 mejores del mundo según los Premios Internacionales de Cacao 2017. En Nicaragua actualmente se cultivan alrededor de 20,000 manzanas de cacao de las cuales el 54% se encuentran en producción y son cultivadas por 9,500 pequeños productores, con rendimiento de 8.5 quintales/manzana y con una producción total de 4,600 toneladas, de las cuales se exportan 3,175 toneladas a los mercados de Alemania (59%), Centroamérica (38%) y Estados Unidos (3%), aportando a la economía nacional 5.77 millones de dólares en exportaciones y la generación de 30,000 empleos. [2]

Los pequeños y medianos productores de Cacao del país usan métodos artesanales que son las siguientes: sobre láminas de zinc, pisos de cemento o tierra, en camas o “tijeras” de tela estilo domo o invernadero, secado al sol y cajas Rohan¹.

Las problemáticas presentadas en estos métodos tradicionales de secado son las siguientes; alto porcentaje de Humedad del grano, deformación del grano, pérdida de aroma natural, quebradura del grano y porcentaje mínimo de moho e infestación. Como resultado de esto, es un cacao de baja calidad que no se puede colocar en el mercado internacional, ya que no cumplen con las normas de calidad y certificaciones internacionales, estos resultados son debido a que no cuentan

¹ Cajas Rohan: método sencillo, fácil de operar, es de madera, cumple con doble propósito de fermentación y secado.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

con la capacidad ni los medios adecuados para lograr medir y controlar valores técnicos que afectan el proceso de secado.

En nuestro trabajo monográfico a través del Sistema de Monitoreo del Secador Solar tipo Bolsa se reducirá el tiempo de secado del grano cumpliendo con estándares de la Organización Internacional de Cacao (ICCO), controlando y manipulando variables influyentes en el proceso como la humedad y el flujo interno de aire por medios de ventiladores. El sistema será adecuado a un método de secado Solar tipo Bolsa, eficiente en consumo de energía con un sistema de alerta sonora y visual a través de sensores para que el operador realice el volteo cada cierto tiempo.

El Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) en su programa Adaptación al Cambio en los mercados y los efectos del cambio climático en Nicaragua (NICADAPTA), tiene la colaboración del Fondo Internacional de Desarrollo Agropecuario en fondo de donación para Contribución al incremento de la productividad agropecuaria, mediante la investigación científica e innovación tecnológica, a través de alianzas público-privadas con el protagonismo de las familias de pequeños y medianos productores.

La iniciativa con la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) de formar un grupo de trabajo para un proyecto piloto conformado por, estudiantes egresados de las carreras de ingeniería Electrónica, Química y Agrícola. Con asesoramientos técnicos del INTA. El proyecto consiste en adquirir mediciones importantes que tienen que ver con la calidad del cacao, y mejorar el tiempo de secado, basándonos en normas internacionales de producción de Cacao (ICCO), teniendo así una innovación en el proceso de secado del grano para pequeños y medianos productores usando el de Secador Solar tipo Bolsa.



ANTECEDENTES

Según un Artículo de la Prensa publicado 02/12/2008, “Mejorarán el Secado del Cacao Nacional”. Desde el año 2008 se ha venido trabajando por la calidad y mejora del grano de Cacao, el Proyecto Orgánico del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) /Austria entregó tres túneles para secar el cacao con la más alta calidad de exportación, a 489 pequeños productores del Rama, Muelle de los Bueyes y Ciudad Campana, en la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS).

Los pequeños y medianos productores de Cacao según especialistas en cacao del IICA, usan los siguientes métodos artesanales: sobre láminas de zinc, pisos de cemento o tierra, en camas o “tijeras” de tela, El especialista en cacao del IICA, Christian Martínez, aseguró que cualquiera de estas modalidades tradicionales de secado deforma el grano, le hace perder su aroma natural y le hace imposible al productor manejar el grado de humedad.

Martínez precisó que los túneles que se construyen en la RAAS con madera y plástico protector de rayos ultravioleta es una tecnología que se ha desarrollado exitosamente en Ecuador. Aseguró que el secado bajo estas estructuras produce granos uniformes, de similar color, de gran aroma, y con la humedad requerida de 6 a 7.5 grados. Cada túnel tiene capacidad para secar un máximo de 78 quintales en una semana, sin peligro de que la lluvia o el sol puedan afectar la calidad del grano. Las exportaciones de cacao de Nicaragua sumaron el año pasado más de un millón de dólares, con mercado principalmente en Europa.

Según el INTA los métodos usados por las familias productoras son: secado al sol, cajas Rohan y mallas zarandas, los cuales han venido mejorando su estructura de secado, pero con dificultades en manipular y controlar las variables que influyen en el proceso de secado y calidad del grano.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

La precedencia del estudio orientado a secadores o secado de granos que se realiza en las distintas menciones en la UNI y Universidad Autónoma de Nicaragua es enfocada directamente hacia el estudio del secado, efecto en la calidad, factibilidad de mercado, los cuales no son enfocados directamente al diseño del sistema electrónico del proceso de secado de granos, sin tener ningún antecedente a nivel de facultad, donde las únicas instituciones que han tenido estos proyectos de diseño son el proyecto del IICA e INTA. Referentes a métodos de secado en el rubro del grano de cacao ya sea natural o artificial.

La diferencia de nuestro tema monográfico con relación a otros métodos de secado, consiste en adaptar un sistema de monitoreo y adquisición de datos al método de secado tipo Bolsa, usando como modelo el Solar Bubble Dryer² portable, este método de secado es un proyecto piloto probado en secado del grano de arroz, pero sin el sistema de monitoreo, adquisición de datos, aviso sonoro visible, control de flujo de aire, respaldando resultados de las variables que influyen en el secado.

² Ver sitio web <http://www.knowledgebank.irri.org>



OBJETIVOS

Objetivo General

Implementar un Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores

Objetivos Específicos

- Comprender parámetros técnicos para un sistema de secado de cacao que cumpla con los estándares de calidad de la ICCO.
- Crear un sistema de adquisición de datos y acondicionamiento de las señales medidas para la regulación del flujo de aire.
- Crear un sistema de monitoreo y almacenamiento para los parámetros como la humedad, temperatura y radiación solar influyente en el secado del grano de cacao.
- Establecer un sistema de alarma sonora y lumínica en un tiempo determinado para realizar el volteo
- Implementar un sistema fotovoltaico para la alimentación eléctrica del secador solar.
- Realizar pruebas de campos con varios tipos de muestra con granos de cacao.



JUSTIFICACION

Los pequeños y medianos productores de Nicaragua, han utilizados métodos artesanales de secado para de cacao. Sin incluir y desapercibir valores que aumentan su calidad, como la de humedad lo saben ya sea por el tacto o visual, sin tener las mediciones exactas, ya que no cuentan con los instrumentos de medición por su costo, el secado es un punto clave para la calidad y exportación del grano.

En el programa NICADAPTA del INTA en colaboración con la Universidad Nacional de Ingeniería para la realización e innovación de un proyecto piloto de secado del grano de cacao, esta contribución está dirigido a los cacaoteros para mejorar el proceso de secado, diseñando un sistema que medirá los niveles de humedad, temperatura y radiación UV, por medio de sensores adaptados en un sistema de Secador Solar tipo Bolsa, distribuidos de forma uniformes. El túnel de secado sirve como un colector solar, contando igualmente con un sistema de carga independiente de combustible o red eléctrica.

Este proyecto tiene como objeto adaptar el sistema de medición y monitoreo al método de Secado Solar tipo Bolsa en el grano de cacao para pequeños y medianos productores, proporcionará una alternativa simple y flexible al secado solar, ya que el operador podrá disponer del lugar apropiado para su uso. Buscando lugares más accesibles al sol, podrá recibir radiación solar directa ubicándolo en campos abiertos. Facilidad de movilidad de un punto a otro, no dependiendo de una red eléctrica ni de combustible ya que el suministro eléctrico es solar.



MARCO TEÓRICO

Origen del Cacao

El Árbol de cacao es originario de la Amazonia, luego se extendió a América Central, y en especial a México. Las culturas nativas de esta región, lo consideraban "el alimento de los dioses", y en particular, los granos de cacao eran utilizados como moneda por los Aztecas, que además es lo consumían como bebida. Cristóbal Colon descubrió el cacao en América, pero no fue de interés para Europa en ese momento. Veinte años después, Hernán Cortes envió los granos de cacao y la receta de la bebida amarga al Rey Carlos V y los españoles añadiendo azúcar y calentando los ingredientes para mejorar el sabor. [3]

Normas Internacionales para el Cacao

Estas normas, publicadas por la Oficina Internacional de Normalización (ISO), sirven de base para la normativa de clasificación de varios países productores de cacao. La norma ISO 2451 "Granos de cacao – especificaciones", publicada inicialmente en 1973, se revisó en 2014 para reflejar las prácticas comerciales actuales. Cita otras tres normas de la ISO: ISO 1114 Granos de cacao – Prueba de corte, ISO 2291 Determinación del contenido de humedad (método rutinario), e ISO 2292 – Muestreo. La norma ISO 2292 se está revisando actualmente, y se están estudiando nuevas modificaciones de la norma ISO 2451, sobre todo con referencia a las especificaciones en cuanto al tamaño de granos y a la posible integración de esta norma con las normas ISO 1114 e ISO 2291. Las versiones actuales de las normas³.

³ sitio web de la ISO, <http://www.iso.org/iso/home.htm>



Las normas estipulan que los granos de cacao deben cumplir lo siguiente:

- ✓ Ser fermentados, y luego secados hasta que el contenido de humedad deje de superar el 7,5%, fracción de masa.
- ✓ Estar libres de contaminación con olores indeseados.
- ✓ Estar conformes a las especificaciones para granos violáceos, típicas para el grado u origen especificado.
- ✓ Estar libres de toda evidencia de adulteración.
- ✓ Estar prácticamente libres de materia extraña.
- ✓ Ser de un tamaño razonablemente uniforme, aptos para la producción de un alimento
- ✓ Estar prácticamente libres de insectos vivos y otras infestaciones.
- ✓ Estar razonablemente libres de granos rotos, fragmentos y trozos de cáscara.
- ✓ Estar libres de granos aglomerados, granos aplanados, granos germinados, residuos y desechos del cribado. [4]

Estándares Internacionales de Secado del Cacao

Los Estándares Internacionales requieren que el cacao de calidad negociable sea fermentado, completamente seco, libre de granos con olor a humo y otros olores anormales, y de evidencia de adulteración, debe encontrarse libre de insectos vivos, de granos partidos, fragmentos, partes de cáscara y debe ser de tamaño uniforme. En todo el mundo, los estándares contra los que se mide son los del cacao de Ghana, el cual se clasifica sobre la base de la cuenta de los granos defectuosos en la prueba de corte. [3]

El secado produce la principal transformación del grano en la post-cosecha y a su vez es el procedimiento que más atención requiere para no afectar la calidad de éstos. De la energía utilizada en el proceso de producción de granos, el secado



insume alrededor del 50%. Tomando en cuenta estos dos factores, es decir calidad y consumo energético, se puede apreciar la importancia que adquiere su correcta realización. Los objetivos principales del secado son: reducir la humedad de cosecha de los granos y semillas a niveles seguros para el almacenamiento y óptimos para su comercialización. [3]

Algunos requisitos de calidad ICCO

Los cacaos de calidad “fino o de aromas” son de varios tipos (ver imagen 1) y cada uno tiene su propio sabor característico [4]



Imagen 1 **Distintos tipos de cacao y su nivel de pigmentación. Foto: G.Ramos.**

Dentro de los cuales son:

- ✓ Sabores no deseados a moho.
- ✓ Sabores no deseados a humo.
- ✓ Sabor ácido.
- ✓ Amargo y astringencia.
- ✓ Libre de Contaminación.

Aspectos de la producción de cacao que afecta a los requerimientos de calidad de la ICCO

PRE-COSECHA

- ✓ Aspectos medio-ambientales.
- ✓ Método de cultivo.
- ✓ Recolección.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Postcosecha

Fermentación

- ✓ Elegir un método de fermentación adecuado para la variedad de cacao, el clima, la cantidad de granos y la tecnología disponible a nivel local.
- ✓ Eliminar trozos de corteza, placenta, granos negros y granos germinados.
- ✓ Asegurar que las canastas, las plataformas y las herramientas se mantengan razonablemente limpias entre fermentaciones.
- ✓ Realizar la fermentación en un espacio que cuente con protección adecuada contra las lluvias, los vientos y la luz solar directa. [4]

En las siguientes ilustraciones (ver imagen 2) se muestra las cómo se debe y no hacer la fermentación.



Imagen 2 buena fermentación en pila. Foto: G.Ramos.



Imagen 3 la fermentación no debe incluir granos negros o enfermos. Foto: G.Ramos.



Secado

- ✓ Secar al sol siempre que sea posible, pero en caso necesario complementar o sustituir con secadores artificiales bien diseñados y mantenidos.
- ✓ Secar los granos en una plataforma elevada para que no entren en contacto directo con el suelo, bien sea de tierra, asfalto o cemento, y para que no tengan acceso los animales.
- ✓ Asegurar que los granos no pueden contaminarse con humo, o con gases procedentes de los secadores o de vehículos.
- ✓ Proteger los granos contra la lluvia y el rocío (cubriéndolos también de noche).
- ✓ Voltear los granos con frecuencia, pero no mezclar los granos correspondientes a distintas etapas del secado.
- ✓ Secar durante un mínimo de 6 días al sol (<8% de humedad).
- ✓ Controlar cuidadosamente la velocidad y la duración del secado al utilizar secadores artificiales, para evitar niveles elevados de acidez y/o un secado excesivo. [4]

En las siguientes ilustraciones (ver imagen 4 y 5) se muestra el secado en versiones distintas:



Imagen 4 **secado al sol y secado Artificial.** Fotos por M.Gilmour, D.Sukha



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

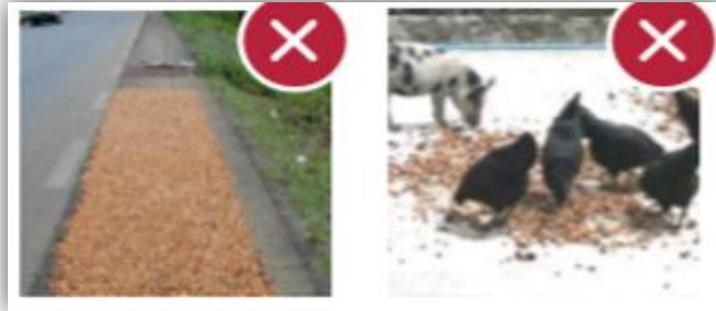


Imagen 5 secado sobre asfalto // animales pasteando en granos fotos por M.Gilmour, D.Sukha

Almacenamiento

- ✓ Identificar y retirar los granos defectuosos.
 - ✓ Identificar los lotes de cacao en grano y gestionar cuidadosamente las existencias.
 - ✓ Cerrar los sacos con cuidado para evitar la contaminación.
 - ✓ Los almacenes deben estar limpios, bien ventilados y protegidos contra la intemperie.
 - ✓ Los sacos deben estar elevados del suelo y protegidos del contacto con pallets de madera que hayan sido tratados con conservantes de la madera.
 - ✓ Asegurar que las pilas de sacos estén separadas de las paredes, para facilitar su inspección.
 - ✓ Impedir la contaminación por derrames de combustible, gases de escape o humos.
 - ✓ Controlar los niveles de plagas y, si procede, tratar con plaguicidas aprobados o bien, como último recurso, fumigar cumpliendo con las BPA.
- [4]

En las siguientes ilustraciones se muestran un almacén (ver imagen 6) en Europa realizando buenas prácticas.



Imagen 6 Almacenamiento en ambiente controlado y sin plagas. Fotos por M.Gilmour, D.Sukha

Métodos de secado

Usados por pequeños y Medianos productores, información por el INTA, son de la siguiente manera:

Los granos de cacao se secan después de la fermentación para reducir el contenido de humedad de aproximadamente el 60% a aproximadamente el 7,5%. El secado debe realizarse con cuidado para garantizar que no se desarrollen sabores desagradables. El secado debe realizarse lentamente. Si los frijoles se secan demasiado rápido, algunas de las reacciones químicas iniciadas en el proceso de fermentación no pueden completar su trabajo y los frijoles son ácidos, con un sabor amargo. Sin embargo, si el secado es demasiado lento, pueden desarrollarse mohos y sabores desagradables. Diversos estudios de investigación indican que la temperatura del frijol durante el secado no debe exceder los 65°C.

- Método de Cajas Rohan:

Es otro método sencillo, fácil de operar, barato e ideal para pequeños y medianos productores, son de madera con dimensiones de 1.2 m largo, 0.8 m ancho y 0.12 m de profundidad, se colocan una sobre otra, en cantidad de diez a quince cajas



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

se obtienen almendras bien fermentadas. Con este método la masa de cacao no se voltea, las cajas se cambian de posición cada veinticuatro horas y cumplen el doble propósito de fermentación y secado (ver imagen 7) (por cada gaveta fermentada se requieren dos para secado). [1]



Imagen 7 cajas Rohan

- **Método Secado al sol:**

Es la forma más utilizada (ver imagen 8) y que asegura una buena calidad de cacao, lo que se logra entre 6 y 8 días de sol. Se realiza poniendo el cacao en capas delgadas sobre una plataforma de madera o esterilla de bambú que son materiales que no le transmite sabores u olores extraños. El método de gavetas de madera corredizas, con techo fijo o móvil es el más efectivo. Su uso depende de la capacidad económica del productor. [1]



Imagen 8 secado al sol

Método Domo o invernadero:

Estructuras construidas de diferentes materiales, madera, plástico, metal, bambú, forradas con plástico semitransparente (ver imagen 9), normalmente nylon con protección ultravioleta, que resiste la intemperie y los rayos del sol. Puede ser de sección cuadrada o rectangular. El plástico no tiene que llegar hasta al suelo, dejando un espacio para que circule el aire, y hay que disponer de aperturas en la parte cercana al techo la salida del aire caliente, y también de una puerta de acceso. En el interior se colocan tarimas construidas de madera y con mallas de acero o plástico, donde se coloca el grano, dispuestas en uno, dos o tres pisos, separados entre sí más de 50 cm de altura. Por la noche, para evitar Re humedecimiento, se cierran las ventanas de ventilación.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 9 domo o invernadero

El siguiente método es uno de los más recientes está siendo probado en diferentes países, es un proyecto piloto probado con arroz se piensa implementar con otros granos como café, cacao.

- ***El Solar Bubble Dryer (SBD):***

Es la última tecnología de secado de bajo costo que tiene como objetivo proporcionar una alternativa simple y flexible al secado solar (ver imagen 10). El SBD es móvil y completamente independiente del combustible o la red eléctrica, y por lo tanto es muy barato de operar. Viene en diferentes tamaños, con los modelos actuales que tienen una capacidad de lote de 0.5 o 1 tonelada.

La SBD está siendo probada en arroz por los socios nacionales en Filipinas, Camboya, Myanmar, Vietnam, Indonesia, Tailandia y Nicaragua a través del cierre de las brechas de rendimiento de arroz en Asia con una huella ambiental reducida (CORIGAP) y otros proyectos. GrainPro, Inc. también está trabajando con otros proyectos y compañías para probar el SBD (Solar Bubble Dryer) en otros cultivos en África, Asia y América del Sur. [5]



Imagen 10 Solar Bubble Dryer

Tipos Sistemas De Control

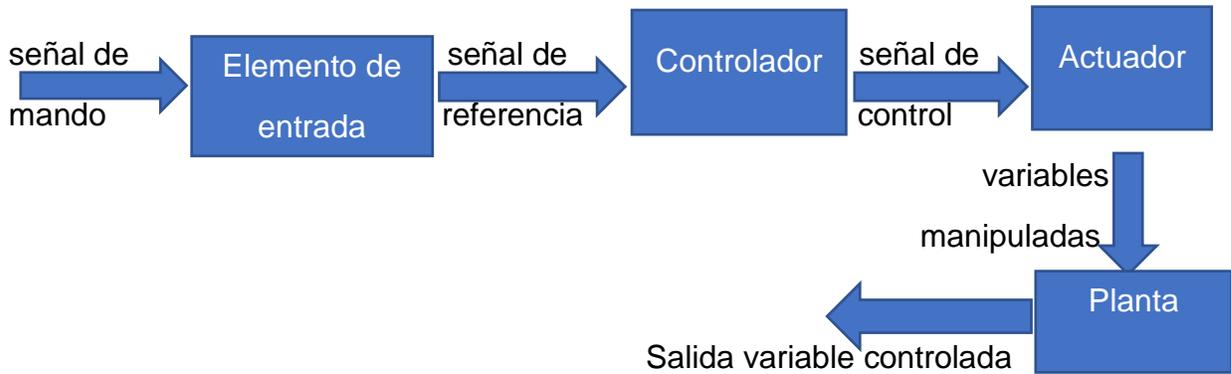
Entendemos como un sistema de control a la combinación de componentes que actúan juntos para realizar el control de un proceso.



- Sistemas De Control En Lazo Abierto

Son aquellos en los que la salida no tiene influencia sobre la señal de entrada.

Ejemplo:



- Sistemas De Control En Lazo Cerrado

Son aquellos en los que la salida influye sobre la señal de entrada (ver imagen 11).

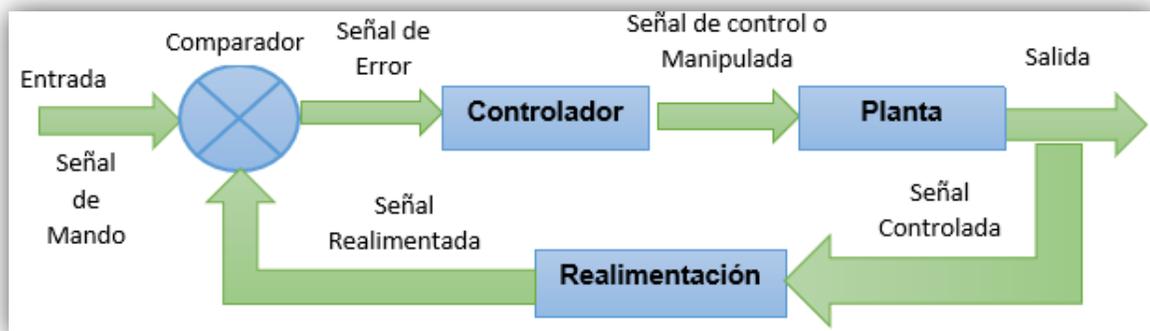


Imagen 11 ejemplo de sistema de control de lazo cerrado



Los elementos de un sistema de control son:

- **Señal de entrada:** es la que se toma del exterior mediante un sensor. - Señal de referencia: punto de ajuste o de tarado, es el valor que se compara con la señal de entrada.
- **Comparador:** compara las señales de referencia y entrada, cuando supera un determinado valor entre ambas señales el elemento de control se activa, pasando la información al actuador para que ejecute la acción.
- **Actuador:** lleva a cabo la acción para la que se ha diseñado el sistema automático.
- **Señal de salida:** es la que emite el elemento de control (actuador). - Captador (sensores): son elementos que captan la información del entorno y la usan para medir magnitudes físicas (luz, temperatura, humedad, presión, intensidad de luz, etc).
- **Controlador:** es el encargado de comparar una variable física con el valor deseado (var. De referencia), interpretar el error y actuar para intentar anularlo.
- **Variable controlada:** es inspeccionada por el sistema con el fin de actuar en consecuencia, cambia independientemente del sistema.
- **Realimentación:** realiza la vigilancia continua de la variable controlada. Esto permite detectar cualquier cambio en la variable controlada.

- Sensores

El sensor traduce la información que le llega del exterior en un impulso eléctrico, normalmente digital (pasa o no pasa corriente), que puede ser analizado y procesado por la unidad de control del sistema.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Existe una gran variedad de sensores, entre ellos podemos citar:

- **Sensores de temperatura:**

Un ejemplo son los termistores: se trata de resistencias cuyo valor asciende con la temperatura (termistor PTC) o bien disminuye con la temperatura (termistor NTC).

- **Sensores de posición:**

Entre otros tenemos:

- **Finales de carrera:** Se trata de un interruptor que consta de una pequeña pieza móvil y de una pieza fija que se llama NA, normalmente abierto, o NC, normalmente cerrado.

-**Magnéticos:** Detectan los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito. El interruptor Reed puede sustituir a los finales de carrera para detectar la posición de un elemento móvil, con la ventaja de que no necesita ser empujado físicamente por dicho elemento, sino que puede detectar la proximidad sin contacto directo. -

Ópticos: Detectan la presencia de una persona o de un objeto que interrumpen el haz de luz que le llega al sensor (ver imagen 12). Los principales sensores ópticos son las fotorresistencias, las LDR.

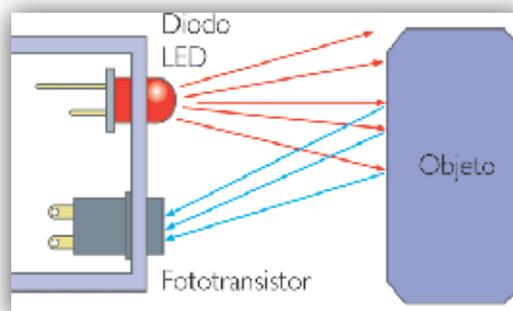


Imagen 12 sensor óptico



- **Sensores de humedad** Se basan en que el agua no es un material aislante como el aire, sino que tiene una conductividad eléctrica. Por lo tanto, un par de cables eléctricos desnudos (sin cinta aislante recubriéndolos) van a conducir una pequeña cantidad de corriente si el ambiente es húmedo; si colocamos un transistor en zona activa que amplifique esta corriente tenemos un detector de humedad.

- **Sensores de sonido:** *mediante un diafragma que, al moverse por las ondas sonoras, desplaza la placa de un condensador haciendo variar su capacidad.*

Concepto de Censo de Humedad

– Humedad relativa del aire:

Es la relación entre la presión de vapor de agua en las condiciones actuales y la presión de saturación (máxima) de vapor de agua a la misma temperatura. A menor contenido de humedad en el aire, mayor será su capacidad de absorción de agua. [6]

Podría decirse que la humedad juega un rol determinante en todos los procesos industriales. El solo hecho de que la atmósfera contiene humedad hace que, por lo menos, se estudie su efecto en el almacenamiento y operación de los distintos productos y dispositivos. El alcance que la influencia de la humedad podría tener en cualquier proceso industrial puede variar, pero es esencial que al menos sea monitoreada, y en muchos casos controlada. Se puede decir que la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que sus parámetros asociados como pueden ser la presión y la temperatura [6].

La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados del proceso por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Esto tiene, por supuesto, implicancias en la contaminación y degradación del sensor en niveles variables dependiendo de la naturaleza del ambiente [6].

Proceso de obtención de energía del sol

La luz del sol (que está compuesta por fotones) aparece en las células fotovoltaicas de la placa (ver imagen 13), la creación de esta forma en el campo de la electricidad entre las capas. Así se genera un circuito eléctrico. Cuanto más intensa sea la luz, mayor será el flujo de electricidad. Además, no es necesario que haya luz directa, que en los días nublados también funciona. [7]

Las células fotoeléctricas transforman la energía solar en electricidad en forma de corriente continua, y esta vez se transforma en una corriente alterna para poder utilizar los equipos electrónicos que solemos tener en nuestras casas.



Imagen 13 obtención de fotones: panel solar

Una instalación aislada, sin acceso a la red eléctrica. Es muy útil en las instalaciones de proyectos que es difícil realizar este tipo de conexiones. La electricidad generada se destina al autoconsumo, en este caso será necesario instalar baterías en el sistema para poder acumular esta energía generada y así poder consumirla cuando sea necesario incluso en las noches. [7]

Factores que influyen en los niveles de radiación UV

Los niveles de radiación UV en la superficie dependen de varios factores como son: la posición del Sol, la altitud, la latitud, el cubrimiento de las nubes, la



cantidad de ozono en la atmósfera y la reflexión terrestre. Los niveles de radiación UV varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m.(cerca del 60% de la radiación UV es recibida a estas horas), mientras que, cuando el ángulo del Sol está más cercano al horizonte llega menos radiación UV a la superficie de la Tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmósfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En zonas diferentes a los trópicos los máximos niveles se presentan en los meses de verano alrededor del mediodía [8].

En los trópicos, los mayores niveles de radiación se presentan, generalmente a principios de año, durante el perihelio (que es cuando la Tierra está más cerca al Sol) y los más bajos a mitad del año durante el afelio (cuando la Tierra está más alejada del Sol). [8]

La altitud también determina la cantidad de radiación UV que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y más delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares, por ello llega más UV, de manera que a mayor altitud mayor radiación UV. En promedio, por cada 1000 metros de incremento de la altitud, la radiación UV aumenta entre un 10% a un 12%. Las nubes pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación UV que recibe la superficie terrestre, generalmente las nubes densas bloquean más UV que una nube delgada [8].

- Radiación incidente:

El aire del interior del secador es calentado por el sol, aumentando su punto de saturación y así poder absorber la humedad de los granos, y le provoca movimiento de convección al reducir su densidad. El aire con menor densidad, cargado de agua y más caliente, saldrá por la apertura del techo y entrará aire nuevo de menor temperatura, menor contenido de agua y más frío, por el espacio del suelo. Este funcionamiento de circulación del aire solo es posible en equipos



pequeños donde la velocidad del aire puede llegar a valores entre 0,5 y 1 m/s. En equipos grandes, no llega a los 0,3 m/s, requiriendo así una circulación forzada. [6]

Principios físicos que afectan al funcionamiento de un secador solar de cacao

El efecto invernadero es influyente, aunque este efecto es el desarrollado por la Tierra para ser calentada, también se le llama a la confinación de aire caliente en el interior de un habitáculo por la acción de la radiación solar que atraviesa un plástico o vidrio, pero que éste es opaco a la radiación terrestre. De esta manera, parte de la radiación solar pasa a través del material transparente o semitransparente, denominada radiación de onda corta, llega al suelo, parte es absorbida y la otra reflejada. La radiación reflejada es la de onda larga o infrarroja y una parte no atraviesa el vidrio o plástico, siendo reflejada, quedándose en el interior y calentando el aire interno. [6]

La transferencia de calor por convección es transferencia de calor por las moléculas de una masa fluida, en este caso, aire. Esta transferencia de calor está asociada al movimiento de las partículas, las más lentas son desplazadas por las más rápidas, debido a la diferencia de densidad entre ambas. Debe existir diferencia de temperaturas para que se dé la transferencia de calor. [6]

La transferencia de masa por convección se da el mecanismo de transferencia de masa entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento. Este movimiento favorece la transferencia de masa, al reemplazar el fluido en contacto ya con alta concentración, por fluido nuevo con baja concentración. Como en el caso anterior, debe existir diferencia de concentración de masa para que se produzca la transferencia.



Componentes Influyentes al Secado

Fan o ventilador:

Es una máquina rotativa que pone el aire, o un gas, en movimiento. Podemos definirlo como una turbo-máquina que transmite energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire. [9]



Velocidad del aire:

El movimiento del aire tiene como funciones, transmitir el calor al agua del grano para su evaporación, y transportar esta agua evaporada. A mayor velocidad, mayor renovación de aire y más rápido será el transporte del agua evaporada. [6]

Se muestra la ilustración del fan del SBD (ver imagen 14):



Imagen 14 FAN 12V/DC

Resistencia Térmica

La función de la resistencia (termo-contacto) es aumentar la temperatura en variaciones de tiempo cuando se alcanza la temperatura determinada (ver imagen15).

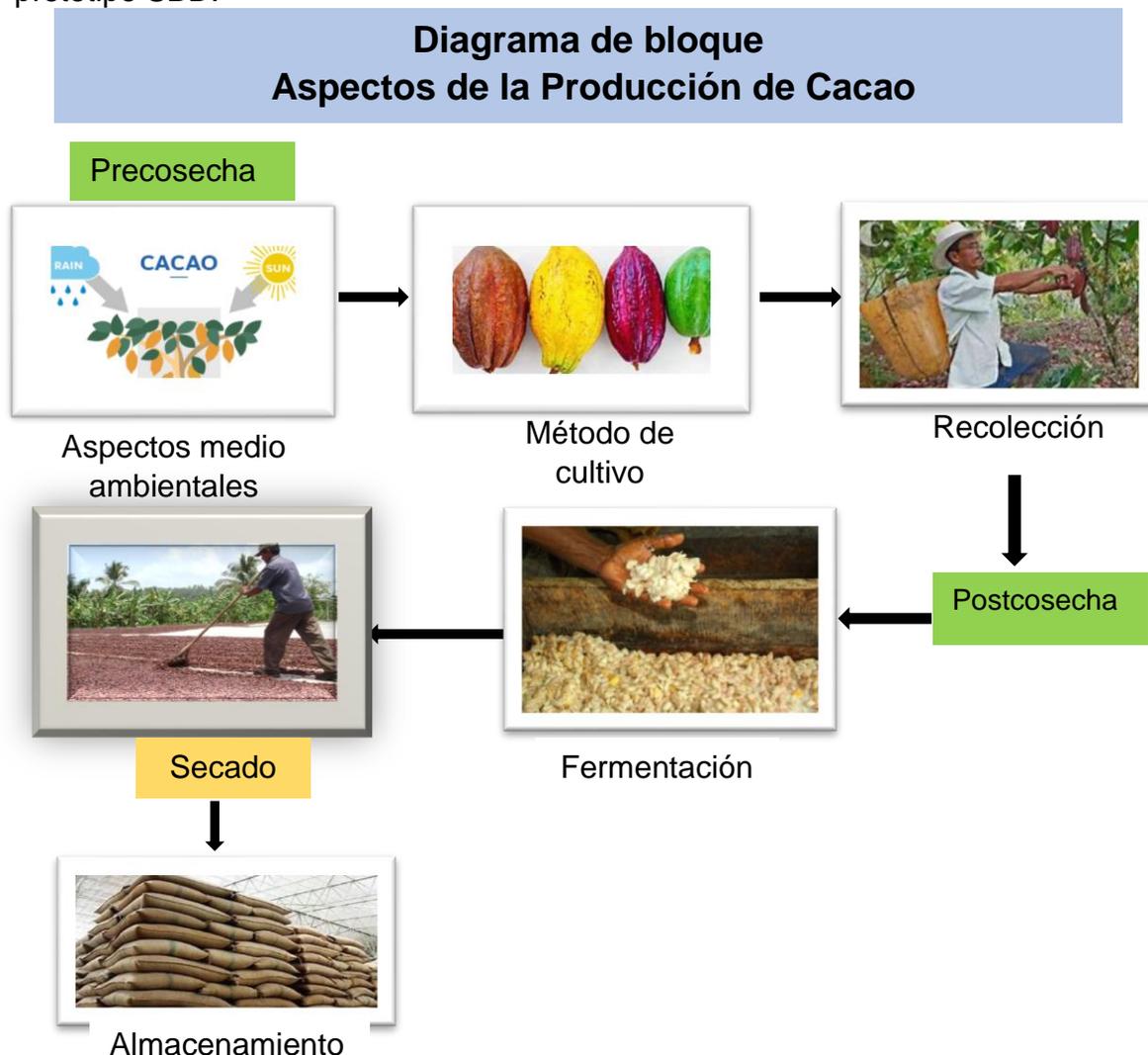


Imagen 15 ejemplo de resistencia térmica



Capítulo I: Requerimientos del Prototipo Tipo Secador Solar

Dentro de este capítulo hablaremos un poco de los diferentes tipos de requerimientos dados, desde las necesidades del cliente (INTA), requerimientos de buenas prácticas de secado dado por la ICCO, requerimientos que debe tener el prototipo tipo bolsa solar y requerimientos previos del grano a secar, de los cuales se analizarán más adelante para el cumplimiento del proyecto. Referimos el siguiente diagrama de bloque del proceso que va desde el cultivo, recolección, **secado** y almacenamiento de la producción del cacao, donde el **secado** es el punto específico que el cliente desea que influya el sistema de monitoreo en el prototipo SBD.





Requerimientos del INTA

Dadas las problemáticas por secado tradicional de pequeños y medianos productores. INTA planteo mediante la investigación científica e innovación tecnológica una mejora de estructura de secado donde se deben controlar las variables que influyen en el proceso de secado de granos para mejorar calidad y lograr un incremento de producto en mercado internacional.

El secado por el método no tradicional (prototipo bolsa solar), tendrá una serie de requerimientos:

- ✓ Reducción del tiempo comparado al secado tradicional.
- ✓ Uso de materiales plegables y desmontables, fácil transporte, instalación en cualquier superficie plana.
- ✓ Amigable con el productor y el medio ambiente.
- ✓ Llevar la humedad hasta un aproximado del 7%, para el almacenamiento del grano.
- ✓ Crear un sistema de monitoreo y almacenamiento de datos para los parámetros como la humedad, temperatura y radiación solar influyente en el secado del grano de cacao.

Para cumplir con los requerimientos deseados se deben tomar en consideración el estándar internacional ISO 2291.

A continuación, se hace referencia a requerimientos de la normativa establecida.

Requerimientos de Buenas Prácticas dado por la ICCO



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

- ✓ Secar al sol siempre que sea posible, pero en caso necesario complementar o sustituir con secadores artificiales bien diseñados y mantenidos
- ✓ Asegurar que los granos no pueden contaminarse con humo, o con gases procedentes de los secadores o de vehículos.
- ✓ Proteger los granos contra la lluvia y el rocío (cubriéndolos también de noche).
- ✓ Voltear los granos con frecuencia, pero no mezclar los granos correspondientes a distintas etapas del secado.
- ✓ Secar durante un mínimo de 6 días al sol (<8% de humedad).
- ✓ Controlar cuidadosamente la velocidad y la duración del secado al utilizar secadores artificiales, para evitar niveles elevados de acidez y/o un secado excesivo.

Requerimientos al Prototipo bolsa solar.

Tomando en cuenta factores medio ambientales, se hace uso de materiales de resistencia a intemperie como plástico UV semitransparente, lona vinil, los cuales irían sujeto uno con otro. También se considera el uso del equipo en zonas remotas donde la energía comercial no pudiera ser accesible, esto conlleva a implementar un sistema fotovoltaico.

Todas estas características benefician a los pequeños y medianos productores, Haciendo uso de buenas prácticas de secado, con equipo no tradicional (bolsa solar), las cuales se mencionan a continuación:

- ✓ Proteger el grano contra las lluvias repentinas y el clima impredecible
- ✓ Costo Operativo muy bajo.
- ✓ Móvil completamente independiente del combustible o de la red eléctrica



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

- ✓ Proteger de animales, insectos, contaminación y lluvia
- ✓ De fácil uso para el operador



Requerimientos previos del grano a secar.

Antes del secado del grano y que sea clasificado de calidad en el mercado internacional debe cumplir requisitos previos, por ejemplo, el grano debe estar bien fermentado (al menos 5 días mínimos) y con un sabor y aroma agradable.

El grano fermentado debe de cumplir con las siguientes características:

- ✓ Fermentación por 6 días o más.
- ✓ Crecimiento o hinchado de los granos
- ✓ La cascara se separa fácilmente.
- ✓ Color chocolate
- ✓ Naturaleza quebradiza
- ✓ Sabor medianamente amargo
- ✓ Aroma agradable

La finalidad de una buena fermentación previa del grano de cacao, tendrá un mejor resultado en la calidad por el uso de buenas prácticas, caso contrario si no cumple con estos requisitos previos de fermentación, el secador tipo bolsa solar no suplirá con los resultados esperados del prototipo.

Tasa de error aceptable en mediciones.

En el método de secado, es necesario mencionar que existen errores por defecto tales como errores sistemáticos, errores personales o por el método de elección, así como errores instrumentales que afectan en las mediciones realizadas o por realizar, los instrumentos tienen un margen de error y a eso se le denomina tasa de error, el cual está dado por los fabricantes de los sensores, a costo beneficio.

Los errores sistemáticos en el proceso de secado, son aquellos que permanecen constantes a lo largo de todo el proceso de medida y, por tanto, afectan a todas las mediciones de un modo definido.



Capítulo II: Diseño del Prototipo Secador Solar

Al tomar un modelo para el diseño de secador solar se realizó una visita de campo a instalaciones de ANAR (Asociación Nicaragüense de Arroceros), que tiene en su inventario un Solar SBD (Bubble Dryer), con el propósito de tomar características del modelo del equipo, dimensiones y ver que modificaciones se pueden implementar en el prototipo de la bolsa solar.

Se tomaron múltiples contribuciones de ideas con acompañamiento de técnicos del INTA, el asesoramiento de Ingeniería Agrícola e Ingeniería Química. Estos proporcionaron información muy importante sobre la estructura fisiológica y proceso de secado de los granos, tomando en cuenta el aprovechamiento de la energía solar.

Para el estudio y modelo de este prototipo de secador solar se haría la implementación adicional de equipos de carácter electrónico que se implementarían directamente sobre el proceso de secado, la información recopilada por el sistema electrónico se guardará en una SDcard con formato TXT, con su posterior análisis de mediciones, se determinarían conclusiones para mejorar la calidad del grano, tener un control de secado con el prototipo haciendo uso de las buenas prácticas y consecuentemente suplir las necesidades que existen en el campo por los pequeños y medianos productores. El prototipo de sistema electrónico cuenta con las siguientes características:

Características del Sistema Electrónico

- ✓ Indicar visualmente al usuario la operatividad de dispositivo, mediante interfaz gráfica LCD.
- ✓ Crear Sistema de alerta de volteo del grano, mediante alarma sonora lumínica.
- ✓ Realizar medición de humedad y temperatura interior.
- ✓ Realizar medición de temperatura del Lecho del grano de Cacao.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

- ✓ Medir radiación UV. luz visible.
- ✓ Proporcionar una bitácora de información de lectura, en un formato TXT para su posterior análisis
- ✓ Regular las RPM del FAN conforme a temperatura interna haciendo uso de PWM.
- ✓ Variar temperatura interna en casos especiales mediante resistencia térmica.

Diagrama de Bloque del Sistema de Monitoreo.

El escenario del proceso de secado presenta características de un sistema de control de lazo cerrado; conceptualmente es aquel en el que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. Son sistemas de control retroalimentados.

Se muestra a continuación el tipo de sistema de control de lazo cerrado presentado por la teoría y sus componentes (ver imagen 16). Posteriormente se muestra el sistema de control aplicado a nuestro proyecto (ver imagen 17).

Sistemas De Control de Lazo Cerrado

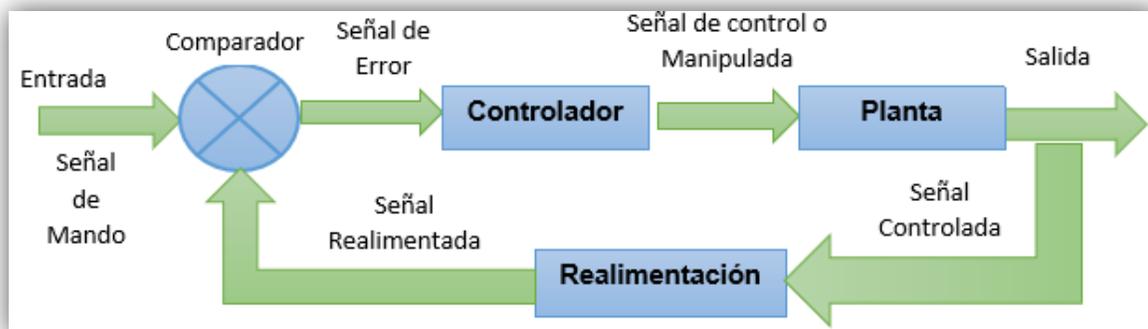


Imagen 16 Ejemplo de sistema de control de lazo cerrado

Diagrama de bloque del sistema de control

El proceso interno de secado en la bolsa solar, está conformado por componentes electrónicos y un sistema fotovoltaico como fuente de alimentación. Estos



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

dispositivos conforman un sistema de control, el cual se muestra a continuación (ver imagen 17).

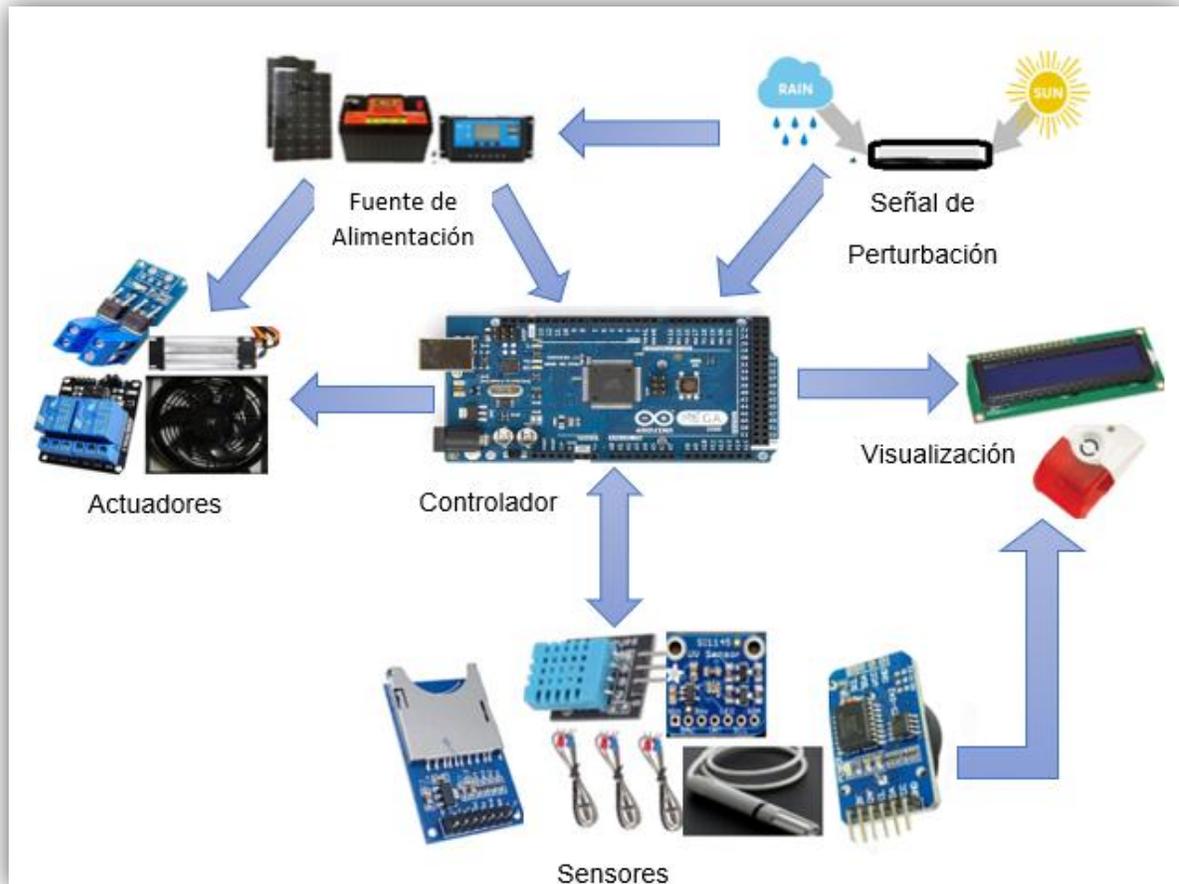


Imagen 17 diagrama de bloque prototipo de sistema de monitoreo

Descripción del diagrama de control

Se describe el proceso implementado del sistema de control en el secador bolsa solar, el cual consta de una alimentación de tipo fotovoltaica que da energía al controlador y los actuadores para el funcionamiento del sistema.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Una serie de pulsos eléctricos de entrada y salida enviados por los sensores al controlador Arduino mega2560 que se encarga de procesar esos pulsos eléctricos para controlar su entorno, las señales de entrada y salida son variables como temperatura y humedad, medidas por sensores DHT11, AM2315 y termocuplas, las cuales se muestran en la visualización de pantalla LCD en tiempo real.

Las señales de entrada y salida proveniente de los sensores son procesadas por el controlador el cual ejecuta el método de comunicación necesario para enviar señales de control a los actuadores, como PWM del Fan, resistencia térmica y relés. Estos actuadores realizan la acción directa sobre el proceso de secado, despejando la humedad evaporada del grano que se está secando en el interior de la bolsa solar, sea esto como aumentar el flujo de aire o en casos especiales cuando su temperatura se sitúa por debajo del mínimo previamente programado, el relé procede a conectar de nuevo la resistencia térmica repitiéndose así el ciclo.

Se notifica con una alarma visual y sonora, previamente programada, para el volteo del grano, este proceso se repite cada cierto tiempo para que sea de manera uniforme el secado en la sección transversal de la bolsa solar. Todo el proceso de mediciones realizadas durante el día de secado será guardado en una bitácora con formato TXT, estipulando mediciones realizadas por los sensores, la fecha y hora en que se llevó acabo el secado serán tomas de un módulo de reloj de tiempo real, con respaldo de batería.

Las variables de perturbación sea aire, nubes, lluvia repentina son variables influyentes en el proceso, dando así errores dentro de valores no deseados en el secador, dado que esto afecta de manera directa en el proceso, sea esta positivamente (día soleado) o de manera negativa (día nublado) estas variables pueden hasta alargar el proceso de secado.

Selección de Hardware a usar



Para la selección del adware se realizó el estudio de las hojas de datos de diversos modelos electrónicos relacionados a los componentes que se usarían en el proyecto a implementar, tomando en cuenta su capacidad de procesamiento en programación, las características técnicas más importantes de cada uno, así como rango, tamaño, precisión, voltaje y accesibilidad de precio.

Sensor UV

La entrada de luz solar incidente durante el día en el espacio de trabajo es muy importante, porque se da el aprovechamiento de energía solar dentro del cual consiste el proceso de secado en este proyecto, la incidencia de cuanta luz sea necesaria para el secado del grano a fines de estudio se realiza por la selección de un sensor de radiación (ver imagen 18) que cumple con los rangos de medición necesarios dados por la captación del Espectro de luz infrarroja(IR) en 550nm-1000nm centrado en 800nm así como el espectro de luz visible (ver tabla 1), las ondas incidentes son recopiladas por este sensor sobre el secado para su posterior análisis previamente programada en una bitácora.

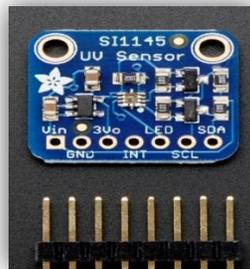


Imagen 18 sensor UV SI1145

Especificaciones técnicas a continuación (ver tabla 1):

Datos	rango	Conexión
IR	550nm-1000nm (centrado en 800)	---
LV	400 nm-800 nm (centrado en 530)	---



Alimentación	3-5 V	VCC-GND
Comunicación salida I2C	---	SDA/SCL

Tabla 1 parámetros del sensor UV SI1145

Sensor de Temperatura

Se plantea medir dos tipos de temperatura dentro de las mediciones del proceso de secado (temperatura en el grano y temperatura relativa). las mediciones tomadas en el grano se realizarán por medio de un módulo MAX6675 + sensor de temperatura tipo K estas irán posicionadas estratégicamente a lo largo de su sección transversal, se selecciona este termopar (ver imagen 19), dado su rango de medición (-20° a 85°), estructura estilo sonda que hace posible medir temperaturas por contacto directo en el grano, su modulo consta de interfaz SPI de programación para múltiples sensores y bajo costo.

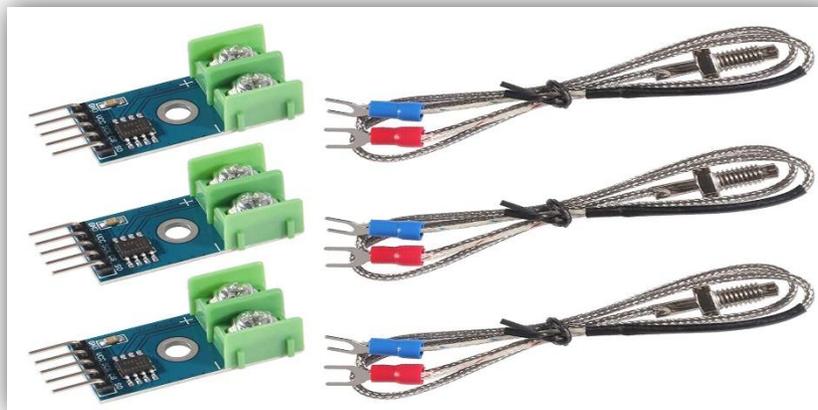


Imagen 19 ejemplo de Modulo MAX6675 +sonda

Los módulos MAX6675 + sensor, usados en este proyecto son 4, a continuación, detalles técnicos (ver tabla 2):

Dato	Operación	Conexión
Precisión de medición	$\pm 34.7 \text{ }^\circ\text{F} = \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$	---
Rango de temperatura	-40 °F ~ 185°F = -20°C~85°C	---
Alimentación	3-5V	VCC/GND
Salida	SPI simple	SCK CS SO



Tabla 2 especificaciones técnicas del módulo MAX6675 +Sonda

Sensor de Temperatura y Humedad del Ambiente

Para las mediciones de humedades y temperaturas relativas dentro del secador solar de burbuja se utilizarán sensores **DHT11**(ver imagen 20) se seleccionó por su bajo costo, su tasa de error en mediciones del ± 2.0 °C y humedad del 5% estipulada por el fabricante es aceptable a costo beneficio con un recubrimiento en su carcasa no tan óptimo a largo plazo (1-2 años de uso continuo), pero aceptable para mediciones de pruebas y recopilación de datos, además de un fácil manejo de programación con interfaz digital bidireccional.

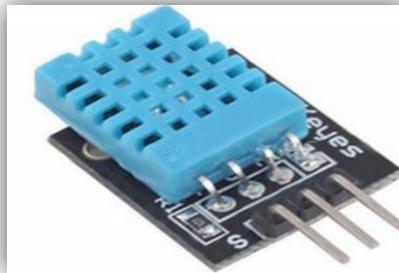


Imagen 20 ejemplo de DHT11

Dado que el sensor es de bajo costo, en este proyecto van 3 sensores a continuación especificaciones técnicas (ver tabla 3):

Dato	Operación	Conexión
Rango de temperatura	0 a 70 °C	---
Precisión de temperatura	± 2.0 °C	---
Precisión de humedad	5%	---
Rango de humedad	20% a 90%	---
Alimentación	3-5V	VCC/GND
Salida	Interface digital a 1HZ	Single-bus (bidireccional)

Tabla 3 Detalles técnicos del sensor DHT11

Dada la variedad de sensores en mediciones de temperatura y humedad se decidió probar en este proyecto de secador solar, un sensor diferente al antes



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

mencionados, este sensor AM2315 (ver imagen 20) cuenta con mejores características físicas y técnicas dadas a costo beneficio en su elevado precio. Por sus rangos de mediciones en temperatura de $-20/80^{\circ}$, humedad de 0 al 100% así como su estructura física resistente a intemperie.



Imagen 21 ejemplo de sensor AM2315

A continuación, se detallan sus especificaciones técnicas (ver tabla 4):

Dato	Operación	Conexión
Rango de temperatura	-20 a 80° C	---
Precisión de temperatura	$\pm 0,1^{\circ}$ C	---
Precisión de humedad	2%	---
Rango de humedad	0 al 100%	---
Alimentación	3-5V	VCC/GND
Entradas y salida	I2C	SDA/SCL

Tabla 4 detalles técnicos del AM2315

Visualización de Datos

Tener un mejor control de los datos que le hemos suministrado al sistema por medio de los sensores es de suma importancia por eso se realiza la visualización del proceso de medición de variables en los puntos específicos, en el secador bolsa solar, contando con una pantalla LCD 16X2 (Ver imagen 22), que a pesar de su tamaño, cumple con las necesidades del proyecto y que conectada con un



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

módulo de datos de Circuito Inter-Integrado (I2C por sus siglas en inglés) para la disminución en pines a usar de 16 de la LCD a 4 con módulo I2C (Ver Tabla 5), Visualización de datos y vista previa de las lecturas realizadas en el instante por los sensores.



Imagen 22 ejemplo de pantalla LCD

Modulo I2C	Pines Arduino
Ground (GND)	GND
Power Supply voltage (VCC)	5V
Serial Data Line (SDL)	SDA
Serial Clock Line (SCL)	SCL

Tabla 5 conexión I2C

Módulo de lectura y escritura para tarjetas SD

Cumpliendo con los requerimientos del cliente se debe realizar el guardado de lecturas de los sensores para posterior análisis esta selección del módulo de lectura y escritura (ver imagen 23), se seleccionó uno que sea accesible, con buena comunicación por programación, buen manejo de memorias de alta capacidad hasta 8G.

Autor: Saul Enrique Gonzales Gaitan

José Humberto Alejos Ñurinda

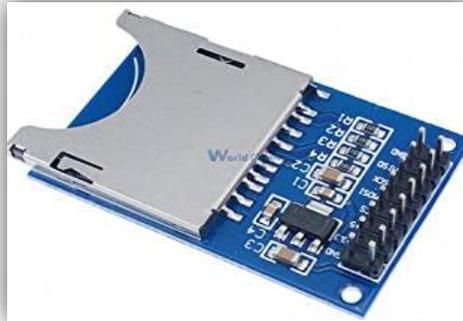


Imagen 23 ejemplo de módulo SDCard

ver características técnicas del módulo (tabla 6).

Dato	Operación	Conexión
Entradas y Salidas	Interfaz SPI	CS-MOSI-MISO-SCK
Lector de sócalo	ARM-MCU	---
Alimentación	3-5V	VCC/GND

Tabla 6 descripción del módulo SDcard

Reloj en Tiempo Real

Dada la recopilación de datos guardados previamente se estipula el uso externo de un recurso influyente como lo es este reloj (ver imagen 24) para respaldar las lecturas con fecha y hora específica que se realizaron las pruebas así posteriormente analizarlas, se seleccionó este módulo por su grado de precisión que es de 1 minuto por interfaz de comunicación I2C. Se le anexa una batería para que su fecha y hora programada no se reinicie, por su alimentación primaria, esta alimentación secundaria puede durar hasta un año de uso continuo sin perder su fecha previamente programada.



Imagen 24 ejemplo de reloj DS3231 RTC (Real Time Clock)

Parámetros del módulo (ver tabla 7):

Dato	Operación	Conexión
Precisión de reloj	Modulación por posición de pulso, error de 1 minuto	---
Chips de memoria:	AT24C32 (capacidad de almacenamiento de 32 K)	---
Interfaz	I2C	SDA/SCL
Alimentación	VCC-GND	3-5 V

Tabla 7 **parámetros de reloj DS3231**

Relé

Aparte de sensores, se utiliza un módulo de relé (ver imagen 25), que trabaja por control de activación digital que incluye opto acoplador integrado el cual realiza la función de protección de energía inversa evitando sobretensiones de corriente. Se realizó la selección del modulo por esta protección de manejo de corriente y voltaje de disparo en bajo siendo estas características técnicas deseadas para activación cíclica de una resistencia térmica de 8Amperios en determinados lapsos de tiempo previamente programado, fácil manejo y un costo accesible.

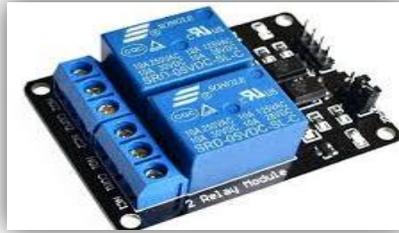


Imagen 25 ejemplo de módulo de relés

Características técnicas del módulo relé (ver tabla 8).

Datos	operación	Conexión DC	Conexión AC
salidas	AC	---	Nc1 COM1 NO1
Alimentación	AC	---	125VAC-250VAC
Alimentación	5V	VCC-GND	---
Comunicación	pin digital	IN1 o IN2	---

Tabla 8 especificaciones de Modulo de relés

Selección de Fan o ventilador

Dentro de la visita a ANAR se observó que la entrada de ventilación era con doble fans en cual constaba en su entrada de ventilación dos fans de 15 W/2.5 A (C/U), (ver imagen 26).



Imagen 26 ventiladores en SBD ANAR

Al definir un fan para este tipo de secado se tomó en cuenta las características fisiológicas del grano con altos porcentaje de humedad como el grano de cacao



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

según técnicos del INTA, tesis de Química y agrícola a diferencia del uso que está destinado el secador solar original que es para grano de Arroz esto se toma en consideración por la precipitación de calor a la transferencia de masa permitiendo la evaporación de agua por flujo de aire. Se decidió colocar uno de 60W/12V 5A para tener suficiente potencia en el flujo de aire y que se hiciera uso de solo un ventilador en el secado, dadas las circunstancias de pandemia por Covid se buscó con proveedores locales, se cotizo que solo contaban en inventario el de uso genérico (ver imagen 27) 80W/12V 6.6A. Consta de las siguientes Características (ver tabla 9)



Imagen 27 fan universal

Datos	operación	Conexión DC
Entrada y salida	DC	Vin+ y Vin-
Alimentación	12VDC	----
Potencia	80W 6.6A	----

Tabla 9 Detalles técnicos de fan universal

Para realizar el secado del grano dentro del prototipo de bolsa solar se tiene que realizar una circulación de aire que la proporciona un fan a su entrada este a la vez tiene que ser controlado por medio del censo de temperatura interna relativa en el grano a un valor previamente programado. Para controlar el fan que consta de alta corriente el cual no se debe conectar directamente hacia el controlado



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Arduino mega2560 se seleccionó un circuito de protección intermediario (Módulo De Potencia Mosfet 15A 400W 36V) capaz de hacer la comunicación y control de los pulsos eléctricos del PWM programado en el controlado. Este módulo (ver imagen 28) regulador de potencia del fan universal de 80Watt, se conecta de forma especial para controlar la ventilación del secador solar. LG BL-46G1F 2700mAh/10.4WH

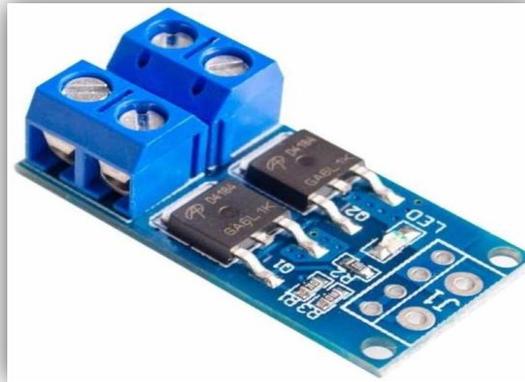


Imagen 28 Ejemplo de Módulo de Potencia Mosfet

Se buscó un circuito con un costo accesible que contara con ciertas especificaciones técnicas capaz de soportar alta potencia y corriente. Este módulo destaca por su voltaje de activación en bajo, su manejo de corriente y potencia de 15A/400W (ver tabla 10), con una configuración interna Dual MOS que trabaja a una frecuencia de 0-20KHZ perfecto en control y manejo de PWM.

Datos	operación	Conexión DC
salidas	DC	Out+ y out-
Alimentación	DC	Vin+ y Vin-
Comunicación	Conmutación del controlador	GND
Comunicación	pin análogo	Trig/PWM

Tabla 10 parámetros del módulo de potencia mosfet



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Se realizaron las pruebas de flujo de aire con anemómetro (ver imagen 29) necesarias con la regulación de PWM dada la programación en porcentajes de trabajo, se realizó una tabla comparativa (ver tabla 11) de sus RPM de trabajo respecto a los porcentajes programados.



Imagen 29 Pruebas de regulación de PWM con anemómetro

Porcentaje de PWM, programación	RPM FAN
65%	1560
70%	1680
75%	1800
80%	1920
85%	2040
90%	2160
95%	2280
100%	2400

Tabla 11 regulación de PWM

La selección del controlador, es la parte más importante del proyecto de monitoreo, es la encargada de procesar todos los datos que le son suministrados



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

por los periféricos de entrada y salida, dar lectura a las muestras medidas en visualización.



Selección del controlador

Teniendo en cuenta las cantidades de sensores, otros periféricos de control y módulos a usar, se realizó una tabla (ver tabla 12) para determinar la selección de un controlador con los suficientes pines (entradas y salidas) necesarios para cumplir con todos los requerimientos del proyecto.

Cantidad	Componente	#Pines C/U	Pines Digitales y Analógico	Pines totales de VCC
3	Sensores DHT11	3	3	6
4	Sensores Termocuplas	5	12	8
1	LCD 16X2 (I2C)	4	2	2
1	Sensor AM2315	4	2	2
1	Sensor UV	4	2	2
1	Modulo relé	3	1	2
1	Modulo PWM	3	1	2
1	Módulo clock	4	2	2
1	Módulo de lectura y escritura	6	4	2
--	Total	--	29	30

Tabla 12 **parámetros para selección de controlador**

Dada la cantidad de pines de entradas y salidas requeridos para este proyecto, se tomó la decisión de utilizar el microcontrolador Arduino MEGA2560 (Ver imagen 30 y tabla 13).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

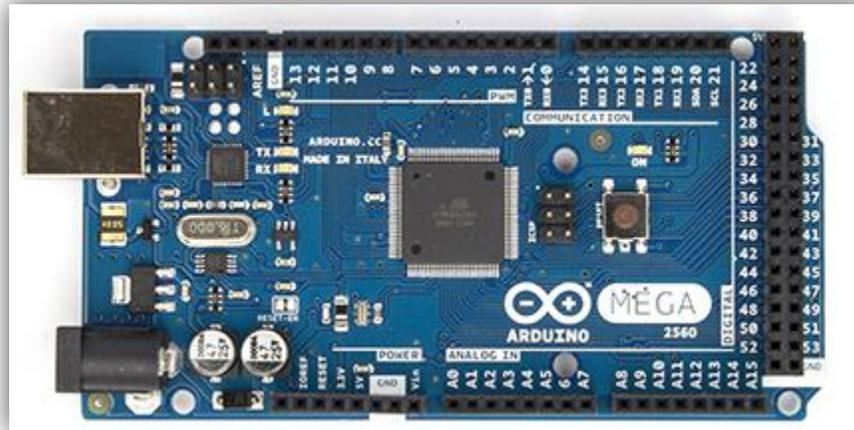


Imagen 30 ejemplo de Arduino MEGA2560

Parámetro	Valor
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de entrada	7 – 12 V
Entradas y Salidas Digitales	23
Entradas y Salidas con Modulación por Ancho de Pulso	15
Entradas y Salidas Analógicas	16
Memoria Flash	256KB
SRAM	8KB
Velocidad de reloj	16MHz

Tabla 13 Parámetros atmega2560 según página de Arduino

Además, se usará el software libre “Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino” (Arduino IDE, por sus siglas en ingles), el cual se basa en lenguaje de programación “C” (Ver imagen 30).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 31 Arduino IDE

Calefactor de aire termostático

Al revisar los requerimientos tanto por el cliente y las temperaturas de secado se observó que los granos con gran cantidad de humedad tienen un rango de temperatura establecido para ser secado, previendo días con poca radiación solar que no lleguen a dar la temperatura adecuada en el secador, se seleccionó un calefactor de aire termostático (ver imagen 32) con un periodo de vida útil de 3 años, con la cual se tuvo el inconveniente de consumo y la potencia a manejar, se procedió a reducir de 200W/16.6A a 100W / 8.3 A haciéndola optima a nuestro sistema fotovoltaico de alimentación(ver tabla 14)..



Imagen 32 ejemplo de calefactor de aire

Datos	operación	Conexión
termistor PTC	200 W / 16.6A	---
Alimentación	12V-24V/DC	Vin+ y Vin-
Método de calentamiento	Transmisión térmica	---
Medidas del producto	120*50*26mm	---

Tabla 14 **detalles técnicos del calefactor de aire**

Alarma de doble señal. Acustica+Luminosa

Para la selección de la alarma (ver imagen 32) se tomó en consideración que estaría en campo abierto donde el factor de escucha por el operador pudiera ser perceptible. Siendo esta alarma un determinante en el volteo o manejo del grano cada cierto tiempo requerido. Este tipo de alarma cumple con ciertas características (ver tabla 15) acústicas, de uso práctico para zonas de intemperie.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 33 ejemplo de alarma sonora lumínica

Datos	operación	Conexión
Frecuencia de trabajo	2.4kHz a 4.2 KHZ	---
Alimentación	12V-24V/DC	Vin+ y Vin-
Nivel sonoro	105dB a 1m(12Vdc)	GND
Leds	estereoscópicos	---

Tabla 15 especificaciones técnicas de alarma.



Censo de Carga

Se recopilan los datos de los equipos consumidores de energía dados por el fabricante o algunos por mediciones reales, esta información obtenida (ver tabla 16) nos visualizará la situación real de consumo de energía de todos los equipos de uso en el sistema de monitoreo.

Componente	Cantidad	Voltaje (V) C/U	Amperaje(A) C/U	Amperaje(A) Total
Resistencia térmica	1	12	8.33A	8.33 A
Fan	1	12	6.6A	6.6 A
Termocuplas+moduloMAX6675	4	5V	50mA	200mA
DHT11	3	5V	1.5mA	4.5mA
Alarma+Sound+Ligh	1	12	150mA	150mA
Modulo relé 2 output	1	5	5mA	10mA
SDcard	1	5	200mA	200mA
RTC	1	5	30mA	30mA
Arduino Mega	1	12	1 A	1 A
Sensor UV	1	5	30mA	30mA
Módulo PWM	1	5	3mA	3mA
LCD	1	5	25mA	25mA
Am2315	1	5	200mA	200mA
SUBTOTAL	---	---	---	0.84+6.6+1+8.33
Total	---	---	---	16.78 A

Tabla 16 censo de carga de dispositivos consumidores

Cálculo de potencia requerida

Se realiza el censo de carga de los equipos de más alto consumo de energía, dado su tiempo de trabajo y uso diario (ver tabla 17), para posteriormente realizar el cálculo de los equipos fotovoltaico y así poder determinar las características del equipo a usar.

Dato	Watts	Hora	Consumo Diario
Fan	80	7	560
Térmica	100	7	700
Mega+E	12	7	84
Total	192	--	1344

Tabla 17 censo de carga



Cálculo de Batería

Para la obtención de los resultados requeridos deberemos conocer los días consecutivos del tiempo en el área donde queremos realizar nuestro sistema fotovoltaico

Se toma la los siguientes valores:

Potencia de consumo = 1344

+Factor de protección del 20%

Consumo diario = 1612.8

Profundidad de descarga = 0.80

Batería a usar = 150AH

Capacidad de Batería = CB

$$CB = \frac{1612.8}{12} = 134.33AH * \frac{1}{0.80} = \frac{160}{150AH} = 1.12 \text{ (Baterias)}$$

A continuación, la batería (ver imagen 34) de uso en sistema fotovoltaico que proporcionó el proveedor del cliente.



Imagen 34 batería acido de plomo



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

A continuación, sus características (ver tabla 18) técnicas:

Datos	operación	Conexión
Amperaje de manejo	150AH/20HR	---
Alimentación al conectar desde batería	12V	Vin+ y Vin-
Batería Solar	AMG-ACIDO plomo sellada	---
Voltaje constante de Carga	14.4v-14.8v (25°C)	---
Ciclo de uso	13.6v-13.8v (25°C)	---

Tabla 18 detalles del Controlador de carga

Selección de Panel Solar

Se realiza el cálculo de selección de modulo solar, tomando como referencia las horas en los días que se use para secar el grano sean con buena luz solar se toman las horas de trabajo del equipo.

Datos:

Consumo diario: 1613

Potencia fotovoltaica= PF

Numero de Módulos = NM

$$PF = \frac{\text{consumo diario}}{\text{horas solar minima}} = \frac{1613WH}{7H} = 230.4W$$
$$NM = \frac{\text{potencia fotovoltaica}}{\text{potencia del modulo}} = \frac{230.4W}{150W} = 1.5(\text{Modulos})$$

Se muestran a continuación panel solar y las características técnicas (ver imagen 34) del módulo solar de 150W que proporcione el proveedor del cliente.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 35 panel solar de 150W

Se muestran los detalles técnicos (tabla 19) del panel solar:

Datos	operación	Conexión
Maximum power (Pmax):	150W	---
Maximum Power Current (imp):	8.24A	---
Panel Solar	Poly crystalline solar Module	---
Maximum Power Voltage (Vmp):	18.21V	---
Maximum Circuit Voltage (VDC	22.60V	---
Short Circuit Current (ISC):	8.73A	---
Salida a batería	Conexión a MC4	Vin+ y Vin-
STC	1000W/m, 25°C	---

Tabla 19

detalles técnicos del panel solar



Controlador De Carga

Se determina el controlador de carga por manejo de placa solar, teniendo en consideración la eficiencia de los equipos existentes que es de acostó beneficio entre los dos tipos de controladores, PWM (modulación de amplitud por impulsos) más accesible en relación al MPPT que se recomienda (Maximum Power Point Tracker) o seguimiento del punto de máxima potencia, sus especificaciones físicas tiene que ver con su eficiencia de carga hacia la batería que es mucho mejor que un PWM, se seleccionó el PWM para uso en el sistema por bajo costo, manejo aceptable de carga proveniente del panel solar hacia la batería .

A continuación, el controlador de carga (ver imagen 35) PWM que proporcionó el proveedor del cliente y sus respectivas características (ver tabla 20) dados por el fabricante.



Imagen 36 controlador de carga

Datos	operación	Conexión
Amperaje de manejo	20 A	---
Alimentación al conectar desde batería	12V-24V/DC	Vin+ y Vin-
Modelo SM2430	PWM	---
Medidas del producto	150*100*50mm	---

Tabla 20 **detalles del Controlador de carga**



Diseño de Bolsa Solar Prototipo

En el siguiente diseño se tomó como referencia las características físicas del SBD en la visita de campo a instalaciones de ANAR (ver imagen 36).



Imagen 37 visita de campo a ANAR

Se desarrolló las medidas en conjunto con los involucrados en el proyecto FTC, FIQ y FEC (ver imagen 38) las medidas del equipo, a que distancia incidieran los sensores. El secador bolsa solar quedó a realizar el modelado previo sea en cualquier programa de simulación a criterio por los compañeros de Ing. Agrícola el cual tomo como modelo el SBD y modificó acorde a las demandas del INTA (ver imágenes 39,40,41 y 42) donde se establece el modelado de las medidas de la bolsa solar en el programa de simulación skétchup (autor: Kenny castro de Ing. Agrícola).

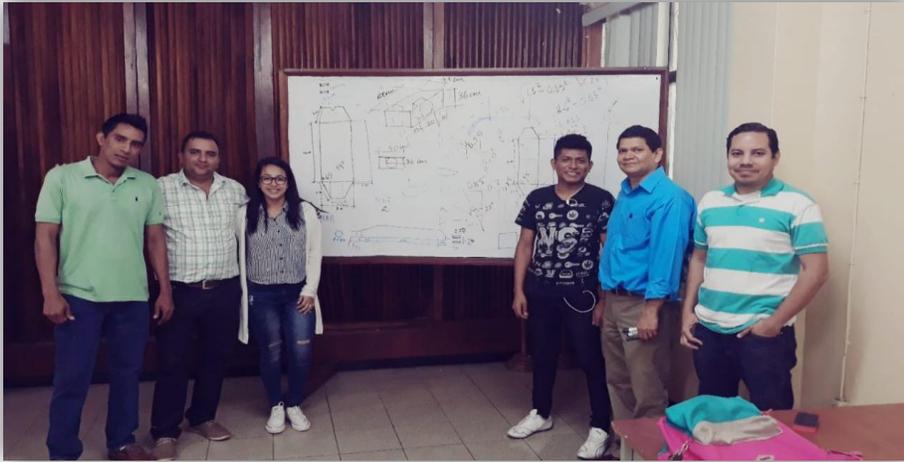


Imagen 38 Asignación de medidas de bolsa solar

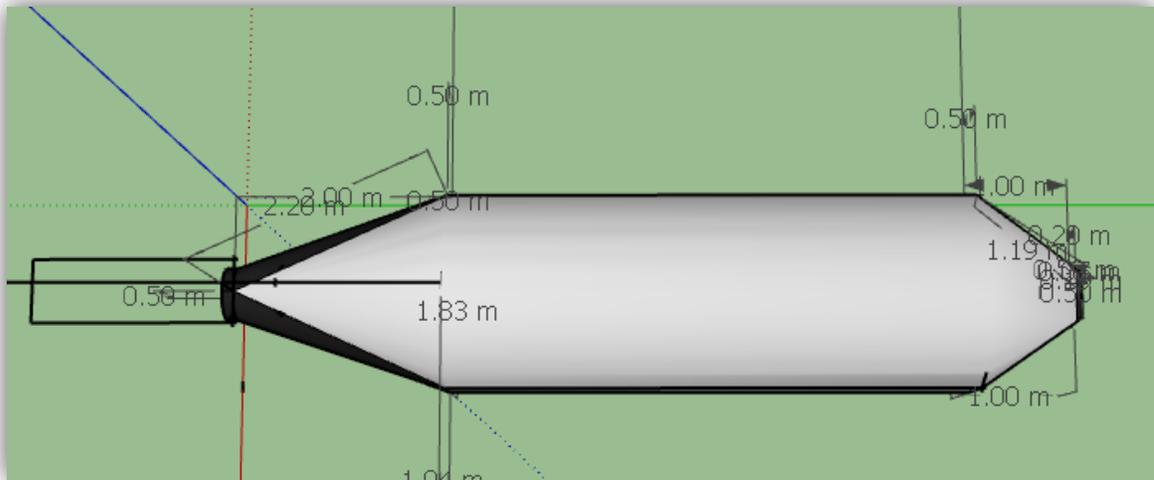


Imagen 39 Vista superior

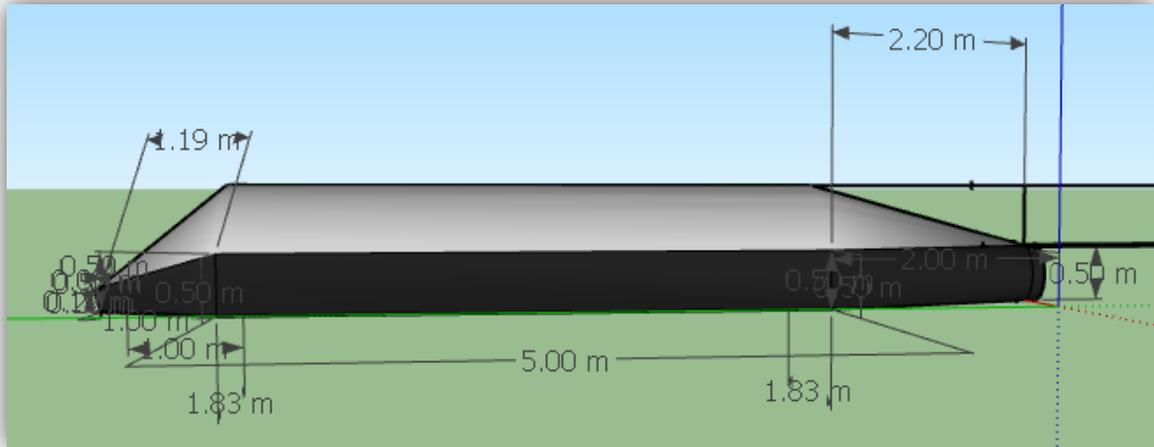


Imagen 40 Vista lateral Izquierda

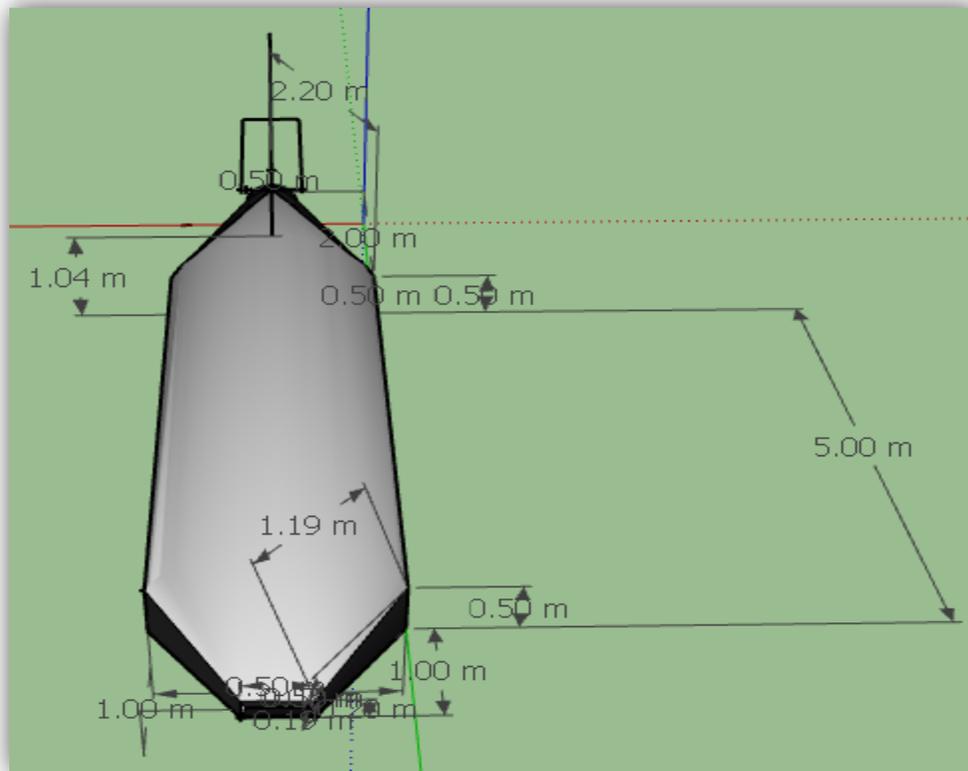


Imagen 41 vista Frontal Superior

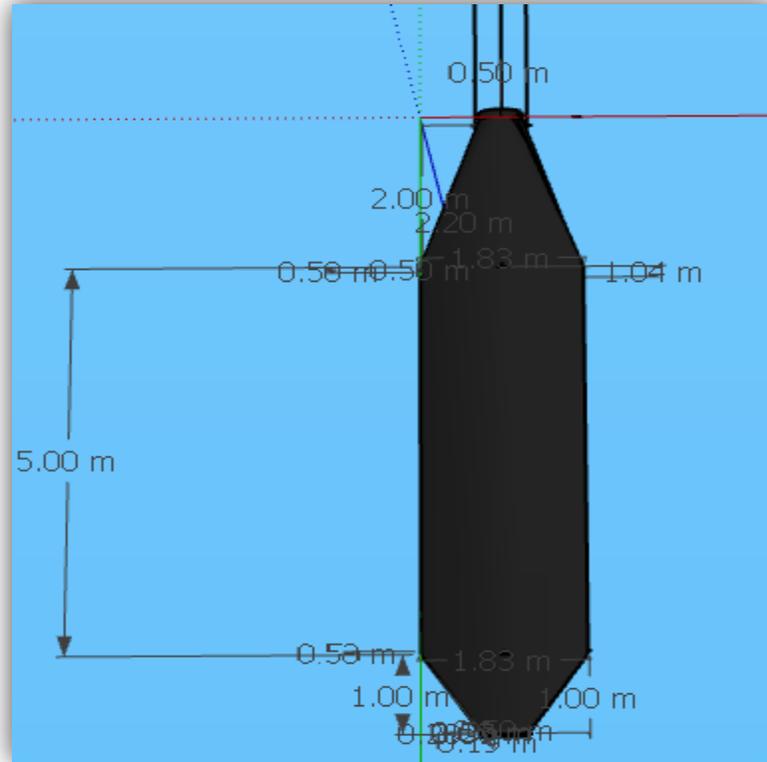


Imagen 42 Vista Inferior

Diseño PCB

PCB son las siglas de **Placa de Circuito Impreso**, pero se utiliza las siglas en inglés (**Printed Circuit Board**) para no confundirla, por ejemplo, con las ranuras PCI de una computadora PC.

Pues una PCB básicamente es **un soporte físico en donde se instalan componentes electrónicos** y eléctricos que se interconectan entre ellos. Antes de la realización de la PCB final del prototipo, realizamos un montaje de conexiones para simular la lógica del circuito con sus elementos con posibles cambios o mejoras a futuro (ver ilustración 43).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

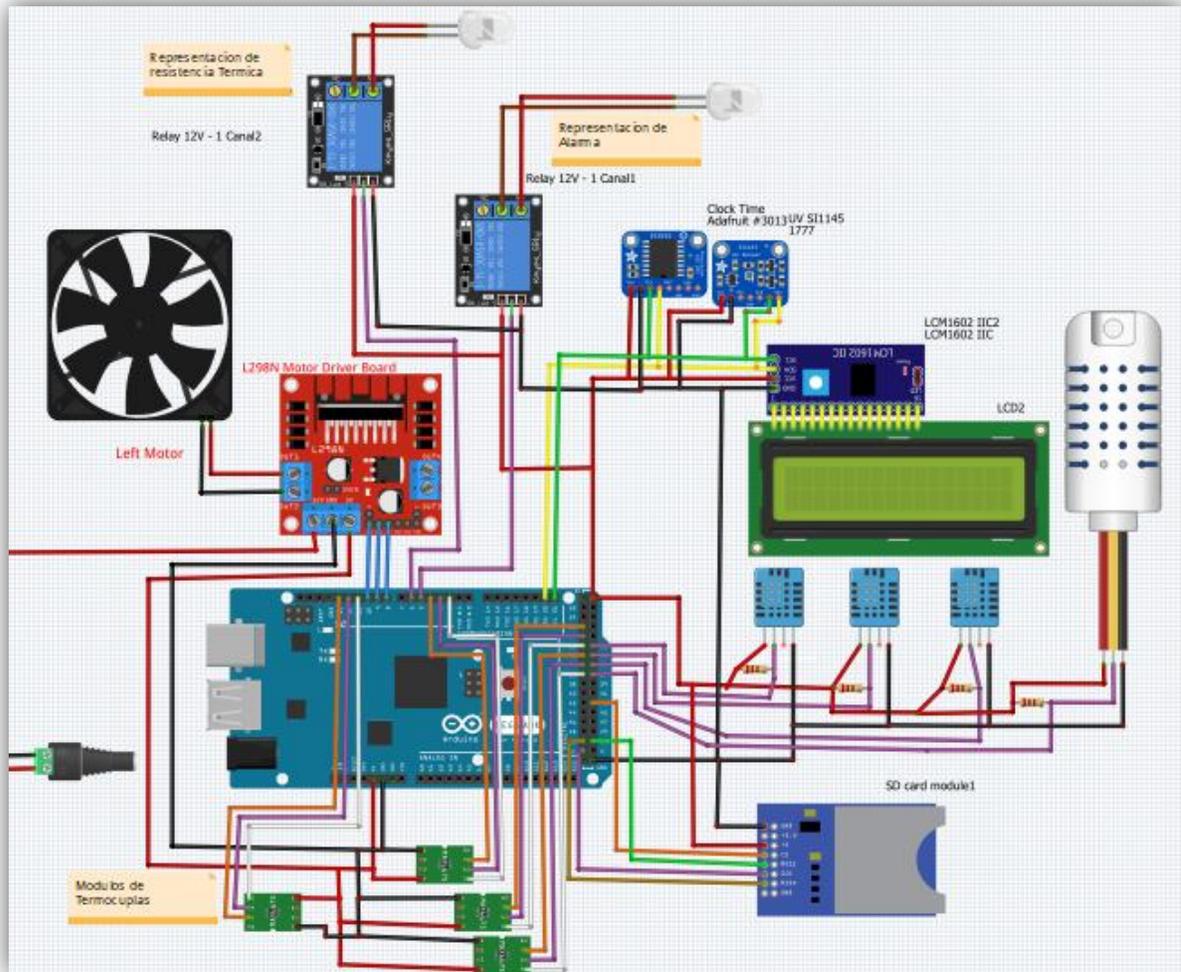


Imagen 43 representación de circuito de circuitos con sus componentes

La representación gráfica de todos los equipos electrónicos integrantes se realizó usando el simulador fritzing en protoboard, dados los componentes electrónicos en el sistema también se procedió a adjuntar una representación del sistema fotovoltaico el cual proporciona la alimentación de todos los componentes integrantes (ver imagen 44).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

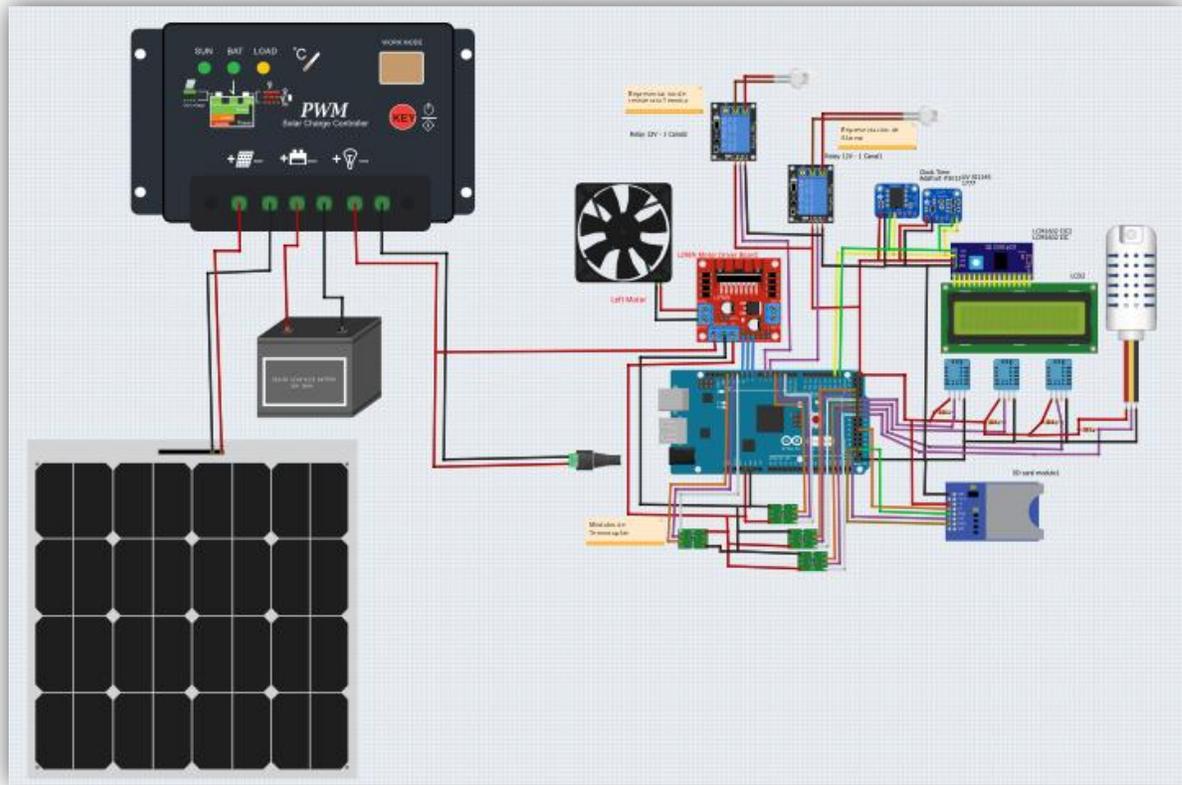


Imagen 44 representación general de todos los equipos

Luego de realizar la representación gráfica del sistema se procedió a realizar las conexiones de cada elemento en una PCB utilizamos un software aparte para realizar posteriormente un pedido de la PCB en físico en paquetería exprés por medio de DHL, para esto se utilizó un simulador llamado easyEDA el cual simula una serie de pistas conductoras de cobre que genera un carril, conductor, como si de un cable se tratase. Se presenta a continuación ilustraciones (ver imágenes 45,46, y 47) de la PCB que se diseñó en el software easyEDA online, conexiones internas y modelado finalizado después de múltiples pruebas en Protoboard.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

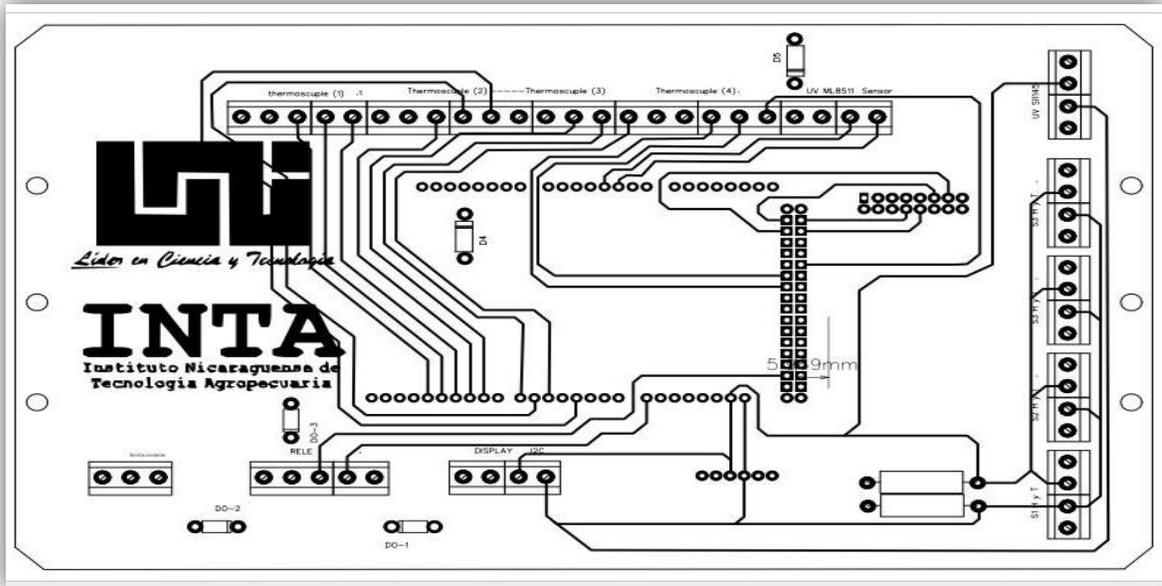


Imagen 45 vista: pistas de conexiones

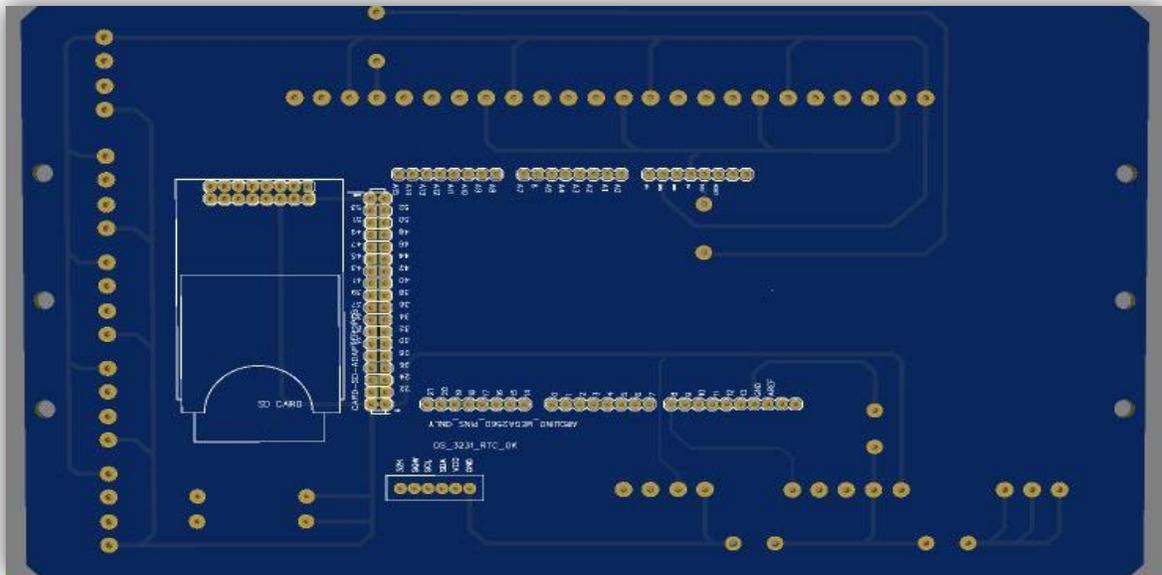


Imagen 46 vista inferior



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

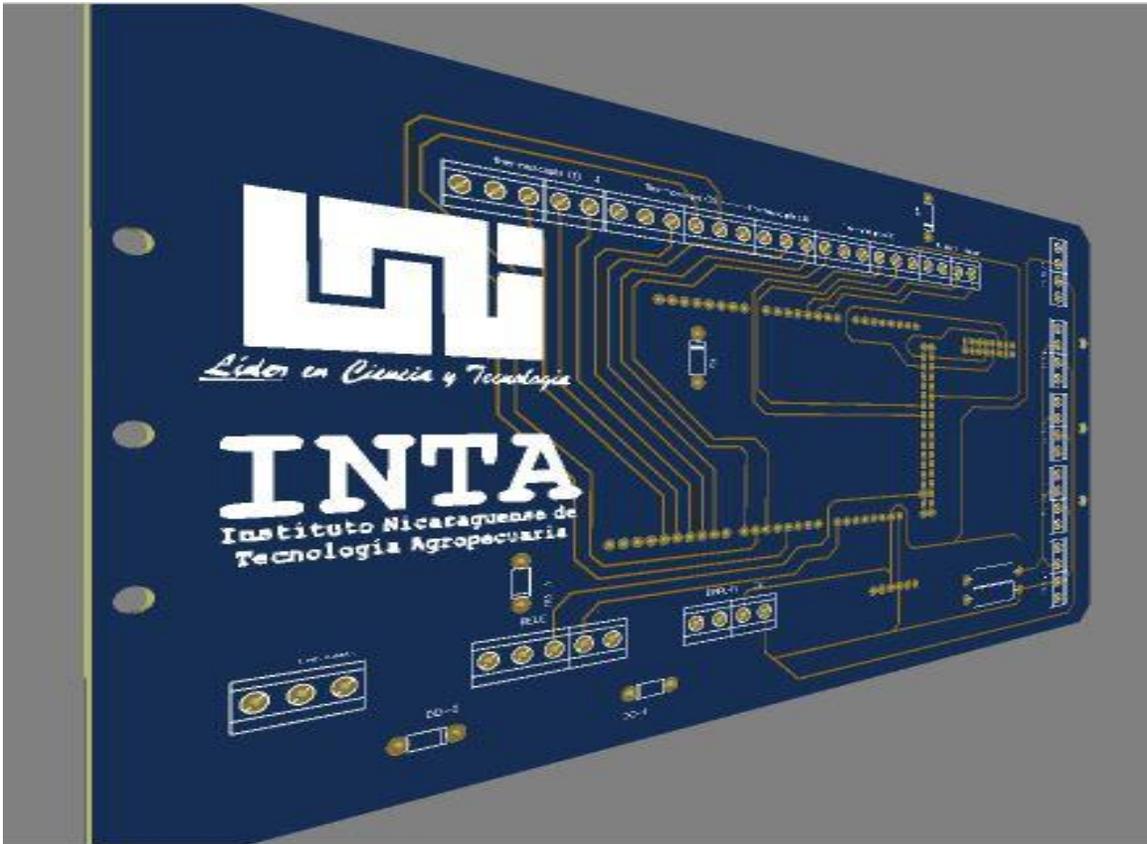


Imagen 47 vista lateral



Presupuesto

Al realizar la cotización sobre todos los materiales de uso se presentaron los detalles de cada componente y su utilidad a nuestro Cliente que es el INTA con el fin de satisfacer las necesidades y requerimientos del estudio a realizar.

Esta colaboración a la investigación científica e innovación tecnológica tiene la colaboración del fondo internacional que en su momento fue planteada por el INTA en su programa NICADAPTA, que tiene como finalidad alianzas público-privadas de las familias de pequeños y medianos productores. A continuación, se estipula el costo en 3 secciones de 1 PROTOTIPO de secador solar (ver tabla 21).

Concepto	Impuesto de Ventas y otros impuestos (por unidad)	Costo
Componentes del circuito electrónico	N/A Cuota Fija	C\$32,613.49
Componentes del sistema fotovoltaico	N/A Cuota Fija	C\$ 19,568.30
Bolsa solar	N/A Cuota Fija	C\$ 12,000.00
Total	----	C\$ 64,181.79

Tabla 21 **costo de componentes**



CAPITULO III Construcción y Pruebas

Dentro de este capítulo se logra apreciar el avance de las diversas pruebas realizadas dentro estas pruebas se estipula la elaboración de diversos prototipos como construcción de PCB, perspectiva de bolsa solar, estructura del soporte de fan, estas pruebas realizadas fueron dada con el fin de hacer un prototipo final que cumpla con los requerimientos planteados haciendo uso de los diversos componentes y software a nuestro alcance.

Construcción del Sistema de Control Electrónico

Aquí se mostrará los prototipos de primeras pruebas, prácticas, análisis de variables, inconvenientes y mejora continua donde el resultado final cumplirá con los requisitos del cliente (INTA).

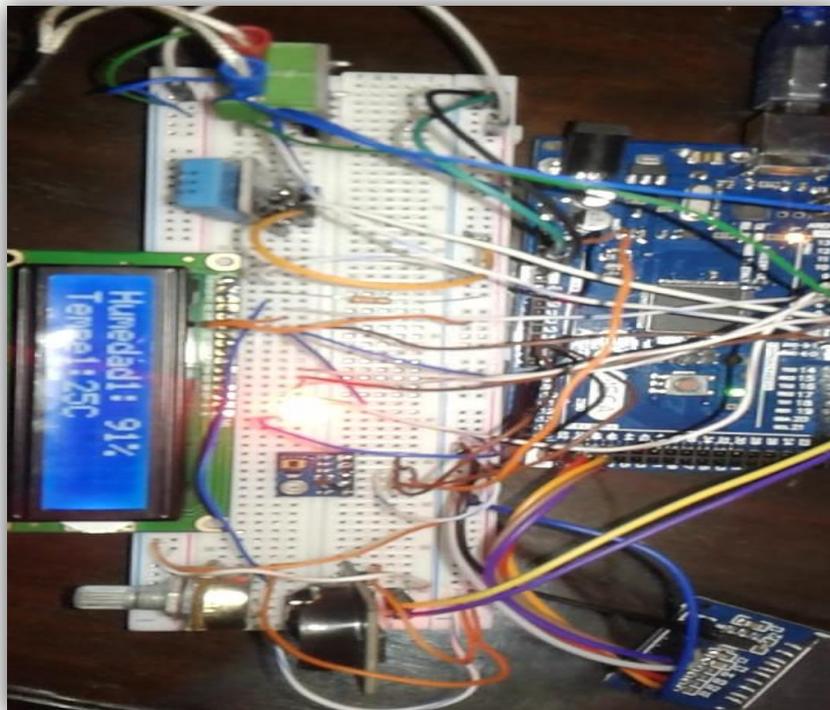


Imagen 48 primeras pruebas de programación



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Las primeras pruebas de montaje del sistema de control se realizaron en protoboard (ver imagen 48), dentro de los cuales se encontraron errores de código para posibles mejoras en las pruebas y programación de sensores.

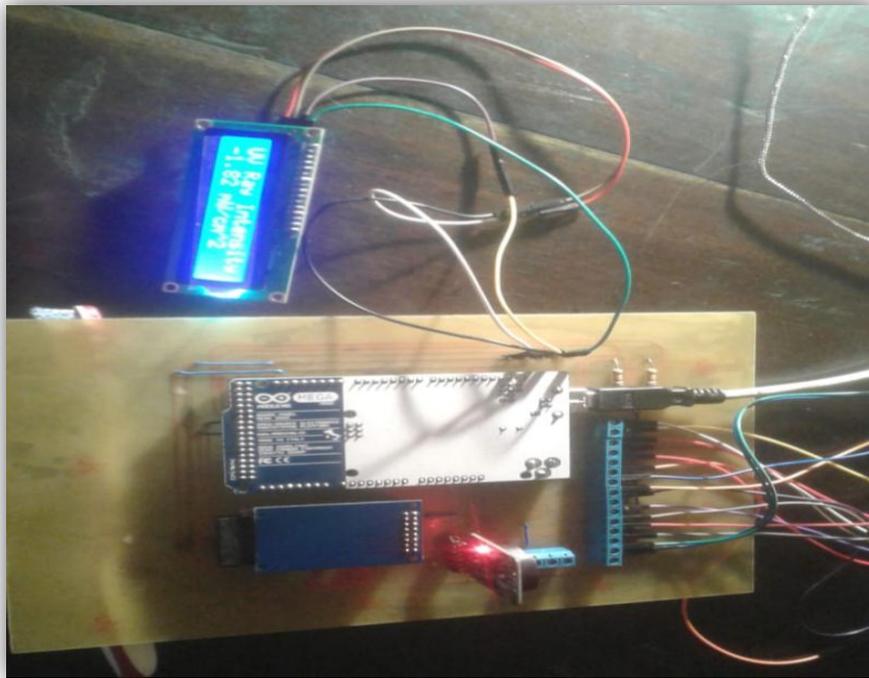


Imagen 49 montaje en baquelita conexión y programación

Siguiendo el proceso de mejora continua se realizó pruebas en tarjetas de baquelita (ver imagen 49), para posteriormente mejorar ubicación de sensores, prueba de código en programación, problemas de soldaduras en diferentes puntos, proyección del circuito a futuro, etc.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

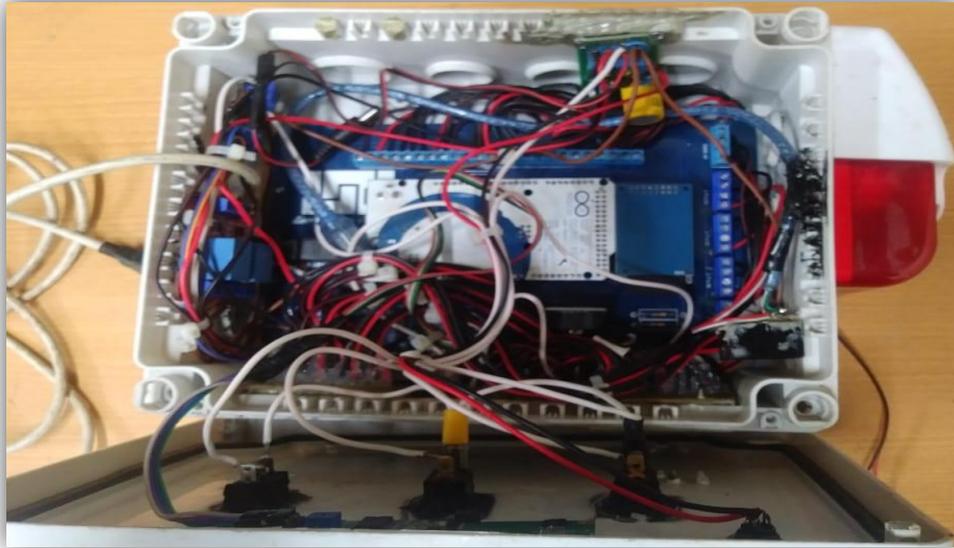


Imagen 50 prototipo final del sistema de control

Al constar con experiencia de prototipos previos para la mejora continua del sistema de control y monitoreo de variables, se consideraron todos los errores presentados para establecer un prototipo de PCB final el cual se muestra en la imagen 50 con las terminales y ubicación de sensores distribuidos estratégicamente.

Dado que el circuito trabajaría en intemperie se optó por el uso de una caja termoplástica, protegiendo de agentes externos como brisas, polvo o su manipulación imprudente, la visualización de lecturas se presenta en pantalla lcd ubicada en la parte frontal de la caja (ver imagen 51), se hizo uso de conectores AT o ATX son las siglas de ("Advanced Technology extended") o tecnología avanzada extendida, usados estos conectores para la interconexión de entrada y salida de nuestro sistema de control electrónico.



Imagen 51 visualización frontal de modelado caja termoplástica

A continuación, se muestra una descripción del Algoritmo utilizado para programar las funciones operativas del sistema de control electrónico:

Pseudocódigo

1. Inicio
2. Introducir librerías
3. Configurar pines de sensores, Fan, alarma y térmica
4. Introducir tiempo de lectura de SDcard

5. Inicializar LCD
6. Inicializar Variables de sensores
7. Inicializar Variables de salida del fan, alarma y térmica
8. Inicializar Variables de reloj y memoria SDcard

9. Leer termocuplas
10. Leer sensores DHT
11. Leer sensor UV
12. Compara valores de humedad y temperatura del dht1
13. Si hubo variación en el sensor dht1
14. Presentar en pantalla lecturas de temperatura, humedad de sensor DHT₁, lectura de termoculpa₁ y lectura de sensor uV
15. Esperar 3 segundos



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

16. Compara valores de humedad y temperatura del dht2
17. Presentar en pantalla lecturas de temperatura, humedad de sensor DHT2, lectura de termoculpa2
18. Esperar 3 segundos
19. Si la temperatura de la termocuple2 es menor a 17 grados y menores a 52
20. encender resistencia térmica por 2 minutos
21. si cumple con el tiempo mandar a apagar la resistencia térmica
22. Esperar 3 segundos
23. Compara valores de humedad y temperatura del dht3
24. Si hubo variación en el sensor dht3
25. Presentar en pantalla lecturas de temperatura, humedad de sensor DHT3 y lectura de termoculpa3
26. Esperar 3 segundos
27. Compara valores de humedad y temperatura del dht4
28. Si hubo variación en el sensor dht4
29. Presentar en pantalla lecturas de temperatura, humedad de sensor DHT4 y lectura de termoculpa4
30. Si la temperatura de la termocupla 4 es menos a 20
31. Poner el ventilador en 75% de trabajo
32. Si no lee la temperatura apagar ventilador
33. Esperar 3 segundos
34. Si existe lectura de temperatura en termocupla 2 y termocupla3 comparar mediciones
35. Si hubo variación en las termocuplas 2 y 3
36. Guardar parámetros y variables de fecha/ hora/ minutos de lectura de los sensores DHT, termocuplas y sensor uV
37. Esperar 3 segundos
38. Volver a leer Variables y Parámetros
39. FIN



Perspectiva del Prototipo de Bolsa a escala.

Al realizar las pruebas de con los sensores se realizó en conjunto una perspectiva de bolsa solar estilo Maqueta a pequeña escala, la cual nos brindaba una idea de cómo sería en su momento una bolsa a futuro, por la que nos dábamos una idea de cómo distribuiríamos los sensores estratégicamente para mediciones puntuales (ver imagen 52).



Imagen 52 Primera ideas de bolsa solar

Además del Prototipo de control electrónico se procedió a realizar por pedido una bolsa de 2X3 Mts prototipo de prueba de bolsa solar de lona blanca, (Ver imagen 53), contando con la ayuda en el diseño de tesista de Ing. Agrícola Kenny Castro con este prototipo se propuso pruebas de secado con granos para ver el comportamiento interno de la humedad y temperatura del secador de acuerdo a los sensores, siendo esta el primer prototipo oficial de prueba de la bolsa solar.



Imagen 53 prototipo de bolsa solar



Construcción de Estructura para Soporte del Fan

También se realizó un prototipo base del soporte del fan, dada la observación que esta estructura además de servir como soporte fijo del fan también haría contrapeso fijo al prototipo del secador solar, dado que este se podía mover con corrientes de aires leves, además de estas utilidades beneficiosas de su elaboración tendría una extra que es la de servir como soporte de la caja del sistema de control (Ver imagen 54 y 55).



Imagen 54 primer modelo de prueba de soporte del fan.

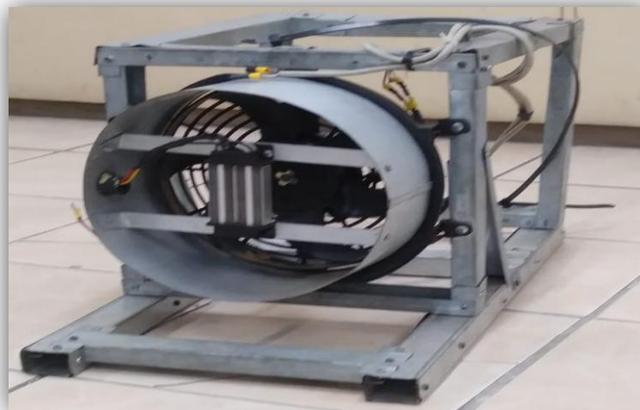


Imagen 55 estructura de soporte fijo para el secador bolsa solar



Calibración y Prueba de Sensores

Calibración y Prueba de Sensores Termocuplas

Una muestra del trabajo multidisciplinario se hizo con los tesistas de química en donde se realizaron pruebas de mediciones de lecturas (ver imagen 56) con los sensores a usar en mediciones.



Imagen 56 comparación de RTC con respecto a equipo baño térmico

Para tener confiabilidad de las mediciones de las sondas se realizó una verificación utilizando un termómetro de precisión como referencia (baño maría), se sumergieron las 4 sondas termocuplas por 10 min, recopilando las lecturas cada minuto con el fin de cotejar la variación entre cada sensor. Los rangos a los cuales se hicieron estas pruebas mostrado en la siguiente ilustración (ver imagen 58).

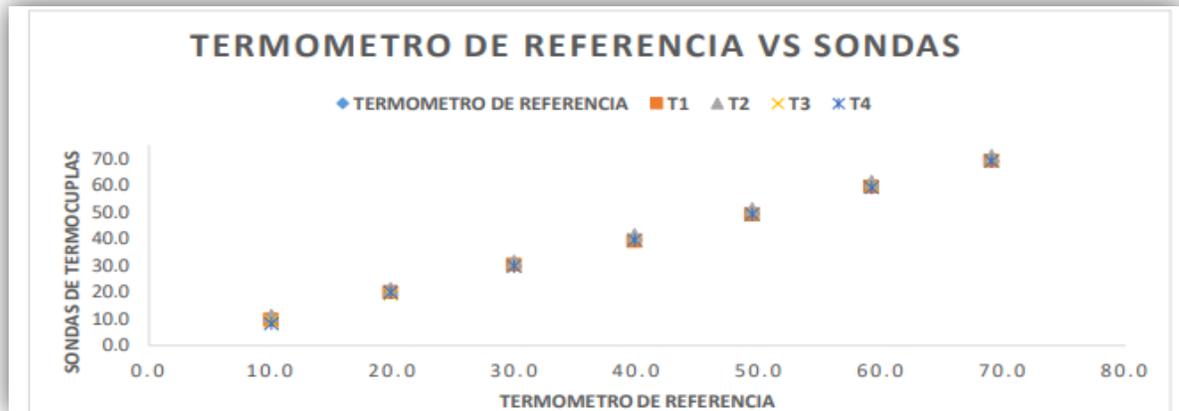


Imagen 57 termómetro de referencia vs sondas

Calibración y Prueba de Sensores DHT11 y AM2315 de Mediciones Relativas

Dentro de las pruebas se hizo la comparación con los sensores ubicados en el laboratorio de química (ver Imagen 59) también se incluyeron los DHT11, AM2315 contra sensor de referencia marca Testo. Cabe destacar que los sensores de referencia Testo es más sensible a los cambios de su entorno.



Imagen 58 prueba de sensores DHT11, AM2315 VS los testo



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

La calibración entre sensores consistió en una caja semi-hermetica para simular un ambiente controlado, a esta caja se le sellaron todas las aberturas posibles en cada lado, se le coloco un fan para garantizar la circulación de aire por toda el área y una noche previa a la prueba se introdujo silica gel para que absorbiera humedad dentro de la caja. Dentro de la caja había una manguera conectada a una jeringa en el exterior a la cual se le inyectaba agua hirviendo en un plato de aluminio.

En la parte superior de la caja se colocaron los sensores de humedad relativa y las sondas del Testo y se recolectaban los datos cada minuto para monitorear el aumento de la humedad dentro de la caja (ver imagen 60).



Imagen 59 sensores de humedad relativa VS sonda testo

Esto se realizó con el fin de corroborar la variación de la lectura de datos respecto a cada sensor del equipo vs las sondas Testo.

Dados que estos sensores miden humedades y temperaturas relativas se muestran a continuación las mediciones del testo VS sensores (ver imagen 61 e imagen 62).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

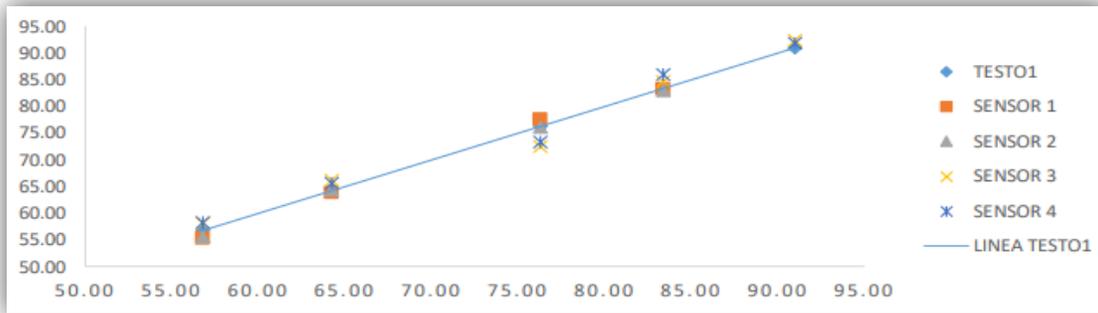


Imagen 60 humedades relativas del testeo VS sensores

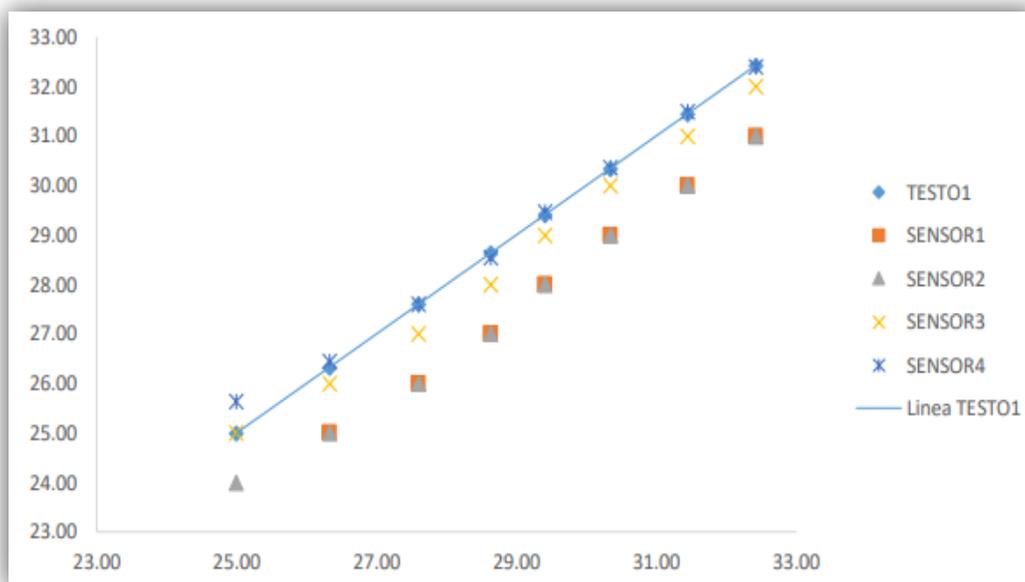


Imagen 61 temperaturas relativas de sensores VS testeo

Pruebas de Secado con Grano de Maíz

Después de realizar las primeras mediciones pruebas y calibración con los sensores se procedió a probar el equipo ya obtenido para su posterior análisis, esta prueba se realizó con grano de maíz (ver imagen 63).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 62 prueba de secado con maíz

El equipo fue instalado en la azotea del UNI – RUSB (Edificio FIQ). Se instalaron los sensores de temperatura al grano, sensores de humedad relativa y temperatura del aire. Se colocaron dos sensores (uno de temperatura del grano y uno de temperatura y humedad del aire) justo en el inicio del lecho del grano; otro par justo al final del lecho y los otros dos pares equidistantes de los extremos.

En esta prueba piloto en conjunto con los tesisistas de química y agrícola, tuvo una duración de 2 días continuos de secado, se colocaron 32.6 Kg de maíz (previamente humidificado) a una humedad promedio de 27.8% en base húmeda, las mediciones de humedad interna del grano se realizaron con equipos de laboratorios de la UNI. El primer día se logró reducir la humedad hasta un valor promedio de 22 % con un peso final de la muestra de 28.4 Kg. Al día siguiente se logró reducir la humedad del grano desde un valor promedio de 23% hasta 16% en base humedad, datos dados por medidor de humedad de grano de los químicos



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

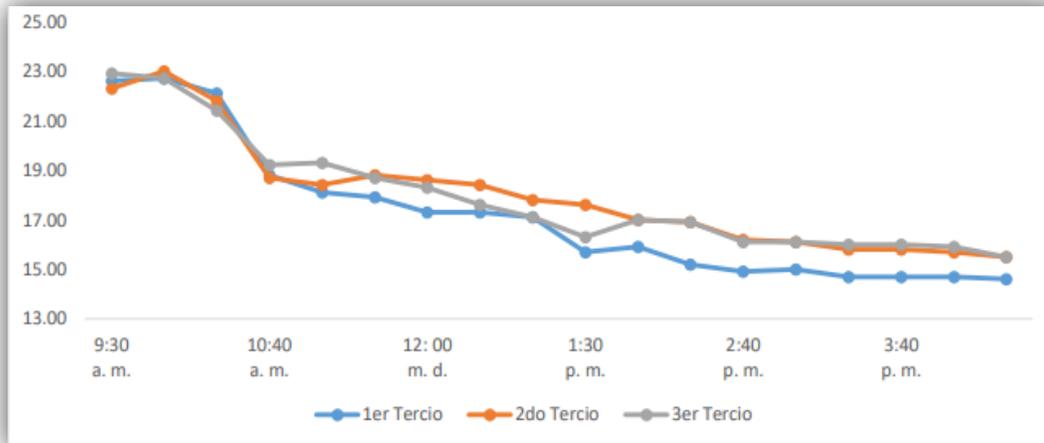


Imagen 63 curva de secado de maíz



Imagen 64 medidor de humedad de grano

Dadas las pruebas de secado con humedad superficial en grano de maíz, se observó excelentes evaporaciones de masa de agua agregada anteriormente al grano de maíz (ver imagen 65).

Dado el análisis de secado en el prototipo de bolsa solar, se obtuvieron buenos resultados con el prototipo de bolsa blanca (ver imagen 64) en lecturas obtenidas por los sensores con ese tipo de grano fue bastante practico con posibles mejoras en la recopilación de información del proceso de secado de granos.



Conclusiones de Pruebas Realizadas

La recopilación de datos de los sensores es analizada por los tesisistas de química, dado que ellos evalúan las características organolépticas del grano.

La lona color blanco tiene poca absorción de calor, dada esta observación se decidió la mejora de la lona color en color negro.

Las temperaturas obtenidas durante los días parcialmente nublado fueron aceptables dada la disminución de las humedades del grano.

Los factores cambiantes de las lecturas de los sensores dependen de agente externo como lo es el clima.



CAPITULO IV Resultados Finales

En este capítulo se presentarán los resultados del trabajo multidisciplinario empleado en el proyecto, así como las modificaciones de la bolsa solar, los procesos de buenas prácticas en el secado y las pruebas necesarias, correspondiente a las demandas del cliente (INTA).

Modificaciones del Equipo

- Cambió el color de lona por el hecho que la absorción de calor en lona negra es más eficiente que al usar una lona blanca. El color de una superficie depende de la cantidad de luz que refleja y, por ende, la cantidad de calor que absorbe. Cuanto más oscura es, más luz absorbe y más calor produce. El sol del mediodía puede emitir sobre la superficie unos 1.000 vatios por metro cuadrado (la media es de 1.373 W/m² según la Organización Mundial de Meteorología). Un objeto negro puede llegar a absorber hasta el 90% de esa energía [10].
- Mejora del tamaño de la bolsa a 2x5 metros, lo cual tiene más llenado de producto al secar equivalente a 5 quintales de cacao en baba. Por cada 3 quintales de cacao en baba darán 1 quintal de grano seco aproximadamente, dato proporcionado por el Ing. Pedroza del INTA.

Se presenta una vista previa de los sensores en la bolsa final (ver imagen 65), dejando establecido el correcto funcionamiento de todo el sistema de control dada la recolección de datos sobre la bolsa,



Imagen 65 muestra de sensores en bolsa solar

Visita y Prueba del secador en Waslala

La visita de campo se realizó en coordinación con el INTA y los Tesistas de las diversas especialidades de la UNI, Ing. Química, Ing. Agrícola e Ing. Electrónica para realizar pruebas de secado en ambiente y clima húmedo.

Las pruebas de secado con granos de cacao se realizaron en la Finca Cacaotera TININISKA ubicada en Waslala propiedad de Doña Eufemia Wooh, los días de visita de campo fueron de 3 días del 25 al 28 de junio, donde el primer día en la finca se constató que el grano a secar no tenía los días necesarios fermentados, dato que lo verifico el Ing. Henry Pedroza por parte del INTA.

Dado que el proceso de secado es de varios días, cada tesista evaluaría el comportamiento de los parámetros influyentes sobre la bolsa solar, dando así las recomendaciones al estudio del prototipo de secado. ejemplo, por parte de Ing. agrícola se encargará de dar sus evaluaciones y recomendaciones del diseño de la bolsa, Ing. Química de procesar los datos obtenidos y observar los cambios bioeléctricos del grano en el proceso de secado y por Ing. Electrónica medir todos los datos puntuales dentro del proceso, evaluar el equipo fotovoltaico en la zona, dar recomendaciones sobre el sistema y mejoras sobre el equipo a nuestro cliente que es el INTA.



Pruebas de la Bolsa Solar Bajo Lluvia en finca Tininiska

La primera prueba del equipo se realizó bajo lluvia sin grano de cacao, en condiciones extremas tanto para el equipo electrónico y la bolsa de secado, donde la electrónica tenía que cubrirse bien para evitar cortocircuitos. En el caso de la bolsa sufrió filtraciones de agua en los bordes de la costura (ver imagen 66 e imagen 67).



Imagen 66 Prueba de bolsa solar bajo lluvia



Imagen 67 Prueba de Equipo y Bolsa Solar



Visita al campo y cosecha del Grano de cacao

La cosecha de cacao en la finca del productor era variada teniendo frutos de origen criollo, trinitario y morfológica PMS58 (ver imagen 68), por consiguiente, no podremos especificar en esta prueba de secado el tipo de grano a procesar. Dada la variedad existente en la finca, el Ing. Henry Pedroza afirmo que es lo más común que se encuentra en las cacaoteras de Nicaragua.



Imagen 68 corte de cacao en finca Tininiska Waslala

Proceso de Pre-secado

Dada la filtración de agua en la bolsa, el tesista de Ing. Agrícola Kenny Castro recomendó como mejora de la misma un sellado térmico, pero dado el clima en la zona y que el grano es muy susceptible a contraer moho u hongo por exceso de humedad se decidió secar una muestra de 100 libras de grano de cacao fermentado bajo techo en las instalaciones donde realiza el proceso de secado el productor (ver imagen 71).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 69 secador de burbuja bajo techo

La muestra de 100 libras de cacao se pesaba en una pesa de reloj en un balde (ver imagen 72), según el especialista en cacao el Ing. Henry Pedroza antes del secado se realiza un pre-secado, es un proceso de dos días donde el grano de cacao hace una transición hacia el secado, también el grano pierde temperatura en ese proceso.



Imagen 70 peso de la muestra de grano a secar



Imagen 71 Distribución de sensores en día de pre-secado

Los sensores se distribuían en los granos en varios puntos en el pre-secado (ver imagen 73), se muestra que el grano está en estilo camellado nombre que se le da al ponerlo en esa distribución. Dentro de la bolsa no había insectos o moscas lo cual la bolsa de secado protegía de estos agentes externos.

Para determinar valores de humedad interna del grano en el pre-secado, se utilizó el equipo Sinar-Ap6060 que llevo uno de los tesisistas de Ing. Química, el cual daba la lectura de 34% de humedad o lo más próximo en ese momento (ver imagen 74).



Imagen 72 medición de humedad en pre-secado



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Tras la culminación del proceso de pre-secado se procedió a medir la humedad interna del grano, la cual media un promedio de 20.36% de humedad, para esto se ocupó un Tester especial para granos (ver imagen 75) que llevaba el Ing. Pedroza.



Imagen 73 medición de humedad interna del grano

Finalizados los días de campo previstos en la finca Tininiska propiedad de la señora Eufemia wooh mediano productor cacaotero. Se movilizó la muestra de cacao para terminar el proceso de secado en instalaciones del CENIA (INTA) en Managua.

Proceso de secado final en CENIA del INTA Managua

Se realizó el montaje del equipo bolsa solar, se hace mención que los días de prueba se hicieron con clima parcialmente nublado para probar el prototipo bolsa solar y continuar con el proceso de secado del grano (ver imagen 76).



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 74 equipo en patio de secado CENIA

Realizando el monitoreo de las lecturas durante el proceso de secado, los sensores se removían parcialmente dentro de la ubicación estratégica de cada uno de ellos, cuando se realizaba el volteo y se volvían a colocar en su sitio (ver imagen 77), esto así lo quiso el encargado del proceso por parte del INTA, el Ing. Henry Pedroza.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 75 ubicación de sensores en proceso de secado

Se presenta el muestreo y registro de lectura de los datos obtenidos por sensores de humedad y temperatura relativas (ver imagen 78), para monitorear este proceso. Se tiene que buscar una temperatura uniforme en el secado, para que el despeje de partículas de agua en el grano y la velocidad de aire sea constante de 75% previamente programado las revoluciones del fan, debido que, si el cacao se seca demasiado rápido, el grano se deforma y toma un sabor amargo “se daña”. Para que el despeje de partículas sea uniforme, se determinó que la alarma sería de cada hora estipulada previamente, para realizar el volteo del grano en el proceso de secado.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

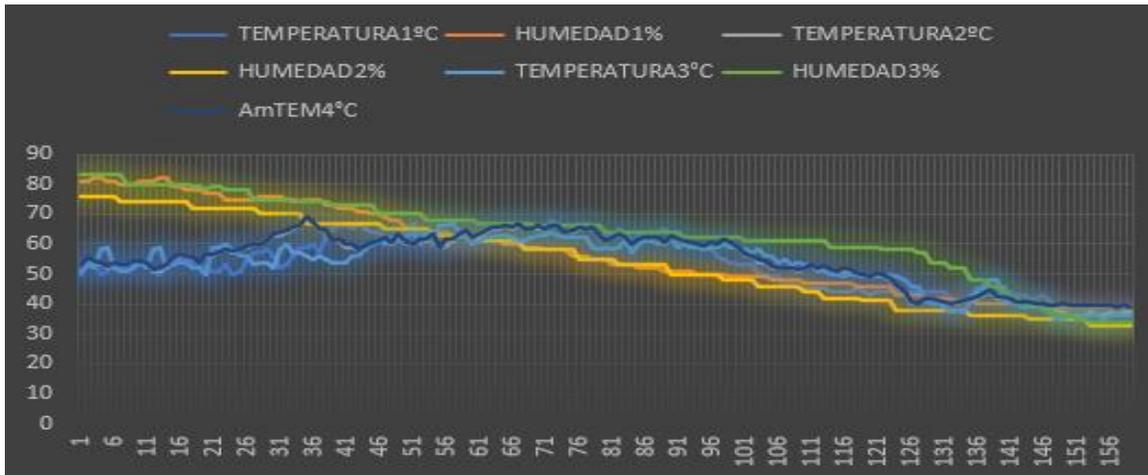


Imagen 76 registro de lecturas de sensores de humedad y temperaturas relativas

Dentro del proceso se recopiló datos en Memoria SDcard de la aproximación de valores a la humedad liberada y temperatura de secado por día en el cacao y se midió un valor inicial de humedad relativa en 80%, dadas las lecturas recopiladas por los sensores ubicados en puntos específicos, que monitorean el comportamiento y estudio del secado en la bolsa, las cuales se les facilitaría esas lecturas a los tesisistas de Ing. Química y el Ing. encargado del proyecto por parte del INTA. Esta evaluación consiste en observar y analizar el proceso de secado de las lecturas recopiladas, y así evaluar la efectividad de la bolsa en su proceso de secado.

El encargado del proyecto, el Ing. Pedroza nos afirmó que en la finca Tininiska, el proceso de secado se realiza mediante el tacto y de manera visual y debido a que el clima de la zona es bastante hostil para el secado, se realiza todo el proceso en 20 días o más.

Los días de pre-secado con el equipo se redujo un 20% de humedad aproximadamente, este valor se estimó por medio de la pérdida de masa de agua en el grano, del total de 100 libras iniciales, después del proceso previo al secado se pesó un total de 80 libras, tomando valores sin precedentes en este tipo de secado. El grano se guardó para el día siguiente para continuar el proceso.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

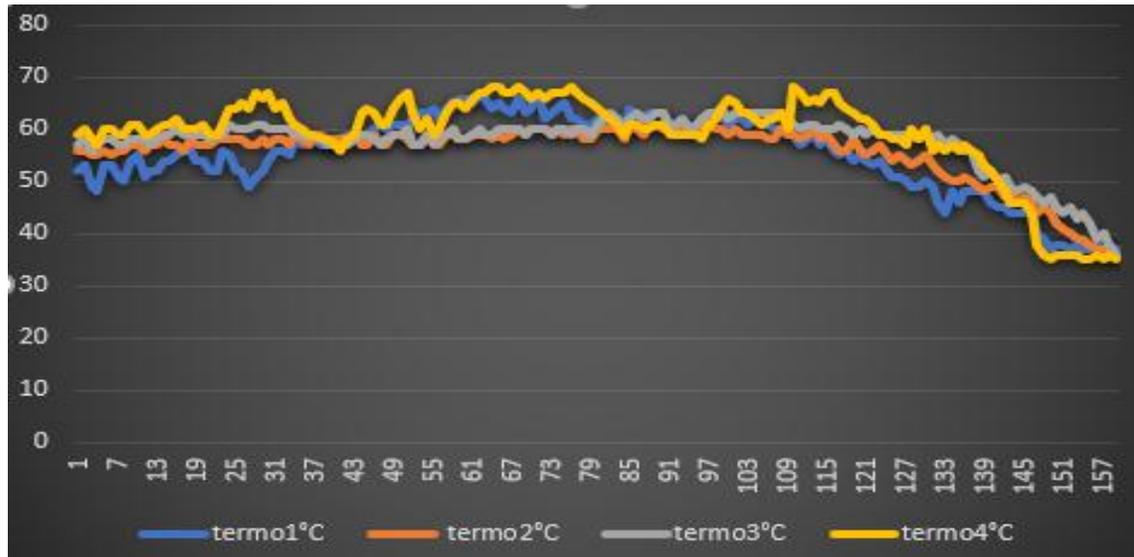


Imagen 77 lecturas recopiladas por termocuplas

Las condiciones de temperaturas son bastante importantes, así como un buen día soleado para que sea estable y descendente la disminución de agua interna del grano.

Las temperaturas medidas por las termocuplas (ver imagen 79) tiene que tratar de ser la adecuadas o bastante aceptable dentro del proceso, estas muestrean la temperatura que tenía el grano en determinado tiempo, así como se muestran en pantalla LCD (ver imagen 80), estos valores varían mucho respecto a las condiciones climáticas y posición geográfica en que se realiza el secado.



Imagen 78 muestra de lecturas de sensores en pantalla LCD



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Para las mediciones de humedad interna del grano se utilizó otro medidor especial para grano de cacao (ver imagen 81), al utilizar el equipo y determinar el valor preciso de la humedad interna se realizaba un procedimiento que consistió en tomar 3 muestras del grano y poner esa muestra dentro del equipo dedicado y así obtener una humedad exacta del grano, dado que los sensores que se utilizaron dentro del equipo solo mostrarían las humedades y temperaturas relativas del proceso de secado.



Imagen 79 muestreo de lecturas para mediciones de humedad interna

Revisión de cacao fermentado

Una vez que el cacao es cosechado y se somete a fermentación, el cual tiene una duración de 6 días continuos, se realizan pruebas de corte para determinar si el grano fue bien fermentado, estas pruebas consisten en sacar granos de puntos específicos (ver imagen 69). En la imagen 70 se observa la comparación de granos en las pruebas de corte para continuar con el proceso de buenas practica hacia el secado.



Imagen 80 Revisión de cacao Fermentado de Corte



Imagen 81 Revisión de Pruebas

Resumen del proceso

Los datos recopilados en el proceso de secado, así como humedad interna y pérdida de masa se presenta en una tabla resumen (ver tabla 22), dado que es un proceso delicado y de varios días, se muestran los datos más relevantes tras la culminación del proceso de secado. Esta muestra se pesó en una báscula en el laboratorio del CENIA y se midieron con los distintos equipos para tener una mejor precisión de valores (ver imagen 82), dado que el grano tiende a liberar agua interna en el proceso de reposo, donde se conserva la estructura fisiológica y uniforme del grano este se hincha para que no se deforme, de lo contrario si esto no lo realiza el grano, tiende a que se deforme y tome un sabor amargo desde el primer día consecuentemente el grano se echa a perder este proceso es observado mediante el tacto y visual y reflejamos con mediciones en la tabla 22 donde observamos que el grano al día siguiente amanecía un porcentaje(%) de humedad más elevado al que se guardó este reposo del grano se dejaba en bandejas de aluminio sin ningún tipo de humedad en ellas (ver imagen 83).

Autor: Saul Enrique Gonzales Gaitan

José Humberto Alejos Ñurinda



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Días de secado	Peso inicial en libras	Aproximación de Humedad Inicial	Aproximación de Humedad liberada	Peso final En libras	Aproximación de humedad final
Lunes	80	20%	4.3%	76	15.7%
Martes	76	17.7%	3.3%	72	14.4%
Miércoles	72	15.4%	2.9%	68	12.5%
Jueves	68	13.5%	2.4%	64	11.1%
Viernes	64	12.2%	2.7%	60	9.5%
Sábado	60	10.4%	2.2%	59	8.2%
Domingo	59	7.9%	1%	58	6.9%

Tabla 22 **Tabla 1 Datos del proceso de secado**



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua



Imagen 82 lectura final de humedad del grano



Imagen 83 Medidor de humedad sobre granos de cacao en bandejas

Autor: Saul Enrique Gonzales Gaitan

José Humberto Alejos Ñurinda



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Dentro de las observaciones del estudio de proceso de secado dentro de la bolsa el grano al inicio de la bolsa se notó que el grano se encontraba menos seco que al final, dado por el flujo de aire que circulaba en el punto final el cual tenía más calor ya que era de menor intensidad, así como el proceso de volteo uniforme sobre todo el grano hacía que la evaporación de agua se efectuara de mejor manera.

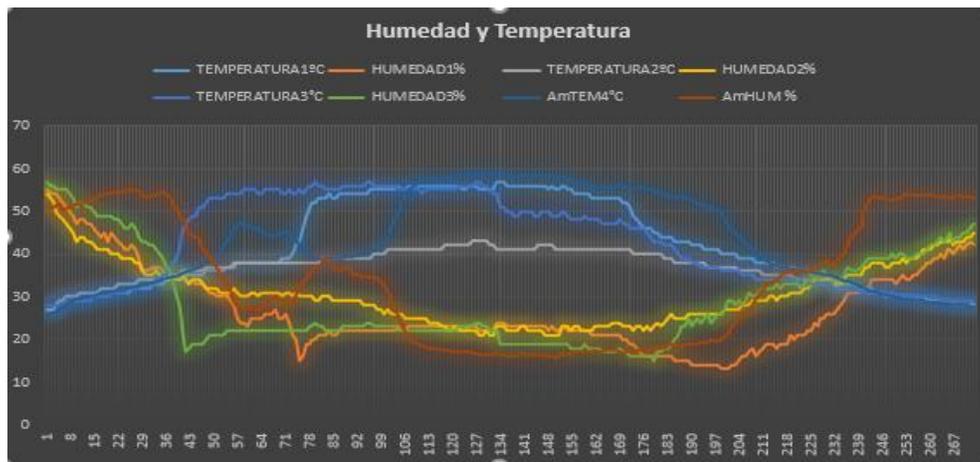


Imagen 84 muestra de mediciones relativas en el proceso de secado.

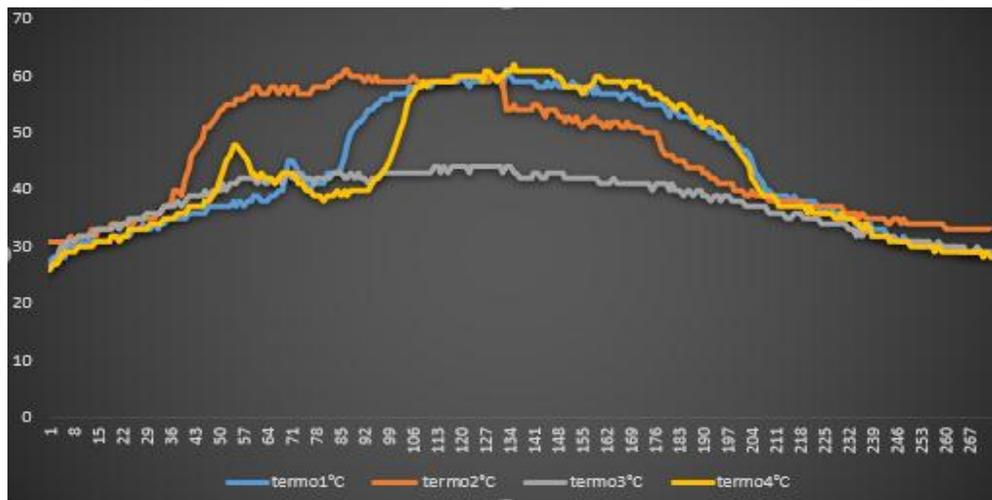


Imagen 85 mediciones realizadas por termocuplas

Se puede observar en la gráfica de la ilustración (ver imagen 84 y 85) los lapsos de tiempos de incidencia solar en la bolsa, así como nubes parciales dado que influyen en aumento de humedad relativa en el secado. Dentro de los parámetros



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

y valores que se muestrean de las lecturas de sensores en las gráficas, el clima es un factor externo sumamente relevante, así como puede ser parcialmente nublado o Con sol entre lapsos de tiempos, estas perturbaciones externas entran en el comportamiento aceptables para el secado.



Capítulo V Conclusiones Y Recomendaciones

Conclusiones

Al tomar como referencia de secado los parámetros técnicos referidos a la ICCO, se toma en cuenta el posicionamiento geográfico de la bolsa solar de secado ya que este tiene que estar orientado de ESTE a OESTE con respecto al sol, dado que a mayor intensidad solar dentro del proceso de secado mejor es la velocidad de evaporación de humedad por aire, ya que a medida que se elimina agua de los sólidos, el aire va aumentando el contenido de humedad, sin embargo, no es recomendable remover grandes cantidades de vapor de agua muy brusco, ya que el aire seco deshidrata la superficie de los granos de tal forma que expone a deformación del mismo.

En la práctica de secado solar en la bolsa para granos situadas en ambiente húmedo o extremos con lluvias es menos eficiente en remoción de humedad, en cambio, en ambiente con días soleados es definitivamente más eficiente, que el secado en ambiente húmedo. Para que el secador funcione mejor o sea aceptable el secado, se debe de activar la resistencia térmica previamente programada dado que al inyectar calor en un ambiente frío y húmedo es de vital importancia, así como orientar la entrada de aire en la dirección al viento de menos caudal dado que este afecta con la humedad externa.

Se puede concluir sobre la velocidad del aire y control de la resistencia térmica influyente en el proceso de secado, que la adquisición de parámetros para su control es relevante cuando no se tiene un estudio previo respecto al grano a secar, dado que existen parámetros definidos y estudios previos en el secado de cacao, se programó previamente con una velocidad de aire constante, que mantiene efectiva la transferencia de agua evaporada del grano y activación de la resistencia térmica para los niveles aceptables de temperatura.



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Por otra parte, dentro de las buenas prácticas en el proceso se determinó realizar el volteo en determinados lapsos de tiempo estipulado por la alarma previamente programada en las pruebas de secado. El volteo se debe realizar de manera constante sin importar los distintos climas o el caso extremo de que el equipo este bajo lluvia, con el objetivo de disminuir el tiempo de secado.

Los datos recopilados se facilitaron en formato TXT, al Ing. Pedroza encargado del proyecto por el INTA y a tesistas de ing. Química para evaluaciones de parámetros, así como las observaciones visuales y experiencia vividas en las pruebas de campo sobre la bolsa.

Se concluye sobre un buen proceso práctico adaptable a los distintos ecosistemas de secado, dado que el equipo no utiliza combustibles de efecto invernadero porque utiliza el aprovechamiento de la energía solar, mediante un sistema fotovoltaico para su funcionamiento, así como tratar de mejorar la calidad de secado ya que evita posibles contaminaciones de intemperie (heces de aves, polvo, insectos, plagas, etc.), se conserva la calidad natural del grano. Así como su fácil instalación comparado a otros secadores utilizados en la industria del secado de granos dado que es de materiales de muy buena resistencia a intemperie y no perjudica el ambiente a corto o mediano plazo por lo que su estructura es flexible, es fácil de trasladar debido a que es desarmable y su dimensionamiento le permite ser transportado en un vehículo (carreta, mula, caballo, camioneta) o por personas autónoma.



Recomendaciones

Una vez realizado el estudio y análisis del presente proyecto, se tiene información necesaria y suficientes pruebas de campo que permita dar las siguientes recomendaciones:

- El secador solar para funcionar correctamente debe ser colocado en un lugar idóneo que este no tenga sombra de árboles.
- Se recomienda tecnificar al productor u operador que estará a cargo del secado el uso del equipo para mantener las buenas prácticas del proceso.
- Algo relevante sobre el secado es: No poner a secar bajo lluvia intensa, ni tiempo lluvioso, porque estará introduciendo más humedad y las condiciones de secado no será adecuadas para cualquier tipo de grano.
- Para el estudio y comportamiento de la bolsa se recomendó la distribución de los sensores aproximadamente a 1.3MT. Si se llena la bolsa totalmente a su capacidad, caso contrario la distribución de los sensores irán parcialmente distribuido, haciendo censo de muestras puntuales y específicas donde se distribuyan los sensores.
- Si el cliente desea eliminar los sensores para estandarizar el equipo de secado, se recomienda aumentar la capacidad de panel solar y batería, dado que solo utilizaría el fan y la resistencia térmica para mantener los niveles de temperatura en el proceso de secado puesto que los nuevos valores ya tienen un precedente por el estudio previo de los datos obtenidos sobre la energía recibida o influyente en los climas extremos para un buen proceso de secado.



Bibliografía

- [1 Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria, «Cultivo del Cacao,» *Guía tecnológica del cultivo de cacao*, vol. 4, nº Edición nº4, p. 42, 2010.
- [2 asociación de productores y exportadores de nicaragua, «mas de 17 mil] productores de cacao,» blog APEN, managua, 2017.
- [3 F. O. I. d. cacao, El cacao, managua-nicaragua: revista el comercio exterior-] banco central de nicaragua, 26 de marzo de 2013.
- [4 FEDERACION DE COCOA COMERCE, «Cacao en Grano:,» de *Requisitos de] calidad del chocolate y del cacao*, Reino, CAOBISCO ECA FCC, September 2015, p. 110.
- [5 Ministerio Federal Alemán de Cooperación y Desarrollo (BMZ) en colaboración] con la Universidad de Hohenheim y GrainPro, Inc, «SOLAR BUBBLE DRYER,» de *Que es el SOLAR BUBBLE DRYER*, Alemania, 2016.
- [6 J. B. Magem, «Secador Solar de Cafe,» *Tecnología Sin Fronteras*, España,] 2016.
- [7 Roberto, «Como Funciona la Energia Solar Fotovoltaica,» *Twenergy /] Instalacionenergiasolar*, 2012.
- [8 H. O. B. Ballesteros, «Informacion Tecnica Sbre la RadiaciÓn Ultravioleta, EL] ÍNDICE UV Y SU PRONÓSTICO,» Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogota, 2010.
- [9 ECURED, «Ventilador Industrial,» *ECURED*, vol. 187476, nº 187 476, p. 12,] 2012.
- [1 Toldospozuelo, «Lona blanca o negra? Oscura o clara,»] <https://toldospozuelo.net/noticias/lona-blanca-o-negra-oscura-o-clara/gmx-niv94-con223.htm#:~:text=Cuanto%20m%C3%A1s%20oscura%20es%2C%20m%C3%A1s,el%2090%25%20de%20esa%20energ%C3%ADa.>, (Madrid) España, 2008.



Anexos

Código de Programación

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h> //para el modulo de la tarjeta SD
#include <SD.h> // para la tarjeta SD
//LCD
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // librería para LCD por I2C
LiquidCrystal_I2C lcd (0x3f, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7); // DIR, E, RW, RS, D4, D5, D6,
D7
#include <LCD.h> // Incluimos la librería para el uso del display
//RTC
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 rtc;
// sensor dht11 #1
//SENSORES DHT
#include "DHT.h"// importar la Librerías DHT
#include <DHT_U.h>
//float TEMP1;
//float HUM1;
int SENSOR1 = 27; // pin Dato de DHT11
DHT dht1 (SENSOR1, DHT11); // creación del objeto, cambiar segundo
parámetro
// Sensor dht11 #2
int SENSOR2 = 31; // pin Dato de DHT11
DHT dht2 (SENSOR2, DHT11); // creación del objeto, cambiar segundo
parámetro
// Sensor dht11 #3
int SENSOR3 = 39; // pin Dato en DHT11
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

DHT dht3 (SENSOR3, DHT11); // creación del objeto, cambiar segundo parámetro

```
//termocupla1
```

```
#include "max6675.h"
```

```
int so1Pin = 11;// SO=Serial Out
```

```
int cs1Pin = 12;// CS = chip select CS pin
```

```
int sck1Pin = 13;// SCK = Serial Clock pin
```

```
MAX6675 thermocouple1(sck1Pin, cs1Pin, so1Pin);
```

```
//termocupla2
```

```
int so2Pin = 3;// SO=Serial Out
```

```
int cs2Pin= 6;// CS = chip select CS pin
```

```
int sck2Pin = 10;// SCK = Serial Clock pin
```

```
MAX6675 thermocouple2(sck2Pin, cs2Pin, so2Pin);
```

```
//termocupla3
```

```
int so3Pin = 5;// SO=Serial Out
```

```
int cs3Pin = 7;// CS = chip select CS pin
```

```
int sck3Pin = 9;// SCK = Serial Clock pin
```

```
MAX6675 thermocouple3(sck3Pin, cs3Pin, so3Pin);
```

```
//termocupla4
```

```
int so4Pin = 45;// SO=Serial Out
```

```
int cs4Pin = 42;// CS = chip select CS pin
```

```
int sck4Pin = 40;// SCK = Serial Clock pin
```

```
MAX6675 thermocuple4(sck4Pin, cs4Pin, so4Pin);
```

```
//SENSOR UV SI1145
```

```
#include "Adafruit_SI1145.h"
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
Adafruit_SI1145 uv = Adafruit_SI1145();
```

```
////////////////////////////////////
```

```
//tiempo para lectura de SD
```

```
long periodo= 10000;
```

```
long intervaloff=100000;
```

```
long tiempoprevio=0;
```

```
unsigned long TiempoAhora=0;
```

```
////////////////////////////////////
```

```
const int chipSelect = 53;
```

```
File myFile; //creando el archivo del data
```

```
// entrada de ventilador pwm
```

```
int ventilador = 8;
```

```
//entrada de resistencia térmica
```

```
const int RestermPin= 24;
```

```
//contador del tiempo de la resistencia térmica
```

```
int cuenta2;
```

```
///cuenta para los milisegundos
```

```
extern volatile unsigned long timer0_millis;
```

```
//ingreso del sensores de sonda
```

```
#include "Adafruit_AM2315.h" //for AM2315
```

```
Adafruit_AM2315 am2315n1;
```

```
void setup() {
```

```
  lcd.begin (16,2); // Inicializar el display con 16 caracteres 2 lineas
```



```
lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE); // puerto P3 de PCF8574 como positivo
lcd.setBacklight(HIGH);
Wire.begin();
am2315n1.begin();
//sensores dht11
dht1.begin (); // inicialización de sensor1
dht2.begin (); // inicialización de sensor2
dht3.begin (); // inicialización de sensor2
```

//PINES DE INICIO

```
// pinMode(AlarmaPin,OUTPUT);//en este pin va la alarma
pinMode(RestermPin,OUTPUT);//en este pin va a la resistencia termica
pinMode(ventilador,OUTPUT);
//rtc.adjust (DateTime (__DATE__, __TIME__)); // función que permite
establecer fecha y horario
uv.begin();
Serial.begin(9600);
rtc.begin();

SD.begin(chipSelect);
//configuración de la tarjeta SD
//abriendo el archivo
myFile=SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);
// indicamos los encabezados de las columnas
myFile.println("FECHA, HORA, TEMPERATURA1°C, HUMEDAD1% ,
TEMPERATURA2°C, HUMEDAD2% , TEMPERATURA3°C, HUMEDAD3%,
AmTEM4°C, AmHUM % ,termo1°C , termo2°C ,termo3°C ,termo4°C ,UV_W/m-
2 ,Infrarroja m2/W ,LV W/m2");
myFile.close();
}
```



```
void sensores()
{
  //Leer temperatura.
  const int term1=thermocouple1.readCelsius();
  const int term2=thermocouple2.readCelsius();// primer posicion seccion A
  const int term3=thermocouple3.readCelsius();
  const int term4=thermocouple4.readCelsius();

  //seccion A
  //Datos de DHT11 en puerto serial y Display
  const int TEMP3 = dht3.readTemperature(); // obtención de valor de
  temperatura
  const int HUM3 = dht3.readHumidity(); // obtención de valor de humedad
  //////////////////////////////////////
  if (isnan(HUM3) || isnan(TEMP3)) {
    lcd.println("Failed DHT");
    return;
  }
  else{
    //cambiar a posición con termocupla
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);//posición de columna y fila
    lcd.print("TA:");// visualización de sección A //T7
    lcd.setCursor(3,0);//posición de fila y columna
    lcd.print(TEMP3);// variable que toma la lectura del sensor
    lcd.setCursor(5,0);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
    //ubicacion de variable de humedad
    lcd.setCursor(0,1);
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
lcd.print ("HA: ");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print(HUM3);
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("%");
}
//////////
//sensor uV
const int Vis = uv.readVisible();
Serial.print("Vis: "); Serial.println(uv.readVisible());

float IR = uv.readIR() ;
IR /= 105.5;
Serial.print("IR: "); Serial.println(IR);
// Uncomment if you have an IR LED attached to LED pin!
//Serial.print("Prox: "); Serial.println(uv.readProx());

float UVindex = uv.readUV();
// la variable index es multiplicado por 100 so to get the
// integer index, divide by 100!
UVindex /= 100.0;
Serial.print("UV: ");
Serial.println(UVindex);
//const int Uv =
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("UV:");// visualización en pantalla de lectura
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(UVindex);// variable que toma la lectura del sensor
//ubicación de variable de temperatura
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print ("TA: "); // visualizacion termocupla T2 seccion A
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(term2);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");
delay(3000);
//seccion visualizacion B
float temperature;
float humidity;
am2315n1.readTemperatureAndHumidity(&temperature, &humidity);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("TB°C: ");
lcd.setCursor(5,0);
lcd.print(temperature);
lcd.setCursor(0,1); //Posiciona la primera letra después del segmento 5 en
línea 1
lcd.print("HB%: ");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(humidity);

//lectura de la termocupla
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print ("TB: "); // visualización termocupla T4 seccion B
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print(term4);
lcd.setCursor(15, 1);
//lcd.print((char)223);
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
lcd.print("C");
//resistencia termica
if(term4>=17 & term4<=52)
{
    cuenta2=millis() / 1000;
    if(cuenta2<90) //(1min:11seg )en esta parte debes asignar el tiempo HIGH
que toma voltear el grano de Cacao, en este caso tiene cuando la cuenta sea
mayor a 30 y menor a 90
    digitalWrite( RestermPin,LOW);

    if(cuenta2>130){                //esto reinicia el contador en 130 segundos y
regresa a 0
        noInterrupts ();
        timer0_millis = 00;
        interrupts ();
    }
    if(cuenta2>40)    // (2min:22seg encendido)
    {
        digitalWrite( RestermPin, HIGH);
    }
    else if(term4>=50) {
        digitalWrite(RestermPin, LOW);
    }
}
delay(3000);
```

//seccion C

```
const int TEMP1 = dht1.readTemperature (); // obtención de valor de
temperatura
const int HUM1 = dht1.readHumidity (); // obtención de valor de humedad
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
////////////////////////////////////  
if (isnan(HUM1) || isnan(TEMP1)) {  
  lcd.println("Failed DHT");  
  return;  
}  
else{  
  //Datos de DHT11 en puerto serial y Display pin 27  
  Serial.print("Humidity: ");  
  Serial.print(HUM1);  
  Serial.print(" %");  
  Serial.print("Temperature: ");  
  Serial.print(TEMP1);  
  Serial.println(" *C ");  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("TC:");// visualización en pantalla de lectura mover a sección C  
  lcd.setCursor(3,0);  
  lcd.print(TEMP1);// variable que toma la lectura del sensor  
  lcd.setCursor(5,0);  
  lcd.print((char)223);  
  lcd.print("C");  
  //ubicacion de variable de humedad  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print ("HC: ");  
  lcd.setCursor(3,1);  
  lcd.print(HUM1);  
  lcd.setCursor(5,1);  
  lcd.print((char)223);  
  lcd.print("%");
```



//ubicacion de variable de temperatura

```
lcd.setCursor(8, 1);  
lcd.print ("TC: "); //visualización termocupla a seccion C  
lcd.setCursor(11, 1);  
lcd.print(term1);  
lcd.setCursor(14, 1);  
lcd.print((char)223);  
lcd.print("C");  
}  
delay(3000);
```

//seccion D

```
//Datos de DHT22 en puerto serial y Display pin 31  
const int TEMP2 = dht2.readTemperature(); // obtención de valor de temperatura  
const int HUM2 = dht2.readHumidity(); // obtención de valor de humedad
```

```
////////////////////////////////////
```

```
if (isnan(HUM2) || isnan(TEMP2)) {  
  lcd.println("Failed DHT");  
  return;  
}  
else{  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("TD: "); // visualización en pantalla de lectura  
  lcd.setCursor(3, 0);  
  lcd.print(TEMP2); // variable que toma la lectura del sensor  
  lcd.setCursor(5, 0);  
  lcd.print((char)223);  
  lcd.print("C");
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
//ubicacion de variable de humedad
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print ("HD: ");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print(HUM2);
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("%");

//ubicacion de variable de temperatura
lcd.setCursor(8, 1);
lcd.print ("TD:");//visualización termocupla T3 a sección D
lcd.setCursor(11, 1);
lcd.print(term3);
lcd.setCursor(14, 1);
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");

// control de rpm conforme a temperatura
if(term3 <=20 ) { analogWrite(ventilador,191); //65% 170 digitalWrite If the
temperature less than 25
  //delay(100);
}
else if(term3 >=21 && term3<52) {
  analogWrite(ventilador, 191); //191 75% of maximum duty cycle value
(255).
  //delay(100);//
}
else if(term3>=53) { // If the temperature is above 35
analogWrite(ventilador, 191); // 100% duty cycle
}
}
```



```
delay(3000);  
// REVISAMOS SI LOS VALORES SON VALIDOS  
if (isnan(term1) || isnan(term2)) {  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Failed");  
    return;  
}  
else {  
    DateTime now = rtc.now();  
    TiempoAhora=millis();  
    if(TiempoAhora-tiempoprevio>intervaloff){  
        tiempoprevio=TiempoAhora;  
// DateTime now = rtc.now();  
//hora=(now.hour(),DEC);  
// minutos=(now.minute(),DEC);  
//segundos=(now.second(),DEC);  
Serial.print(now.year(), DEC);  
Serial.print('/');  
Serial.print(now.month(), DEC);  
Serial.print('/');  
Serial.print(now.day(), DEC);  
Serial.print(' ');  
Serial.print(now.hour(), DEC);  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.minute(), DEC);  
Serial.print(':');  
Serial.print(now.second(), DEC);  
Serial.print(' ');  
myFile = SD.open("DATA.txt", FILE_WRITE);  
//myFile.println(' ');
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

```
myFile.print(now.year(), DEC);
  myFile.print('/');
myFile.print(now.month(), DEC);
  myFile.print('/');
myFile.print(now.day(), DEC);
  myFile.print(',');
myFile.print(now.hour(), DEC);
  myFile.print(':');
myFile.print(now.minute(), DEC);
  myFile.print(':');
myFile.print(now.second(), DEC);
  myFile.print(",");
  myFile.print(TEMP1);
  myFile.print(",");
  myFile.print(HUM1);
  myFile.print(",");
myFile.print(TEMP2);
  myFile.print(",");
  myFile.print(HUM2);
myFile.print(",");
myFile.print(TEMP3);
  myFile.print(",");
  myFile.print(HUM3);
myFile.print(",");
myFile.print(temperature);
  myFile.print(",");
  myFile.print(humidity);
myFile.print(",");
  myFile.print(term1);
  myFile.print(",");
```



```
    myFile.print(term2);
myFile.print(",");
myFile.print(term3);
    myFile.print(",");
myFile.print(term4);
myFile.print(",");
    myFile.print(UVindex);
myFile.print(",");
myFile.print(IR);
    myFile.print(",");
myFile.print(Vis);
    myFile.print(",");
myFile.println(" ");
    myFile.close();
//}
}
}
}
void loop() {
    // repeticion de lecturas de variables y sensores
sensores();
delay(500);
}
```



Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua

Costo de equipos Electrónicos y Eléctricos

 ELECTRONICA DE NICARAGUA		Puente El Paraisito 1 c. al Sur, 1/2 c. al Oeste. Casa 2A23. Bo. San Cristobal. Managua, Nicaragua. Tel: +505 2252 8742 - 8143 8453 (Movistar - WhatsApp) eMail: ventas@electronicanicaragua.com https://electronicanicaragua.com/				
Componentes Electrónicos y mas... RUC No.: 001241070029L		COTIZACIÓN				
Atendiendo a su solicitud, a continuación me es grato presentarles cotización para los siguiente productos:						
Cotización # : C0000152 Fecha : 21 de Febrero de 2020 Compañía : Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) Atención : Ing. Carlos Ortega Ciudad : Managua	Teléfono : (505) 8388 3686 eMail : Ref. Compra del Cliente :					
Item	Cantidad	Código	Descripción	Unid. Med.	Precio Unitario	Precio Sub Total
1	2	SI1145	SI1145 Digital UV Index /IR / Visible Light Sensor	Unidad	C\$ 1,353.20	C\$2,706.40
2	4	AM2315	AM2315 - Encased I2C Temperature/Humidity Sensor	Unidad	C\$ 2,450.00	C\$9,800.00
3	1	DS3231	DS3231 Real Time Clock Breakout Board	Unidad	C\$ 145.00	C\$145.00
4	1	AD16-22 SM	Alarma Sonora de 80dB con indicador de luz	Unidad	C\$ 119.00	C\$119.00
5	1	ARD-MEGA-KIT	Arduino Mega Kit	Unidad	C\$ 4,029.00	C\$4,029.00
6	4	MAX9675-K-KIT	Temperar Tipo K con módulo MAX9675 incluido	Unidad	C\$ 313.14	C\$1,252.56
7	1	ARD-RELE4CS VDCAZUL-MOD	Modulo Rele 5VDC 4 Canales con Optoacopladores PCB Azul	Unidad	C\$ 195.00	C\$195.00
8	1	MG-590-S21	Tarjetas PCB de fibra de vidrio FR4 304 mm X 304 mm 1/16"	Unidad	C\$ 1,224.00	C\$1,224.00
9	1	ACIDO-NITRICO-4L	Solución de Ácido Nítrico	litro	C\$ 190.40	C\$190.40
10	1	RES-TERMICA	Resistencia Termica DC 12V	Unidad	C\$ 510.00	C\$510.00
11	6	IRF1404	IRF Mosfet P-N-CH 40V 2.02A 333W TO220	Unidad	C\$ 58.48	C\$350.88
12	2	LM311N	IC VOLTAGE COMPARATOR B-DIP	Unidad	C\$ 18.70	C\$37.40
13	3	2N2222A	Transistor NPN 50V 0.8A 0.5W TO-92	Unidad	C\$6.95	C\$20.85
14	4	4N35	IC Optoacoplador DP-6	Unidad	C\$ 16.50	C\$66.00
15	2	LM7805CT	IC Reg. Voltaje +5V 1A TO-220AB	Unidad	C\$ 15.00	C\$30.00
16	10	RL1/4WAX	Resistencias 1/4 W	Unidad	C\$2.75	C\$27.50
17	5	CAP CER 33MFS 0V	Capacitores Ceramica 33nf 50V	Unidad	C\$7.50	C\$37.50
18	5	CAP ER2 2UF50V85C	Capacitores Electrolytica 22uf 50V	Unidad	C\$7.50	C\$37.50
19	2	MBR1600CT	Diado Schottky Barrier 60V 16A (2X8A) Catodo Comun TO-220AB	Unidad	C\$ 67.50	C\$135.00
20	1	ARD SH DRELE5VDC	Modulo Rele Arduino 5V	Unidad	C\$ 95.00	C\$95.00
21	1	CAJUE X310 X04 0X12 4MM	Caja Plexo Plac 310x240x124mm	Unidad	C\$ 1,360.00	C\$1,360.00
22	1	FAN12V60 W60 3M	Fan 12V 60Watts	Unidad	C\$ 5,712.00	C\$5,712.00
23	1	EST60A08B	Rolla de Estañol 60/80 1/2lb	Unidad	C\$ 685.00	C\$685.00
24	1	EGL150W	Modulo Solar EGE 150W	Unidad	C\$ 4,985.00	C\$4,985.00
25	1	LS1024E U10A	Controlador de Carga LS1024EU 10A, 12/24VDC con puerto USB	Unidad	C\$ 985.00	C\$985.00
26	1	DC12150	Batería Rtar DC12150 12VDC 150 Ah	Unidad	C\$ 13,020.30	C\$13,020.30
27	1	BCL1	Cable BCL 1/0	Unidad	C\$ 340.00	C\$340.00
28	1	MCA	MCA macho	Unidad	C\$ 238.00	C\$238.00
29	30	CED CAWG22ROJO	Cable Electronica Calibre AWG 22 Color Rojo	metros	C\$5.50	C\$165.00
30	30	CED CAWG22NEGRO	Cable Electronica Calibre AWG 22 Color Negro	metros	C\$5.50	C\$165.00
31	30	CED CAWG22NARANJA	Cable Electronica Calibre AWG 22 Color Naranja	metros	C\$5.50	C\$165.00
32	30	CED CAWG22BLANCO	Cable Electronica Calibre AWG 22 Color Blanco	metros	C\$5.50	C\$165.00
33	1	ESTALUM70X40X30CM	Estructura de aluminio 70cm*40cm*30cm	Unidad	C\$ 3,187.50	C\$3,187.50
Valor en Letras: Cincuenta y Dos Mil Ciento Ochenta y Un Cordobas con 79/100					SUBTOTAL CS	C\$52,181.79
					IVA (15%) CS	CS 0.00
					GRAN TOTAL CS	C\$ 52,181.79
NOTA: Para ver las especificaciones técnicas de los equipos ofrecidos, ver las fichas técnicas adjuntas.						
Condiciones Comerciales : Precios : En Cordobas Forma de Pago : 100% al Ordenar Tiempo de Entrega : 5 - 6 Semanas Sitio de Entrega : Managua, Nicaragua. Validez de la Oferta : 15 Días Garantía : 1 Año para Batería y Controlador de Carga. No aplica a componentes electrónicos.						
Esperando nuestra oferta sea de su agrado, quedamos a la espera de sus noticias.						
Atentamente,						
 Rafael Malepín Asesor Técnico Comercial						
- CUOTA FIJA -						
EFICIENCIA ENERGÉTICA - ILUMINACIÓN ESPECIALIZADA - COMPONENTES ELECTRÓNICOS ENERGÍAS ALTERNATIVAS - TELECOMUNICACIONES - PROYECTOS ELÉCTRICOS - ELECTRONICA EDUCATIVA						



Costo de la bolsa Solar

FORMULARION DE PRESENTACIÓN COTIZACIÓN DE PRECIOS PARA ADQUISICIÓN DE BIENES

Contratación Menor No CM37-2020. “Material de construcción de bolsa para secado grano”

A: Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.

De: Moda y Estilo Ordóñez

Fecha: 08 de abril del 2020.

Yo **Claudia Victoria Ordóñez Lazo**, en mi carácter personal me comprometo a cumplir con el objetivo de esta contratación, de conformidad con las especificaciones técnicas y generales señaladas en la solicitud con fecha 03 de abril del 2020; las que declaro conocer y aceptar en todas sus partes.

Ofrezco los bienes solicitados a un precio total de C\$ 12,000 córdobas, dentro del cual está incluido:
a) Bolsa plástica de invernadero para secador solar de cacao: -Medidas de 5mtrs largo x 2.6 mtrs de ancho funcional. Plástico UV 50% color blanco; Carpa lona vinil impermeable reforzada con fibra de poliéster y con recubierta PVC **Maletín para transportarla.**

Esta cotización es válida por: **30 días calendarios.**

La forma de pago ofertada es: **30 días después de la entrega a conformidad.**

El tiempo de entrega ofertado es: **5 días hábiles.**

El lugar de entrega ofertada es: **Bodegas del INTA central, frente a la estación V de la policía, colonia Centro América.**

Adjunto a esta cotización, detalle que contiene características de los bienes, servicios, plazo de entrega y cantidades.

Nombre: **Claudia Victoria Ordóñez Lazo**

Dirección: **De los semáforos de donde fue ENEL central 280 mtrs. Sur.**

Teléfono: **2278-6079 / 8992-2512**

Fax:

E-Mail: claudiaovl@yahoo.com

Claudia Victoria Ordóñez Lazo

Firma del representante o persona natura



ANEXO

Declaración de Idoneidad

Contratación Menor No. CM37-2020. "Material de construcción de bolsa para secado de grano".

Yo, Claudia Victoria Ordoñez Lazo, Representante Legal, declaro que a la fecha de presentación de esta oferta no estoy afecto a impedimento alguno para participar en el procedimiento de contratación ni para contratar con el Estado, de conformidad a lo dispuesto en el artículo 17 y 18 de la Ley No.737; que conozco, acepto y me comprometo a los requerimientos de la Solicitud de Compra enviada por: INSTITUTO NICARAGUENSE DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA (INTA), que soy responsable de la veracidad de los documentos e información que se presenta para efectos del procedimiento de selección y que conozco las sanciones contenidas en la Ley No.737

Fecha del 08 abril de 2020.

Firmada:

Nombre del representante Legal:



Participación en Feria Agro innovación.





Sistema de Control Electrónico en un Secador Solar de Cacao para Pequeños y Medianos Productores de Nicaragua