

ENFOQUES MULTIDISCIPLINARIOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y AGROINDUSTRIAL EN LOS CIRCUITOS DE PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

COORDINADORES

EDUARDO GAMERO INDA, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, RUBÉN GUERRERO RIVERA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA, GRACE ERANDY BÁEZ HERNÁNDEZ, GREGORIO POLLORENA LÓPEZ, ADALID GRACIANO OBESO, VIRIDIANA HUMARÁN SARMIENTO, JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ÁLVAREZ, DARÍO CISNEROS ARREOLA, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, EDGAR GUSTAVO LÓPEZ SAUT, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, LILIA ANTONIETA SALAZAR CADENGO.

ISBN: 978-607-59655-4-3



9 786075 965543



DURANGO
GOBIERNO DEL ESTADO

SEDECO

SECRETARÍA DE DESARROLLO ECONÓMICO



Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Durango



75
Aniversario



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



ENFOQUES MULTIDISCIPLINARIOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y AGROINDUSTRIAL EN LOS CIRCUITOS DE PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

COORDINADORES

EDUARDO GAMERO INDA, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, RUBÉN GUERRERO RIVERA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA, GRACE ERANDY BÁEZ HERNÁNDEZ, GREGORIO POLLORENA LÓPEZ, ADALID GRACIANO OBESO, VIRIDIANA HUMARÁN SARMIENTO, JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ÁLVAREZ, DARÍO CISNEROS ARREOLA, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, EDGAR GUSTAVO LÓPEZ SAUT, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, LILIA ANTONIETA SALAZAR CADENGO

AUTORES

ALBERTO BRAVO ALCARAZ, ALICIA RODRÍGUEZ PULIDO, ANA MARÍA BAILÓN SALAS, ÁNGEL ITZCÓATL HUIZAR BRETADO, AURELIO CASTILLO LIÑÁN, CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA, DARÍO CISNEROS ARREOLA, DAVID ORLANDO ROMERO SOTO, EDILBERTO ESCALERA GALVÁN, EDUARDO GAMERO INDA, FELIX ACOSTA HERNÁNDEZ, FRANCISCO ESTRADA GARCÍA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, ISAAC OMAR REYES LARA, IVÁN GONZÁLEZ LAZALDE, JESÚS ADRIÁN RODRÍGUEZ GURROLA, JESÚS ANTONIO FLORES SOTO, JESÚS AURELIO MELÉNDREZ ROJAS, JESÚS EBER GUTIÉRREZ LÓPEZ, JESÚS EMMANUEL MORENO ROCHA, JOSÉ ALBERTO GÓMEZ ELIZALDE, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA, JUAN CARLOS VELÁZQUEZ CHÁVEZ, JUAN HÉCTOR ALZATE ESPINOZA, JUAN MANUEL HIDALGO MARTÍNEZ, JULIO CÉSAR ÁLVAREZ CHARQUEÑO, KARINA MONTSERRAT PARDO RICALDAY, LILIAN GISEL CONTRERAS MORALES, LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GONZÁLEZ, MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN, MARÍA QUETZALCIHUATL GALVÁN ISMAEL, MARIBEL MADRID DEL PALACIO, MAURICIO BOTELLO ORTÍZ, MAYELA DEL RAYO LECHUGA NEVÁREZ, MERIT CISNEROS GONZÁLEZ, MIGUEL JAIME DÍAZ CAMPILLO, NOEL AGUIRRE CHÁVEZ, NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA, OMAR ANTONIO GÓMEZ ARREOLA, OMAR FABIAN RIVERA CENICEROS, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, PATRICIA AYALA VERDÍN, RAÚL ANTONIO ALVARADO ARROYO, RAÚL LOREDO MEDINA, RAÚL MORALES RODRÍGUEZ, REBECA GUERRERO RODRÍGUEZ, RENÉE LILIBETH YÉPEZ MARTÍNEZ, ROBERTO IVÁN HERRERA CUMPLIDO, RUBÉN GUERRERO RIVERA, YOLOCUAUHTLI SALAZAR MUÑOZ



DURANGO
GOBIERNO DEL ESTADO

SEDECO

SECRETARÍA DE DESARROLLO ECONÓMICO



Consejo de Ciencia
y Tecnología del Estado
de Durango



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Xalapa, Veracruz. México a 25 de mayo de 2023

DICTAMEN EDITORIAL

La presente obra fue arbitrada y dictaminada en dos procesos; el primero, fue realizado por el COMITÉ EDITORIAL RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. con sede en México; que sometió a los capítulos incluidos en la obra a un proceso de dictaminación a doble ciego para constatar de forma exhaustiva la temática, pertinencia y calidad de los textos en relación a los fines y criterios académicos de la misma, cumpliendo así con la primera etapa del proceso editorial. El segundo proceso de dictaminación estuvo a cargo del COMITÉ CIENTÍFICO RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. Y EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO; donde se seleccionaron expertos en el tema para la evaluación de los capítulos de la obra y se procedió con el sistema de dictaminación a doble ciego. Cabe señalar que previo al envío a los dictaminadores, todo trabajo fue sometido a una prueba de detección de plagio. Una vez concluido el arbitraje de forma ética y responsable y por acuerdo del Comité Editorial y Científico, se dictamina que la obra **"Enfoques multidisciplinares de la innovación tecnológica y agroindustrial en los circuitos de producción, distribución y consumo"** cumple con la relevancia y originalidad temática, la contribución teórica y aportación científica, rigurosidad y calidad metodológica, actualidad de las fuentes que emplea, redacción, ortografía y calidad expositiva.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez

Director Editorial

Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-59655)

Dublín 34, Residencial Monte Magno

C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.

Cel 2282386072



ISBN: 978-607-59655-4-3



Xalapa, Veracruz. México a 05 de junio de 2023

CERTIFICACIÓN EDITORIAL

RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI) con sello editorial N° 978-607-59655 otorgado por la Agencia Mexicana de ISBN, hace constar que el libro "Enfoques multidisciplinares de la innovación tecnológica y agroindustrial en los circuitos de producción, distribución y consumo" registrado con el ISBN 978-607-59655-4-3 fue publicado por nuestro sello editorial con fecha de aparición del 5 de junio de 2023 cumpliendo con todos los requisitos de calidad científica y normalización que exige nuestra política editorial.

Fue evaluado por pares académicos externos y aprobado los Comités Editorial y Científico de la RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. y del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO.

Todos los soportes concernientes a los procesos editoriales y de evaluación se encuentran bajo el poder y disponibles en Editorial RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. (REDIBAI), los cuales están a disposición de la comunidad académica interna y externa en el momento que se requieran. La normativa editorial y repositorio se encuentran disponibles en la página <http://www.redibai-myd.org>

Doy fe.

Dr. Daniel Armando Olivera Gómez

Director Editorial

Sello Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-59655)

Dublín 34, Residencial Monte Magno

C.P. 91190. Xalapa, Veracruz, México.

Cel 2282386072



ISBN: 978-607-59655-4-3



ENFOQUES MULTIDISCIPLINARIOS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA Y AGROINDUSTRIAL EN LOS CIRCUITOS DE PRODUCCIÓN, DISTRIBUCIÓN Y CONSUMO

COORDINADORES

EDUARDO GAMERO INDA, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, RUBÉN GUERRERO RIVERA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA, GRACE ERANDY BÁEZ HERNÁNDEZ, GREGORIO POLLORENA LÓPEZ, ADALID GRACIANO OBESO, VIRIDIANA HUMARÁN SARMIENTO, JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ ÁLVAREZ, DARÍO CISNEROS ARREOLA, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, EDGAR GUSTAVO LÓPEZ SAUT, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, LILIA ANTONIETA SALAZAR CADENGO

AUTORES

ALBERTO BRAVO ALCARAZ, ALICIA RODRÍGUEZ PULIDO, ANA MARÍA BAILÓN SALAS, ÁNGEL ITZCÓATL HUIZAR BRETADO, AURELIO CASTILLO LIÑÁN, CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA, DARÍO CISNEROS ARREOLA, DAVID ORLANDO ROMERO SOTO, EDILBERTO ESCALERA GALVÁN, EDUARDO GAMERO INDA, FELIX ACOSTA HERNÁNDEZ, FRANCISCO ESTRADA GARCÍA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, ISAAC OMAR REYES LARA, IVÁN GONZÁLEZ LAZALDE, JESÚS ADRIÁN RODRÍGUEZ GURROLA, JESÚS ANTONIO FLORES SOTO, JESÚS AURELIO MELÉNDREZ ROJAS, JESÚS EBER GUTIÉRREZ LÓPEZ, JESÚS EMMANUEL MORENO ROCHA, JOSÉ ALBERTO GÓMEZ ELIZALDE, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA, JUAN CARLOS VELÁZQUEZ CHÁVEZ, JUAN HÉCTOR ALZATE ESPINOZA, JUAN MANUEL HIDALGO MARTÍNEZ, JULIO CÉSAR ÁLVAREZ CHARQUEÑO, KARINA MONTSERRAT PARDO RICALDAY, LILIAN GISEL CONTRERAS MORALES, LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GONZÁLEZ, MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN, MARÍA QUETZALCIHUATL GALVÁN ISMAEL, MARIBEL MADRID DEL PALACIO, MAURICIO BOTELLO ORTÍZ, MAYELA DEL RAYO LECHUGA NEVÁREZ, MERIT CISNEROS GONZÁLEZ, MIGUEL JAIME DÍAZ CAMPILLO, NOEL AGUIRRE CHÁVEZ, NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA, OMAR ANTONIO GÓMEZ ARREOLA, OMAR FABIAN RIVERA CENICEROS, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, PATRICIA AYALA VERDÍN, RAÚL ANTONIO ALVARADO ARROYO, RAÚL LOREDO MEDINA, RAÚL MORALES RODRÍGUEZ, REBECA GUERRERO RODRÍGUEZ, RENÉE LILIBETH YÉPEZ MARTÍNEZ, ROBERTO IVÁN HERRERA CUMPLIDO, RUBÉN GUERRERO RIVERA, YOLOCUAUHTLI SALAZAR MUÑOZ

EDITORIAL

©RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C. 2023



EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C.
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

ISBN: 978-607-59655-4-3



Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-59655)
Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.
No. de ejemplares: 2
Presentación en medio electrónico digital
Formato PDF 15 MB
Fecha de aparición 05/06/2023
ISBN 978-607-59655-4-3

ÍNDICE

AGUAS RESIDUALES y LA PRESENCIA DEL COVID 19

LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ, MARIBEL MADRID DEL PALACIO, ANA MARÍA BAILÓN SALAS

1

ANÁLISIS TÉRMICO MEDIANTE DINÁMICA DE FLUJO COMPUTACIONAL DE UNA INCUBADORA DE HUEVO

KARINA MONTSERRAT PARDO RICALDAY, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, EDUARDO GAMERO INDA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA

13

ANÁLISIS ESTÁTICO DE ESTRUCTURA PARA INVERNADERO POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO

JESUS ANTONIO FLORES SOTO, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, EDUARDO GAMERO INDA

29

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS CRIÓGENICAS USANDO UN SENSOR RTD

JUAN CARLOS VELÁZQUEZ CHÁVEZ, EDUARDO GAMERO INDA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA

47

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO INTEGRADO PARA MEDICIÓN DE pH, TEMPERATURA Y HUMEDAD EN MICROSILOS DE MAÍZ

MERIT CISNEROS GONZÁLEZ, DAVID ORANDO ROMERO SOTO, DARÍO CISNEROS ARREOLA, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO, MIGUEL JAIME DÍAZ CAMPILLO

60

IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE MOSQUITA BLANCA EN PLANTAS DE PEPINO POR MEDIO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

NOEL AGUIRRE CHÁVEZ, NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA, RUBÉN GUERRERO RIVERA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA

73

SISTEMA DE RECICLAJE PFAND PARA EL MUNICIPIO DE MINATITLÁN, VERACRUZ

RENÉE LILIBETH YÉPEZ MARTÍNEZ

89

IDENTIFICACIÓN DE CENICILLA EN PLANTAS DE TOMATE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

JESÚS EMMANUEL MORENO ROCHA, RUBÉN GUERRERO RIVERA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA

109

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ÁREA DE CAPACITACIÓN PARA LA EMPRESA CSC CAPACITACIONMEXICO

LILIAN GISEL CONTRERAS MORALES

121

EVALUACIÓN TERMODINÁMICA PARA UN SISTEMA DE CONSERVACIÓN DE PAJILLAS CON SEMEN DE GANADO BOVINO

ROBERTO IVÁN HERRERA CUMPLIDO, EDILBERTO ESCALERA GALVÁN, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ

GARCÍA

140

DETECCIÓN DE ESPERMATOZOIDES DE GANADO VACUNO, POR MEDIO DE MÉTODOS CLÁSICOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

ÁNGEL ITZCÓATL HUIZAR BRETADO, RUBÉN GUERRERO RIVERA, NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA,

EDUARDO GAMERO INDA

157

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA TOSTADORA DE SEMILLAS EN PROCESO CONTINUO: EFICIENCIA ENERGÉTICA Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE GAS LP

FRANCISCO ESTRADA MARTÍNEZ, MAURICIO BOTELLO ORTÍZ, FRANCISCO JAVIER GUERRERO HARO

169

RED MÓVIL DE MONITOREO CLIMÁTICO BASADA EN ARDUINO

CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA, FELIX ACOSTA HERNÁNDEZ, OMAR FABIAN RIVERA CENICEROS

183

NANOSENSOR DE DEFORMACIÓN PARA EL MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS

JOSÉ ALBERTO GOMEZ ELIZALDE, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA, JOSUÉ ORTIZ MEDINA

195

INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN SECADOR SOLAR DIRECTO CON CONVECCIÓN FORZADA

JESUS ADRIAN RODRIGUEZ GURROLA, AURELIO CASTILLO LIÑÁN, YOLOCUAUHTLI SALAZAR MUÑOZ

212

ANÁLISIS CRONOLÓGICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA MEDIANTE IMÁGENES PARA DETERMINAR LA MADUREZ FISIOLÓGICA

PATRICIA AYALA VERDÍN, RUBÉN GUERRERO RIVERA, OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA, AURELIO

CATILLO LIÑÁN

227

INSTRUMENTACIÓN DE UN DESTILADOR PARA LA TRATA DE RESIDUOS DE BAGAZO DE MEZCAL PARA GENERAR BIOCOMBUSTIBLES COMO MANERA DE COMBATIR LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS

OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS, JUAN MANUEL HIDALGO MARTÍNEZ, LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ

239

DETECCIÓN DE AFECTACIONES EN CULTIVOS DE MAÍZ UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS, CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA, JULIO CÉSAR ÁLVAREZ CHARQUEÑO
259

ESTUDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD Y GRADOS BRIX EN MIEL DE ABEJA DEL NORTE DEL PAÍS Y MIEL DE ABEJA DEL SUR DEL PAÍS

RAÚL ANTONIO ALVARADO ARROYO, ALICIA RODRÍGUEZ PULIDO, MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN
277

AUTOMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE PARÁMETROS A TRAVÉS DE UN DASHBOARD DIGITAL: CASO INVERNADERO INTELIGENTE

RAÚL LOREDO MEDINA, JESÚS AURELIO MELÉNDREZ ROJAS, JUAN HÉCTOR ALZATE ESPINOZA
292

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (TIC) Y EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT/CLOUD) PARA EL FORTALECIMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO DEL MUNICIPIO DE DURANGO, A TRAVÉS DE PROYECTOS INTEGRADORES DE LA UTD

OMAR ANTONIO GÓMEZ ARREOLA, ISAAC OMAR REYES LARA, REBECA GUERRERO RODRÍGUEZ, ALBERTO BRAVO ALCARAZ
301

CADENA DE VALOR AGRÍCOLA EN LAS LOCALIDADES RURALES DE LA REGIÓN DE LOS LLANOS

JESUS EBER GUTIÉRREZ LÓPEZ, IVÁN GONZÁLEZ LAZALDE, MARÍA QUETZALCIHUATL GALVÁN ISMAEL, MAYELA DEL RAYO LECHUGA NEVÁREZ
312

SISTEMA ELÉCTRICO ESTIMULADO POR VIBRACIÓN PARA ESTUDIO FISIOLÓGICO DE ÁRBOL DE MANZANO

MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GONZÁLEZ, JOSUE ORTÍZ MEDINA, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
333

OBTENCIÓN DE CELULOSA EN PORCENTAJE ACEPTADO PARA LA GENERACIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO A BASE DE NOPAL DE CASTILLA (OPUNTIA FICUS-INDICA).

MAURICIO BOTELLO ORTIZ, RAÚL MORALES RODRÍGUEZ, JESÚS ALONSO GÁNDARA MIRELES
349

AGUAS RESIDUALES y LA PRESENCIA DEL COVID 19

LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ¹, MARIBEL MADRID DEL PALACIO², ANA MARÍA BAILÓN SALAS³

RESUMEN

El brote de la enfermedad respiratoria, conocida como COVID-19, continúa propagándose por todo el mundo. El acceso al agua se ha convertido en un objetivo importante y del mismo modo, el acceso al saneamiento seguro, clave en el plan de respuesta de COVID- 19. El Covid-19 se excreta a través de las heces humanas, y aunque se desconoce si es viable o activo en las aguas residuales, cuando la pared celular del microorganismo se abre, suelta material genético que prevalece en las aguas, lo cual, se puede cuantificar. Eso sí, no todas las personas que tienen covid-19 excretan partículas detectables de coronavirus en sus heces. Lo hace el 40 % aproximadamente. Finalmente, la posibilidad de que las aguas residuales tratadas o principalmente “sin tratar” que se derivan a ríos y lagos, o incluso a la agricultura, puedan convertirse en una fuente de contagio de la covid- 19, todavía no está clara, aunque es importante llevar a cabo un monitoreo constante. Este debe ser el momento adecuado participando en acciones catalizadoras para hacer posible el acceso universal al agua potable y al saneamiento con un tratamiento más inteligente y ecológico de los desechos y aguas residuales.

Palabras clave: Covid-19, agua residual, persistencia.

ABSTRACT

The outbreak of respiratory disease, known as COVID-19, continues to spread around the world. Access to water has become an important target and likewise, access to safe sanitation, key to the COVID-19 response plan. Covid-19 is excreted through human feces, and although it is unknown whether it is viable or active in wastewater, when the cell wall of the microorganism is broken open, it releases genetic material that is prevalent in water, which can be quantified. However, not all

¹ Universidad Politécnica de Durango. luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx

² Universidad Politécnica de Durango. maribel.madrid@unipolidgo.edu.mx

³ Universidad Politécnica de Durango. ana.bailon@unipolidgo.edu.mx

people who have covid-19 excrete detectable particles of coronavirus in their feces. Approximately 40% do. Finally, the possibility that treated or mainly "untreated" wastewater discharged into rivers and lakes, or even into agriculture, could become a source of covid-19 infection is still unclear, although it is important to carry out constant monitoring. This should be the right time to engage in catalytic actions to enable universal access to safe drinking water and sanitation with smarter and more environmentally friendly treatment of waste and wastewater.

Key words: Covid-19, wastewater, persistence.

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo, se conocen siete coronavirus diferentes que infectan a las personas y causan enfermedades. Cuatro de los coronavirus son bastante comunes. Otros tres, incluidos MERS-CoV (informado en 2012), SARS-CoV (reconocido en 2002) y 2019-nCoV (reconocido en 2019), surgieron en años más recientes y son ejemplos de virus que una vez infectaron solo animales, pero hicieron que la especie saltara a los humanos. Los coronavirus humanos comúnmente causan enfermedades leves a moderadas, pero se sabe que algunos, incluidos MERS-CoV y SARS-CoV, causan enfermedades graves con frecuencia (Sociedad Española de Virología, 2021).

Estudios realizados en muestras de aguas residuales de PTARs de poblaciones en Barcelona, España el día 12 de marzo del 2019, mostró la presencia del Covid-19, mucho antes de que fuera declarada la pandemia en Wuhan (China) en la primera semana de diciembre del mismo año. Considerando que el primer caso que se tiene reporte se dio en Francia en el Continente Europeo en la última semana de enero ya del 2020.

Según los investigadores, estos resultados evidencian la eficacia anticipatoria de la vigilancia de las aguas residuales: A los infectados de COVID-19 se les podría haber asignado erróneamente un diagnóstico de gripe en la atención primaria, contribuyendo a la transmisión comunitaria antes de que se tomaran medidas de salud pública. En el caso concreto de Barcelona si se hubiera detectado la difusión del SARS-CoV-2 con un mes de anticipación habría permitido una mejor respuesta

a la pandemia (Sociedad Española de Virología, 2021). El objetivo de la investigación es hacer un análisis de los sistemas de tratamiento de Aguas Residuales en México y verificar si se lleva a cabo la desinfección para garantizar la ausencia del Covid-19.

CONTENIDO

Estos resultados impulsaron a los investigadores a analizar algunas muestras congeladas entre enero de 2018 y diciembre de 2019, con el sorprendente resultado de encontrar genomas de SARS-CoV-2 en marzo de 2019, mucho antes de la notificación de cualquier caso de COVID-19 en todo el mundo. Todas las muestras resultaron negativas para la presencia de genomas de SARS-CoV-2 a excepción de la del 12 de marzo de 2019, en la que los niveles de SARS-CoV-2 eran muy bajos pero que dieron claramente positivo por PCR, además empleando dos técnicas distintas. Barcelona recibe muchos visitantes por motivos turísticos o profesionales y es más que probable que una situación similar se haya dado en otros lugares del mundo, dado que la mayoría de casos de COVID-19 muestran una sintomatología similar a la gripe, los primeros debieron de quedar enmascarados como casos de gripe sin diagnosticar (Sociedad Española de Virología, 2021).

Según lo reportado por Suarez, et al., 2020, el 27 de febrero del 2020 fue el inicio de la pandemia en México, con el primer reporte, cuyo incremento de manera exponencial se dio hasta un total de 19,224 (9.67% fallecidos). El Covid 19 es un virus cuya variación y características evolutivas lo convierten en agente trasmisor y patógeno de alta peligrosidad cuya vigilancia es extremadamente vital.

Estamos en medio de la nueva pandemia sin precedentes de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) provocada por una variante del virus que contuvimos y manejamos colectivamente en la epidemia del Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SRAS) de 2002-2004. El nuevo virus, SARS-CoV-2, ha arrojado al mundo a una tormenta y ningún rincón de la Tierra está intacto. Su impacto ha sido severo en los frentes social, político, económico, de seguridad y salud. Nuestra ansiedad por la seguridad personal y colectiva ha aumentado a niveles comprensiblemente altos.

El nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) puede estar presente en el ciclo del agua, con los pobres y marginados siendo más propensos a riesgos para la salud, dejando vulnerables a las comunidades rurales y empobrecidas. Uno de los muchos riesgos asociados con esta pandemia es la desaceleración en el logro de los objetivos de desarrollo, incluidos los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Existe una alta probabilidad de que el ODS (6), el objetivo del agua y el saneamiento, se demore aún más. Dependiendo del tiempo de recuperación global, esto podría ser por mucho tiempo (Suarez, et al., 2020).

Aunque la COVID-19 es una enfermedad respiratoria, se ha demostrado que hay grandes cantidades de genoma del coronavirus en las heces, que posteriormente llegan a las aguas residuales. Esta circunstancia ha hecho que la epidemiología basada en aguas residuales sea una potencial herramienta de alerta temprana de la circulación del virus entre la población, especialmente teniendo en cuenta la importante presencia de personas asintomáticas y presintomáticas que también lo transmiten.

El conocimiento de la propagación del SARS-CoV-2 habría permitido una mejor respuesta a las epidemias. La enorme carga de morbilidad y mortalidad de COVID-19 exige una vigilancia centinela del SARS-CoV-2 en las aguas residuales para permitir medidas de mitigación rápidas en el caso probable de una futura ola pandémica de la infección. (Chavarría-Miró, G., et al., 2020).

Al inicio la OMS (Organización Mundial de la Salud) dijo que no había evidencia sobre la supervivencia del virus COVID-19 en el agua potable o en las aguas residuales, y agregó que las dos rutas principales de transmisión son respiratorias o de contacto.

Se considera que el Covid 19 es un virus cambiante, no sobrevive por mucho tiempo en el ambiente y que al igual que muchos virus es susceptible a agentes oxidante como los son el cloro, los rayos UV y el ozono, tales procesos inactivan al virus. (OMS, 2019).

El virus del Covid 19 al pasar por procesos de desinfección antes mencionados, una vez que se ha roto la pared celular que lo encapsula emite material genético que se conserva en las heces humanas cuya huella puede ser rastreada y cuantificada en las aguas residuales, desconociendo si continua totalmente activo. A estas trazas se les realiza una prueba PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa) y así se detecta y cuantifica el virus (Chavarría-Miró, G., et al., 2020).

Las personas que tienen o han tenido Covid-19 pueden ser susceptibles a presentar en sus heces material genético cuantificable. Entre 29 y 53% de las personas sintomáticas excretan material genético (ARN) de SARS-CoV-2 por vía fecal con una carga viral entre 550 y 1.21×10^5 copias/mL (Pan, Y., et al, 2020), (Zhang, N., et al, 2020).

Considerando la escasez del agua en el mundo, la necesidad de su reúso es vital, por lo que si el SARS-CoV-2 está presente en las aguas residuales, y aunque no se ha demostrado su transmisión vía heces-boca, es necesario su vigilancia en países sobretodo que no pertenecen al primer mundo.

Unas personas tienen más cantidad que otras, y esto no depende de si tiene muchos o pocos síntomas, eso sí aparece el coronavirus en las heces de asintomáticos principalmente (National Institute for Public Health and the Environment, 2021). De acuerdo con lo reportado en la literatura en referencia al Covid-19, los humanos infectados excretan el virus por lo que este pasa por medio del drenaje de los hogares a la red de alcantarillado y drenaje público. Este virus permanece en (orina y heces) y termina en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTARs).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se busca si realmente se está dando un tratamiento a las aguas residuales o simplemente no funcionan o dejan que el COVID 19 permanezca y sea una amenaza latente para la humanidad. Según el Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (2021) de la Comisión Nacional del Agua, en México a nivel Nacional únicamente se trata el 67.5 % del agua residual, es decir, el 32.5 % se desecha sin ningún tratamiento lo cual

constituye un grave problema a considerar (CONAGUA, 2019). Además, si hablamos de que gran parte de los sistemas mencionados no tienen equipos de desinfección adecuados y en algunos casos ni cuentan con ello, esto se agrava. Aunque en general, las PTARs son seguras, ya que utilizan energía y requieren poco personal para operarlas, es vital el muestreo de aguas residuales, el cual nos sirve para estudiar las tasas de infección en países como el nuestro; existen pocos países con la infraestructura de drenaje adecuada y bien planeada que permita demostrar mediante una muestra su presencia

En México, el uso de agua residual tratada es incentivada en el sector agrícola. (CONAGUA, 2012, Cisneros y Saucedo, 2016) Estados como Hidalgo, Chihuahua, Puebla, Morelos, Michoacán, Tamaulipas, Aguascalientes y Durango utilizan aguas residuales tratadas o mezcladas en sus actividades agrícolas en al menos un distrito de riego (Tabla 1).

Del total de PTARs instaladas en el país, solamente 3.4% realiza tratamiento terciario diseñado para remover bacterias y virus de las aguas residuales (CONAGUA, 2018).

Tabla 1 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (elaboración propia).

Proceso	FB	LEst	LAir	LAct	RAFA	TSep	TImf	HumDB	PrimA	Prim	Otros
Entidad											
Durango	3	204	2	18	1	9	0	0	0	0	4
Hidalgo	17	1	0	15	26	0	5	6	0	0	3
Chihuahua	0	153	3	15	2	0	0	24	0	0	0
Puebla	8	32	0	15	68	7	0	0	1	6	12
Morelos	5	1	0	35	5	0	0	0	1	0	0
Michoacán	2	16	0	13	6	0	0	6	2	2	0
Tamaulipas	0	47	0	14	0	0	1	0	0	0	1
Aguascalientes	0	66	0	46	0	130	0	4	1	0	5

FB: Filtro biológico

LEst: Laguna de Estabilización

LAir: Laguna Aireada

LAct: Lodos Activados

RAFA: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

TSep: Tanque Séptico

TImf: Tanque Imhoff

Hum: Humedales

DB: Discos Biológicos

Prim: Primario

PrimA: Primario Avanzado

Otros: cualquier sistema diferente a los anteriores (se desconoce).

En la Tabla 1 podemos observar los sistemas señalados en “negritas”, como son: Laguna de Estabilización, Tanque Séptico, Tanque Imhoff, Humedales, Primario, Primario avanzado y Otros, NO cuentan con etapas de Desinfección (cloración, Rayos UV, Ozono, etc.) lo que permite la sobrevivencia del virus en sus réplicas y posible llegada en el riego a las tierras de cultivo (vegetales, frutas, etc.) y su posible ingesta por el ser humano.

En un estudio realizado por Abu Ali, H., et al, 2021, se tomaron muestras de dos PTARs en Israel demostrando que el virus sobrevive el tratamiento primario común y el secundario de las aguas residuales. Pero una vez que pasaron al proceso de desinfección (cloración) no se observó su presencia, por lo que dicho proceso final es de relevante importancia en la erradicación del virus.

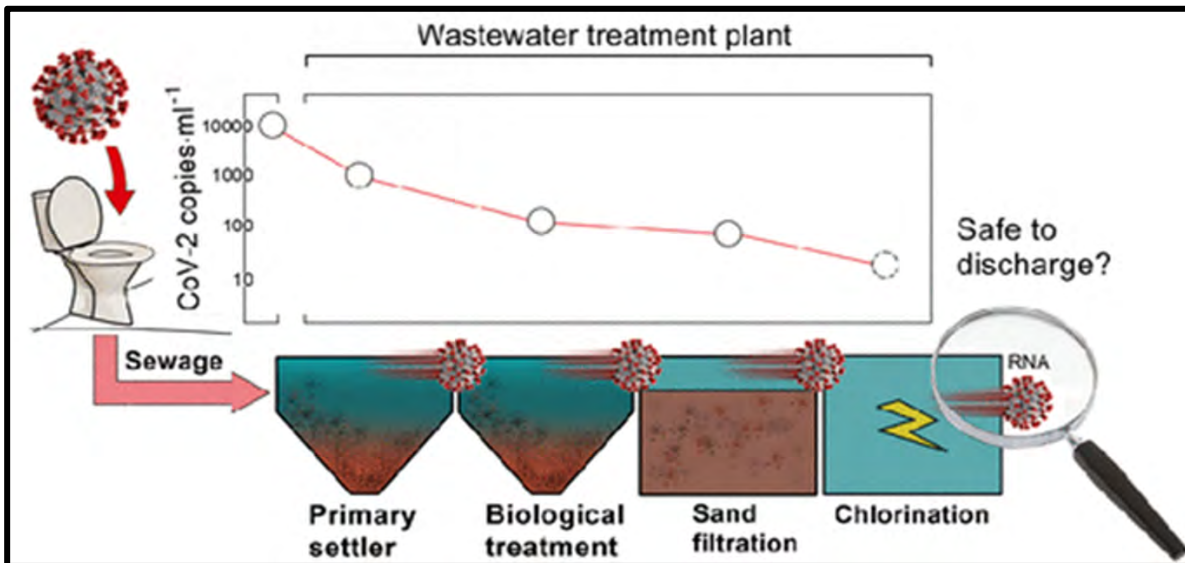


Figura 1 Desplazamiento del COV2 en las etapas de la PTAR (Abu Ali, H., et al, 2021)

La excreción de SARS-CoV-2 por vía fecal y la evidencia previa con SARS-CoV-1 sugieren que el nuevo coronavirus podría estar presente en aguas residuales con cierto nivel de infectividad y se han creado hipótesis de su posible transmisión fecal-oral. Así, surgen las preguntas: Cual es el destino del virus en el medio ambiente, cuales son los riesgos de nuevos brotes, posibles reinfecciones, como se da el seguimiento a la inactivación del virus, Se debe evaluar el comportamiento en el riego agrícola, así como Las PTARs su funcionamiento y desempeño.

En México, El proyecto MARTEC desarrollado entre la Arizona State University (ASU) y el Tec campus Monterrey. Desarrollaron un sistema innovador para detectar la presencia del virus en aguas residuales, además se crearon protocolos de acción para tomar decisiones en la institución con base en los resultados que se obtuvieron (ITESM, 2022).

Al utilizar la técnica de RT-qPCR (reacción en cadena de la polimerasa con transcriptasa inversa), detectamos la presencia de SARS-CoV-2 mediante el RNA, aunque sea en baja concentración. Es necesario realizar una prueba de PCR con amplificación de secuencias del ARN y así cuantificarlo sin problema. Es tecnología de primer nivel que permite encontrar la huella que deja el RNA del virus.

Para poder realizar este análisis es necesario tomar una muestra del agua residual que se puede extraer de las plantas tratadoras o los registros que hay en los campus, procesarla y llevarla al laboratorio para realizar la prueba (ITESM, 2022).

El laboratorio MARTEC ha analizado más de mil 600 muestras en un periodo semestral (cifra al 8 de julio del 2021) en todos sus campus, (37 sedes alrededor del país). 139 pruebas fueron positivas, es decir edificios que han salido positivos ya que se hace un análisis dividido por registros de cada edificio donde hay actividad presencial (ITESM, 2022).

Como parte de la metodología para medir el contagio por el virus, implementaron un sistema de semaforización:

Resultados y toma de decisiones:

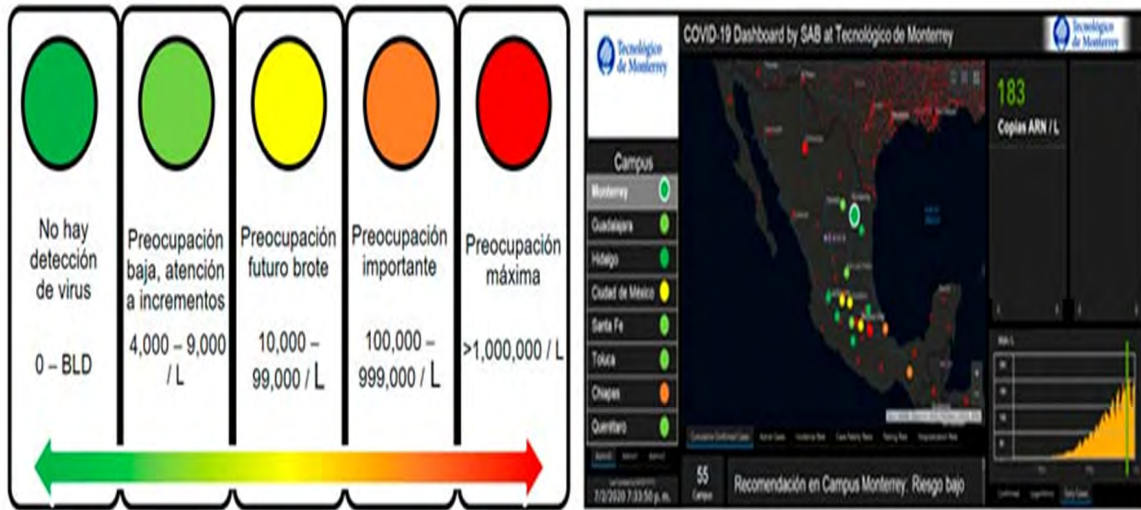


Figura 2 Sistema de Semaforización ITESM y campus (ITESM, 2022)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Finalmente, la posibilidad de que las aguas residuales tratadas o principalmente “sin tratar” que se derivan a ríos y lagos, o incluso a la agricultura, puedan convertirse en una fuente de contagio de la covid-19, todavía no está clara, aunque es importante llevar a cabo un monitoreo constante. Este debe ser el momento adecuado participando en acciones catalizadoras para hacer posible el acceso universal al agua potable y al saneamiento con un tratamiento más inteligente y ecológico de los desechos y aguas residuales. Esto debería complementarse mediante el beneficio de los desechos y las aguas residuales para producir fertilizantes, productos químicos de alto valor, lípidos y proteínas. Estas acciones resultarán transformadoras: económica, social y ambientalmente.

Otra recomendación especial es el establecimiento de un sistema de vigilancia epidemiológica basado en aguas residuales para detectar y cuantificar el ARN viral y emplearlo como una herramienta para detectar cambios en la dinámica de la infección por SARS-CoV-2 a nivel poblacional (Lodder y Roda, 2020).

Como recomendación el seguimiento al proceso de tratamiento de aguas residuales es de vital importancia, pero no solo ahí, sino en las aguas de riego, de reúso, sin tratar etc. ya que de ahí se verifica la detección a tiempo de la presencia en cantidades altas del SARS-CoV-2. Sin proceso de desinfección no hay eliminación de la presencia de COVID -19, recordando que puede surgir en cualquier momento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abu Ali, H., Yaniv, K., Bar-Zeev, E., Chaudhury, S., Shagan, M., Lakkakula, S., ... & Nir, O. (2021). Tracking SARS-CoV-2 RNA through the wastewater treatment process. *ACS ES&T Water*, 1(5), 1161-1167.

Cisneros OX, Saucedo H. Reúso de aguas residuales en la agricultura. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2016.

Comisión Nacional del Agua. Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA), edición 2012 [internet]. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012 [citado junio 28, 2020]. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:U4f0b__uvUoJ:www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-8

Comisión Nacional del Agua (2019), Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación (2019). 14/07/20, consultado: 10/09/21. 11:00

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611037/Inventario_2019.pdf

Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México, edición 2018 [internet]. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018 [citado mayo 4, 2020]. Disponible en:

https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf.

Comisión Nacional del Agua. Compendio Estadístico de Administración del Agua (CEAA), edición 2012 [internet]. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012 [citado junio 28, 2020]. Disponible en: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:U4f0b__uvUoJ:www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-8

Gemma Chavarria-Miró, Eduard Anfruns-Estrada, Susana Guix, Miquel Paraira, Belén Galofré, Gloria Sánchez, Rosa M. Pintó, Albert Bosch (2020). Sentinel surveillance of SARS-CoV-2 in wastewater anticipates the occurrence of COVID-19 cases. *medRxiv*2020.06.13.20129627; <https://doi.org/10.1101/2020.06.13.20129627>

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY, MÉXICO

<https://conecta.tec.mx/es/noticias/nacional/salud/laboratorio-martec-variantes-covid-19>

RICARDO TREVIÑO | REDACCIÓN NACIONAL CONECTA - 21/07/2021, consultado: 07/05/22. 10:00

Lodder W, de Roda Husman AM. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. *Lancet Gastroenterol Hepatol.* 2020;5(6):533-4. [https://doi.org/10.1016/s2468-1253\(20\)30087-x](https://doi.org/10.1016/s2468-1253(20)30087-x)

National Institute for Public Health and the Environment, Ministry of Health, Welfare and Sport Modification date 06/24/2021 - 12:59

<https://www.rivm.nl/en/covid-19/sewage>

Organización Mundial de la Salud (OMS), consultado 02/06/2021-10:30

https://www.who.int/es/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQjwub-HBhCyARIsAPctr7wa1Z4TMFC-0XkJq3Sqac3XI1FOFAvsWX01c8Fjx3OzNE_nCK7qGMoaAmqWEALw_wcB

Pan Y, Zhang D, Yang P, Poon LLM, Wang Q. Viral load of SARS-CoV-2 in clinical samples. *Lancet Infect Dis.* 2020;20(4):411-2. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30113-4](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30113-4)

Sociedad Española de Virología (2021), <https://sevirologia.es/>, consultado 18/09/2021-12:30

Suárez, V., M. Suarez Quezada, S. Oros Ruiz y E. Ronquillo De Jesús (2020). Epidemiología de COVID-19 en México: del 27 de febrero al 30 de abril de 2020. *Rev. Clin. Esp.* 220 (8), 463-471.

Zhang N, Gong Y, Meng F, Shi Y, Eang J, Mao P, et al. (2020). Comparative study on virus shedding patterns in nasopharyngeal and fecal specimens of COVID-19 patients. *Sci China Life Sci.*;1-3. <https://doi.org/10.1007/s11427-020-1783-9>.

ANÁLISIS TÉRMICO MEDIANTE DINÁMICA DE FLUJO COMPUTACIONAL DE UNA INCUBADORA DE HUEVO

KARINA MONTSERRAT PARDO RICALDAY¹, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA², EDUARDO GAMERO INDA³,
FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA⁴

RESUMEN

Se analizó el comportamiento del flujo de calor mediante dinámica computacional dentro de una cámara de incubación con capacidad de 250 huevos de gallina ponedora. Las paredes de la incubadora están compuestas por materiales de aluminio como pared interna, lana de vidrio como material aislante y una placa externa de madera. Se realizó el diseño de una estructura metálica de aluminio comercial como soporte para el arreglo de maples fabricados mediante impresión en tres dimensiones empleando como material ácido poliláctico (PLA), donde se colocan ordenadamente huevos. Se propuso un sistema de calefacción a través de una inyección de aire caliente colocada en la parte inferior de la incubadora que al subir impacta con la estructura metálica y los maples facilitando la distribución del flujo de calor. La geometría de la cámara de incubación fue discretizada permitiendo la simulación para las diferentes temperaturas de desarrollo del embrión. En la simulación se consideró la interacción de los tres mecanismos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación. La simulación numérica permitió modelar el comportamiento dinámico del flujo de aire caliente en el interior de la cámara de incubación obteniendo como resultado un mapa de distribución de temperaturas. Los resultados obtenidos mediante la simulación numérica realizada permiten inferir que la cámara de incubación permite el desarrollo óptimo durante las diferentes etapas del embrión.

Palabras clave: dinámica de flujo computacional, análisis térmico, convección, conducción, radiación

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. karinapardoricalday@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. jamartinez@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. egamero@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

The behavior of the heat flow was analyzed through the computational dynamic inside of an incubation chamber with a capacity of 250 laying hen eggs. The walls of the incubator are composed of the materials of aluminum as the intern wall, fiberglass as the insulating material and an external wall of wood. A metallic structure was designed based on commercial aluminum as the support of the arrangement of panels where the eggs are neatly placed, the panels were manufactured through the technique of three-dimensional printing employing polylactic acid as material. A heating system was proposed through the warm air injection placed in the lower part of the chamber that impacts the metallic structure and the panels as it raises facilitating the heat flow distribution. The geometry of the chamber was discretized allowing a simulation for the different temperatures of the embryo growth. It was considered in the simulation the interaction of the three mechanisms of heat transfer, conduction, convection, and radiation. The numeric simulation allowed to model the behavior of the dynamic flow of the warm air in the interior of the chamber of incubation obtaining a distribution of temperatures map as a result. The results obtained through the numeric simulation made possible to infer that the incubation allows an optimal growth during the different stages of the embryo.

Keywords: computational flow dynamics, thermal analysis, convection, conduction, radiation

INTRODUCCIÓN

La incubación artificial es un proceso mediante el cual los huevos se mantienen en condiciones físicas controladas, simulando las condiciones naturales óptimas. Los factores físicos que se encuentran presentes en el desarrollo del huevo son humedad relativa, temperatura, ventilación y volteo.

El desarrollo del embrión se ve afectado por tres variables principalmente, la transferencia de calor entre el huevo y el entorno, la temperatura del aire circundante y la producción de calor propia del embrión. (Cobb Vantress, 2019) ,el principal factor físico para el desarrollo es la temperatura (French, 1997) .La temperatura ideal de incubación para huevo de gallina ponedora es la que permite mayor

porcentaje de eclosión y se encuentra en el rango de 37°C a 38°C (Baracho , Naas, & Gigla , 2015).

En la década de 1950 se empleaban modelos de incubación de múltiples etapas, donde, los huevos dentro de la cámara de incubación se encontraban en diferentes etapas de desarrollo, en la década de 1990 tuvieron gran auge las incubadoras de etapa única, donde los huevos eran almacenados antes de iniciar el proceso de incubación con el propósito de que todos los huevos estuvieran en la misma etapa de desarrollo embrionario, la cual sigue siendo vigente (Redmidia , 2016).

La producción de huevo promedio en un ambiente natural de una gallina ponedora sana es de 320 huevos por año (Gonzalez, 2018), lo que significa que pone huevos casi todos los días, dado el proceso fisiológico que esto implica, la gallina solo puede poner un huevo por día, considerando que una gallina solamente puede incubar entre ocho y diez huevos en su nido de forma natural es posible inferir que la temperatura entre ellos es similar, teniendo en cuenta que el tiempo de incubación es de 21 días en estado natural se tendrán en el mismo nido y siendo incubados al mismo tiempo huevos que pueden ir de un solo día de edad, hasta los que ya están más avanzados en su desarrollo de ocho a diez días, (Gonzalez, 2018).

A través de la incubación artificial es posible manipular variables que interfieren en el desarrollo embrionario de forma precisa.

Un factor importante en el proceso de incubación artificial es el control de variables, un control inadecuado afectara de forma negativa el desarrollo del embrión (Smith, 2013). La temperatura de la cascara es la más relevante porque refleja la temperatura del embrión. (Cobb Vantress, 2019).

La dinámica de flujo computacional (*CFD por sus siglas en inglés, computational fluid, Dynamic*), analiza el comportamiento de fluidos, transferencia de calor, y otros fenómenos a través de la simulación numérica (Equipe ESSS, 2016),proporciona información tridimensional sobre la velocidad y la distribución de la temperatura de la cáscara de huevo y el flujo de aire de forma detallada (Ozcan, Andriessens, & Berckmans, 2010).

En este artículo se presenta el comportamiento térmico de una incubadora de huevo mediante la dinámica de flujo computacional en el software SolidWorks con su elemento Flow Simulation que utiliza un modelo 3D al que se le aplica una discretización para realizar el análisis de la transferencia de calor existente dentro de la cámara de incubación a través de la simulación numérica. La realización de este estudio permitirá verificar el comportamiento dinámico de la transferencia de calor en el interior de la incubadora para determinar la viabilidad del desarrollo embrionario de huevos de gallina ponedora.

CONTENIDO

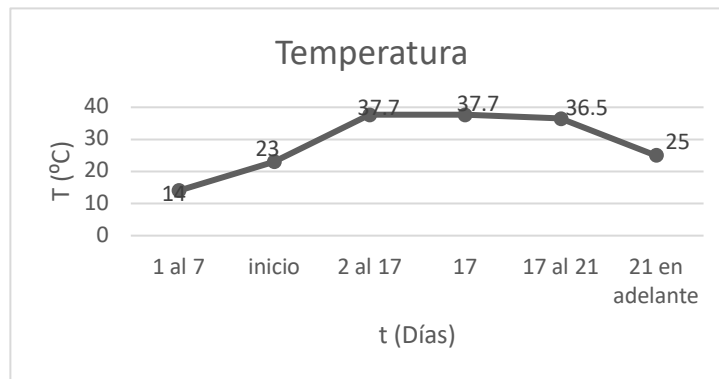
El análisis de elemento finito o método de elemento finito es un método numérico empleado para la resolución de problemas descritos por un conjunto de ecuaciones parciales, partiendo de un análisis geométrico seguido de un proceso de discretización o mallado el cual divide la geometría inicial en partes más pequeñas y simples para facilitar el análisis y aproximarse a una solución. (González, González M, & López, 2019).

Existen diferentes métodos para la solución de ecuaciones diferenciales de problemáticas relacionadas a fenómenos físicos como transferencia de calor, análisis estructural y de fluidos, los principales grupos de métodos encargados de analizar dichas ecuaciones diferenciales parten de la clasificación de resultados que pueden ser exactos o una aproximación considerando las de tipo analítico o numérico. Los métodos numéricos para la resolución de ecuaciones diferenciales tienen en común la discretización de la ecuación en el dominio del tiempo o espacio. El método de elementos finitos (FEM) es la metodología numérica para el análisis de problemas pertenecientes a la ciencia y física más empleado, a diferencia de otros métodos numéricos el método de elemento finito para su discretización requiere de un proceso de sustitución equivalente de la ecuación diferencial que gobierna el problema por una forma integral equivalente para la solución del problema, El FEM tiene como ventajas una flexibilidad para ser aplicado en dominios con geometrías irregulares y una imposición simple de condiciones de contorno, la discretización del problema toma forma de diferentes tipos de

geometrías tridimensionales y bidimensionales por lo general triangulares o cuadriláteros. El método de volúmenes finitos por su parte representa el concepto de balance en celdas con posibilidad de irregularidad, sobre este tipo de celdas se plantea una variación de volumen de una determinada variable y su flujo generado a través de sus contornos, como aplicación de estas características propias no producidas por la situación esta metodología es empleada principalmente en problemas de fluidos con flujos convectivos o escenarios donde se encuentre involucrado el flujo de calor.

El software SolidWorks emplea el método de discretización de mallas cartesianas en las cuales la malla está formada por pequeños cubos (SolidWorks, 2013).

Las temperaturas más relevantes para el desarrollo del embrión fluctúan a lo largo del proceso de desarrollo del embrión, como se puede observar en la gráfica 1.



Gráfica 1.- Desarrollo embrionario

Fuente: Elaboración propia

En el interior de la cámara de incubación se realiza un intercambio de calor por convección mediante el flujo de aire y por conducción a través del contacto directo entre los huevos y el maple, la radiación se presenta a partir del día 15 cuando el embrión comienza a generar su propio calor.

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la capacidad de un material de transferir energía en forma de calor (Connor, 2020), similar a la conductividad eléctrica y se representa como k o λ ($\frac{w}{mk}$)

La conductividad térmica se analiza mediante la ley de Fourier descrita en la Ec. 1

$$Q = -k \frac{dt}{dx} \quad . \text{ Ec. 1}$$

De donde

$Q = \text{Flujo de calor (W)}$

$k = \text{Conductividad termica } \left(\frac{W}{mk}\right)$

$\frac{dt}{dx} = \text{Diferencial de temperaturas con respecto a } x$

La conducción se presenta como la transferencia de calor entre dos objetos sólidos en contacto directo.

Convección

La transferencia de calor por convección se lleva a cabo entre un objeto sólido y un fluido en movimiento (Cengel, 2016) y se aborda a través de la ley de enfriamiento de Newton, Ec.2

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \quad \text{Ec.}$$

2

$h = \text{Coeficiente de conveccion } \left(\frac{W}{m^2K}\right)$

$A = \text{Area superficial de transferencia } (m^2)$

$T_s = \text{Temperatura superficial (K)}$

$T_\infty = \text{Temperatura de los alrededores (K)}$

Radiación

La radiación como método de transferencia de calor hace referencia a la emisión de energía originada a nivel atómico que se presenta como ondas electromagnéticas (CENGEL, 2016). Todos los objetos tienen la capacidad de irradiar calor, por ejemplo, los cuerpos biológicos emiten calor constantemente, aunque en cantidades muy pequeñas, el cálculo de transferencia de calor por radiación esta dado en la Ec. 3.

$$Q = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_\infty^4) \quad \text{Ec. 3}$$

$Q = \text{Flujo de calor (W)}$

$\varepsilon = \text{Emisividad termica adimensional}$

$\sigma = \text{Constante de steffan - Boltzman } (5.670 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4})$

MATERIALES Y METODOS

La incubadora está conformada por tres paredes, un piso y un techo que se comportan como paredes compuestas y una puerta de vidrio comercial, figura 1.

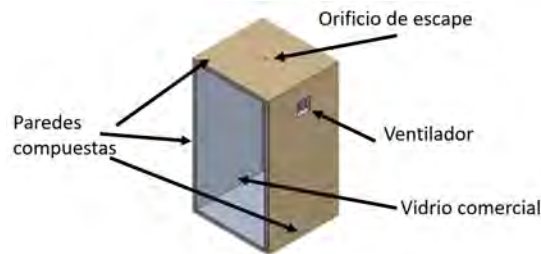


Figura 1.- Cámara de incubación

Fuente: Elaboración propia

El intercambio de calor puede ser modelado mediante una analogía eléctrica de resistencias en serie, existiendo convección en los extremos y conducción en el área interna, de donde $k_a = \text{Cara interna de aluminio}$, $k_b = \text{Material aislante lana de vidrio}$, $k_c = \text{Cara externa material OSB}$, figura 2.

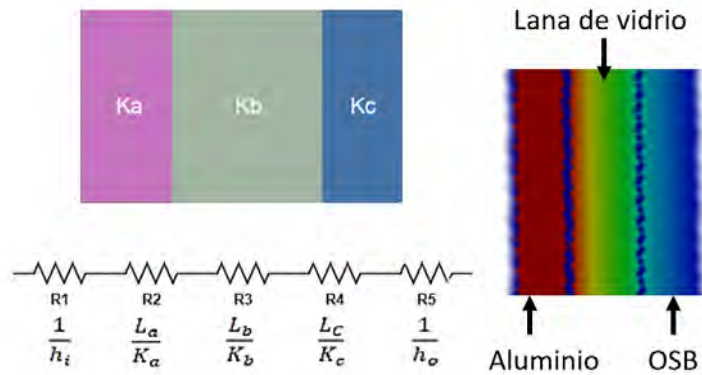


Figura 2.- Resistencias térmicas

Fuente: Elaboración propia

Para una incubadora de huevo con capacidad de 230 huevos se propone un arreglo de 5 maples tipo panal, teniendo cada maple de 8x7 como se muestra en la figura 7, siendo esta forma para optimizar espacios y asemejarse a la distribución que se da en los nidos en el medio natural, Figura 3.

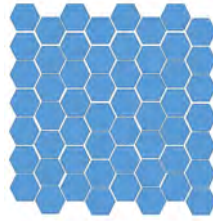


Figura 3.- Maple

Fuente: Elaboración propia

Mediante la medición de huevos se obtuvieron las siguientes medidas para cada hexágono del maple, que es capaz de sostener huevos de medida estándar, 4.2cm (Castón, 2015), Figura 4.

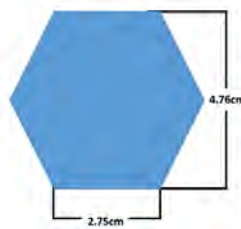


Figura 4.- Hexágono del Panal

Fuente: Elaboración propia

Se realizó de forma circular cóncava con un diámetro de 5.5cm para adaptarse a la forma del huevo como se muestra en la Figura 5.



Figura 5.- Maple cóncavo

Fuente: Elaboración propia

El maple está conformado por partes mediante impresión 3D, empleando como material de impresión ácido poliláctico (PLA).

La cámara contiene una estructura fabricada en aluminio que sostiene cinco charolas del mismo material figura 6, que soportan los maples fabricados en PLA.

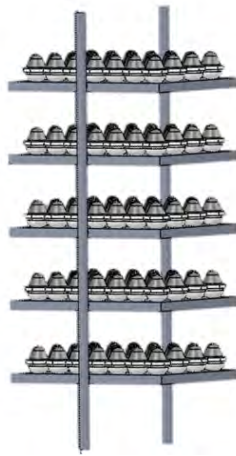


Figura 6.- Estructura

Fuente: Elaboración propia

Como parte inicial del proceso de simulación se modela en 3D la cámara de incubación, figura 7.

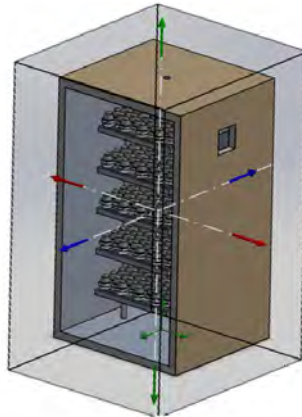


Figura 7.-Cámara de incubación.

Fuente: Elaboración propia

El fenómeno físico inherente a la transferencia de calor implica que existe una relación entre temperatura y presión, al aumentar la temperatura aumenta la presión, las partículas del aire se dispersan, se vuelve más ligero y tiende a subir, por esto se coloca la inserción del aire caliente en la parte inferior de la cámara, para facilitar su distribución, figura 8a.

Partiendo del análisis geométrico de la incubadora, se realiza un proceso de discretización el cual divide la geometría en partes pequeñas y simples para facilitar su análisis y aproximarse a una solución, figura 8b.

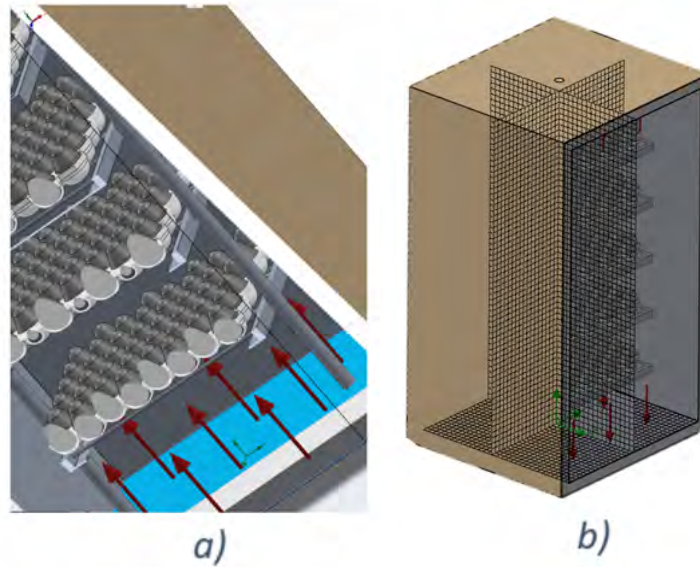


Figura 8.- Condiciones iniciales
Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

El modelado mecánico de la cámara de incubación permitió la definición de las temperaturas relevantes en el proceso y las características físicas y térmicas de cada uno de los materiales que componen las paredes y sus condiciones de frontera, Figura 9a, y se procedió a realizar la discretización para dividir la geometría en elementos más simples a ser analizados, Figura 9b. La malla muestra un patrón uniforme a excepción de los puntos específicos del orificio de escape y el área donde se coloca el ventilador para la circulación interna del aire, donde esta presenta distorsiones por la naturaleza geométrica de la cámara. El mallado se realizó mediante el software SolidWorks por el método de mallas cartesianas.

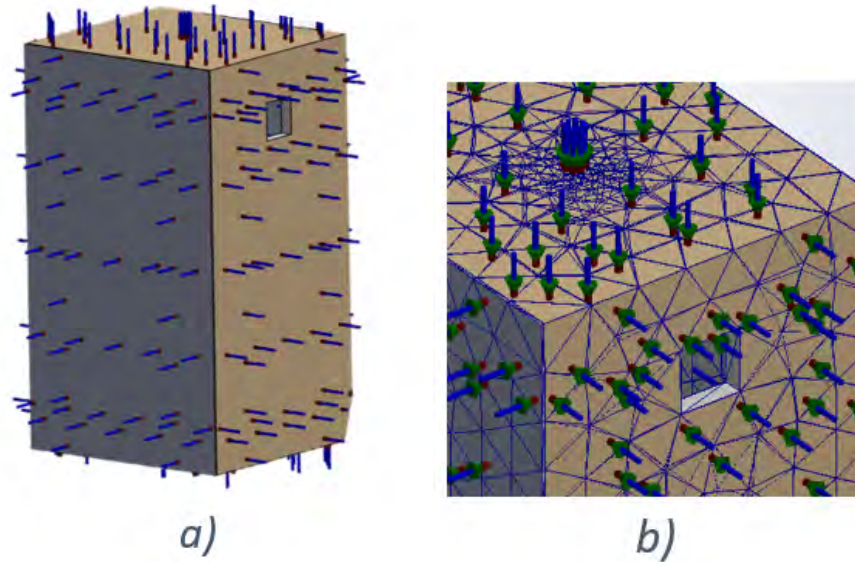


Figura 9.-Caracterización de la cámara.

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la estructura con los maples, el huevo y la cámara de incubación, de manera independiente se aplicó el mallado, la inserción de temperaturas y el comportamiento térmico, el huevo muestra una malla prácticamente uniforme, figura 10.

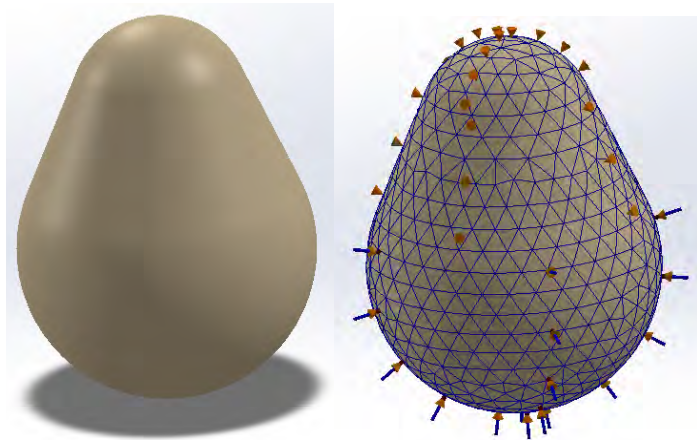


Figura 10.- Mallado del huevo

Elaboración propia

Dadas las condiciones y requerimientos del software, así como las capacidades del equipo de cómputo se procede a la simplificación del mallado de manera tal que pueda ser satisfactorio con los elementos gráficos del equipo, figura 11a, es posible apreciar mejor la discretización mediante un acercamiento, figura 11b.

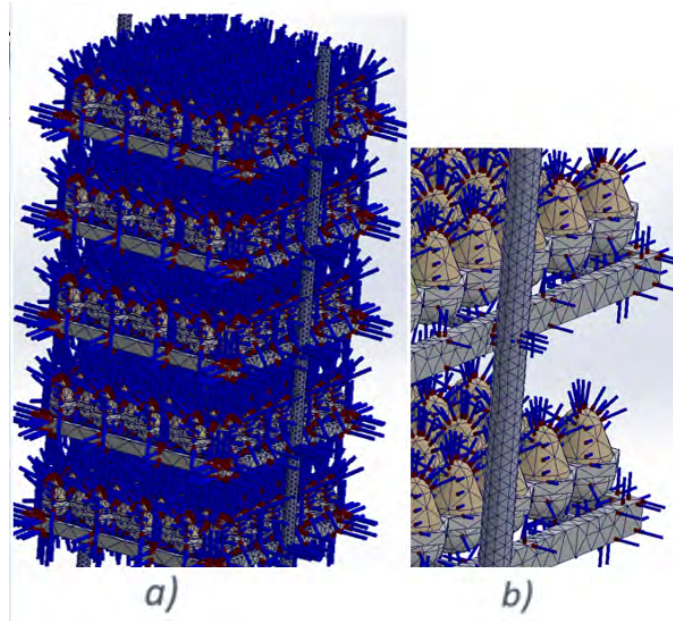


Figura 11.- Malla simplificada

Fuente: Elaboración propia

Llevada a cabo la discretización del modelo de cada elemento que conforma la incubadora, se realizó el análisis del comportamiento térmico de manera independiente considerando sus condiciones térmicas internas y externas, tomando en cuenta también los coeficientes convectivos y conductivos de la cámara, figura 12a, la estructura con sus maples figura 12b y el huevo figura 12c, donde se muestra de manera gráfica la distribución de temperaturas.

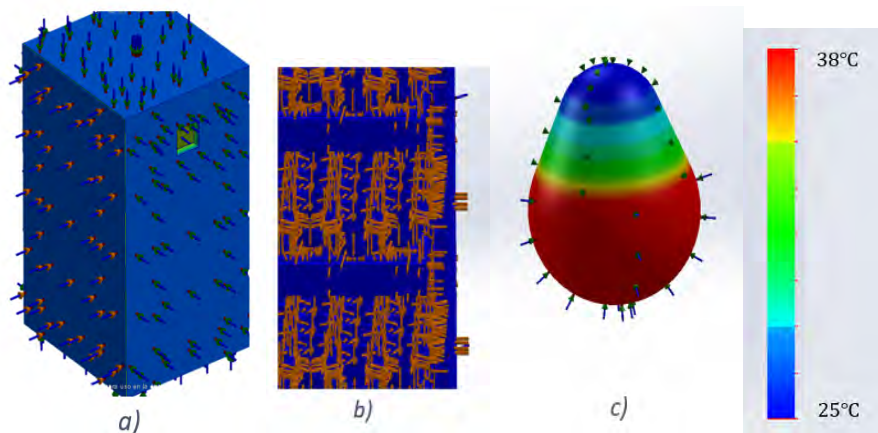


Figura 12.- Simulación térmica individual.

Fuente: Elaboración propia

El principal objetivo durante el proceso de incubación es mantener las condiciones óptimas, la temperatura se consigue inyectando aire caliente a 38°C , la cámara de incubación tiene un orificio de escape en la parte superior para lograr un flujo continuo del aire. Dentro de la cámara la temperatura presenta una variación que no resulta relevante en el proceso biológico.

En la figura 13 se muestra el mapa de distribución de temperaturas desde el momento inicial de inyección de aire caliente y subsecuentemente como el calor aumenta hasta llegar a un punto de homogeneidad.

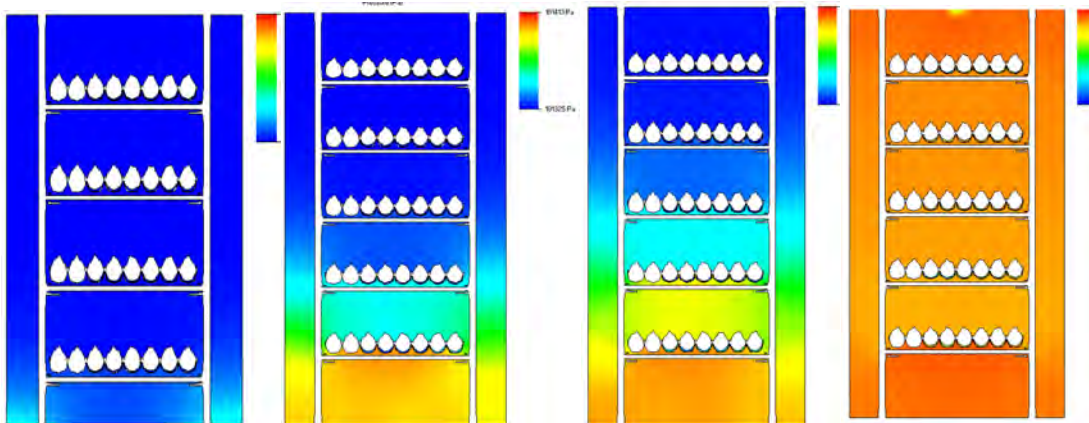


Figura 13.-Distribución de temperaturas.

Fuente: Elaboración propia

El aire caliente introducido por la parte inferior de la cámara facilita la distribución para alcanzar una temperatura uniforme que propician las condiciones adecuadas para el correcto desarrollo del embrión y eclosión del huevo. El aire caliente sube con un flujo turbulento debido a la forma de los maples donde al chocar se distorsiona su dirección distribuyéndose a lo largo de la cámara presentando picos de temperatura mínimos. El intercambio de calor generado por la radiación del huevo se considera despreciable por el punto de madurez biológica del embrión.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de dinámica de flujo computacional permitió la obtención de los mapas de distribución de temperaturas del interior de una incubadora de huevo. El estado estable de la temperatura interna se logró después de 339 iteraciones por simulación, comprobando la homogeneidad térmica dentro de la cámara de incubación, manteniendo una temperatura estable de 38°C con variaciones dentro

de los rangos permisibles que no generan una consecuencia negativa en el desarrollo del embrión. La simulación del comportamiento térmico del aire interno permite establecer que es viable para el correcto desarrollo biológico del embrión. Cuenta con áreas de mejora como la implementación de un sistema de monitoreo y control de variables de temperatura, presión y humedad relativa para mejorar la eficiencia de eclosión.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aviagen. (2019). Consejos para la Incubadora. *INTERNATIONAL HATCHERY PRACTICE*.
- Baracho , M., Naas, I., & Gigla , A. (2015). Impacto de las variables ambientales de multiples etapas en pollo de engorde.
- Berry, J. G. (Agosto de 2010). *Incubación artificial*. Obtenido de El Sitio avicola.
- Bitfab. (2019). *Bitfab*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/pla-vs-abs/>
- Castón, M. d. (2015). *higiene, inspección y control de huevos de consumo*.
- Cengel, Y. A. (2016). FUNDAMENTOS DE LA CONVECCIÓN. En Y. A. Cengel, *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Un enfoque practico* (págs. 355-395). México: Mc Graw Hill.
- CENGEL, Y. G. (2016). INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS BASICOS. En Y. G. CENGEL, *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Un enfoque practico* (págs. 27-29). México: Mc Graw Hill.
- Cobb Vantress. (2019). Incubacion cobb.
- Connor, N. (08 de 01 de 2020). *Thermal Engineering*. Obtenido de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conductividad-termica-definicion/>
- El sitio Avicola. (17 de Diciembre de 2013). *El Sitio Avicola*. Obtenido de Cuidado e incubación de los huevos fértiles: <https://www.elsitioavicola.com/articles/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fertiles/>
- El-Ashram, M. M. (11 de Mayo de 2020). *emtech-systems*. Obtenido de <https://www.emtech-systems.com/es/charlas-tecnicas/egg-turning-during-incubation-a-review-by-mohamed-mostafa-el-ashram/>
- Equipe ESSS. (24 de Junio de 2016). *esss*. Obtenido de <https://www.esss.co/es/blog/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>
- French, N. (1997). Modeling Incubation Temperature: The Effects of Incubator. *Poultry Science*.
- González, González M, r., & López. (2019). Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab. *Ideas en ciencias de la ingeniería*.
- Gonzalez, K. (29 de Enero de 2018). *zoovetesmipasion*. Obtenido de <https://zoovetesmipasion.com/avicultura/gallinas-ponedoras/cuantos-huevos-pone-una-gallina/>

- Eren Özcan, S., Andriessens, S., & Berckmans, D. (2010). Computational study of the heat transfer of an avian egg in a tray. *Poultry Science*, 89(4), 776–784. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00230>
- Redmidia . (17 de octubre de 2016). *redmidia*. Obtenido de <https://redmidia.com/editoriales/incubacion-artificial-huevos-gallina-avicultura-comercial/>
- Smith, T. W. (2013). *Cuidado e incubación de los huevos fértiles*. Mississippi, EUA.
- SolidWorks. (2013). https://www.solidworks.es/sw/docs/Flow_Basis_of_CAD_Embedded_CFD_Whitepaper_ESP.pdf.
- Valencia, I. (2022). *Gay-Lussac. Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/FES Iztacala-UNAM*. Obtenido de <https://uapa.cuaieed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/49e4eba9-b3b7-4749-9727-03274f8d9cff/contenido/index.html>
- WineInd, M. J., & Oviedo-Rondon, E. (22 de julio de 2009). *wattpoultry.com*. Obtenido de <https://www.wattnet.com/articles/3049-manejo-del-desarrollo-embriionario-para-optimizar-el-desempeno-del-pollo>

ANÁLISIS ESTÁTICO DE ESTRUCTURA PARA INVERNADERO POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO

JESUS ANTONIO FLORES SOTO¹, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA², FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ
GARCÍA³, EDUARDO GAMERO INDA⁴

RESUMEN

Se analizó el comportamiento de la estructura de un invernadero con ventilación cenital como principal distintivo, frente a las cargas de viento, los esfuerzos generados por su implementación y las características físicas del material, siguiendo las normativas mexicanas de construcción vigente y los procedimientos enlistados en el MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES se definieron los coeficientes necesarios para el cálculo de la magnitud y el comportamiento de las cargas. El modelado de la estructura en un ambiente virtual se realizó con apoyo de programas de diseño asistido por computadora, donde fue posible generar el ambiente controlado para exponer el modelo virtual a las cargas calculadas de acciones externas como lo es el viento. Las cargas calculadas fueron distribuidas de manera uniforme en un principio, complementando el estudio con simulaciones de viento en distintos escenarios donde las velocidades principales fueron históricamente altas para la zona donde se desarrolló el caso de estudio. La simulación numérica permitió obtener como resultado puntos de comparación entre diferentes herramientas computacionales de diseño donde las deformaciones y la concentración de fuerzas fue identificada en distintos puntos de la estructura según las características de la simulación, con la identificación de las zonas donde se concentran la mayor cantidad de deformaciones, es posible hacer la propuesta de un plan de simplificación estructural y reforzamiento en las zonas con tendencia al fallo mecánico.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. jafs2906@gmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. jamartinez@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. egamero@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

The behavior of the structure of a greenhouse with overhead ventilation as principal distinctive was analyzed, subjected to wind loads, the efforts generated by its implementation and the physical characteristics of the material. Following the current Mexican standards of construction and procedures enlisted in the “MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES” it was defined the necessary coefficients for the calculation of magnitude and load behaviors. The modeling of the virtual environment of the structure was made with the support of design assisted programs, where it was possible to generate a controlled environment to subject the virtual model to the calculated loads of external movements like the wind. In the beginning the calculated loads were distributed uniformly, completing the study of the wind simulations in distinct scenarios where the main speeds were historically high in the area where it was developed the study case. The numeric simulation allowed to obtain as a result comparing points between different design computational tools where the deformations and the concentration of forces were identified in different points of the structure based on the simulation characteristics, with the identification of the zones of the most concentration of deformations, it's possible to propose a plan of structural simplification and reinforcement of the zones with trend to mechanical failure

INTRODUCCIÓN

Las estructuras comerciales destinadas a la agricultura protegida cumplen con una normativa que enlistan el procedimiento necesario para su construcción, estas normativas son específicas para cada región y su aplicación fuera del entorno para el cual es previsto no garantizan resultados confiables , existen métodos complementarios que consideran las condiciones climatológicas de la zona en la cual se planea la construcción de la estructura apoyándose en simulaciones de dinámica de flujo computacional(CFD).

Según Fernández García *et al.* (2020), los métodos empleados en el análisis estático de los pórticos al agregar túneles extras a un invernadero son complementados mediante CFD considerando el peso de la estructura, las cargas no uniformes de viento y los esfuerzos soportados en los cimientos.

En la Normativa NSR-98 Normas colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente Título B Cargas (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2015), se establece un procedimiento de diseño para el cálculo de estructuras considerando un conjunto de variables, tales como la carga de viento, características topográficas y la geometría de la estructura, este método no considera la distribución de presiones ejercidas por el viento.

EL MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (CFE, 2020) considera no uniforme la distribución de la carga de viento y un comportamiento distinto acorde a la altura de la edificación entrando en conflicto con la definición de los parámetros de frontera necesarios para una simulación mediante las herramientas computacionales de diseño con mayor aplicación en la industria.

SolidWorks y su elemento FlowSimulation permite realizar el análisis estático generado por CFD fuera de normativas existentes , considerando un estudio de tipo túnel de viento en estructuras ligeras destinadas al aprovechamiento de energía solar determinando un mapa detallado sobre la distribución de las cargas ejercidas por el viento (Quiñones *et al*,2016).

En la región Noroeste de México, en la cual se desarrolla el caso de estudio presentado en este artículo, las condiciones climatológicas son semidesérticas, cálidas y secas con una velocidad de viento promedio de 23km/h con proyecciones de 130km/h a 50 años (CFE, 2020),Pag467.

Durante el desarrollo de este caso de estudio el modelo virtual de la estructura fue sometido a las cargas previamente calculadas acorde a la normativa NMX-E-255-CNCP-2008 analizando los puntos clave de la construcción de estructuras para invernaderos y verificar los resultados más acercados a la realidad con apoyo de simulaciones de elemento finito, buscando como objetivo un rediseño estructural que optimice los recursos disponibles. Cada una de las regiones seccionadas en México, presenta condiciones climatológicas diferentes entre sí, por lo que los

resultados expuestos generan la oportunidad de hacer la misma comparativa para zonas distintas de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Geometría

La geometría de un invernadero se considera según la ubicación geográfica del invernadero y la producción planeada, gracias a su versatilidad es posible su instalación en diferentes entornos climático, cada tipo de estructura destinada a la agricultura protegida presentan ventajas y desventajas y su definición será acorde a los propósitos de la estructura.

El invernadero propuesto para el caso de estudio cuenta con una estructura de 8mx15mx5.1m figura 1, con pórticos exteriores preensamblados y pórticos internos modificados.

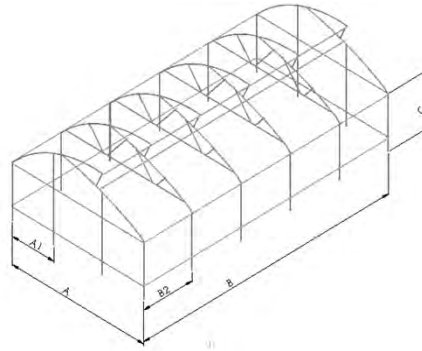


Figura 14 Estructura de invernadero.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1 Dimensiones generales estructura analizada

Acotación	Dimensión (m)
A	8
A1	2.5
B	15
B1	3
C	3

Fuente: Elaboración propia

Apegándose a la normativa NMX-E-255-CNCP-2008 los miembros estructurales principales encontrados de forma vertical son de acero galvanizado de 2pulg x 2pulg, el resto de la estructura incluyendo los pórticos fueron fabricados en acero galvanizado de 1pulg ¼

Por motivos de diseño, los pórticos interiores como los exteriores poseen una geometría diferente entre ellos, siendo la principal diferencia la eliminación de perfiles en la zona central de los pórticos, así como la redistribución de soportes para la zona de ventilación cenital Figura 2.

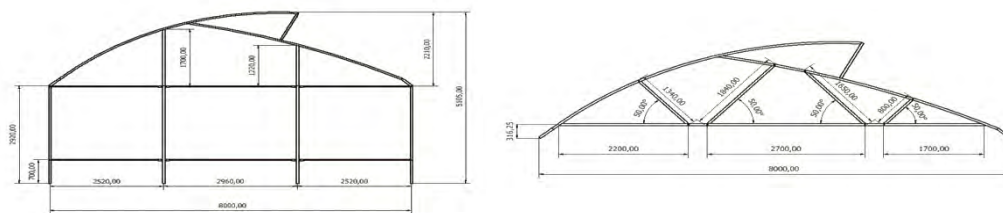


Figura 15 geometría de pórticos exteriores e interiores

Fuente: Elaboración propia

La estructura lateral representada de forma gráfica en la Figura 3, consta de postes verticales unidos mediante un soporte horizontal cada uno de los postes es ensamblado con los pórticos centrales cada uno de los miembros agregados a la simulación fue diseñado acorde a medidas reales tanto del invernadero a estudiar como el material comercial disponible considerando sus características mecánicas, el material es agregado desde la herramienta de simulación empleada para este caso, SolidWorks.

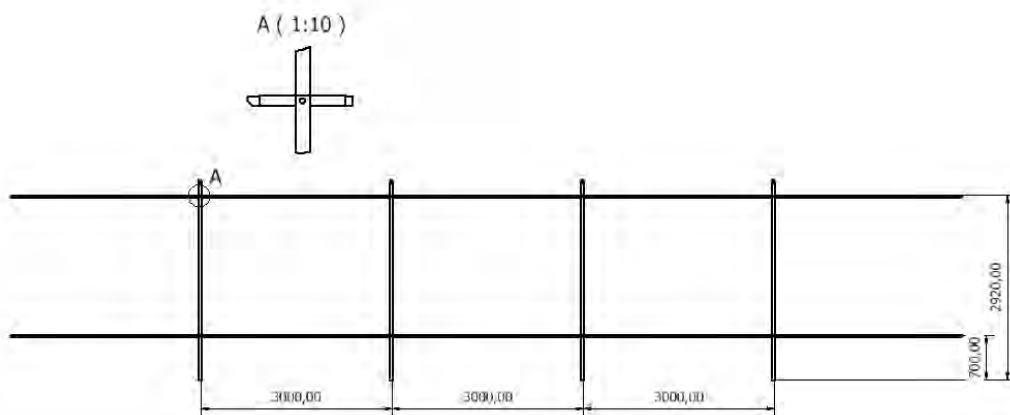


Figura 16 Estructura lateral

Normativa NMX-E-255-CNCP-2008 y simulaciones de túnel de viento

Las normas empleadas para la simulación de construcciones destinadas a la agricultura protegida permiten calcular las cargas a las cuales se someten la estructura. Para el cálculo de la presión exterior en cada una de las caras involucradas en la estructura ,se emplea la Ec.(1) ,como ecuación principal en los procedimientos enlistados en la norma NMX-E-255-CNCP.

$$P_e = C_{pe}K_AK_LK_{ra}q_z \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde:

C_{pe} = Coeficiente de presión exterior (adimensional)

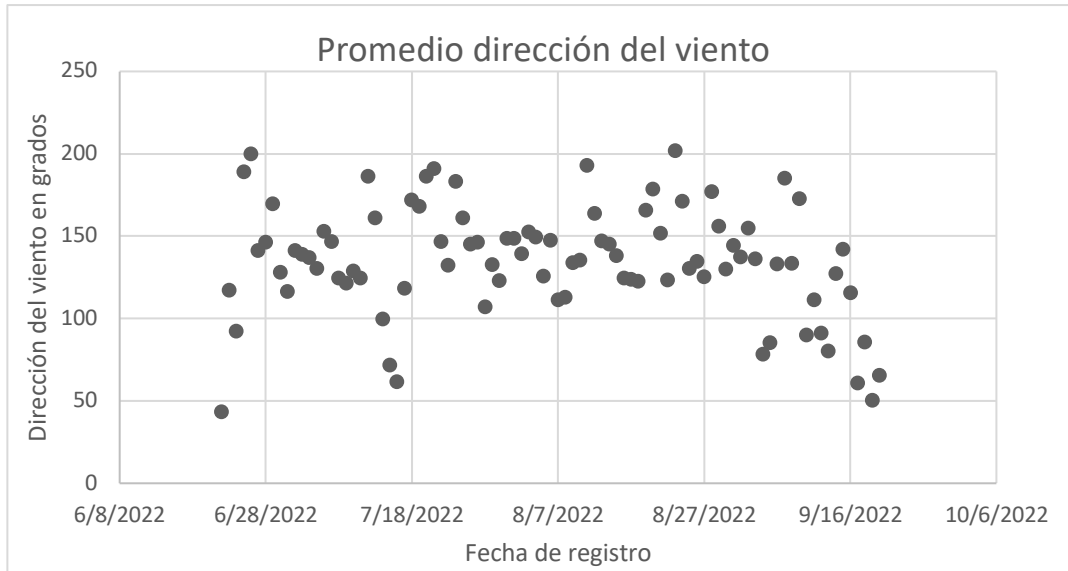
K_A = factor de reducción de presión por tamaño de área(adimensional)

K_L = Factor de presión local (adimensional)

K_{ra} = Factor de presión para recubrimientos y anclajes (adimensional)

q_z = Presión dinámica de la base (kg/m^2)

Para el estudio de cada una de las caras fue necesario identificar la dirección desde donde el viento golpea con mayor fuerza y frecuencia, basándose en la información recopilada desde las estaciones meteorológicas automáticas registradas en la Comisión Nacional del Agua (Sistema de Información y Visualización de Estaciones Automáticas, 2022), se puede definir un promedio de la dirección del viento en relación con los grados marcados en el gráfico denominado rosa de los vientos.



Acorde a la información recopilada la principal dirección desde la que golpea el viento esta entre el rango de 120° y 150° correspondiendo al punto cardinal sureste, la dirección desde la cual es golpeado el invernadero incidiendo a una de las caras más pequeñas de la estructura Figura 4.

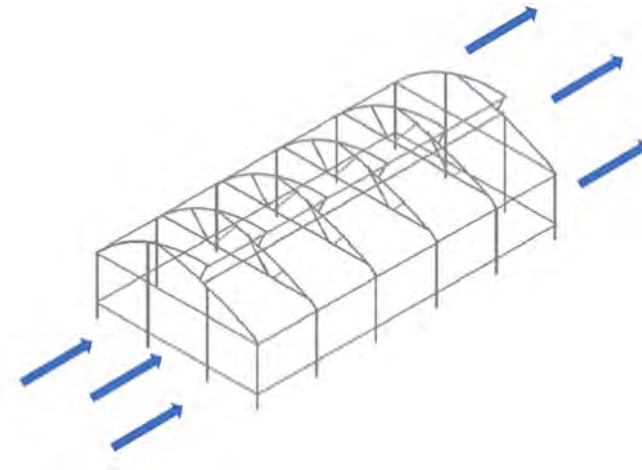


Figura 17 Dirección del viento

Fuente: Elaboración Propia

Definición del análisis estático

Para proceder con el análisis estático la edificación debe de cumplir con determinadas condiciones iniciales, la relación entre la altura de la edificación y la dimensión menor de la base, no exceder los 200m de altura y el periodo de vibración de la edificación.

La relación de esbeltez entre la base y la edificación $\mu=H/D \leq 5$ donde H= Altura de la edificación(m) =5 metros, y D=dimensión mínima de la base(m)= 3 metros, $\mu= 1.66$

El periodo de vibración de la edificación o periodo fundamental es menor a 1 segundo considerando las dimensiones totales de la estructura (Agudelo, 2022).

$$T = C * H^{3/4} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

La variable C está determinada por la construcción del edificio al no estar fabricados con acero estructural u hormigón, la constante C será iguala a $C=0.050$

H=Altura edificación

Aplicable a edificios hasta de 80 metros de altura, sustituyendo las variables correspondientes en la Ec.(2) el periodo de vibración será: $T = 0.1671 < 1$.

Cumpliendo con las condiciones básicas para realizar el análisis estático.

Análisis de la presión del viento en cara a sotavento

Los coeficientes empleados para el cálculo de la presión son seleccionados acorde a características específicas del caso de estudio y pueden ser consultadas en El MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES (CFE, 2020).

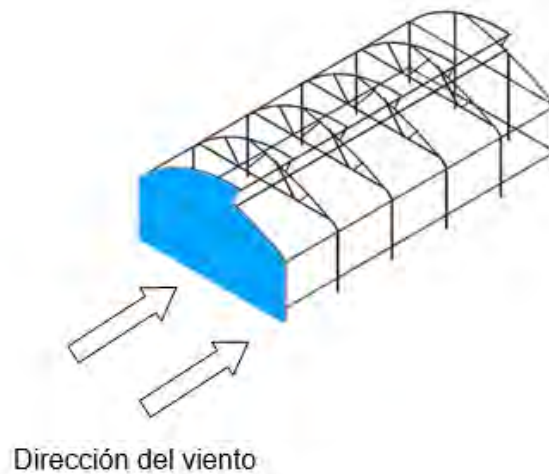


Figura 18 Cara a sotavento

Fuente: Elaboración propia

Partiendo de la Ec.1 la selección del coeficiente de presión exterior $C_{pe}=0.80$.

El factor de reducción de presión por tamaño de área se ve influenciado por la superficie donde reincide el viento. Para el factor (K_A) por la geometría de la estructura, es considerado como un caso no contemplado en cuyo análisis el factor de reducción de presión por tamaño de área (K_A) es considerado como la unidad $K_A = 1$ (Tabla 3.5 Manual de diseño de obras civiles-CFE p.40).

El factor de presión local afectado únicamente por la dirección del viento para este caso en particular es $K_L=1.50$ (Tabla 3.6 Manual de diseño de obras civiles CFE, p.43).

El factor de presión para recubrimientos y anclajes (K_{ra}) será igual a 1.5 y afecta tanto a las presiones interiores como las exteriores (Manual de diseño de obras civiles CFE, p.42).

La presión dinámica de la base varía acorde al comportamiento del viento a determinada altura con referencia a la estructura y es calculada con la Ec.(3)

$$q_z = 0.0048GV_D^2 \text{ Kg/m}^2 \quad \text{Ec.(3)}$$

Donde la velocidad de diseño $V_D = 113.418 \text{ km/h}$ y la variable G parten de Ec.(4)

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + t} \quad \text{Ec.(4)}$$

$T = -2.7^\circ C$ el cálculo de la variable Ω está relacionada a la altitud y la densidad del aire a diferentes alturas (Tabla C.3 Apéndice 4C Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento-CFE 2020), para el cálculo de la variable Ω se realizó una interpolación lineal de las alturas a nivel del mar enlistadas en la Tabla 3.1 Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento (CFE ,2020, p.30) y la altitud de la zona geográfica noroeste de México ,dando como resultado $\Omega = 608.96 \text{ mm de Hg}$.

Con la aplicación de los valores calculados sobre la Ec.3 la presión dinámica de la base $q_z = 54.686 \text{ kg/m}^2$. Con los coeficientes definidos acorde al caso de estudio, el cálculo de la presión exterior (P_e) da como resultado $P_e = 98.433 \text{ kg/m}^2$, interpretándose como la presión que se ejerce sobre la cara a sotavento.

Análisis de la presión del viento en cara a barlovento

Para la cara donde el viento golpea a barlovento el coeficiente de presión exterior $C_{pe} = -0.50$ Tabla 3.2 Manual de diseño de obras civiles, diseño por viento (CFE 2020, p.35)

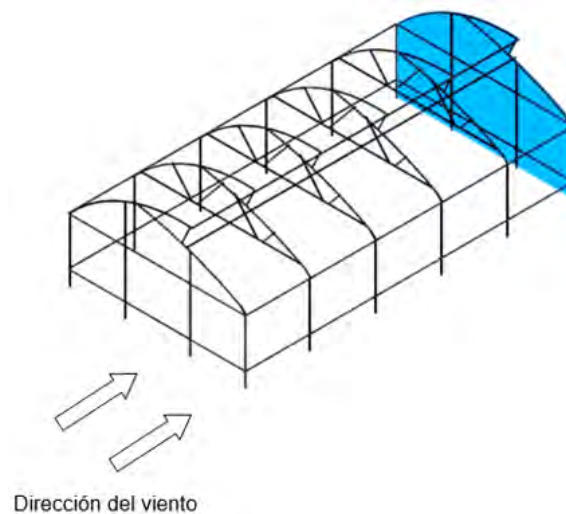


Figura 19 Cara a barlovento

Fuente: Elaboración propia

Por las características de la estructura, es considerado como un caso no contemplado similar al análisis de la cara a barlovento donde el factor de reducción de presión por tamaño de área (K_A) es considerado como la unidad, $K_A = 1$ Tabla 3.5 Manual de diseño de obras civiles (CFE, 2020, p.40).

Al ser el diseño de la estructura principal y por ser el muro a sotavento de la estructura con una cubierta flexible, el factor de presión local es igual a la unidad. $K_L = 1.00$ Tabla 3.6 Manual de diseño de obras civiles (CFE, 2020, p.43).

El factor de presión para recubrimientos y anclajes será igual a 1.5 y afecta tanto a las presiones interiores como las exteriores. $K_{ra} = 1.5$

La presión dinámica de la base es considerada igual que en el análisis de la cara a sotavento. $q_z = 54.686 \text{ kg/m}^2$

Con los coeficientes definidos acorde al caso de estudio , el cálculo de la presión exterior (P_e) da como resultado $P_e = -41.01375 \text{ kg/m}^2$, interpretándose como la succión que está siendo aplicada sobre la cara a barlovento.

Análisis de la presión del viento en caras laterales.

El cálculo de la presión en las caras exteriores se basa, al igual que las caras a sotavento y barlovento en la Ec.(1) sin embargo la forma en como interactúa el viento con las caras es de una forma diferente en comparación a las caras a Sotavento, una de las principales diferencias es la consideración de que el viento generara una presión diferente acorde a lo largo de la estructura.

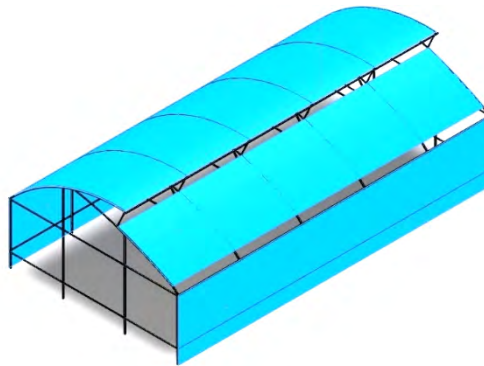


Figura 20 Caras Laterales

Fuente :Elaboración propia

El coeficiente de presión exterior (C_{pe}) varía a lo largo de la estructura en relación con la altura máxima, (Tabla 3.3 Manual de diseño de obras civiles CFE ,2020, p.35) donde ,a partir de la cara a sotavento en la longitud de una a dos veces la altura de la edificación $C_{pe} = -0.50$, para una dimensión menor a la altura de la edificación $C_{pe} = -0.65$. Es decir, se tendrán presiones diferentes en dos secciones distintas de las caras laterales.

El factor de reducción KA en relación con el área tributaria suponiendo que el área tributaria aproximada= 25m^2 da como resultado $KA = .90$

Para el factor de presión local K_L (Tabla 3.6, Manual de diseño de obras civiles, CFE, 2020 Pág. 43) $K_L = 1.5$.

El factor de presión en recubrimientos y anclajes K_{ra} será igual a 1.5 (Manual de diseño de obras civiles, CFE, 2020 Pág. 42) $K_{ra} = 1.5$

Para los 2 casos en donde la presión exterior varia a lo largo de la estructura, la aplicación de los parámetros seleccionados acorde a la geometría genera dos presiones negativas que al igual que la cara a barlovento significan una succión sobre la superficie $P_e = -55.36 \text{ Kg/m}^2$ y $P_e = -71.9791 \text{ Kg/m}^2$.

Para el estudio de la presión interior.

Para completar el estudio del comportamiento de la estructura frente a las fuerzas del viento a las que se ve expuesta la estructura se consideró también una presión interna, para dicho calculo se parte de la Ec.(5)

$$P_i = C_{pi} * K_{ra} * Q_z \quad \text{Ec.(5)}$$

Donde:

P_i =Presión Interior

C_{pi} =Coeficiente de presión interior (adimensional)

K_{ra} =Factor de presión para recubrimientos y anclajes (adimensional)

Q_z =Presión dinámica de la base Kg/m^2

El cálculo de la presión interior va relacionado a aperturas de la edificación además de variables también empleadas en el cálculo de la presión exterior como la presión dinámica de la base (Q_z)

Para identificar las áreas de apertura en este caso las ventilaciones laterales del invernadero

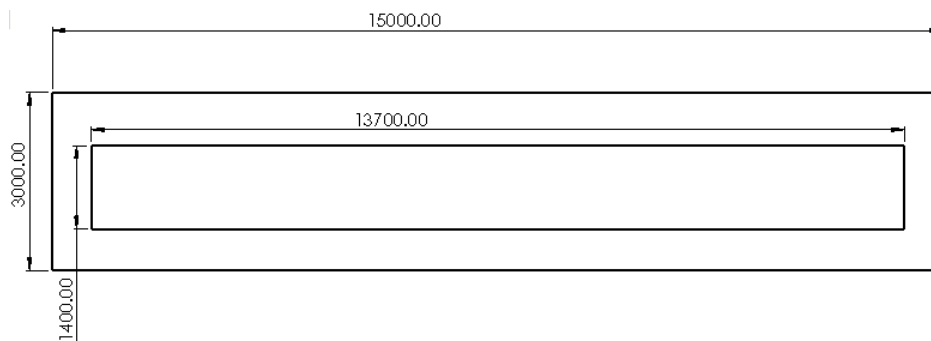


Figura 21 Apertura de ventilaciones totalmente abiertas

Fuente: Elaboración propia

El área de ventilación del invernadero consta de ventilaciones laterales principales que, aunque se encuentran cubiertas con una malla protectora contra insectos esta no es considerada como un muro impermeable ya que fluidos como el agua y el viento pueden entrar a través de las aperturas $A = 19.18 \text{ m}^2$ (Tabla 3.8(a) manual de diseño de obras civiles CFE, 2020, p.49), se tiene un muro impermeable a barlovento y sotavento y dos muros permeables en los laterales, $C_{pi} = -0.30$. El factor de presión para recubrimientos al igual que las demás caras se considera igual al no ser algún caso especial para el cálculo de la presión interior, $K_{ra} = 1.5$. Represión dinámica de la base fue considerada igual en todo el caso de estudio, $Q_z = 54.685 \text{ kg/m}^2$. La presión interior calculada en base a los coeficientes seleccionados para la configuración particular de los muros permeables e impermeables es considerada uniforme en todo el interior de la estructura $P_i = 24.60825 \text{ Kg/m}^2$.

RESULTADOS

Se aplicó las normativas vigentes en la República Mexicana para la construcción de invernaderos, comparando los resultados en el cálculo de cargas contra el comportamiento de una estructura física. El uso del método de elemento finito en la simulación proporciona información de las zonas que potencialmente pueden resultar comprometidas por las cargas involucradas.

Los siguientes resultados son el contraste de las formas en que fueron ubicadas las cargas que actúan en la estructura, empleando el método enlistado en la normativa mexicana, figura 9.

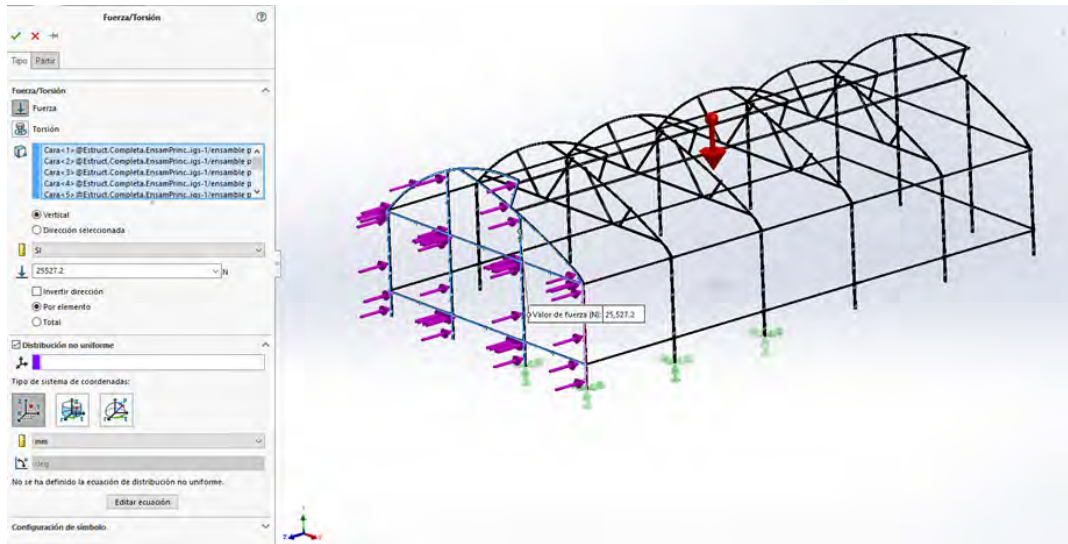


Figura 22 Experimento de distribución uniforme de cargas

Fuente: Elaboración propia

La simulación realizada en SolidWorks con cargas distribuidas de manera uniforme generó resultados no significativos para el estudio, las deformaciones no comprometen la integridad de la estructura, figura 10.

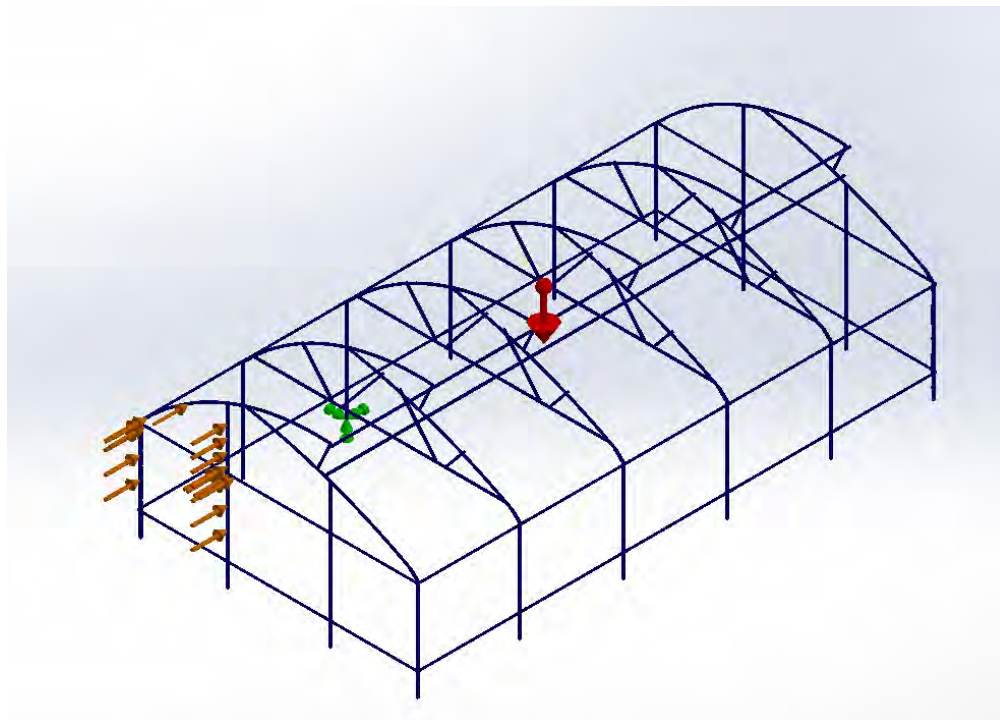


Figura 23 Deformaciones con aplicación de cargas uniformes

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se simuló el modelo en un túnel de viento, ya que la distribución de este fluido no es uniforme y se reconsideró la aplicación de las cargas, los escenarios principales fueron con vientos a 30 km/h y 124 km/h correspondiendo a la velocidad promedio y el máximo considerado a un periodo de retorno de 5 años. El comportamiento del viento sobre la geometría del invernadero mostró una concentración de presión en la cara a sotavento y una reducción de presión en la cara a barlovento, figura 11, figura 12.



Figura 24 Mapa de presiones en estructura con cubiertas

Fuente: Elaboración propia

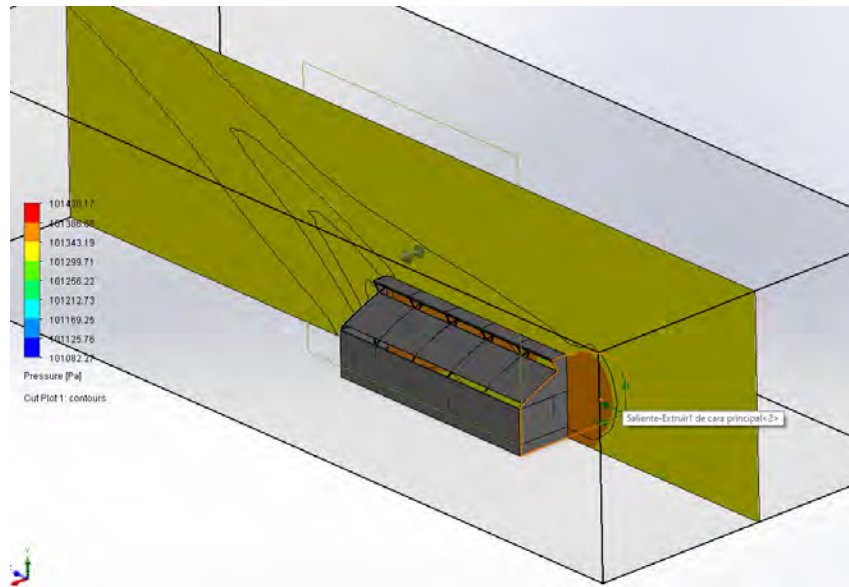


Figura 25 Mapa de presiones en estructura con cubiertas

Fuente: Elaboración propia

La simulación permitió la extracción de un mapa de presiones que posteriormente es posible aplicar en un análisis estático he identificar deformaciones presentes, figura 13 y la concentración de cargas, figura 14.

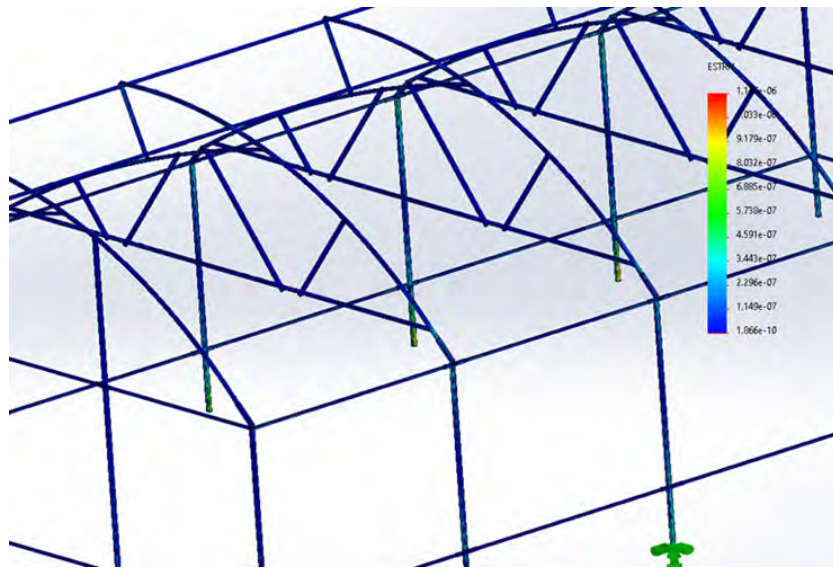


Figura 26 Deformaciones estructurales

Fuente: Elaboración propia

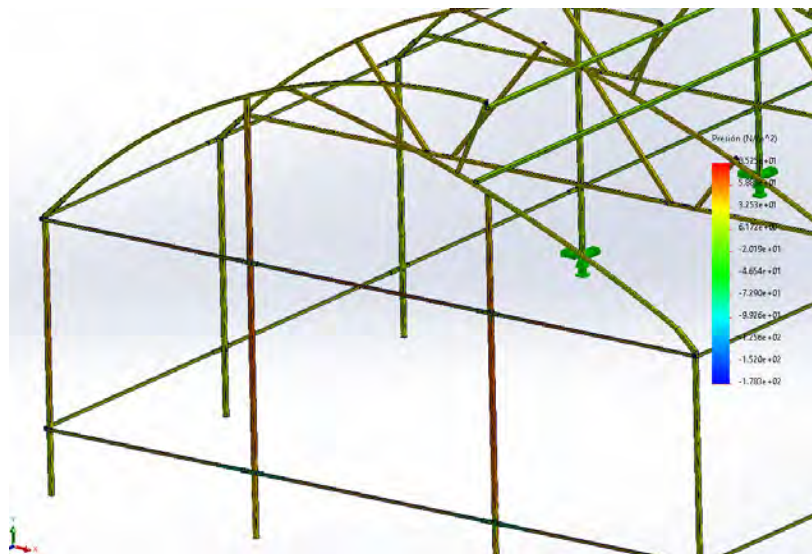


Figura 27 Mapa de presiones estructurales

Fuente: Elaboración propia

El escenario donde la velocidad del viento fue de 124 km/h, la extracción del mapa de presiones tuvo un comportamiento igual al escenario donde la velocidad fue de 30 km/h, la concentración de presiones fue mayor en la cara a sotavento y la simulación en este escenario fue realizada con cubiertas plásticas, figura 15. Sin embargo, la estructura no presenta deformaciones importantes, el único componente que se ve comprometido son las cubiertas en la cara a sotavento, figura 16.

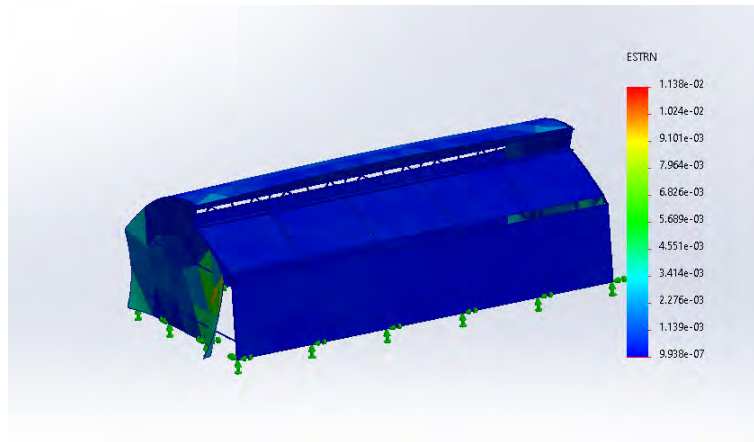


Figura 28 Deformaciones en estructura, viento 124km/h
Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Se realizó el análisis estructural correspondiente a un invernadero con ventilación cenital mediante simulaciones de túnel de viento. Se obtuvo un mapa de presiones con un comportamiento similar más no igual al estudio que se derivó mediante la aplicación de la normativa NMX-E-255-CNCP-2008, las coincidencias de la simulación mediante flujo computacional con respecto a la norma mexicana fue en las zonas de baja presión, concentrando los esfuerzos en la cara a sotavento y partes de la cimentación, sin comprometer la estabilidad de la estructura aun en escenarios donde la velocidad del viento es considerablemente mayor al promedio que se presenta en la zona noroeste de México. Lo anterior indica la posibilidad de simplificar la estructura manteniendo la solidez necesaria para su implementación, haciendo la propuesta de un invernadero ligero que sea posible analizar con los mismos procedimientos buscando presente un comportamiento similar a la estructura del caso de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fernández-García, M. S., Vidal-López, P., Rodríguez-Robles, D., Villar-García, J. R., & Agujetas, R. (2020). Numerical Simulation of Multi-Span Greenhouse Structures. *Agriculture*, 10(11), 499. <https://doi.org/10.3390/agriculture10110499>
- de, C. (2015). NSR-98. Título B Cargas. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - PDF Free Download. Docplayer.es. <https://docplayer.es/13745856-Nsr-98-titulo-b-cargas-normas-colombianas-de-diseno-y-construccion-sismo-resistente-asociacion-colombiana-de-ingenieria-sismica.html>
- Manual de Diseño de Obras Civiles Por Viento 2020. (2020). Scribd. <https://es.scribd.com/document/511751047/Manual-de-Diseno-de-Obras-Civiles-Por-Viento-2020>
- Jiménez- López, Pablo. (2020). PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UN INVERNADERO PARA CULTIVO AEROPÓNICO AUTOMATIZADO. Ujaen.es. <https://hdl.handle.net/10953.1/12096>
- Mexicana De Horticultura, A., & Ac, P. (n.d.). Agricultura Protegida en México. <http://amhpac.org/2018/images/PDFoficial/HorticulturaenMexico.pdf>
- Desarrollo. (2023). Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA's). Conagua.gob.mx. <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- PRINCIPALES TIPOS DE INVERNADEROS (1ª parte). (n.d.). <https://drcomag.yolasite.com/resources/MATERIALESytiposdeINVERNADEROS.pdf>
- Agudelo, A. (2022, April 20). Estructurando. Estructurando. <https://estructurando.net/2022/04/20/una-sencilla-regla-obtener-periodo-fundamental-edificio/>

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURAS CRIÓGENICAS USANDO UN SENSOR RTD

JUAN CARLOS VELÁZQUEZ CHÁVEZ¹, EDUARDO GAMERO INDA², FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA³, JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ RIVERA⁴

RESUMEN:

Una de las mayores necesidades de los productores de la Unión Ganadera Local de Durango, es optimizar la capacidad de congelación de espermatozoide bovino para inseminación artificial en sus congeladores. Por tal motivo, se construyó un congelador criogénico transportable con una capacidad y volumen variable en la *Unidad de Posgrados e Investigación y Desarrollo Tecnológico del Instituto Tecnológico de Durango* en el estado de Durango, México. El presente artículo se ocupa de su instrumentación, abordando el proceso de diseño, construcción y análisis de la respuesta de un medidor criogénico. El diseño cuenta con 4 etapas: el puente de Wheatstone, amplificación de instrumentación, conversión voltaje-corriente y conversión corriente-voltaje. El circuito diseñado transforma la temperatura en un voltaje equivalente de 1 V a 5 V, el medidor hace uso de un sensor RTD (Resistance Temperature Detector) el cual aprovecha el fenómeno de variación de resistencia en relación con la variación de temperatura. El dispositivo tiene un rango de temperatura de -196°C a 30°C. Aunado a ello, se implementó una normalización con la transformación de la señal en la etapa de conversión voltaje-corriente (4-20 mA), dándole una adaptabilidad para actuar en sistemas industriales. Como resultado de las pruebas se obtuvo una recta de calibración auxiliándose de un dispositivo de medición de temperatura criogénica certificado de la marca Traceable®, obteniendo una respuesta aceptable. El rango obtenido permite una compatibilidad con tarjetas de adquisidoras de datos.

Palabras clave: Instrumentación, RTD, Inseminación artificial, Medidor de temperatura, Criogenia

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. juan.velazquez.96@hotmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. egamero@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. jamartinez@itdurango.edu.mx

ABSTRACT:

One of the needs of the producers of the Unión Ganadera Local de Durango is optimizing the capacity of the process of bovine spermatozoa freezing for artificial insemination in their freezers, for that reason, it was constructed a transportable cryogenic freezer with variable capacity and volume in the *Unidad de Posgrados e Investigación y Desarrollo Tecnológico* of the *Instituto Tecnológico de Durango* in the state of Durango, México. The present work attends the instrumentation of this, boarding the design, construction, and analysis of the response of a cryogenic measurer. The design has 4 stages which are the Wheatstone bridge, instrumentation amplification, voltage-current conversion, and current-voltage conversion. The designed circuit works with an equivalent voltage of 1 V to 5 V, it uses a RTD (Resistance Temperature Detector) sensor which takes advantage of the phenomenon of variance of resistance in relation to the change in temperature. The device has a range of -196 °C to 30 °C. Added to it, the voltage-current stage intends to give a standardization to the device transforming the voltage of the amplification stage into a current of 4 – 20 mA, being the standard measure of the industry. As a result of the tests, it was obtained a calibration line, being helped by the cryogenic temperature measurer device certified by the brand Traceable®, obtaining an acceptable answer. The obtained range is compatible with most data acquirer cards.

Key words: Instrumentation, RTD, Artificial Insemination, Temperature Measurer, Cryogenics

INTRODUCCIÓN

Un congelador criogénico es una máquina que convierte el trabajo en energía de refrigeración (Walker, 1983). En el proceso de conservación de especímenes de espermatozoides, la adaptabilidad es un aspecto importante en el que están involucrados los métodos de congelación, conservación y descongelamiento (Watson, 1995). Sin embargo, puede ser complejo debido a cuatro principales causas: el cambio de temperatura, el estrés de osmosis, la toxicidad y la exposición a concentraciones molares del crioprotector (Watson, 2000). La tasa de disminución

de temperatura a la que se realiza el decremento no es una pendiente constante, pues existen temperaturas críticas en las cuales un cambio abrupto puede afectar a la supervivencia del espécimen (Holt, 2000). Por ello, algunos autores han realizado pruebas para determinar la tasa de decremento de temperatura óptima y con ello elevando la tasa de supervivencia (Vutyavanich et al., 2010; Dalal et al., 2018; Dias et al., 2018).

Para la medición de temperatura existe una amplia gama de sensores como los RTD (Resistance Temperature Detectors), los termistores y los termopares. No obstante, la opción para medir temperatura en ambientes similares es el uso del sensor RTD debido a su rango de temperatura, a la resolución disponible, facilidad de uso y la linealidad que presentan (Liu et al., 2010; OMEGA, 2023.). El funcionamiento de un RTD se basa en la equivalencia entre la temperatura y la resistencia encapsulada en un cilindro metálico (Arian, 2023.). Esta señal puede ser manipulada por medio de un circuito medidor de temperatura permitiendo realizar una conversión entre temperatura y voltaje.

El presente trabajo nace a partir de la necesidad propuesta por los productores de la Unión Ganadera Local de Durango, el congelador que se encuentra en operación cuenta con una capacidad aproximada de 3600 pajillas de semen bovino. Sin embargo, el costo de funcionamiento es elevado y regularmente no se usa a la capacidad máxima. Por lo anterior, se diseñó y construyó un medidor de temperatura que permita la medición óptima a temperaturas criogénicas, posterior a la construcción de un congelador de capacidad y volumen variable.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del puente de Wheatstone

Se utilizó un sensor RTD PT100 de tres hilos de platino para evitar perturbaciones debido a la longitud de los cables. El diseño cuenta con cuatro etapas, la primera consiste en un puente de Wheatstone. Este consta de una disposición de cuatro resistencias divididas en dos líneas configuradas en paralelo, considerando el RTD de tres hilos como una resistencia (Figura 1).

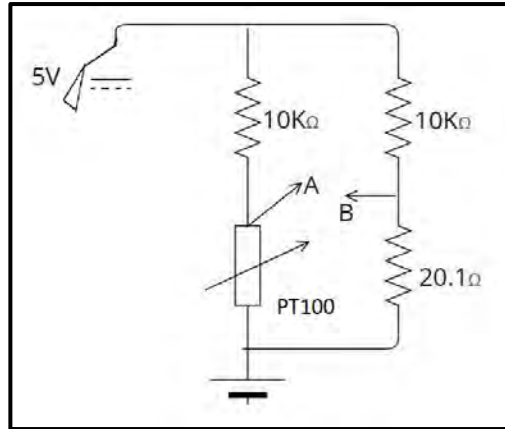


Figura 1-Circuito de puente de Wheatstone

La resistencia paralela al RTD fue ajustada a 20.1Ω con un potenciómetro de precisión genérico para equilibrar el puente. Es decir, obtener una medición de diferencial de voltaje entre las líneas de 0 V cuando la temperatura sea de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las resistencias restantes fueron seleccionadas tras considerar que la corriente que circula por el RTD debiera ser menor a 1 mA, ya que a esta corriente ocurre un calentamiento en el sensor afectando las mediciones subsecuentes (Arian,2023.). Considerando una alimentación de 5 V y proponiendo el uso de resistencias comerciales para el puente de 10 kΩ, se utilizó la de ley de Ohm para determinar la corriente circundante en el circuito (Ecuación 1):

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5v}{10020.1\Omega} = 0.498mA \quad \text{Ecuación 1}$$

Tomando en cuenta el diseño mencionado anteriormente, se obtuvo el rango valores de voltaje del diferencial del puente (Ecuación 2) (Pallás-Areny & Webster, 2001) :

$$V_o = V_i \left(\frac{RT1}{R1 + RT1} - \frac{R3}{R2 + R3} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$V_o = 5v \left(\frac{111.67\Omega}{9.7k\Omega + 111.67\Omega} - \frac{20.1\Omega}{9.7k\Omega + 20.1\Omega} \right) = 0.046V$$

$$V_o = 5v \left(\frac{20.1}{9.7k\Omega + 20.1\Omega} - \frac{20.1\Omega}{9.7k\Omega + 20.1\Omega} \right) = 0V$$

La resolución del puente, es decir, el voltaje equivalente a cada °C (Ecuación 3) (Pallás-Areny & Webster, 2001):

$$Re = \frac{\text{Rango voltaje}}{\text{Rango Temperatura}} = \frac{5V}{226^{\circ}C}$$

$$= 0.0221 \frac{V}{^{\circ}C} \quad \text{Ecuación 3}$$

Diseño de la etapa de amplificación

Para la segunda etapa, se consideró un voltaje de salida de 0 a 5 V, por lo que fue necesario el uso de un amplificador operacional de instrumentación, para evitar la generación de ruido como respuesta al rechazo en modo común (CMMR por sus siglas en inglés) del amplificador (IEEE, 2001) . El circuito diseñado para esta etapa fue basado en la composición del circuito integrado INA128PA, (Figura 2).

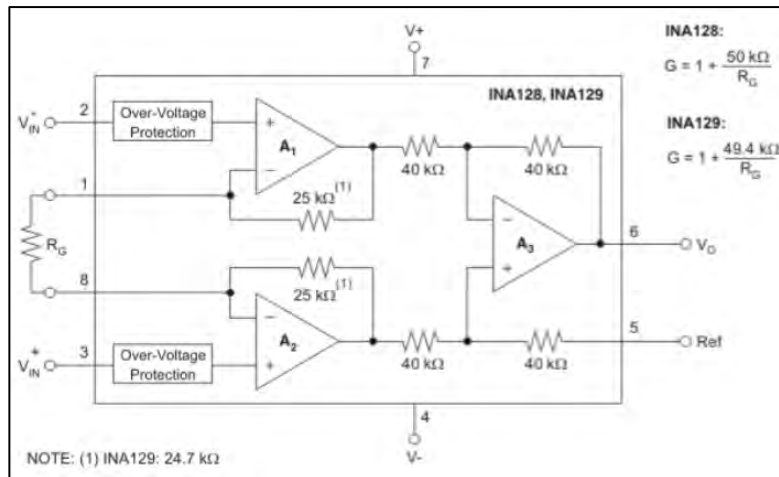


Figura 2.- Circuito amplificador de instrumentación INA128PA (Texas Instruments,2023).

De esta manera, para ajustar la ganancia del circuito a 100 que es el factor para transformar la salida del puente de Wheatstone al rango deseado en el amplificador, fue necesario calcular el valor de R_G con la ecuación de ganancia del circuito amplificador (Ecuación 4) (Texas Instruments, 2023):

$$R_G = \frac{50K\Omega}{G - 1} = \frac{50K\Omega}{(100 - 1)} = 505.05\Omega \quad \text{Ecuación 4}$$

Dicha resistencia fue ajustada por medio de un potenciómetro de precisión genérico de 1KΩ.

Diseño de etapa de conversión voltaje-corriente

En la tercera etapa, la normalización de la señal fue basada en la transformación del voltaje de salida del amplificador, en un valor de corriente. Durante la etapa de conversión se utilizó un módulo comercial genérico de conversión de voltaje a corriente, de 0 V a 5 V. Este módulo cuenta con potenciómetros de ganancia permitiendo ajustar tanto la corriente mínima como la máxima de salida. Estos valores se ajustaron de manera que la salida sea de 4 a 20 mA, permitiendo normalizar la señal de salida a la norma industrial más utilizada en transmisión de datos (Texas Instruments, 2018)(Figura 3).



Figura 3.-Circuito de conversión voltaje-corriente

Convertidor de corriente a voltaje

Para lograr una conexión entre el medidor y las tarjetas adquisidoras del mercado, en la etapa cuatro, se desarrolló una etapa opcional de conversión. Se colocó una resistencia de $250\ \Omega$, de manera que el voltaje de salida sea de 1 a 5 V. Además, se implementó un amplificador operacional en modo de seguidor de voltaje, con ello el circuito quedó aislado, evitando ruido e interferencia en el medidor de las etapas posteriores que pudieran acoplarse (Figura 4).

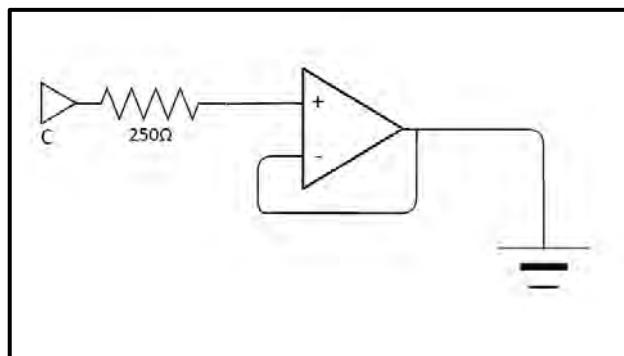


Figura 4.- Conversión de corriente-voltaje con seguidor de voltaje

Una vez completadas las cuatro etapas del diseño del circuito se procedió a su construcción en una protoboard para posteriormente realizar las pruebas de linealización.

Diseño de las pruebas

Para un óptimo comportamiento en el medidor, fue necesario analizar el factor de correlación de la ecuación de la respuesta. Este factor determina el grado de linealidad, por tanto, fue necesario analizar con una gráfica el voltaje de salida del circuito comparándolo con la temperatura real del ambiente en el que se mide. Por ende, se auxilió de un medidor certificado de temperatura criogénico de la marca Traceable® con certificado de calibración (Figura 5).



Figura 5.- Sensor criogénico certificado (Traceable®).

Para el diseño de las pruebas se midió el voltaje de salida con un multímetro y la temperatura, con una lectura visual del medidor criogénico. Este medidor permitió registrar los datos cada 10 segundos. Las bayonetas del medidor certificado y el RTD se encintaron con una cinta de teflón, con el objetivo de que las mediciones fueran en una misma área (Figura 6).



Figura 6.- Bayonetas encintadas con teflón.

Los medidores se sometieron a cinco temperaturas específicas de diferentes sustancias, ya que es complicado reducir la temperatura de manera gradual, a diferencia de incrementarla. Las temperaturas y las sustancias utilizadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas de prueba del circuito

Elemento	Temperatura Ideal
Agua a temperatura ambiente	20 °C
Hielo en agua	0 °C
Hielo seco	-79 °C
Nitrógeno líquido	-196 °C

Finalmente, se registraron 49 mediciones para desprestigiar los datos que contenían ruido, se calculó un promedio de temperatura y voltaje y con ello, se realizó la curva de comportamiento del medidor.

Ejecución de las pruebas

La prueba de la medición del agua a temperatura ambiente consistió en un envase plástico con 750 ml agua.

Posteriormente, la prueba de hielo en agua se realizó en dos diferentes modalidades. La primera fue agua con hielo en la temperatura de un refrigerador y la segunda, agua con hielo a temperatura de un congelador. Estas dos pruebas mostraron resultados similares que suavizan el área de la curva de comportamiento (Figura 7).



Figura 7.- Prueba de agua refrigerada

A continuación, fue realizada la prueba en hielo seco. Este se contuvo en una hielera, la cual mantenía la temperatura constante por un tiempo prolongado. Las bayonetas fueron cubiertas casi en su totalidad por el hielo seco para asegurar que la temperatura fuera la menor posible. (Figura 8).



Figura 8.-Prueba en el hielo seco

Finalmente se realizó una prueba con nitrógeno líquido, el cual se contuvo en un tanque criogénico de material metálico que mantuvo la temperatura por el tiempo suficiente para realizar las pruebas. Previo a las pruebas se realizó un vaciado del tanque para bajar la temperatura de la estructura en sí, y con ello, el nitrógeno vaciado tardaría más en evaporarse.

Para las pruebas se vaciaron aproximadamente 4 L de nitrógeno y se sumergieron las bayonetas al fondo del tanque, manteniéndolas en contacto directo con el nitrógeno líquido (Figura 9).



Figura 9.-Prueba del nitrógeno

A partir de los resultados de las pruebas se realizó una gráfica relacionando las variables de temperatura y voltaje con la intención de desarrollar una linealización del dispositivo.

RESULTADOS

El valor de temperatura mínimo obtenido en las pruebas se muestra a continuación (Tabla 2):

Tabla 2. Temperaturas mínimas en las pruebas

Sustancia	Valor mínimo obtenido
Agua a temperatura ambiente	21.1 °C
Agua refrigerada	3°C
Hielo seco	-73.1 °C
Nitrógeno líquido	-197.72 °C

El dispositivo demostró un factor de correlación de 0.9849, el cual es favorable debido a que los datos presentan una linealidad aceptable. Sin embargo, para un óptimo funcionamiento en el dispositivo se linealizó por completo la respuesta, obteniendo una recta de calibración, siendo compuesta por la ecuación $y=84.506x-371.64$, beneficiando al dispositivo como una interpretación lineal de la relación voltaje-temperatura (Figura 10).

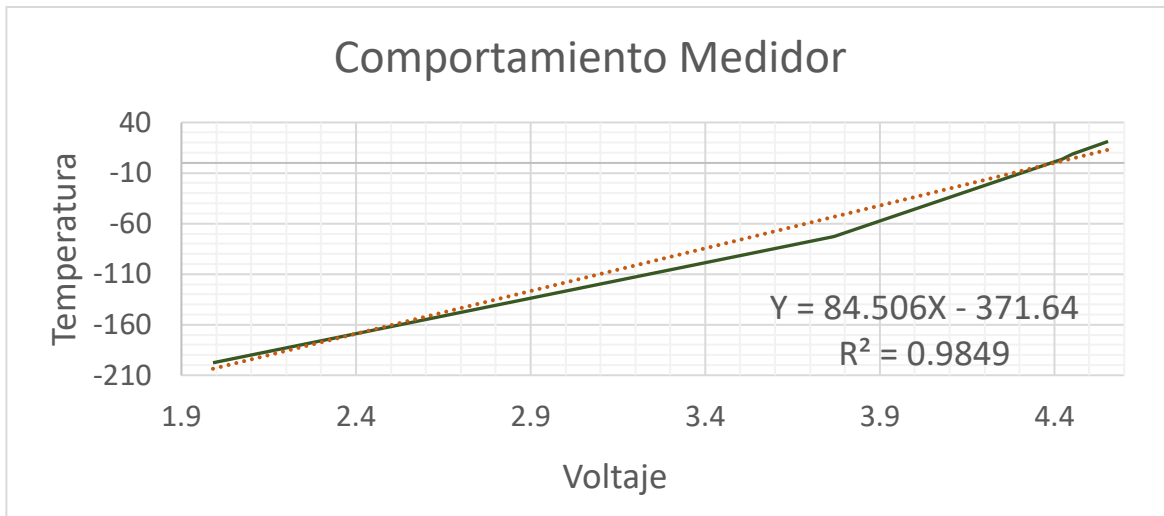


Figura 10.- Gráfica de comportamiento de las pruebas del circuito

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El circuito presentó un funcionamiento óptimo para las condiciones de uso planteadas en el objetivo. Se alcanzó un rango de temperatura aceptable para una tarjeta adquisidora de datos para realizar la acción de control. La normalización de la señal de salida del circuito también fue un aspecto positivo del mismo, pues le da

una versatilidad ante las distintas tarjetas adquirentes de datos ya que en su mayoría aceptan voltajes entre 0 a 5 V.

Un aspecto a mejorar es la estructura del dispositivo, la construcción del mismo en una tarjeta de circuitos impresa lograría un mejor desempeño al hacerlo más robusto y de esa manera hacerlo menos susceptible al ruido, permitiendo una mayor precisión y exactitud en las mediciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arian. (2023, Marzo 26). Control & Instrumentation support. Recuperado de bit.ly/41pRpts.
- Dalal, J., Kumar, A., Dutt, R., Singh, G., & Chandolia, R. K. (2018). Different Cooling Rate for Cryopreservation of Semen in Various Livestock Species: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(08), 1903–1911. <https://doi.org/https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.219>
- Dias, E. A. R., Campanholi, S. P., Rossi, G. F., Freitas Dell'Aqua, C. de P., Dell'Aqua, J. A., Papa, F. O., Zorzetto, M. F., de Paz, C. C. P., Oliveira, L. Z., Mercadante, M. E. Z., & Monteiro, F. M. (2018). Evaluation of cooling and freezing systems of bovine semen. *Animal Reproduction Science*, 195, 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.05.012>
- Holt, W. v. (2000). Basic aspects of frozen storage of semen. en *Animal Reproduction Science* (Vol. 62). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00152-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00152-4)
- IEEE (2001). IEEE Standard for Terminology and Test Methods for Analog-to-Digital Converters. 3-89 IEEE. ISBN 0-7381-2725-6SS 94902
- Liu, J., Li, Y., & Zhao, H. (2010). A temperature measurement system based on PT100. *Proceedings - International Conference on Electrical and Control Engineering, ICECE 2010*, 296–298. <https://doi.org/10.1109/iCECE.2010.79>
- OMEGA. (2023, Abril 13). Introduction to Pt100 RTD Temperature Sensors. recuperado de bit.ly/43xT7Ln
- Pallás-Areny, R., & Webster, J. G. (2001). *Sensors and signal conditioning* (I. OHN WILEY & SONS, Ed.; 2°). (pp.152-182) Wiley.
- Texas Instruments. (2018). 4- to 20-mA Loop-Powered RTD Temperature Transmitter Reference Design With MSP430 Smart Analog Combo recuperado de bit.ly/3KENSdL
- Texas Instruments. (2023, Abril 14). INA12x Precision, low power Instrumentation Amplifiers recuperado de bit.ly/4090kia
- Vutyavanich, T., Piromlertamorn, W., & Nunta, S. (2010). Rapid freezing versus slow programmable freezing of human spermatozoa. *Fertility and Sterility*, 93(6), 1921–1928. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.04.076>
- Walker, G. (1983). *Cryocoolers. Part 1: Fundamentals* (K. D. Timmerhaus, C. Alan F., O. J. L., & F. R. S. K. Mendelssohn, Eds.; 1st ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-5286-8>

Watson, P. F. (1995). Recent developments and concepts in the cryopreservation of spermatozoa and the assessment of their post-thawing function. *Reproduction, Fertility and Development*, 7(4), 871–891. <https://doi.org/10.1071/RD9950871>

Watson, P. F. (2000). The causes of reduced fertility with cryopreserved semen. *ELSEVIER*, 1, 481–492. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00099-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00099-3)

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO INTEGRADO PARA MEDICIÓN DE pH, TEMPERATURA Y HUMEDAD EN MICROSILOS DE MAÍZ

MERIT CISNEROS GONZÁLEZ¹, DAVID ORANDO ROMERO SOTO², DARÍO CISNEROS ARREOLA³, MANUEL ISMAEL MATA ESCOBEDO⁴, MIGUEL JAIME DÍAZ CAMPILLO⁵

RESUMEN

El siguiente proyecto expone el desarrollo y prueba de un dispositivo capaz de obtener mediciones de variables físicas dentro de un silo de maíz (*Zea Mays*). Las variables que fueron propuestas a medir son: temperatura, humedad y pH. El objetivo del dispositivo es monitorear el comportamiento de estas variables durante el proceso de fermentación del silo y con ello poder predecir el tiempo de su destape. Para el diseño y construcción del prototipo, se consideraron diferentes tarjetas de desarrollo electrónicas de microcontroladores en conjunto con sensores para encontrar la configuración electrónica adecuada. Debido a que de la selección adecuada de los componentes dependerá el correcto funcionamiento del mismo para adaptarse a las condiciones de trabajo que exige un silo, como lo son: la variación en la temperatura, la resistencia mecánica, el contacto constante con polvo y humedad además de resistir estas condiciones durante el tiempo que tarda en madurar el maíz forrajero. El dispositivo desarrollado fue probado en un microsilo de maíz por 30 días, recopilando datos de las variables cada 60 minutos arrojando como resultado el indicador de una relación entre la temperatura y el pH. Se concluyó que el diseño del dispositivo es útil para la medición y el monitoreo constante en el proceso de maduración del ensilaje en microsilos de maíz.

Palabras clave: Microsilo, maíz, sensores, microcontroladores.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. merit.cg@vguadiana.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. M11041066@vguadiana.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. dario.ca@vguadiana.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana. manuel.me@vguadiana.tecnm.mx

⁵ Centro Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 130. diaz.campillo@gmail.com

ABSTRACT

The following project describes the development and testing of a device capable of obtaining measurements of physical variables inside a maize (*Zea Mays*) micro-silage. The variables proposed to be measured are: temperature, humidity and pH. The aim of the device is to monitor the behavior of these variables during the fermentation process of the micro-silage and thus be able to predict the time of uncovering. For the design and construction of the prototype, different microcontroller electronic development boards were considered in conjunction with sensors to find the appropriate electronic configuration. The correct functioning of the device will depend on the proper selection of the components to adapt to the working conditions that a silo requires, such as: temperature variation, mechanical resistance, constant contact with dust and humidity, as well as withstanding these conditions during the time it takes for the forage maize to reach maturity. The developed device was tested in a maize micro-silage for 30 days, collecting data on the variables every 60 minutes, resulting in the indicator of a relationship between temperature and pH. It was concluded that the design of the device is useful for the measurement and constant monitoring of the silage maturation process in maize micro-silage.

Keywords: Micro-silage, maize, sensors, microcontroller.

INTRODUCCIÓN

La creatividad, el análisis e implementación de técnicas han dado como resultado avances tecnológicos que han resuelto problemas a nivel local como global (Press, 1988). La agricultura y otras técnicas como la ganadería han dado paso a una actividad agroindustrial que busca el desarrollo de la tierra en beneficio de la humanidad de una manera sustentable (Rockström et al. 2017). Por las razones anteriores, el estudio de la agricultura a nivel tecnológico es esencial para mejorar el manejo del producto del campo (King, 2017).

El impacto de la tecnología en el sector agroindustrial se ve reflejado en su producto final, aumentando las ganancias económicas y proveyendo la facilidad a una expansión agrícola (Sánchez & Mendoza, 2019). Uno de los motivos más

importantes de utilizar tecnologías digitales en el sector agroindustrial es la generación de datos en tiempo real que permitan una mejor administración de los recursos (Shamin et al., 2019).

Específicamente, en el área de forrajes que es donde compete esta investigación, la tecnología también ha impactado logrando mejorar su rendimiento. Cuando se busca conservar la cosecha por largos periodos de tiempo y que al mismo tiempo mantenga propiedades nutritivas para ser utilizado en consumo pecuario, se ha recurrido comúnmente al proceso de ensilaje. Dicho proceso genera pérdidas mínimas, representando una fuente de alimento hasta un año después de haberse cosechado el forraje.

El ensilaje es un método de conservación de alimentos que utiliza un silo, el cual es una estructura que se encarga de mantener aislado el forraje con dos finalidades principales: propiciar una fermentación anaeróbica y mantener el forraje apto para el consumo bovino (Avila & Carvalho, 2020).

En la actualidad, los datos son esenciales en todas las ramas de la industria y la ciencia, el empleo de estos tiene una finalidad de interpretación estadística. Con esa interpretación de datos se procede a desarrollar conclusiones y decisiones que ayuden en el desarrollo de un proyecto (Barreto-Villanueva, 2012).

Siendo más específicos para fines de este proyecto, el dispositivo desarrollado enfocó su implementación en el análisis del maíz forrajero (*Zea Mays*) ya que sus características nutricionales como la cantidad de biomasa que desarrolla son ideales para la alimentación de ganado bovino (Khan et al., 2015).

El proyecto que se presenta en este documento es el diseño y desarrollo de un dispositivo que tenga la función de registrar temperatura, humedad y pH dentro de un silo de maíz. Esto con el fin de determinar cómo interactúan estas variables y sus características al momento de la maduración del ensilaje. Algunos estudios de laboratorio demuestran que hay una interacción entre variables físicas y desarrollo microbiológico en silos de forrajes (Borreani & Tabacco, 2010) y con ello dan como resultado un buen (o mal) aprovechamiento en un ensilado (Koc et al., 2009). De hecho, la temperatura es una variable que juega un papel muy importante en el desarrollo de las bacterias anaerobias (Ferrero et al., 2021). La finalidad de este

dispositivo es que sea implementado en ensilaje de forrajes (en este caso, maíz forrajero) para determinar tiempos óptimos de fermentación dentro del silo para su posterior destape.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Materiales

Entre las diferentes variables que intervienen en la maduración de un silo, se destacan el incremento en el dióxido de carbono mientras se mantiene el proceso anaerobio, la disminución de pH, el aumento de la temperatura y de la humedad. Para recopilar las variables de interés se requiere del empleo de un *data logger* programado para recopilar los datos durante días, sin la intervención humana. De aquí parte la identidad del prototipo donde se establece la función principal y su utilización en la recolección de datos. Los materiales utilizados se listan en la Tabla 1.

Tabla 1 Materiales utilizados.

Tarjetas de desarrollo	ESP32WROOM®
Sensores	SHT10
	PH-S RS485
	MH-Z16
Otros	Powerbank 10000 mAh
	Lector SD
	Pantalla LCD
	Memoria SD
	Cable AWG 22
	Conector MAX485TTL
	RTC DS3231

METODOLOGÍA.

La metodología con la cual se desarrolló el proyecto consta de cuatro partes o fases:

- 1. Desarrollo de los prototipos del dispositivo:** Comprende el armado de todos los módulos electrónicos, la programación de las tarjetas de desarrollo (STM32, Arduino y ESP32 WROOM), el cableado de sensores, el diseño y construcción de carcasa.
- 2. Prueba en campo:** Una vez elegida la tarjeta de microcontrolador, la prueba de campo se desarrolla utilizando el dispositivo en diferentes ambientes adversos (interacción con altas cantidades de humedad, temperatura y polvo). Posteriormente se emplea dentro un micro silo para evaluar su desempeño realizando lecturas día a día.

3. **Retroalimentación:** Después de las pruebas de campo, se determinan los puntos buenos y malos del dispositivo. Se analizan mejoras a implementar y se aplican al dispositivo para repetir una prueba de campo; el objetivo es lograr un producto final estable.
4. **Implementación en campo:** Se usa el dispositivo con las mejoras implementadas en el material ensilado desde el "día 0", se procede a recopilar los datos del ensilado y pasados 30 días de operación, se analizan los datos obtenidos.

La configuración del dispositivo se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 29 en la cual se observa su estructura general y cómo interactúan sus elementos, siendo aplicado este diagrama a las 3 tarjetas de desarrollo seleccionadas (Arduino®, STM 32 y ESP32). A partir de dichas pruebas, el ESP32 WROOM fue elegido para llevar a cabo el proyecto, debido a su alta compatibilidad con la comunicación tipo serie con los sensores elegidos, además de la estabilidad en su operación.

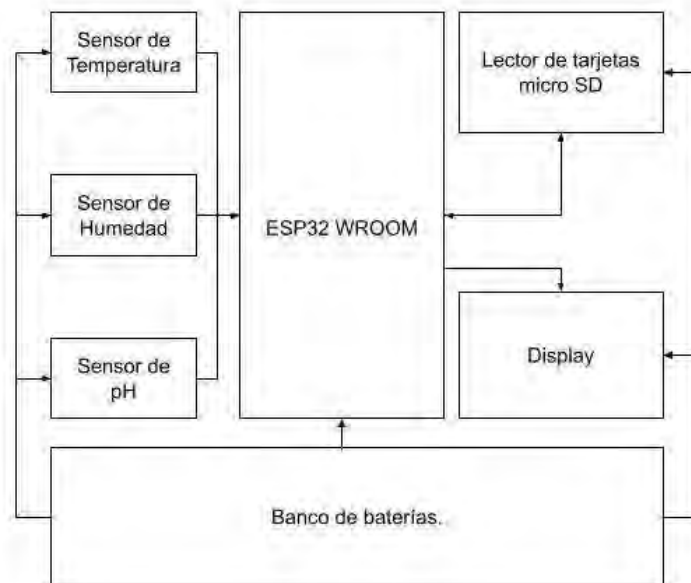


Figura 29 Diagrama del dispositivo de medición.

El funcionamiento parte de la tarjeta de control, que se encarga de recibir los datos de los tres sensores y tiene una comunicación tanto de lectura y escritura con el módulo SD, lo que permite al programa poder realizar una calibración y recopilación de datos. Todos los elementos son alimentados por un banco de baterías de 10000 mAh.

La Figura 30 describe el circuito eléctrico utilizado para la interacción entre los elementos electrónicos.

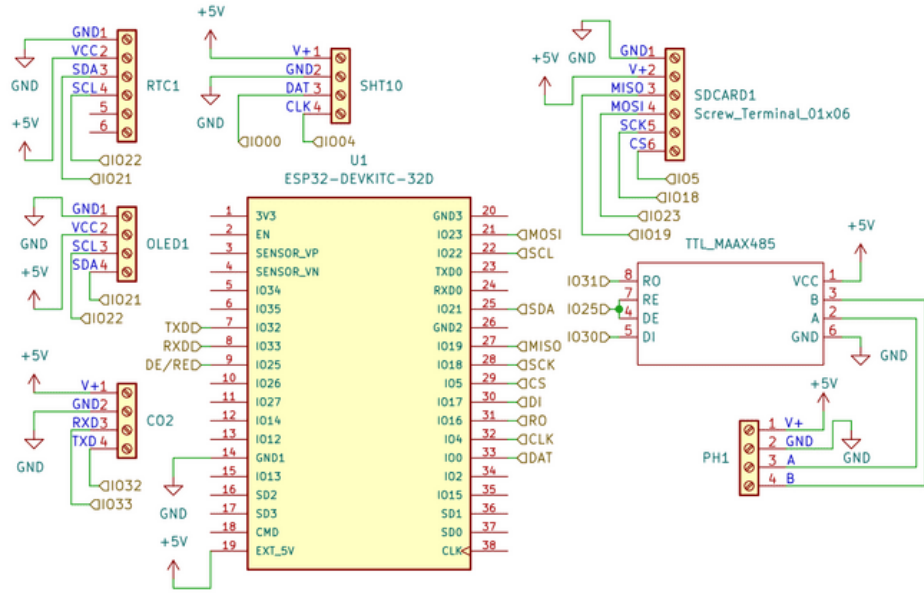


Figura 30 Diagrama de conexión.

Teniendo los elementos electrónicos definidos, así como sus dimensiones, se procedió a realizar un modelo 3D del dispositivo (Figura 31) una carcasa la cual protege a toda la configuración electrónica. Una vez diseñado a medida se realizó la impresión 3D de la carcasa y se instalaron los elementos electrónicos para obtener el dispositivo listo para su prueba en campo (Figura 32).

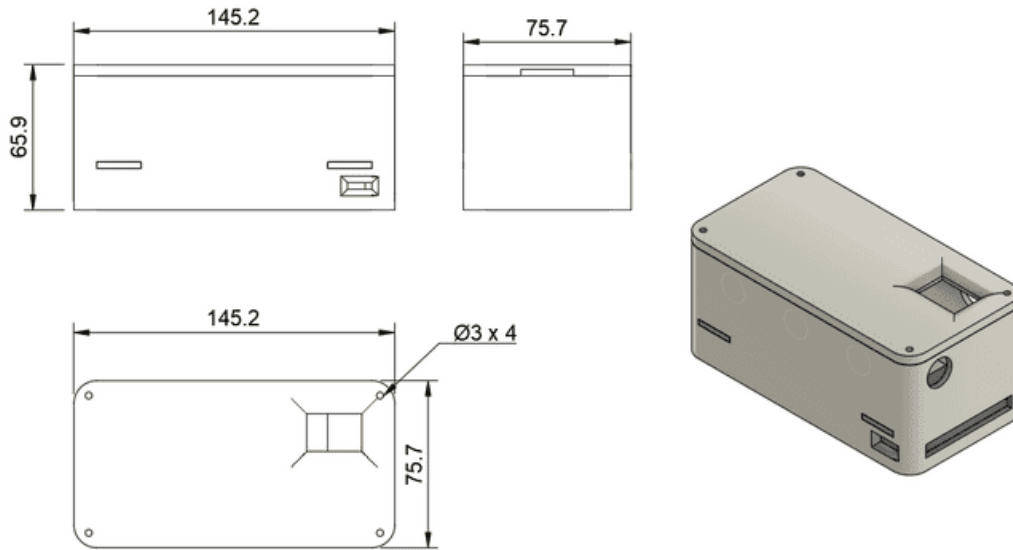


Figura 31 Diseño CAD de la carcasa del dispositivo.



Figura 32 Dispositivo de medición de variables.

Prueba en micro silo.

El micro silo fabricado es en bolsa, este tipo de silo facilita la experimentación por su practicidad. Las características del maíz forrajero a ensilar son las siguientes:

- Fresco recién cortado.
- Picado a 1 centímetro (Figura 33a).
- Línea de leche a 2/3 en grano (Figura 33b) **Figura 33** Maíz forrajero..



Figura 33 Maíz forrajero.

La preparación del micro silo se hizo realizando los siguientes pasos:

1. Relleno en capas 10 cm de forraje.
2. Compactación del picado de maíz en cada capa (Figura 34a).
3. Posicionamiento de sensores al centro del micro silo.
4. Relleno y compactación de espacio del micro silo (Figura 34b).
5. Extracción de aire por medio de aspiradora.
6. Tapado y puesta en marcha (Figura 34c).



(a)



(b)



(c)

Figura 34 Preparación de micro silo.

RESULTADOS

El proyecto estuvo en operación 716 horas continuas (30 Días). En esa cantidad de horas se extrajeron las siguientes gráficas del comportamiento de la temperatura (Figura 35), humedad (Figura 36) y pH (Figura 37).

Temperatura.



Figura 35 Comportamiento de la temperatura.

La gráfica describe un comportamiento estable durante la mayor parte del proceso teniendo una temperatura máxima de 25.74 °C y una mínima de 21.36 °C.

Humedad.



Figura 36 Comportamiento de la humedad.

La gráfica describe un comportamiento relativamente estable durante la mayor parte del proceso teniendo una humedad relativa máxima de 95.54% y una mínima de 90.54%.

pH.



Figura 37 Comportamiento del pH.

La gráfica muestra un decrecimiento gradual de pH durante el proceso, teniendo como un valor máximo de 6.88 y un valor mínimo de 3.97.

Mapa de calor.

Se muestra por mapa de calor (Figura 38) la correlación entre las diferentes variables en cuestión.

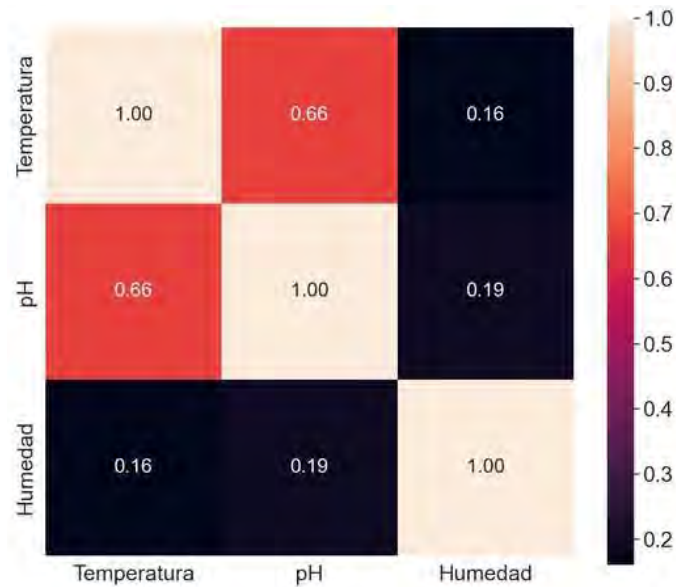


Figura 38 Mapa de calor de las variables.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las gráficas y correlaciones muestran que la temperatura fue casi estable durante el proceso, no hubo un aumento de temperatura considerable en los primeros días. Esto se contrapone con la teoría que describe un aumento en la temperatura (Koc et al., 2009). Tomando en cuenta más referencias, el artículo se ha destacado como es que en los silos de búnker se tiene una temperatura estable de 20°C en el centro del material compactado, mientras que en las orillas del ensilado presenta temperaturas hasta de 54°C (Borreani & Tabacco, 2010). A la hora de compactar silos grandes es normal el uso de maquinaria pesada como un tractor para apisonar las capas, algo a destacar es que las fronteras del silo tienden a ser más difíciles de compactar, por lo cual es normal que queden cavidades grandes donde se concentra el oxígeno.

El dispositivo empezó a recolectar información dentro del micro silo en ausencia de oxígeno, ya que fue extraído el aire con una aspiradora dejando una cantidad mínima de oxígeno reflejado en el pico de temperatura de 25.74°C. Lo que lleva a la conclusión de que el oxígeno es el responsable de un aumento en la temperatura ya que activa de nuevo organismos aerobios que se encarga de elevar la temperatura; como se analizó en el proceso de fermentación del silo. Incluso Borreani et al. también describe este efecto en donde la temperatura del ensilaje incrementó después de haberse expuesto al aire (Borreani & Tabacco, 2010).

Se detectó en los datos el decrecimiento gradual de pH. Se puede someter a discusión los valores de correlación entre la temperatura y el pH ya que no son significativamente elevados, al ser una prueba controlada en donde se mantuvo una estabilidad en el experimento da como resultado una variación mínima en los valores recolectados. Sin embargo, la teoría entre temperatura/pH y su relación con las bacterias ácido lácticas (Borreani & Tabacco, 2010), las cuales se encargan de generar un entorno ácido bajando el pH de aproximadamente a 4 (Ashbell et al., 2002).

La gráfica de la humedad presenta una gran estabilidad, esto se debe a que el micro silo no cuenta con un drenaje de líquidos, los cuales se acumulan al fondo del micro silo sin posibilidad de ser extraídos, dando como resultado un ambiente constante de humedad.

Es necesario profundizar más la experimentación tomando en cuenta el control de los factores antes mencionados y también contemplar varios análisis bromatológicos a lo largo del tiempo mientras el dispositivo recolecta datos. Por las condiciones que se presentaron en el desarrollo del proyecto no fue posible analizar la maduración del ensilado de manera constante en laboratorio (es necesario contar con más dispositivos y por ende más tratamientos para analizar cada día, semana o mes dependiendo el diseño del experimento) que reflejen ampliamente de la maduración del ensilaje tomando como base a las variables físicas propuestas a estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ashbell, G., Weinberg, Z. G., Hen, Y., & Filya, I. (2002). The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5):261–263.
- Avila, C. & Carvalho, B. (2020). Silage fermentation updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4):966–984. _eprint: <https://bit.ly/3z9jucH>.
- Barreto-Villanueva, A. (2012). El progreso de la Estadística y su utilidad en la evaluación del desarrollo. (73):32.
- Borreani, G. & Tabacco, E. (2010). The relationship of silage temperature with the microbiological status of the face of corn silage bunkers. *Journal of Dairy Science*, 93(6):2620–2629.
- Ferrero, F., Tabacco, E., Piano, S., Casale, M., & Borreani, G. (2021). Temperature during conservation in laboratory silos affects fermentation profile and aerobic stability of corn silage treated with *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus hilgardii*, and their combination. *Journal of Dairy Science*, 104(2):1696–1713.
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science Of Food and Agriculture*, 95(2):238–252eprint: <https://bit.ly/3FUMOHs>.
- King, A. (2017). Technology: The Future of Agriculture. *Nature*, 544(7651): S21–S23. Number: 7651 Publisher: Nature Publishing Group
- Koc, F., Coskuntuna, L., Ozduven, M. L., Coskuntuna, A., & Samli, H. E. (2009). The effects of temperature on the silage microbiology and aerobic stability of corn and vetch-grain silages. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 59(4):239–246.
- Press, N. A. (1988). Read "Globalization of Technology: International Perspectives.at NAP.edu. Washington, D.C., USA.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio*, 46(1):4–17
- Shamin, A., Frolova, O., Makarychev, V., Yashkova, N., Kornilova, L., & Akimov, A. (2019). Digital transformation of agricultural industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 346(1):012029.

IDENTIFICACIÓN TEMPRANA DE MOSQUITA BLANCA EN PLANTAS DE PEPINO POR MEDIO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

NOEL AGUIRRE CHÁVEZ¹, NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA², RUBÉN GUERRERO RIVERA³, JOSUÉ ORTIZ MEDINA⁴

RESUMEN

Se llevó a cabo la plantación de pepino hasta el punto del crecimiento de planta en la cual está lista para dar frutos en un ambiente casero similar al de un invernadero con la finalidad de infectar la planta con la enfermedad de mosquita blanca para ver su avance y obtener fotografías de dicho avance. Estas fotografías fueron usadas para un proceso llamado segmentación semántica, que consiste en asignar un valor a los píxeles pertenecientes a una clase dentro de la fotografía. Esta segmentación semántica da como resultado máscaras que contienen valores diferentes para cada clase usada en la segmentación. En este caso, se tienen clases para el fondo de la imagen, la hoja y la enfermedad en diversos estados de avance. Con estas máscaras y las imágenes originales se llevaron a cabo entrenamientos de una red neuronal U-net con la finalidad de obtener una predicción del avance de la enfermedad basado en intervalos de avance definidos, donde se usó una cantidad fija de imágenes y se modificó la cantidad de épocas de entrenamiento.

La finalidad de la metodología previamente descrita fue obtener predicciones basadas en un modelo que fue entrenado por medio de las fotografías que retratan el avance de la enfermedad. Estas predicciones están basadas en los estados de avance por los que se llevó a cabo la segmentación semántica.

Palabras clave: U-net, segmentación semántica, mosquita blanca, pepino

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 15041042@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. norma.garcia@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. rubenguerrero@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. j.ortiz@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

This is a work that started with the planting of cucumber plants in a house, where we got to recreate some greenhouse conditions to get the plant to the maturity stage and then get the plant sick with whitefly disease. The evolution of this disease has been recorded through taking photographs with a cell phone and those photographs were used to label them into masks through semantic segmentation. The classification within the masks show classes for a background, the leaf and three different stages of the marks the whitefly leaves on the leaf. Those masks and the original images have been used to train a neural network, using the U-net presented by Ronnenberger.

The combination between semantic segmentation and a U-net has been used in plenty of different applications, and here we present an application where neural networks are being used to get predictions of the early stages of whitefly disease. This model for predicting the stage of whitefly disease can be used by small producers or just people who want to have a small crop in their homes. This is because we hope the prediction model we created can be used for a simple application that can be used on hardware like cell phones or computers.

Keywords: Semantic segmentation, U-net, whitefly, cucumber

INTRODUCCIÓN

Producir un alimento siempre ha sido una labor importante para los humanos, desde el inicio de la agricultura. Por miles de años, los cultivos estaban siempre en riesgo de perderse debido a patógenos o desastres naturales. Esta probabilidad de perder un cultivo sigue siendo latente para productores que van desde grandes empresas hasta gente con huertos caseros.

La pérdida de un cultivo genera pérdidas económicas, tanto por los recursos que ya se han usado, como porque se pierde la probabilidad de vender este cultivo. Por este valor económico se han buscado técnicas para evitar el ataque de diversos patógenos hacia los cultivos que son de importancia para los humanos.

Las técnicas mencionadas han ido cambiando y mejorando con el paso de los años, desde los tratamientos químicos usados hasta la combinación de dichos

tratamientos con otras técnicas como lo son el uso de variantes del cultivo que sean resistentes a los patógenos que comúnmente atacan estos cultivos.

Sin embargo, sin importar la técnica elegida, el proceso para detectar la presencia de un patógeno es primordial. Esta detección temprana generalmente implica el uso de expertos que reconozcan los patógenos para tomar alguna decisión para usar algún tratamiento químico. Ya que es difícil y tediosa la inspección por humanos, una técnica de inspección interesante nace del uso de inteligencias artificiales y visión por computadora. En años recientes la capacidad computacional ha crecido lo suficiente para poder realizar predicciones por medio de la inteligencia artificial de forma rápida y eficaz.

Dentro de estas aplicaciones de inteligencia artificial, una de las redes más usadas en años recientes es la U-net que Ronneberger presentó en 2015. Este trabajo ha creado versiones modificadas de esta arquitectura y se cree que una versión de U-net en combinación con el modelo Xception de Chollet puede servir para la detección de plaga de mosquita blanca en plantas de pepino. Esta detección está dada por el daño que la mosquita genera en la hoja, en lugar de contar la presencia de mosquita blanca, ya que se quiere probar que la detección puede ocurrir en base al daño en la hoja.

Luego de describir la finalidad de este proyecto, se enlistan a continuación algunos conceptos y técnicas relevantes para la fundamentación de este proyecto.

Para comenzar, Tatlioglu comenta que el pepino es un cultivo que ha estado en la historia por más de 5000 años y que probablemente es originario de India. Desde este punto se expandió hacia China, y hacia el sur de Europa. Se dice que Colón lo trajo a América en 1494. Hoy en día se cultiva en la mayoría de los países que cuentan con climas templados y se consume fresco o encurtido (Tatlioglu, 1993).

Además, Barraza-Álvarez comenta que el pepino es una hortaliza que se encuentra presente en casi todo el mundo para su consumo mayormente en estado inmaduro, y en menor medida en estado de conserva, en la forma de los pepinillos. Además de esto es usada en productos cosméticos que aprovechan su capacidad de diurético y laxante, así como aclaramiento de la piel y reducción de manchas. Con

base en estos usos que la planta recibe, el pepino se ha convertido en una de las hortalizas que México exporta en mayor medida. (Barraza-Álvarez, 2015).

Por otro lado, de acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en 2022, se produjeron 1,004,157.79 toneladas en 18,180.40 hectáreas cosechadas. Los estados que contribuyen más a la producción son Sinaloa, Sonora, Michoacán, Morelos Guanajuato, San Luis Potosí y Jalisco (SIAP, 2022). Mucha de esta producción se exporta, como comenta Davis, donde se estima que en 2020, cerca de 1000 millones de toneladas fueron importadas a Estados Unidos, cantidad que representa el 90% de pepinos en Estados Unidos y, tanto México como Canadá cubren la mayoría de estas importaciones (Davis, 2021).

Por otra parte, Byrne comenta que la mosquita blanca vista como una plaga puede crear pérdidas de arriba del 50% de la producción de la planta a la que afecta. Las mosquitas blancas han sido descritas por biólogos desde el siglo XVIII, pero aun así nunca se pudo llegar a una conclusión de su lugar de origen. Cuando llegan a su tamaño adulto, llegan a medir arriba de 2 mm de largo pero sus alas pueden extenderse a 4 mm.

De acuerdo con Byrne, las mosquitas eligen la planta que atacarán por medio de ondas de luz, donde el espectro verde o amarillo de luz es el que las atrae más (Byrne & Bellows, s. f.). Esto es la base de uno de los métodos más usados para su control, que consiste en la colocación de trampas de color amarillo con pegamento para evitar que las mosquitas lleguen a la planta.

Continuando con la fundamentación, se describen a continuación las técnicas de segmentación semántica y la red neuronal U-net. García-García describe a la segmentación semántica como una tarea de alto nivel que provoca el entendimiento de una escena por completo. Este entendimiento permite a su vez su el uso de diversas arquitecturas de aprendizaje profundo, como lo son las redes neuronales convolucionales. El concepto principal de la segmentación semántica consiste en crear etiquetas para cada uno de los píxeles presentes en las imágenes. De esta manera se puede clasificar cada píxel que forma parte de la imagen, ya que se cada pixel tiene la etiqueta que corresponde a la clase que pertenece (Garcia-Garcia et al., 2017).

Guo et al., agrega que la segmentación semántica es más rápida y eficiente que los procesos que mueven un filtro para obtener las características relevantes de una imagen. Al no usar un filtro, se presenta una menor cantidad de ruido de fondo. Como desventajas importantes Guo comenta que la cantidad de los datos necesarios y la capacidad computacional pueden formar problemas, así como que no se sabe qué tan específicos tienen que ser los datos del entrenamiento para que el sistema infiera situaciones que no estaban presentes en el entrenamiento (Guo et al., 2018).

Acerca de la U-net, Ronneberger et al., usaron aplicaciones biomédicas para llegar a una mejora de las llamadas redes neuronales convolucionales. Estas redes neuronales generalmente cuentan con un camino de encoding, donde se da una contracción de los datos que entraron a la red. La adición de Ronneberger entonces consiste en un camino de decoding que hace las veces de un camino de expansión. En una forma gráfica, el diagrama para representar esta arquitectura se puede representar como una U, donde un lado de la U es la parte de contracción y la otra parte es la parte de expansión de los datos; por eso lleva el nombre de U-net (Ronneberger et al., 2015).

Otro trabajo importante en cuanto a arquitecturas de redes neuronales se refiere se tiene en el trabajo de Chollet, que presentó el modelo Xception, que usa convoluciones separables en vez de convoluciones convencionales. Chollet probó estas mejoras de la red neuronal Inception por medio de un dataset de Google llamado JFT, que cuenta con 350 millones de imágenes y 17 mil etiquetas, obteniendo mejores resultados que otras redes neuronales (Chollet, 2017). Este tipo de convoluciones separables que ya lograron una mejoría sobre el modelo Inception pueden usarse en combinación con la arquitectura U-net en busca de mejoras.

La U-net en conjunción con la segmentación semántica han probado ser una combinación eficiente, por lo cual, la cantidad de aplicaciones que usan estas técnicas ha crecido. Junto con este crecimiento, se han encontrado también mejoras posibles para el desempeño de la U-net en la forma de variaciones ligeras al trabajo presentado por Ronneberger, como lo es la combinación entre los trabajos de Ronneberger y Chollet.

Acerca de antecedentes de aplicaciones de detección de mosquita blanca, se describirán a continuación algunas de las más destacadas. Arnal Barbedo presentó en 2014 una aplicación de detección de mosquita blanca por medio de transformaciones entre los sistemas de color RGB, a otros como CieLAB y CMYK. Estas transformaciones de color permiten denotar la presencia de la mosquita en las hojas de una mejor manera. Asimismo, Huddar et al. también realizaron procesos similares en detección de mosquita blanca, usando técnicas de transformación de un sistema de representación de color a otros (Barbedo, 2014). Cho et al. también usó los sistemas de color y transformaciones entre esos sistemas, así como una comparación con la imagen original con la finalidad de detectar la mosquita blanca en las trampas de color que son ampliamente usadas para frenar el avance de este patógeno (Cho et al., s. f.).

Las aplicaciones anteriores muestran técnicas de procesamiento de imágenes simples para llegar a la detección de mosquita blanca, pero otras aplicaciones como la de Legaspi et al. usó el algoritmo YOLO para la detección de la mosquita blanca y de la mosca de fruta. Además del entrenamiento por medio de YOLO, que implica el etiquetado de imágenes, todo este sistema corre en una tarjeta Raspberry Pi, para que se puedan tomar imágenes y estas sean analizadas por el algoritmo YOLO (Legaspi et al., 2021). Parab et al. también hizo uso del algoritmo YOLO para detectar mosquita blanca en las trampas de colores usadas como prevención ante la infección de mosquita blanca. El trabajo de Parab además agrega un sistema de monitoreo que brinda información de lugares afectados por la plaga y que productores en Georgia, Estados Unidos puedan ver el movimiento de estas plagas y realizar pronósticos por medio de monitorear su movimiento (Parab et al., 2022), Otra aplicación que hace uso de redes neuronales, así como el uso de histogramas basados en la presencia de colores en una imagen se tiene en el trabajo de Espinoza et al. donde se generaron histogramas para detectar la presencia de mosquita en las trampas de colores pero, además de esto, se hizo uso de una red neuronal para el entrenamiento de un modelo de predicción que arrojó resultados equiparables a los de otros trabajos presentados (Espinoza et al., 2016).

Acerca de aplicaciones que hacen uso de redes neuronales tipo U-net que amplían el trabajo de Ronneberger se tiene el trabajo de C. K. et al. donde se usó un modelo de U-net llamado U²-net, donde las capas que serían de convolución en una U-net convencional, en este caso son otras U-net más pequeñas. Esta arquitectura muestra una aplicación interesante del trabajo de Ronneberger, pero solo fue usada para remover el fondo de las imágenes de plantas que se usaron para la detección de diversas enfermedades. En su lugar, este proyecto usó la red EfficientNetV2-M para llevar a cabo el entrenamiento de la red y logró una precisión de entre 80 y 90% (C. K. et al., 2022).

Por otra parte, el trabajo de Rao et al. usó la U-net en una configuración similar a la original para entrenar un modelo que detecte las principales enfermedades afectando a la planta de yuca en África, donde es consumida ampliamente. La U-net usada en este caso logró resultados competentes, aun cuando se usó una versión de U-net separable, lo cual permite que el entrenamiento sea un proceso menos demandante para las computadoras. Esto se logra simplemente por medio de hacer las convoluciones presentes en el trabajo de Ronneberger de tal manera que solo haya un canal de salida luego de realizar la convolución (Rao et al., s. f.). Finalmente, Esgario et al., usó la U-net para entrenar un modelo de predicción de enfermedades diversas en hojas de café. Entre las enfermedades para las que se predijo se encuentran la minadora de hojas, oxidación y enfermedad de mancha café. Además de la obtención del modelo, este trabajo presenta una aplicación de teléfono celular con la cual se pueden tomar fotos para mandarlas a un servidor y llevar a cabo la predicción en la nube para luego arrojar como resultado un estimado de las áreas con enfermedad y un porcentaje de avance (Esgario et al., 2022).

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Lo que quiere probar este trabajo es que la técnica de procesamiento de imágenes conocida como segmentación semántica y la técnica de red neuronal conocida como U-net pueden trabajar en conjunto para obtener predicciones certeras del avance de la enfermedad de mosquita blanca en plantas de pepino. Para lograr lo anterior se han llevado a cabo los siguientes pasos.

El primer paso llevado a cabo en la realización de este trabajo consistió en la plantación de semillas de pepino de la marca Kristen Seed con base en Guadalajara, México. Esta plantación se llevó a cabo en la casa con domicilio Misión de San Andrés 210, Fraccionamiento 3 Misiones, en la ciudad de Durango, Dgo. el día 26 de enero de 2023 y se usaron macetas convencionales, así como una maceta hecha a base de una caja de cartón. Las macetas convencionales se colocaron en la cochera de una casa, en un área que se encuentra dividida del jardín y de la intemperie gracias a un cancel de vidrio, lo cual permite que las temperaturas dentro de la cochera se conserven templadas. La maceta de cartón fue colocada en el área del jardín cubierta con hule para conservar la temperatura.

La germinación en ambos grupos se dio cerca del día 3 de febrero, y el crecimiento de ambos grupos de plantas continuó. Para el día 16 de febrero, se nota que la maceta con plantas que se encuentra dentro de la cochera estaba teniendo un crecimiento mayor que la que se encontraba en la caja de cartón. Hacia finales de febrero, muchas de las plantas pequeñas presentes en la maceta de cartón descrita previamente, habían sido atacadas por enfermedad de mosquita blanca, por lo que de ese punto en adelante, se consideró necesario continuar solamente con la maceta convencional. Durante todo este proceso, el crecimiento de las plantas se fue documentando por medio de fotografías hasta este punto.

Durante marzo la planta convencional que se encontraba dentro de la cochera sufrió afectaciones debido a la mosquita blanca, así que se decidió aumentar la cantidad de fotografías tomadas cada riego, el cual ocurría cada 2 días. Estas fotografías, así como las del crecimiento de la planta durante febrero fueron tomadas con la cámara digital presente en el teléfono Samsung A52, y concretamente, estas fotos de marzo fueron tomadas con dimensiones de 3472x3472 pixeles, esto para tener una fotografía con formato cuadrado, el cual es usado por la U-net generalmente para entrenar. Tomar las fotografías de esta manera evita este paso como parte del procesamiento previo a entrenar la red.

Con la finalidad de obtener una mayor cantidad de imágenes, se decidió volver a exponer la planta a la mosquita blanca presente en el jardín el día 29 de marzo, para que del día 30 de marzo al 4 de abril se tomaran cerca de 100 fotografías, 3

veces al día. Estos grupos de fotografías se combinaron para obtener un dataset con 1924 imágenes en total. En este proceso de combinación se descartaron aquellas imágenes que fueron tomadas de manera equivocada. A pesar de esta eliminación, se puede considerar que la cantidad es suficiente para el entrenamiento del modelo.

A continuación, se llevó a cabo el etiquetado de imágenes por medio de la segmentación semántica, que se describió en la introducción de este trabajo. Para esto se usó el servicio en línea llamado Roboflow y se decidió separar las imágenes en las siguientes clases. Primeramente, se tiene el fondo, donde el sistema toma como fondo todos los píxeles que no formen parte de alguna otra clase. Luego se tiene la hoja; para este caso, las fotografías fueron tomadas de tal manera que una hoja estuviera presente y se notara el avance de la enfermedad. Las siguientes clases son derivadas de la enfermedad, donde se consideraron 3 estados de avance, los cuales son la primera vez que se nota afectación en la hoja, en la forma de puntos amarillentos sobre la hoja, cuando la marca cambia a un color blanco, ha crecido y se nota que la hoja es más delgada en esa área afectada. La fase final consiste en estas marcas juntándose unas con otras, haciéndola más grande y que lograron una ruptura en el tejido de la hoja. Es necesario recordar que es posible que en una hoja se presenten 2 o 3 niveles de avance a la vez, y la segmentación se hizo tomando esto en cuenta. La figura 1 a continuación muestra ejemplos de estos niveles de avance. La imagen en la parte superior izquierda muestra la fase 1 de avance, la del centro muestra la fase 2 y la de la derecha, la fase 3.

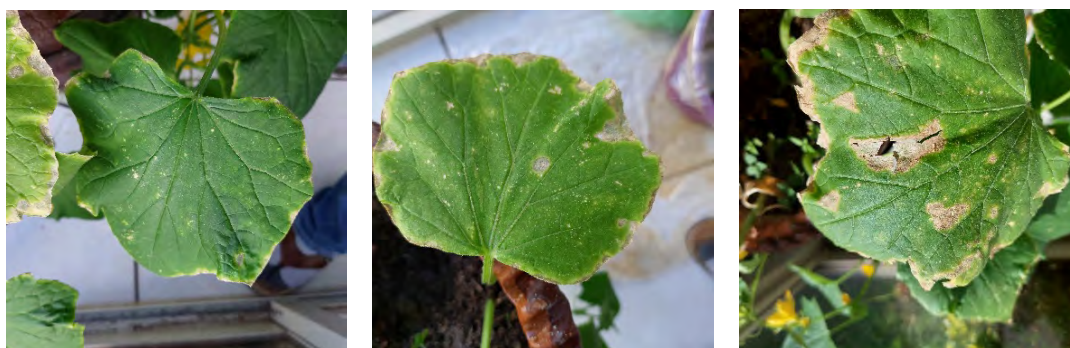


Ilustración 1. Fases de daño debido a la mosquita blanca.

El servicio de Roboflow permite obtener máscaras de segmentación semántica, donde cada una de estas clases obtiene un valor, donde cero es el fondo y del uno en adelante se enumeran las clases. Esta relación entre clase y el número que corresponde a ella en la máscara es importante para la predicción y se muestran en la tabla 1 a continuación.

Tabla 2. Relación entre valor de pixel y clases.

Valor del Pixel	Clase
0	background
1	leaf
2	whitefly
3	whitefly_2
4	whitefly_3

El siguiente paso fue usar la red neuronal U-net Xception en el servicio Google Colab para poder usar la GPU que este servicio ofrece para el entrenamiento. Se comenzó con un entrenamiento usando 101 imágenes etiquetadas. La elección de estas imágenes se hizo de la siguiente manera. En el servicio Roboflow se cargaron las 1924 imágenes pertenecientes al dataset y fueron divididas por fechas en 4 grupos. El primero abarca del 22 de febrero al 28 de marzo; el segundo, del 30 y 31 de marzo; el tercero, del 1 al 2 de abril y el cuarto, del 3 al 4 de abril. De estos grupos, los dos primeros cuentan con alrededor de 350 imágenes, mientras que los dos últimos cuentan con 600 cada uno. Se eligieron entonces 25 imágenes de todos estos grupos a excepción del que comprende del 1 al 2 de abril, donde se eligieron 26 fotografías al azar para el proceso de etiquetado. Para agregar más imágenes para futuros trabajos de etiquetado, se tratará de mantener una proporción en la cual los dos grupos con mayor cantidad de fotos tengan mayor representación en las imágenes etiquetadas.

En esta primera etapa se usaron estas 101 imágenes que son parte de los 4 grupos descritos previamente, y se entrenó con la red neuronal U-net, con un tamaño de lote de imágenes de 8, 30 imágenes reservadas para validación, y la cantidad de épocas fue cambiando de menos a más, comenzando por 100 épocas de entrenamiento y llegando hasta las 500 épocas de cien en cien. La variación en estos parámetros como las imágenes reservadas para validación de la red neuronal, o el tamaño de lote en el cual la red neuronal trabaja pueden llevar a resultados

diferentes, los cuales pueden mejorar o empeorar el desempeño de la red neuronal. Para efectos de este trabajo, se decidió trabajar con estos parámetros para obtener resultados que permitan continuar con futuros entrenamientos que mejoren el desempeño de la red y las predicciones que se pueden hacer con el modelo generado.

RESULTADOS

Para esta etapa del proyecto, se decidió comenzar por el segmentado de 100 imágenes en el servicio en línea Roboflow. Como se comentó previamente, se eligió la segmentación semántica para esto y al término de este proceso, la página de internet arroja una carpeta comprimida donde se encuentran las máscaras y las imágenes.

Al término de este proceso, las imágenes se encuentran en un tamaño más pequeño, donde concretamente las dimensiones son de 640x640 píxeles. En un primer entrenamiento, se pasaron estas 101 imágenes por la red neuronal con 100 épocas, y luego se continuó con 200, 300, 400 y 500 épocas. Al término del entrenamiento, la red neuronal arroja como resultados algunas estadísticas para medir el desempeño de la red neuronal. Estas estadísticas son precisión y pérdida tanto para los datos de entrenamiento como para los de validación. Estos resultados se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3. Resultados de entrenamiento por número de épocas

Cantidad de imágenes: 101					
Épocas	Pérdida	Precisión	Pérdida de Validación	de	Precisión de validación
100	0.0850	0.9733	1.3152		0.7520
200	0.0828	0.9720	1.1540		0.7576
300	0.0181	0.9926	1.9040		0.7567
400	0.0131	0.9945	2.3604		0.7433
500	0.0111	0.9954	2.4750		0.7479

Las imágenes presentadas a continuación son la máscara original etiquetada como parte de este trabajo, así como se presentan las predicciones con 101 imágenes y 100, 200, 300, 400 y 500 épocas de entrenamiento. Las predicciones se basan en usar la imagen original y, con el modelo entrenado delimitar qué áreas pertenecen a cuál de las clases que se han mencionado previamente. Es por esto que las

imágenes que fueron predichas por el modelo marcan áreas correspondientes a hojas que no fueron segmentadas manualmente a la hora de generar la máscara que se usó en el entrenamiento.

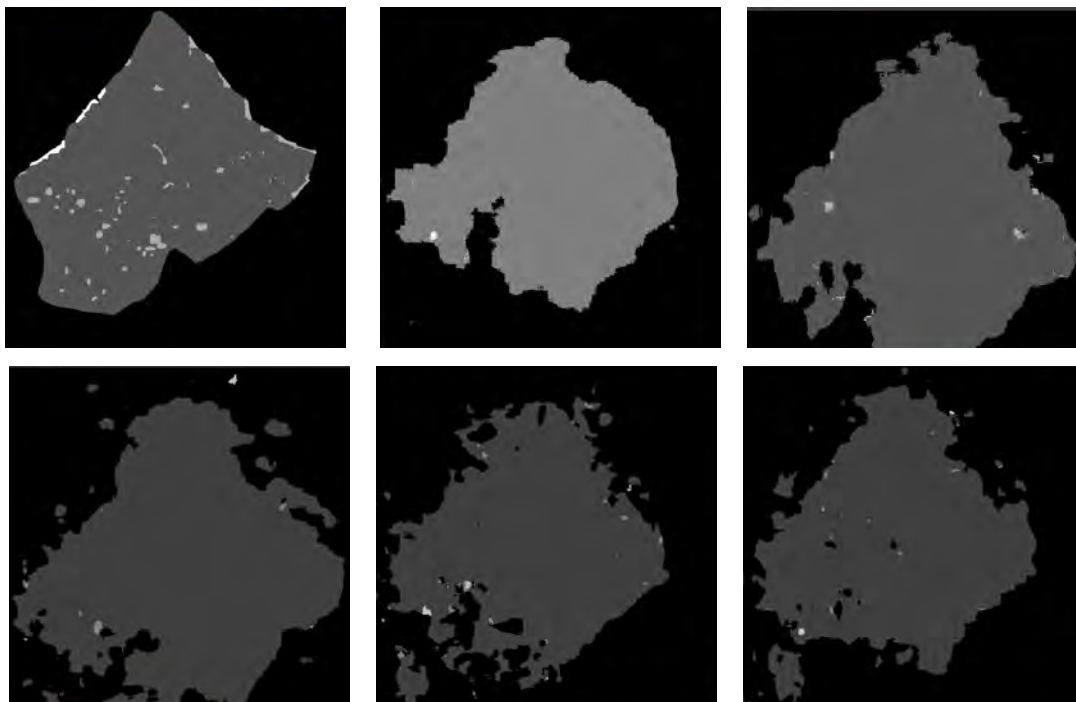


Ilustración 2. Máscara elaborada (arriba izq.), Predicción con 100 épocas (arriba centro), Predicción con 200 épocas (arriba der.), Predicción con 300 épocas (abajo izq.), Predicción con 400 épocas (abajo centro), Predicción con 500 épocas (abajo der.)

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación, se llevaron a cabo los pasos necesarios para realizar el entrenamiento de un modelo de predicción de red neuronal que prediga la presencia de mosquita blanca con base en el daño que se encuentra en la hoja. Aun cuando la literatura a la que se hace referencia en la introducción muestra aplicaciones similares, no se encontró una que haya elegido tanto la planta de pepino como la mosquita blanca como objetos de estudio. Se espera que el trabajo llegue a brindar aportaciones para personas que quieran investigar temas parecidos o quieran hacer algo con el modelo, el cual es el producto final de este trabajo.

Sin embargo, los resultados de las predicciones realizadas hasta este momento no proveen una predicción competente y robusta. Además de las predicciones mostradas en este trabajo, la precisión para los datos de validación, que es la medición más importante, sigue siendo muy baja. Otros trabajos han logrado una precisión de entre 80 y 95%, números que muestran un modelo entrenado correctamente y que puede inferir nuevos resultados de manera confiable. Este trabajo logró cerca del 75%.

Esta precisión baja obtenida hasta ahora puede deberse a muchos factores, que van desde la cantidad de imágenes etiquetadas y usadas en el entrenamiento, pasando por los parámetros que pueden cambiarse antes de comenzar otro entrenamiento, como lo son el tamaño del lote, la cantidad de épocas y la cantidad de imágenes que se reservan para la validación del modelo. Estos parámetros tendrán que cambiar para obtener un modelo robusto.

Además de estos parámetros, se puede sugerir el uso de callbacks en el entrenamiento para comenzar los entrenamientos tomando en cuenta los pesos de un entrenamiento previo. Esto permite comenzar un entrenamiento con los pesos de un entrenamiento previo como punto de partida, lo que permite mejorar la precisión del modelo así como segmentar el entrenamiento en partes para evitar problemas derivados del tiempo que Google Colab permite el uso de las GPU con las que cuenta este servicio.

El uso de callbacks, el aumento de la cantidad de imágenes etiquetadas y la variación de la cantidad de épocas, tamaño de lote y cantidad de imágenes de validación son las alternativas que pueden mejorar el desempeño del modelo, por lo que, son los pasos que se recomiendan seguir para obtener un modelo robusto de predicción.

Además de esta recomendación, se puede considerar que una limitación importante de este trabajo realizado tiene que ver con la cantidad de plantas usadas para la experimentación y la toma de fotografías. Ya que fue un cultivo de tipo casero y con una cantidad baja de plantas, se puede decir que un cultivo en campo con mayor cantidad de plantas podría haber contribuido de buena manera a la robustez del modelo. Otra limitación importante tiene que ver con los tiempos de procesamiento

de Google Colab. Es completamente necesario el uso de una GPU para el entrenamiento de redes neuronales que usen imágenes y la versión gratuita de Google Colab ofrece el uso de la GPU por una cantidad de tiempo. Por eso mismo, la forma de trabajar con esta limitación es por medio de los callbacks que se mencionaron en las recomendaciones previas, así como pagar por una mayor cantidad de procesamiento.

Finalmente, como conclusiones se destacan las siguientes. El modelo de entrenamiento arroja predicciones, pero estas aun no son lo suficientemente buenas para que el modelo sea robusto y pueda entrenarse. Esto hace que el siguiente paso del proyecto es agregar más imágenes y llevar a cabo más entrenamientos de la red neuronal. Con entrenamientos sucesivos y variación en los parámetros que se han comentado, se puede llegar a un modelo de entrenamiento robusto.

Siguiendo estos pasos, se llegará a un modelo de entrenamiento robusto, que es el objetivo principal de la realización de este proyecto. Se espera que este objetivo se cumpla por medio de seguir las recomendaciones previas, así como que se espera que trabajos sucesivos hagan uso de esta información recopilada como parte de la introducción, así como de las imágenes tomadas para la elaboración de este trabajo y el mismo modelo de inferencia, para llevar este trabajo a una aplicación en la vida real que funcione correctamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barbedo, J. G. A. (2014). Using digital image processing for counting whiteflies on soybean leaves. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(4), 685-694. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.06.014>
- Barraza-Álvarez, F. V. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 60. <https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>
- Byrne, D. N., & Bellows, T. S. (s. f.). *Whitefly Biology*.
- C. K., S., C. D., J., & Patil, N. (2022). Cardamom Plant Disease Detection Approach Using EfficientNetV2. *IEEE Access*, 10, 789-804. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3138920>
- Cho, J., Choi, J., Qiao, M., Ji, C., Kim, H., Uhm, K., & Chon, T. (s. f.). Automatic identification of whiteflies, aphids and thrips in greenhouse based on image analysis. *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*.
- Chollet, F. (2017). Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1800-1807. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.195>
- Davis, W. (2021). *Vegetable and Pulses Outlook: April 2021*.
- Esgario, J. G. M., De Castro, P. B. C., Tassis, L. M., & Krohling, R. A. (2022). An app to assist farmers in the identification of diseases and pests of coffee leaves using deep learning. *Information Processing in Agriculture*, 9(1), 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.01.004>
- Espinoza, K., Valera, D. L., Torres, J. A., López, A., & Molina-Aiz, F. D. (2016). Combination of image processing and artificial neural networks as a novel approach for the identification of Bemisia tabaci and Frankliniella occidentalis on sticky traps in greenhouse agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 495-505. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.008>
- Garcia-Garcia, A., Orts-Escolano, S., Oprea, S., Villena-Martinez, V., & Garcia-Rodriguez, J. (2017). *A Review on Deep Learning Techniques Applied to Semantic Segmentation* (arXiv:1704.06857). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1704.06857>
- Guo, Y., Liu, Y., Georgiou, T., & Lew, M. S. (2018). A review of semantic segmentation using deep neural networks. *International Journal of Multimedia Information Retrieval*, 7(2), 87-93. <https://doi.org/10.1007/s13735-017-0141-z>

- Legaspi, K. R. B., Sison, N. W. S., & Villaverde, J. F. (2021). Detection and Classification of Whiteflies and Fruit Flies Using YOLO. *2021 13th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICCAE51876.2021.9426129>
- Parab, C. U., Mwitwa, C., Hayes, M., Schmidt, J. M., Riley, D., Fue, K., Bhandarkar, S., & Rains, G. C. (2022). Comparison of Single-Shot and Two-Shot Deep Neural Network Models for Whitefly Detection in IoT Web Application. *AgriEngineering*, 4(2), 507-522. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4020034>
- Rao, P. K., Kumar, R. S., & Sreenivasulu, D. K. (s. f.). *Cassava Leaf Disease Classification using Separable Convolutions UNet*.
- Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). *U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation* (arXiv:1505.04597). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1505.04597>
- SIAP. (2022). *Avance de Siembras y Cosechas* [Data set]. <https://bit.ly/3V82sFZ>
- Tatlioglu, T. (1993). Cucumber. En *Genetic Improvement of Vegetable Crops* (pp. 197-234). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-040826-2.50017-5>

SISTEMA DE RECICLAJE PFAND PARA EL MUNICIPIO DE MINATITLÁN, VERACRUZ

RENÉE LILIBETH YÉPEZ MARTÍNEZ¹

RESUMEN

Actualmente el municipio de Minatitlán, Veracruz, se encuentra atrasado en sistemas que sirven específicamente o sean para reciclar productos o materiales inorgánicos que puedan llegar a ser reciclados. El 24 de Agosto del 2021 fue la última vez que a través de la Dirección de Ecología del Ayuntamiento de Minatitlán que dirigía el expresidente Don Nicolás Reyes Álvarez, y que a su vez fortalecía relaciones con diversos organismos que fomentaban tareas de reciclajes tecnológicos. Se realizaban depósitos de artículos como televisores, computadoras, celulares, monitores, reproductores de audio, pantallas, cables para equipos electrónicos, impresoras, fotocopiadoras, además de desechos como aceite, papel, vidrio PET, recolectados para emprender tareas de reciclaje.

Reciclar es un acto de gran importancia para todos, ya que trata sobre la reutilización de elementos de distintos tipos que de algún modo pueden ser desechados, ayudando a formar un montón de basura y dañando continuamente el lugar donde vivimos, y a su vez nuestro planeta azul “La Tierra”. Reciclar no toma mucho tiempo, no cuesta nada, solo conlleva el compromiso de cada persona que conforma el municipio y que consume el producto inorgánico que se quiere llegar a reciclar como lo son plásticos PET, vidrios, aluminios, cartones, entre otras cosas.

Palabras clave. Reciclaje, Sistema, Pfand, Contaminantes inorgánicos, basura, mecanismo, población.

ABSTRACT

Currently in Minatitlan, Veracruz, is behind in systems that specifically serve or are to recycle inorganic products or materials that can be recycled. On August 24, 2021, it was the last time that through the Department of Ecology of the Minatitlan City

¹ Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica. lili.perry94@hotmail.com

Council, directed by former president Don Nicolás Reyes Álvarez, and that in turn strengthened relationships with various organizations that promoted technological recycling tasks. Deposits were made of items such as televisions, computers, cell phones, monitors, audio players, screens, cables for electronic equipment, printers, photocopiers, as well as waste such as oil, paper, PET glass, collected to undertake recycling tasks.

Recycling is an act of great importance for everyone, since it deals with the reuse of elements of different types that somehow can be discarded, helping to form a pile of garbage, and continuously damaging the place where we live, and in turn our blue planet "The earth". Recycling doesn't take much time, it doesn't cost anything, it only entails the commitment of each person who makes up our place and who consumes the inorganic product that they want to recycle, such as PET plastics, glass, aluminum, cardboard, among other things.

Keywords. Recycling, System, Pfand, Inorganic pollutants, garbage, mechanism, population.

INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en un producto de Eco-Diseño para el Medio Ambiente la conexión de lo que es técnicamente posible en el campo de las tecnologías limpias con lo que culturalmente es deseable, rentable y representa la satisfacción de las personas (Calidad). Es aquí donde los diseñadores de productos tienen una gran labor preventiva (Van Weenen, 1994)

El Sistema Pfand es un sistema tecnológico implementado en países Europeos como España y Alemania en el año 2003 en donde al introducir ciertos materiales inorgánicos como botellas PET, vidrio, latas; en las estaciones ubicadas en lugares concurridos, estos sistemas escanean los productos y los aplastan, logrando a continuación mostrar el importe en el display del sistema Pfand teniendo en cuenta el precio del producto de intercambio a reciclar, repitiendo el proceso dependiendo del número total de productos que la persona lleve consigo. Donde al finalizar aprieta un botón verde o rojo y sale un ticket el cual muestra un código de barras mostrando el valor de los productos retornados; al guardar el ticket, puede ser

utilizado en supermercados autorizados descontando el valor del ticket a la compra que se realice.

Es un sistema muy recomendado ya que incentiva a las personas al reciclaje, no quita mucho tiempo, es fácil y hay recompensas al utilizarlo.

PROBLEMÁTICA

El municipio de Minatitlán, Veracruz, junto con Coatzacoalcos y Acayucan, forman parte de un área de 5 mil km² en la que viven más de 350 mil personas. Cuenta con un basurero ubicado en un pantano, parte de una zona de humedales que se conecta con el sistema del río Coatzacoalcos. La contaminación de este basurero se suma a uno de los graves problemas para la región, afectando la atmosfera generando de vez en cuando incendios de basura debido a presencia de materiales combustibles (se encuentran botellas de plástico), etc., esta situación representa un riesgo para los habitantes y para las personas informales que laboran en el basurero.

Frente a tantas injusticias ambientales, habitantes y organizaciones ambientalistas han hecho denuncias prenda a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). En Junio del 2015 organizaron una marcha y un bloqueo por el basurero del municipio para impedir que se depositara más basura y exigir el cierre del basurero. Es por eso, de vital ayuda que plásticos, vidrios y materiales de ese tipo no se mezclen con los demás desechos que se logra consumir o utilizar día a día y reciclar de otra manera, por medio de los sistemas de reciclaje Pfand que se menciona.

Los sistemas de reciclaje Pfand es una tecnología que fue implementada en el año 2003 en Alemania que tuvo buena respuesta por sus habitantes. Esta tecnología es una propuesta que busca concientizar a la sociedad sobre la importancia del reciclaje incentivándolos con una pequeña recompensa que a nadie le disgusta. Estos sistemas de reciclaje son máquinas que tienen la ventaja de otorgar recompensas en efectivo o vales según el retorno de material que reciclen las personas, tomando en cuenta: peso, material; otra ventaja es que se evitaría la contaminación del medio ambiente y que el basurero del municipio se siguiera

llenando de materiales que podemos reciclar. La desventaja probablemente es que la recompensa no sería una gran cantidad y tendría un número limitado de botellas o material para introducir por día, hora o por persona. Es necesario apoyar el sistema de reciclaje Pfand; con el propósito de evitar la acumulación de basura o desechos en las calles o en el basurero del municipio, y así tener el bienestar de la población del municipio de Minatitlán. El exceso uso de materiales que constantemente se utilizan en los hogares y no se vuelven a utilizar, tales como son: plásticos, botellas, vidrios, y de estos tipos, y que van directo al basurero, causan un problema medioambiental; que es de suma importancia atender utilizando sistemas de reciclaje Pfand.

JUSTIFICACIÓN

Reciclar materiales de poco uso a través de un sistema que otorga recompensas. ayudará a mejorar el entorno del municipio de Minatitlán, Veracruz, así como la circulación excesiva de materiales de poco uso. El sistema de reciclaje Pfand tiene como objetivo, cumplir con la solución medioambiental como la problemática de la acumulación de botellas de plástico, vidrio, y otros materiales de poco uso. A través de la implementación del sistema Pfand, como medida para reciclaje de botellas y disminución de materiales de poco uso en el municipio de Minatitlán, Veracruz.

El municipio de Minatitlán debe dar solución a la problemática medioambiental por el uso de materiales y desechos en las calles de estos. Se debe coadyuvar al cumplimiento de los objetivos planteados en la planeación estratégica a mediano plazo, a través del sistema de reciclaje Pfand dando solución a la problemática medioambiental del municipio e influir positivamente con este sistema. Diversas investigaciones a través de la web refieren que la implementación de este sistema de reciclaje en países como Alemania y Valencia, España ha sido satisfactoria; de esta manera puede ser positiva en el municipio. Ante la necesidad de iniciar la circulación de botellas de plástico, vidrio, u otros materiales de poco uso en los hogares y/o que han sido desechados en las calles del municipio de Minatitlán, el sistema de reciclaje Pfand busca contribuir con la solución de la contaminación medioambiental y empezar a reciclar estos materiales que tienen más de un uso

después de ser utilizados para los que se produjeron al principio, principalmente otorgando beneficios o ganancias, motivando a la sociedad del municipio a unirse a esta causa del reciclaje y a su vez ganando una recompensa por medio de estas máquinas.

¿Es factible implementar un sistema de reciclaje Pfand otorgando recompensas para la sociedad del municipio de Minatitlán, Veracruz, de manera que se pueda disminuir la basura y demás contaminantes logrando contribuir con el cuidado del medio ambiente?

Demostrar la factibilidad de implementar un sistema de reciclaje Pfand que permitirá obtener recompensas y ayudará al municipio de Minatitlán, Veracruz a reducir la circulación de botellas de cualquier material que este en desuso en las calles u otros lugares, claro que es factible. El sistema de reciclaje Pfand será una máquina especial que estará instalada especialmente en el supermercado Soriana que proporcionará lo que siempre se había necesitado, teniendo las funciones de:

- Al introducir cierta cantidad de botellas de plástico obtendrás un ticket o vale con una cantidad significativa la cual podrás utilizar para hacer compras.
- Al introducir botellas de vidrio obtendrás un ticket o vale con una cantidad significativa, etc.
- Si llegará a tener un error al introducir algún tipo de material, esta máquina contará con un botón el cual al ser presionado te comunicará con un asistente quien te guiará de manera personal.

En otras palabras, va a proporcionar atención que provea asistencia al municipio de Minatitlán con el fin reducir la cantidad significativa de botellas de diferentes materiales que hay en diferentes partes, así como reducir la circulación excesiva de basura.

OBJETIVOS

El objetivo general será analizar la factibilidad del sistema de reciclaje Pfand en el municipio de Minatitlán, Veracruz, mediante la participación de población.

Para lo anterior, se desarrollarán los siguientes objetivos específicos: a) Determinar y Documentar el mecanismo de entrega de productos inorgánicos en los módulos de asistencia para la población; b) Otorgar recompensas a todas las personas que

contribuyan reciclando con productos inorgánicos en los sistemas Pfand o sistemas que lo reemplacen; c) Alentar a la población a reciclar y cuidar el medioambiente; d) Especificar el uso, medidas y recompensas que conlleva el reciclaje; y e) Establecer centros de información ciudadana referente a centros de reciclaje o cualquier tipo de información referente.

HIPÓTESIS

Un Sistema de Reciclaje Pfand permitirá incorporar un mecanismo de reciclaje. Disminuir la contaminación inorgánica en el municipio de Minatitlán, Veracruz.

VARIABLES DE ESTUDIO

La selección de las variables es importante, ya que permite delimitar lo que se estudiará con precisión y las acciones.

Variable Independiente

La incorporación de un sistema de depósito monetario “Pfand”, ha hecho posible el funcionamiento del reciclaje de envases no retornables. Gracias al desarrollo de diferentes decretos de envases que se han ido generando desde la década de los 90’s. Este ha hecho posible cerrar el ciclo económico de un producto caro, muy consumido y utilizado, y con un alto grado de impacto ambiental. Los altos costos en el Pfand deben contrarrestar la compra de envases ecológicamente desfavorables y potenciar a los más favorables. Para el consumidor la implantación de este proceso no ha sido muy favorable como debería. El Pfand no es más que una máquina monetaria presente en cada uno de los envases de material plástico (botellas) o metálico (latas) pagado en el momento.

Para el reciclado de residuos plásticos post consumo se utiliza el reciclado mecánico. Este proceso físico-mecánico permite procesarlos y recuperarlos para darles su posterior nuevo uso. La identificación de los residuos se lleva a cabo con tecnologías como el láser, el infrarrojo cercano (NIR), o técnicas basadas en los rayos X. Esto se realiza para lograr una mayor pureza en los reciclados.

En la actualidad, se ha conseguido avanzar progresivamente, al igual que en todas las áreas, a través de los métodos denominados “métodos de revalorización” que

producen la transformación de desechos. El proceso de reciclaje es el más amable para nuestro entorno y por ello, ser responsables y reciclar es cosa de nosotros. Necesitamos reciclar al máximo cada vez para que nuestro entorno sea más limpio y se reduzcan los problemas de medioambiente en nuestro entorno.

Existen mecanismos para reciclar plásticos, tal como lo es el reciclado mecánico el cual es un proceso físico mediante el cual permite recuperarlos, es sencillo de recuperar ya que está incontaminado y es homogéneo en su composición, y no está mezclado con otros plásticos.

Pasos para el reciclado mecánico:

- **Separación:** Preparación en una cinta transportadora de los diferentes tipos de plástico de acuerdo con la identificación o aspecto visual.
- **Lavado:** Después de triturar el plástico, pasa por la etapa de lavado para eliminar suciedad. Es preciso que el agua reciba un tratamiento para su reutilización o emisión como efluente.
- **Secado:** Se retira el exceso de agua por centrifugado.
- **Aglutinación:** El material es compactado, reduciéndose el volumen que será enviado a la extrusora.
- **Reciclado:** Proceso mediante el cual las moléculas de polímeros son craqueadas dando origen a nuevas materias primas básicas que se pueden utilizar para fabricar plásticos nuevos.

El proyecto “Closing the Loop” de la empresa Nike en el año 2003, tuvo como objetivo una promoción “Reúsa-un-zapato”, el de cerrar el ciclo en el ciclo de vida del producto. En otras palabras, hacer nuevos productos Nike a partir de productos viejos y usados. Nike trabajó en el diseño de tenis atléticos para desensamblar y reusar los materiales para hacer superficies para escenarios deportivos.

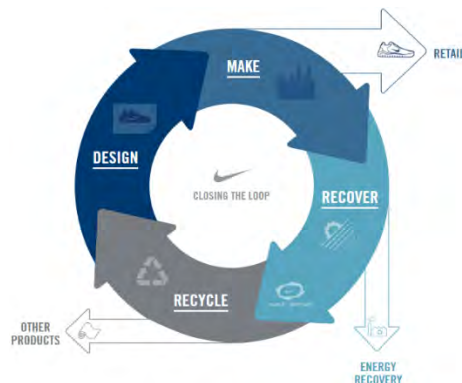


Figura 39 Nike program Closing the loop.
Tomada de (Nike Inc. All Rights Reserved, 2023)

Variable Dependiente

La basura se ha convertido en un problema serio. La contaminación de basura es originada cuando los residuos recogidos en los vertederos se crean, propaga el olor y causa contaminación en el aire en áreas circundantes, lo que también crea problemas a nivel administrativo. A menudo se ve que los residuos que incluyen material inorgánico como latas de hierro, papel, plástico, piezas de vidrio o restos de comida, huesos de animales, cascara de verduras, etc., son arrojados al aire libre. A menudo, el fuego se desata en los vertederos de basura deliberada, lo que representa una amenaza para la salud y el ambiente.

ENFOQUE METODOLÓGICO

Esta investigación se centra en un tipo de estudio exploratorio, ya que necesita ser abordado y estudiado. El sistema Pfand es un sistema que ha sido poco utilizado por las sociedades en el mundo, y es necesario para mejorar en cuestión medioambiental y que por supuesto va a permitir una mayor competitividad y un mayor valor a nivel mundial.

Por mencionar un poco de la antigüedad, los medios no eran precisamente muy abundantes. Las personas aprovechaban al máximo lo que la naturaleza por ende les ofrecía. El problema se solucionaba alejando los desechos o simplemente enterrándolos. El primer vertedero fue creado por los Griegos en Atenas en el año 400 a. C., según estudios realizados un ciudadano producía al día 3 kg de desechos, no mucho menos de lo que se produce desde el siglo XX, o también en Roma que se intentó resolver el problema de desechos soltando animales, en este caso el cerdo, por las calles, como aspiradoras cuadrúpedas para que aspiraran la basura, pero estos tenían sus límites.

Se pretende con el sistema Pfand o está máquina de reciclaje innovadora de recompensas que pueda ser utilizada en el municipio de Minatitlán como método de reciclaje de productos o contaminantes inorgánicos que día a día las personas consumen. El reciclaje es fundamental en todas las comunidades, de esto dependen nuestras vidas y la descendencia. Reciclar es fácil y sencillo, no requiere mucho tiempo, pero sí de compromiso y reconocer la importancia que tiene para con el

medioambiente. Si no se llegara a contar con la tecnología que conlleva a fabricar o manejar esta máquina altamente tecnológica que ha sido implementada en países como España y Alemania, podemos seguir algunas medidas que puede ayudar a nuestro municipio a reciclar y reducir todos estos productos inorgánicos como: plásticos, que diariamente dejamos de utilizar desde nuestras casas, escuela, trabajo, o generalmente en la calle:

- Reduce la cantidad de desechos, evitando comprar más plásticos sobre todo los de un solo uso. Revisa bien las bolsas de compra, algunas tiendas usan bolsas biodegradables.
- Revisa en tu casa que puedes reciclar, y clasifica, colócalos en los mejores sitios. Existen compañías que compran los tipos de materiales que probablemente puedas tener.
- Algo muy fácil, puedes designar con las personas que viven cerca de tu casa contenedores donde clasifiquen los productos, en este caso inorgánicos y por color.
- Organizar campañas para concientizar a las personas, planificar jornadas informativas en las cuales se puedan incluir actividades.
- Organizar reuniones para realizar jornadas de limpieza, dando como incentivos comida, bolsas biodegradables y contenedores para clasificar desechos, lo cual sería una idea grandiosa para compartir.
- Realizar un programa de trabajo, al realizar un estudio de zonas de la comunidad donde exista mayor cantidad de productos inorgánicos para realizar limpieza o recogida de los mismos.
- Enviar información a través de redes sociales: Facebook, WhatsApp, Twitter, para que las personas estén atentas a eventos o actividades del ámbito del reciclaje.
- Una gran idea también es visitar instalaciones escolares del municipio para incentivar a niños y jóvenes a cuidar el medioambiente y contribuir con la limpieza de las escuelas y sus hogares.

Cabe mencionar que se podrían crear módulos de intercambio asistidos y/o automatizados para la ciudadanía, en los cuales podrían ser monitoreados por un grupo de personas para que la población pueda llevar sus productos inorgánicos: plásticos, etc., y así a su vez obtenga la recompensa dependiendo de la cantidad de productos para reciclaje que las personas lleven a estos módulos.

ANTECEDENTES

El estado de Veracruz se encuentra ubicado a lo largo del Golfo de México. Conformado por montañas, bosques, selvas, llanuras, ríos, cascadas, lagunas y costas. Su posición geográfica hace que Veracruz tenga un gran potencial para su desarrollo nacional. Tiene una superficie de 72, 815 Km²; es el 11° estado de la República Mexicana en extensión y representa el 3.7% de la superficie total del país. Limita al Norte con el estado de Tamaulipas, al este con el Golfo de México, oeste con San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, al sur y suroeste con Oaxaca y suroeste con Chiapas y Tabasco.

Veracruz tiene 6.9 millones de habitantes que representa el 7.1% de la población nacional. Es un estado que sobresale por su vocación agrícola, forestal y pesquera, pero también cuenta con estructura industrial que lo coloca como líder nacional en la rama petroquímica básica.

El 63.1% del Producto Interno Bruto (PIB) se genera en el sector de servicios, siguiendo la importancia del sector industrial y manufacturero con 29% y sector primario con 7.9%. Las principales actividades de productividad del estado son la agricultura, ganadería, industria metálica básica, alimentos, bebidas, tabaco, petroquímica y electricidad.

El sitio ideal para ubicar el o los sistemas de reciclaje Pfand son los supermercados más concurridos por los habitantes de la ciudad de Minatitlán, Veracruz como es Soriana. Se encuentra ubicada en la ciudad de Minatitlán en la Avenida Manuel Ávila Camacho No. 91; el cual es uno de los supermercados más concurridos de la ciudad en el cual sería ideal establecer un Sistema de reciclaje Pfand para intercambiar materiales que ya no se utilizaran a cambio de una compensación como se ha mencionado y así evitar que estos envases o materiales se encuentren tirados o desechados de manera incorrecta y contaminen el medioambiente del municipio.



Figura 2 Ubicación de Soriana.

Tomada de (Google Maps, 2022)

El municipio de Minatitlán se encuentra al sur del estado de Veracruz; donde se encuentra establecida la mayor refinería de Pemex *Refinería General Lázaro Cárdenas del Río*, primera y más grande en Latinoamérica hasta el año 2004. Es la ciudad número 6 en importancia del estado y una de las 80 del país; perteneciendo al rango 4 de 8 de las grandes regiones funcionales por población, actividad económica e industrial; con un Índice de Desarrollo Humano (IDH) de 0.839 en la posición del estado. La ciudad está ubicada al norte del istmo de Tehuantepec y en la región Olmeca del estado de Veracruz.

El nombre del municipio se asignó en honor a Francisco Javier Mina. En 1826, Tadeo Ortiz fundó el pueblo de Minatitlán en una fracción de terreno cedido por Francisco de Lara y Vargas, vecino de Chinameca. Minatitlán proviene del Náhuatl *Mina: Disparar flechas contra alguno* y el sufijo *-titlán: Lugar*, por lo que Minatitlán significa “Lugar donde se disparan flechas” o “Tierra de flechadores”, versión reflejada en el centro del escudo del municipio.

Minatitlán, tiene una superficie de 4.124 km²; cifra que representa un 2.94% del estado de Veracruz; destacan los ríos Uxpanapa, Nanchital y Coachapan. Cuenta con algunos arroyos y lagunas tributarios del río Coatzacoalcos.

El clima de la ciudad es cálido húmedo con temperaturas de 25.6 °C; con lluvias abundantes en verano y principios de otoño; en los meses de mayo y junio se registran temperaturas altas de 42 a 44 °C.

Entre las funciones del sistema de reciclaje Pfand se encuentra recompensar a las personas que, por cada envase o material de vidrio, plástico, metal, etc., se le dé un algo simbólico como efectivo o cupones. Esto da una gran oportunidad a que podamos proteger el medio ambiente, el municipio y que haya gran circulación de envases o materiales que posiblemente podemos evitar que vayan directo al basurero municipal donde solo aumentamos más la cantidad de basura en vez de reducirla. De esta manera, con el sistema integrado a supermercados como soriana adquirir recompensas y mantener un orden de circulación de ciertos materiales. Las recompensas que pueden adquirirse pueden variar según el recipiente o material, por dar un ejemplo, podría ser:

- Botella de cerveza de vidrio reutilizable: \$5.00
- Botella de agua mineral reutilizable: \$2.00
- Botella de jugos o refrescos: \$4.00
- Botella de vino: \$5.00
- Latas: \$5.00

MARCO TEÓRICO

Concepto 1. Sistema

Es un conjunto ordenado de componentes relacionados entre sí, ya se trate de elementos materiales o conceptuales, dotado de una estructura, una composición y un entorno particulares. El mundo puede abordarse desde una perspectiva sistemática en la que todos los objetos forman parte de algún sistema, desde las partículas de un átomo hasta la corteza cerebral, la democracia representativa o los números enteros. Visto de esa manera, un *sistema* no es más que un segmento de la realidad que puede estudiarse de manera independiente del resto, pero en el cual sus componentes se hallan interconectados. (etecé, 2022)

Tabla 1 Categorías de Sistemas.
Tomada de (etecé, 2022)

CATEGORIAS DE SISTEMAS	
Conceptuales	Conjuntos ordenados e interrelacionados de conceptos e ideas
Materiales	Tangibles, concretos y compuestos con propiedades específicas.

Concepto 2. Reciclaje

Proceso fisicoquímico o mecánico, el cual consiste en exponer una materia o un producto que ha sido utilizado con anterioridad ante un tratamiento que puede ser parcial o total y que tiene como objetivo obtener materia prima o incluso un nuevo producto a partir del producto que hemos reciclado.

El reciclaje es fundamental en la ecología. Cuenta con una cadena conocida como *Cadena del reciclado* o del *reciclaje*, la cual consta de 5 ítems: el origen del producto, la recuperación, transferencia (no siempre), la clasificación y reciclador final. El reciclaje es uno de los procesos más importantes dentro de la ecología. (González Martínez, 2012)

El reciclaje posee varias partes:

- Su origen, ya sea domestico o industrial
- Recuperación del material puede hacerla una empresa del ramo público o privado. Solamente se trata de recoger los residuos y llevarlos hacia la siguiente parte.
- Las plantas de transferencia son una parte opcional en donde se mezclan los residuos para abaratar costos de transporte
- En las plantas de clasificación, los residuos son clasificados y separados
- Finalmente, los residuos son reciclados, almacenados o utilizados.

Concepto 3. Pfand

Tiene dos significados, el primero es el nombre que se le da a la moneda de plástico u otro objeto como intercambio de un objeto de cristal o caución, y el segundo es la acción, el hecho de tener que hacer un intercambio entre un envase de cristal o plástico y un importe que previamente se ha pagado junto con el producto.

La moneda “el Pfand” o caución se utiliza en terrazas de Alemania, en las planificadas fiestas al aire libre o en algunos bares. Normalmente pagan con cerveza o bebidas y las ofrecen en una jarra de cristal o envase de plástico duro, y dan a la vez una pequeña moneda llamada “Pfand”, cuando se devuelve la jarra o el envase juntamente con la moneda, devuelven el importe extra que se ha pagado. El importe va desde 1 a 4 Euros (\$20.42-\$81.67 pesos mexicanos). Este mismo sistema sirve cuando se va a pedir comida y dan junto con el platillo un plato de

cerámica, en este caso también se paga como una caución y la moneda “Pfund” es el comprobante de pago. (Una española en Munich ahora en Amsterdam, 2011)

Concepto 4. Sistema de Reciclaje Pfand

Es un sistema utilizado desde por lo menos dos décadas en Alemania, se originó por entidades gubernamentales que se preocupaban y esforzaban por estimular a ciudadanos para que reciclaran, y lo hacen por medio de dinero. Cuando se compra un producto con Pfand, lo pagas con un pequeño costo adicional que se devuelve al retornar el envase. El dinero se devuelve en puntos de reciclaje de supermercados o quioscos, gasolineras y mercados de bebidas. Más de 200 fabricantes de bebidas y alimentos utilizan botellas con el símbolo de reutilización para reconocer que se puede retornar y redimir su precio. (SUERTE Y DESTINOS, 2021)

Teoría 1. Problema del PET en México

Los envases de PET llegaron a México en la década de los 80's con una gran aceptación por los consumidores. Donde México era el principal consumidor de bebidas embotelladas. México consume alrededor de 800,000 toneladas de PET al año; el principal uso de los envases se utiliza en refrescos con el 50% seguido de agua embotellada con 17%. Una vez que son consumidos los contenidos de las botellas, una gran parte de los envases de PET son dispuestos en rellenos sanitarios, cauces, calles o tiraderos clandestinos. Los residuos PET representan entre 2 a 5 % del peso y 7 a 10% en los rellenos sanitarios, y entre 25 y 30% de residuos sólidos municipales generados en el país.

En México se recicla el 15% de PET que se consume. Este fenómeno se asocia con el precio al que se compra un kg de PET que es de tan solo \$2.00, mientras que el kg de aluminio se compra en \$9.00

El sistema de reciclaje de residuos en México se desarrolló desde 1960 gracias al sector informal, es decir, por los “pepenadores”. En el año 2000 se creó ECOCE una unión de 75 refresqueros, embotelladores y envasadores mexicanos

comprometidos a recuperar un porcentaje de botellas de PET. El reciclaje de PET se calcula en 50 mil toneladas por año.

Los altos contenidos de desechos han orillado a buscar soluciones para disminuir la cantidad de desechos y varias instituciones se han encargado de buscar soluciones. (UNAM. Feria de las Ciencias , 2018)

Teoría 2. El reciclaje: Una opción para minimizar residuos sólidos urbanos domiciliarios

De acuerdo con cifras aproximadas de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL), sumando los residuos “basura” de las regiones del país diariamente se generan 94,800 toneladas. Esto se relaciona por el aumento poblacional que se ha presentado en los últimos 60 años.

Todo material que se desecha tiene un tiempo para degradarse, un gran porcentaje puede ser aprovechado, por ejemplo:

- Plástico tarda 500 años en degradarse Baterías tarda 1000 años en degradarse
- Aluminio tarda de 350 a 400 años en degradarse

Los residuos sólidos urbanos pueden ser aprovechados y valorados ya sea como material (reciclaje, compostaje o reúso), o como energético. Significa que el 71% de los residuos que desechamos en nuestras casas o en la calle pueden tener nueva utilidad.

Al introducir el reciclaje al manejo actual, se minimiza la cantidad de recursos extraídos, así como los residuos desechados que contaminan por largos periodos de tiempo antes de reintegrarse a la naturaleza. Sin embargo, aunque la solución parece sencilla, se requiere la participación y compromiso del gobierno y la sociedad. (Velázquez Narváez, 2012)

Teoría 3. El Reciclaje, una herramienta no un concepto

Los gobiernos, las empresas y la sociedad han tomado al reciclaje como la solución para reducir el volumen de los desechos. El reciclaje como proyecto político satisface a los votantes, calma la conciencia ecologista de la sociedad de consumo y materialista. Pero paradójicamente, una herramienta que hoy en día ha sido

elevada a un nivel tal que se habla de “cultura del reciclaje”, puede no ser tan benéfica como parece. La falta de reflexión y de análisis hace que el activismo considere al reciclaje como la herramienta ambiental por excelencia. El reciclaje es una solución de “fin de tubo”, es decir, primero se causa el problema: el desecho, y luego costosa materia y energía para resolverlo, además que no está exento de causar más y mayores impactos ambientales. El reciclaje no es preventivo sino curativo, de allí la necesidad de que sea mirado como lo que es: una herramienta, que necesita de otra más y de contextos específicos para contribuir realmente al Desarrollo Sostenible. (Boada Ortiz, 2003)

Estado del Arte

Investigación 1. El Pfand Alemán, una experiencia de logística inversa aplicada al reciclaje

Según el Ministerio de Medioambiente de Chile (MMA), actualmente se produce en el país cerca de 17 millones de toneladas de desechos al año. Sólo el 10% se recicla. En el 2013 se promulgó una Ley conocida como Ley de Fomento al Reciclaje y Responsabilidad Extendida del Productor (REP), la cual propone una redefinición de enfoque de gestión de residuos a empresas productoras para organización y financiamiento de recuperación y revalorización y gestión de 6 derivados de productos “prioritarios” (aceites lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, baterías de vehículos, pilas, envases y embalajes, y neumáticos) que fueron seleccionados debido a su volumen producción y consumo, peligrosidad y/o factibilidad de revalorización.

Mejorar los estándares de educación ambiental y concientización del problema medioambiental al que nos enfrentamos resulta fundamental en esta tarea. También deben existir incentivos que mejoren efectivamente el reciclaje, la reducción de residuos y la reutilización de estos por parte de la ciudadanía. Es decir, desde la ciudadanía (o consumidor del producto) hacia donde el residuo fue producido (o punto de origen). Esto es lo que se denomina “logística inversa” aplicada a la recolección de residuos (con el propósito de recuperar su valor). Una experiencia exitosa de logística inversa es el famoso “Pfand” en Alemania de envases

desechables. El sistema de recolección Alemán fue lanzado con el fin de definir y establecer la base organizacional y judicial de la ley de envasados de Alemania dictada en 1991, formalizada en 1996, con la ley de Reciclaje y Gestión de residuos. El Sistema consiste en un depósito en dinero que se carga adicionalmente a la compra de un recipiente de cristal, plástico o lata, y que se devuelve una vez se lleve el envase a un punto o máquina de reciclado. Generalmente se encuentran en supermercados. En términos monetarios, por ejemplo, en el caso de las cervezas, los precios del “Pfand” pueden oscilar entre los 0.08 euros por las botellas de vidrio o 0.25 euros por un envase PET o latas. El establecimiento de estos valores depende del volumen del impacto ambiental y del contenido de los envases. Esta diferencia monetaria, incentiva el consumo de envases reutilizables por parte de los consumidores, quienes deben ser informados en el mismo envase del precio del producto en sí mismo, y por separado el valor del depósito. El sistema finalmente contempla el reembolso del depósito a cada uno de gestores de recolección (punto de reciclaje) desde su propio distribuidor y este a su vez, lo recibe del productor. Son muchas las personas que han visto la recolección de envases una forma de ganarse la vida. Los “Pfandsammlers” son parte de la cotidianeidad de cualquier ciudad alemana, recogiendo envases en parques, estaciones o en parques de eventos masivos. Esto ha motivado a cambios culturales en la calle, para que un Pfandsammler pase por ella. Solidaridad Pfand que incluso ya tiene algunas plataformas colaborativas. Si bien es cierto, el sistema es sumamente complejo. (Steffens, 2016)

Investigación 2. La Reciclabilidad de los envases

Actualmente consumimos una gran cantidad de envases en nuestro día a día. En casa, escuela o trabajo estamos rodeados de ellos. Cuando damos su vida útil por finalizarla, los tiramos al contenedor, sin embargo, en muchas ocasiones, no sabemos si estos se pueden reciclar por completo o no. Los envases deben depositarse en un contenedor amarillo para que se recojan de manera separada y sean trasladados a plantas de tratamiento de residuos. Una vez allí, se busca una segunda vida útil para aprovechar los materiales de cada envase. No obstante, en la práctica no todos los envases son reciclables en su totalidad. Se pueden

encontrar botellas de agua con etiquetas de 100% reciclables y lo mismo ocurre con los bricks de leche, envases de plástico y muchos más. Pero eso es falso, puesto que un envase puede ser reciclado totalmente debido a sus componentes (tintas, tapas, etiquetas). Debido a la falta de control en ese aspecto, se han presentado nuevas metodologías para conocer realmente la reciclabilidad de los envases. Los envases se podrán catalogar desde 0 hasta 5 dependiendo de su reciclabilidad. La puntuación más baja es 0 destinada a aquellos productos que, aunque estén fabricados con materiales reciclables, no se pueden reciclar; como ocurre con envases muy pequeños. La puntuación 1 a 2 iría destinada a los tetrabriks debido a que sus capas de cartón, plástico y aluminio dificulta su reciclaje. Los envases compuestos por un solo material y cuyo reciclaje sean sencillos obtendría la puntuación de 3 o 4. Y finalmente, la puntuación más alta 5 sería para envases como una lata de aluminio, una botella de vidrio o una botella de plástico PET en la que no se mezclasen otros materiales, se separen bien las tintas y materias obtenidas y se puedan aprovechar para fabricar otros envases. (RECICLA MÁS, 2020)

Investigación 3. RECICLAJE EN MÉXICO

La tecnología de reciclaje está en auge en el mercado mexicano, probablemente motivada por el hecho de que China cerró sus puertas a los residuos plásticos.

El país asiático, que se preciaba de comprar cerca del 50% de los residuos de papel y plástico de todo el mundo, cambió sus políticas de compra y ahora recibe materiales recuperados limpios que no requieran procesos adicionales antes de ser transformados. Esta coyuntura es punto de quiebre que está reconfigurando las estrategias y requerimientos de la industria de reciclaje a escala global y México no es la excepción. Para que México sea un país sustentable con el medio ambiente, es necesario fomentar cultura de reciclaje. La industria del reciclaje en México está valuada en 3 mil millones de dólares anuales y mantiene un crecimiento de 10% al año. Si se recicla el equivalente en envases y empaques susceptibles a ser aprovechados y generados en un solo día, se reducirían las emisiones de dióxido de carbono. “El problema no son los materiales, sino lo que hacemos con ellos. Si en lugar de tirarlos al medio ambiente, los separamos adecuadamente, estos pueden ser aprovechados y con ellos, contribuimos al cuidado del medio y

generación de empleos verdes” (ECOCE, 2020). El ECOCE es una asociación civil ambiental sin fines de lucro, creada y auspiciada por la industria de productos de consumo para el manejo adecuado de residuos de envases y empaques en México.

CONCLUSIÓN

El municipio de Minatitlán, Veracruz, es un lugar el cual es favorecido por sus costumbres y tradiciones, por su comunidad, por su flora, por su fauna. Es momento de poner marcha y llevar el reciclaje a cabo como un hábito de vida. Una de nuestras metas en general es proteger nuestro planeta y a su vez el lugar donde vivimos, y a su vez conservar los recursos que futuras generaciones necesitaran.

Es necesario utilizar los diferentes métodos de reciclaje como el sistema Pfand que incluye recompensas y que se espera en algún momento pueda llegar a la ciudad. Para apoyar a nuestra comunidad reciclando podemos acudir a los centros ecológicos o de información de reciclaje, siempre circula información de campañas para reciclar.

Hay que recordar que el reciclaje previene, cura; hay niveles para poder recuperar materiales y volverlos a utilizar y así evitar contaminar el medio en el que vivimos, así como reducir el consumo de recursos que probablemente se irán acabando. Reciclar un sistema que nace e implica recolección y separación para generar impactos y beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boada Ortiz, A. (2003). *rds.org.co* . Obtenido de EL RECICLAJE, UNA HERRAMIENTA NO UN CONCEPTO: bit.ly/3Tw2Z3l

ECOCE. (01 de Octubre de 2020). *ECOCE*. Obtenido de Teorema Ambiental más de 28 años trabajando para comunicar lo que tú haces bien: <http://bit.ly/40no4PP>

etecé. (Noviembre de 2022). *Categorías de Sistemas*. Obtenido de etecé.

González Martínez, A. (2012). *redalyc.org*. Obtenido de Reciclaje.

Google Maps. (Noviembre de 2022). *Ubicación Soriana Hiper*. Obtenido de Google Maps: <https://bit.ly/3JWoQ0N>

Nike Inc. All Rights Reserved. (2023). *Through Nike Grind [Imagen]*. Obtenido de NIKE: <http://bit.ly/3JtdK22>

RECICLA MÁS. (22 de Junio de 2020). *RECICLA MÁS*. Obtenido de Nuevo Proyecto Para Conocer La Reciclabilidad De Los Envases: <http://bit.ly/3FEVsd0>

Steffens, K. (21 de Mayo de 2016). *Plataforma Urbana*. Obtenido de A propósito de la REP: el pfand Alemán, una experiencia de logística inversa aplicada al reciclaje: <http://bit.ly/3nbBKPN>

SUERTE Y DESTINOS. (2021). *Suerteydestinos*. Obtenido de El sistema Pfand – una nueva oportunidad para los plásticos: <https://bit.ly/3Z3CMKT>

Una española en Munich ahora en Amsterdam. (2011). *unaespanolaenmunich*. Obtenido de ¿Qué es Pfand?: <http://bit.ly/3TFI8MA>

UNAM. Feria de las Ciencias . (2018). *UNAM*. Obtenido de RECICLA TU PET MEXICO.: <https://bit.ly/3zerkln>

Velázquez Narváez, Y. (Octubre de 2012). DE LOS. Revista Desarrollo Local Sostenible. *EL RECICLAJE: UNA OPCION PARA MINIMIZAR LA GENERACION DE*, 5(15), 12. Obtenido de <https://bit.ly/40kOi6h>

IDENTIFICACIÓN DE CENICILLA EN PLANTAS DE TOMATE MEDIANTE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

JESÚS EMMANUEL MORENO ROCHA¹, RUBÉN GUERRERO RIVERA², FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA³

RESUMEN

El tomate es uno de los vegetales que brinda beneficios para la salud de nuestro organismo. Existen enfermedades en las plantas de tomate que afectan el buen desarrollo de las plantas, siendo este causado por la enfermedad conocida como cenicilla (Erysiphe) Este trabajo presenta un método para resolver este problema, mediante el uso de un sistema de procesamiento de imágenes basado en una red neuronal convolucional (CNN) U-NET, que permite identificar la enfermedad presente en las hojas de manera temprana, haciendo posible la aplicación de un plaguicida antes de que la enfermedad sea expandida. El enfoque propuesto implica la captura de imágenes de hojas de planta de tomate, el procesamiento de filtrado (median filter) para mejorar la calidad de las imágenes y el entrenamiento del modelo U-NET para la segmentación de las imágenes para la identificación de la enfermedad. El rendimiento del método fue evaluado utilizando un conjunto de datos de imágenes de plantas de tomate con la presencia de cenicilla, los resultados muestran la efectividad del sistema para la detección en plantas de tomate con un $P < 0.05$.

Palabras clave: Procesamiento de imágenes, cenicilla, U-NET, plantas de tomate.

ABSTRACT

Tomato is one of the vegetables that provides health benefits for our body. There are diseases in tomato plants that affect the good development of the plants, being this caused by the disease known as mildew (Erysiphe). This work presents a method to solve this problem, through the use of an image processing system based on a convolutional neural network (CNN) U-NET, which allows early identification of the

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 21041619@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. rubenguerrero@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

disease present in the leaves, making it possible to apply a pesticide before the disease spreads. The proposed approach involves the capture of images of tomato plant leaves, the filtering processing (median filter) to improve the quality of the images and the training of the U-NET model for the segmentation of the images for the identification of the disease. . The performance of the method was evaluated using a data set of images of tomato plants with the presence of powdery mildew, the results show the effectiveness of the system for detection in tomato plants with a $P < 0.05$.

Keywords: Image processing, powdery mildew, U-NET, tomato plants.

INTRODUCCIÓN

Una de las verduras más conocidas en todo el mundo y de mayor valor económico es el tomate. Su demanda se incrementa continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. México ocupa el décimo lugar en producción de tomate rojo a nivel mundial (FAO). El 75% de esta producción mundial de tomates son consumidos en forma procesada, la mayoría de los cuales son térmicamente procesados.

El tomate (*Solanum lycopersicum*) forma parte de la familia Solanáceas, es una planta perenne de porte arbustivo, cultivada anualmente, se despliega en forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas). Su importancia en el contexto económico del país reside en la aportación de divisas y en la generación de empleos en todas y cada una de las fases de la cadena agroalimentaria. Entre el ciclo de primavera–verano de 2019 y 2020 viendo un avance hacia el 2021, el primer lugar de producción de tomate por entidad lo tiene San Luis Potosí con total de producción nacional de 17.2%. el segundo es Zacatecas con 10.8% y el tercero es Michoacán con 9.0%, mientras que Durango se ubicó en el lugar 13 con un total de 2.8%.

La cenicilla es un hongo que se genera en climas secos y cálidos, el cual también puede presentarse en ambientes húmedos. Esta enfermedad se hace presente mediante puntos blancos en los dos lados de la hoja expandiéndose hasta que

termina la infección, lo que ocasiona que las hojas se tornen de un color amarillento y marrón haciendo que estas se desprendan de la planta provocando que el fruto o la planta sufra quemaduras solares. Este problema viene aquejando a los cultivos desde hace muchos años, lo que ocasiona que la planta reduzca su capacidad fotosintética, así también como afecta a su rendimiento y calidad de los frutos.

Este trabajo pretende solventar este problema al desarrollar un sistema de detección por imágenes el cual tiene como objetivo detectar el hongo de la cenicilla en plantas de tomate para su tratamiento antes de que este logre expandirse a las demás hojas y plantas para evitar pérdidas de cosecha, así como también frutas con una mala calidad, ya que en la actualidad los agricultores identifican esta y otras enfermedades mediante su visión. Por el momento no existe un sistema que permita detectar esta enfermedad en plantas de tomate en el campo o incluso en invernaderos. Por este motivo, este trabajo pretende dar valor agregado a este sistema para que así este pueda ser comercializado de una mejor manera y que así llegue a las manos de productores para solventar estos problemas que los aquejan. Por esta razón, es fundamental identificar la enfermedad en la hoja para que así el productor actúe de una manera más rápida para realizar la aplicación de un plaguicida en las plantas afectadas por la cenicilla; para lograr el objetivo de este trabajo se desarrollará un sistema de procesamiento de imágenes basado en la red neuronal U-Net el cual permitirá la identificación de la enfermedad de cenicilla en plantas de tomate.

FUNDAMENTACIÓN

Realizando investigaciones en documentos previos disponibles sobre el tema de estudio de la cenicilla en plantas de tomate y sobre diferentes métodos de procesamiento de imágenes, así como de la red neuronal U-Net, enseguida se enlistan algunos que se relacionan con el presente trabajo de investigación:

Estudios anteriores realizados por (García, 2012) en visión artificial han demostrado buenos resultados en el análisis y la identificación de superficies orgánicas, mientras que (Velázquez López, et al, 2011) mencionan en su investigación que utilizaron la librería llamada Open CV que proporciona proporciona un conjunto de funciones de

procesamiento de imágenes, mediante la cual pudieron facilitar la detección de las regiones en donde se encontraba la enfermedad.

Diversos autores consideran que una imagen puede ser definida como una función bidimensional, $f(x, y)$, las cuales son coordenadas especiales en un plano, mientras que f en cualquier par de coordenadas es la intensidad de gris que tiene la imagen en esa coordenada tal es el caso de (Mejía Vilet, 2005).

De acuerdo con (González y Woods, 2002) cuando (x, y) y los valores de f son todas las cantidades finitas y discretas, decimos que la imagen es una imagen digital. De una manera más sencilla lo que los autores dicen sobre las imágenes digitales, es que podemos denominar una imagen digital a la representación de una imagen usando bits, los cuales son una unidad mínima de información que se componen de números binarios (0 y 1) y estas se componen por un número finito de elementos, los cuales son denominados píxeles. Estos elementos tienen un lugar y valor específicos en la imagen para que esta pueda ser procesada y visible mediante una computadora con un software de procesamiento de imágenes.

U-NET fue desarrollada por Olaf Ronneberger, Thomas Brox y Phillip Fischer en 2015, esta se trata de una de las redes neuronales convolucionales más utilizadas para la segmentación de imágenes. Esta red neuronal se creó principalmente para la segmentación de imágenes médicas, pero con el paso de los años fue siendo de ayuda para la segmentación de imágenes en otros campos diferentes a la medicina. Al finalizar la revisión bibliográfica sobre los temas relacionados a este trabajo se consideró que los que tienen mayor relevancia para el desarrollo del sistema anteriormente mencionado son los que se incluyen en la mayoría de los artículos revisados ya que estos proporcionan la información o un punto de apoyo para el resultado que se desea obtener.

A continuación, se muestra una lista de

METODOLOGÍA

Diseño del estudio.

El procesamiento digital de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto y la calidad de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean identificar, para realizar la identificación de la enfermedad de la cenicilla en las plantas de tomate, se realizará lo siguiente:

El proceso mediante el cual se realizó el sistema de identificación de la cenicilla empezará con la adquisición o recolección de las imágenes mediante las cuales se realizara el entrenamiento de red neuronal, después se mejorará la calidad de las imágenes, enseguida de esto se realizara el proceso de segmentación mediante roboflow, en el cual se localizarán los objetos a identificar dentro de la imagen, posteriormente se entrenara la red neuronal con las imágenes segmentadas, por ultimo se validaran las imágenes que no fueron sometidas a entrenamiento para así poder verificar que el sistema detecte correctamente la enfermedad en las hojas de tomate.

Entorno de desarrollo del sistema.

El sistema se realizará en Google Colab el cual es una herramienta de desarrollo de software fácil de usar, accesible y multiplataforma, además de que trabaja con Big Data, AI (Inteligencia Artificial), redes neuronales, etc., que nos pueden ayudar a desarrollar de una mejor manera el objetivo de este proyecto el cual será desarrollado con el lenguaje de programación Python.

Obtención de las imágenes.

Las imágenes con las que se trabajará serán de un dataset tomado de Kaggle el cual cuenta con un total de 1114 imágenes. Se seleccionarán entre 750 y 600 imágenes con las cuales se realizará la segmentación, el entrenamiento de la red neuronal y la validación de estas.

Preprocesamiento.

Lo primero que se hará es elegir cual canal de color es el mejor para hacer una separación cromática de las imágenes (RGB), esto se hace para poder identificar de una mejor manera los elementos que se quieren analizar dentro de la imagen. En nuestro caso se eligió el canal azul, ya que en este se identificaba de una mejor manera la enfermedad presente en la hoja, después de tener el canal azul seleccionado se realizará una binarización de imágenes en donde la imagen será dividida en dos partes (blanca y negra) mediante histogramas de dicha imagen, esto ayudará a mantener las propiedades esenciales de la imagen y que sea más fácil detectar la plaga y evitar algún malentendido con alguna otra cosa de su entorno. Para poder realizar la binarización de la imagen, se deberá elegir un valor que se encuentre dentro de los niveles de grises. Todos los niveles de gris que sean menores al valor elegido serán convertidos a negro y todos los que se encuentren por encima del valor serán convertidos en blancos.

Segmentación.

Para poder detectar la enfermedad se utilizará la segmentación semántica mediante la cual clasifica a nivel píxel la imagen, esto quiere decir a que píxel pertenece cierta clase dentro de la imagen. Se utilizará roboflow el cual es una herramienta que permite crear aplicaciones de visión por computadora, tal es el caso de la segmentación semántica. En esta sección se identificarán los objetos que se desean dentro de la imagen, en nuestro caso será la hoja y la enfermedad de la cenicilla, el fondo no se identifica ya que el mismo roboflow lo detecta automáticamente cuando se seleccionan los objetos que se quieren identificar.

Entrenamiento.

El entrenamiento es una de las partes más importantes del sistema, ya que mediante este la red neuronal aprenderá a diferenciar entre la enfermedad y la hoja y así poder predecir si es que hay presencia de cenicilla en la hoja de tomate. Para poder realizar el entrenamiento del sistema se utilizará una red neuronal U-net ya que esta es la más usada para la segmentación semántica de imágenes lo cual

facilitará la detección del objeto que se desea encontrar que en este caso es el hongo de la cenicilla, una vez terminado el entrenamiento, se probará el modelo resultante para comprobar que los resultados sean los mejores.

Validación.

Por ultimo se ejecutará una validación que compruebe la detección de la enfermedad, para esto se utilizaran imágenes que no fueron usadas en el proceso de entrenamiento con la finalidad de que el mismo sistema dé una predicción de si la hoja contiene enfermedad o no y si es así, que porcentaje de esta tiene.

RESULTADOS

A continuación, se mostrarán los resultados que se tienen hasta este momento, cabe destacar que se esta trabajando en la validación de las imágenes, así como en que te muestre que porcentaje de la enfermedad se encuentra presente en la hoja.

Como se puede observar en la imagen 1, se tiene la imagen original de la planta de tomate con la enfermedad presente. Las imágenes originales se agregan a un dataset en roboflow para después poder realizar la segmentación de estas y así identificar los objetos deseados.



Imagen 1. Imagen original.

Después de ya tener las imágenes originales se someten a un proceso de separación cromática, en donde se separan por canales RGB. Como se puede apreciar en la imagen 2, en los canales rojo y verde la enfermedad no se logra

identificar muy bien, mientras que en la imagen 3, se puede observar que en el canal azul es donde se puede identificar de una mejor manera la cenicilla en la hoja en comparación con los canales mencionados anteriormente.

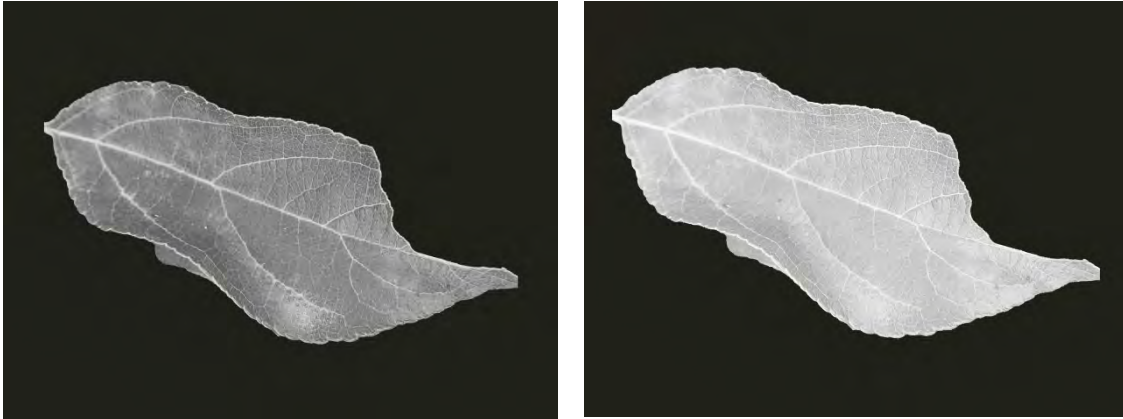


Imagen 2. Imagen de la hoja en los canales rojo y verde respectivamente.



Imagen 3. Imagen de la hoja en el canal azul.

Una vez que se tiene identificada la enfermedad gracias al canal azul se puede empezar a realizar la segmentación de la hoja y la cenicilla mediante el uso de roboflow. Aquí se generan las clases de los objetos que se quieren identificar para así poder empezar la debida segmentación semántica, como se muestra en la imagen 4 la hoja se encuentra marcada con un color rosa, mientras que la enfermedad de la cenicilla es de un color morado. Este procedimiento se realiza con todas las imágenes que se utilizaran para el entrenamiento de la red neuronal.



Imagen 4. Imagen marcada para realizar la segmentación de la hoja y la enfermedad.

Una vez teniendo esto terminado aparecerá una opción en la cual se puede observar el resultado de la segmentación de la hoja y la enfermedad tal como se puede ver en la imagen 5.



Imagen 5. Imagen segmentada.

Una vez añadiendo las imágenes originales y segmentadas el programa muestra cómo es que deberían de ver las imágenes una vez que estas sean procesadas mediante el sisma, viendo así que estas coinciden con la imagen original que fue seleccionada para la muestra. En la imagen 6 se puede observar el resultado de esto.

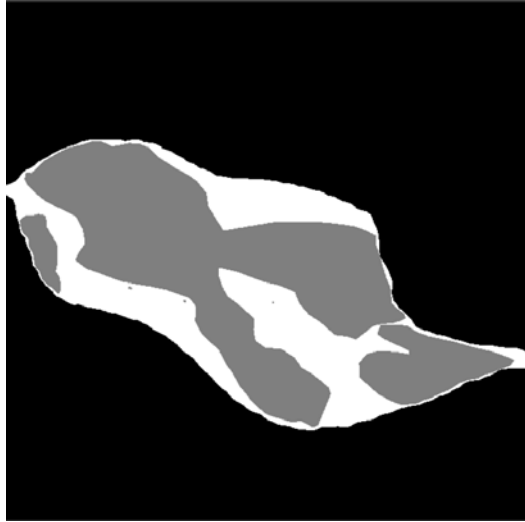


Imagen 6. Imagen segmentada mediante el sistema.

Después de observar estos resultados y ver que si tienen coincidencia se procede a entrenar la red neuronal para que así esta pueda ser capaz de predecir si la hoja esta infectada con la enfermedad. Para esto se entrenó con diferentes épocas para así poder ver la precisión que esta generaba, tomando esto como base para saber que tantas épocas debería tener y así no hacer que nuestra red neuronal se sobreentrene y dé malos resultados. A continuación, en la tabla 1 se muestran las épocas en las que se entrenó la red neuronal junto a sus respectivos resultados.

Tabla 1. Resultados del entrenamiento.

Épocas	Precisión	Pérdida
5	0.5393	1.9960
10	0.5734	18.4337
15	0.6274	2.8387
20	0.6953	1.2309

Como se puede observar en la tabla los resultados aún son muy bajos, esto se debe a que se entrenó con pocas imágenes segmentadas. Para resolver esto se necesita hacer más segmentaciones de imágenes y entrenarlas junto a las que ya se tienen hechas, además de que entrenar con más épocas también ayudará en la mejora de los resultados. Cabe mencionar que se está trabajando en hacer más segmentaciones de las imágenes, así como también desarrollar la validación de las imágenes e identificar el porcentaje de la enfermedad en las hojas de tomate.

CONCLUSIONES

El sistema muestra que la cenicilla puede ser identificada de una buena manera mediante una red neuronal y al procesamiento digital de imágenes, esto debido a que se pudo identificar la enfermedad con buenos resultados en la segmentación hecha por el sistema.

Los datos que se obtuvieron pueden ser utilizados como base para futuros proyectos relacionados con la enfermedad de la cenicilla y el procesamiento digital de imágenes. Dado que este proyecto puede detectar la cenicilla, puede facilitar el trabajo con ella.

La implementación de este tipo de sistemas puede ayudar al aumento en calidad del tomate tanto como en su valor, ya que gracias a la detección de la plaga se pueden evitar pérdidas de producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

García, J. (2012). Informática. En J. García, Proyecto Adarve. Oxford Press.

Gonzales, R., & Woods, R. (2006). Digital Image Processing (Third edition). New Jersey: Prentice Hall.

Ronneberger et al. (2015). U-Net Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation.

Velázquez-Lopez et al. (2011). Detection of Powdery Mildew Disease on Rose Using Image Processing With Open CV.

Mejía Vilet, J. R. (2005). Apuntes de procesamiento digital de imágenes.

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN ADMINISTRATIVA DEL ÁREA DE CAPACITACIÓN PARA LA EMPRESA CSC CAPACITACIONMEXICO

LILIAN GISEL CONTRERAS MORALES¹

RESUMEN

La optimización de procesos es la disciplina que se encarga de adaptar los procedimientos para mejorar sus parámetros, pero sin infringir sus límites.

Este artículo es sobre la organización CSC CAPACITACION MEXICO, una empresa pyme del área de servicios de formación y adiestramiento ubicada en el municipio de Cosoleacaque, en el estado de Veracruz. Hoy en día los procesos se realizan conforme crecen las necesidades en la empresa, estableciendo el más importantes en el área administrativa que es la documentación entregable a las empresas y personas en general. Actualmente se realizan sin ningún programa o procedimiento establecido, sin embargo, gracias a la entrega y profesionalismo de los que integran la organización se ha visto en aumento considerable de la carga de trabajo que es a grandes volúmenes y dicho departamento está teniendo atrasos en los tiempos de entrega debido a que cada uno de los documentos se realiza en un documento base, pero manualmente.

Se propone automatizar el proceso de la documentación de la organización mejorando así los tiempos de entrega, teniendo un personal capacitado que aproveche las funciones de la documentación y a deshacerse de todas aquellas herramientas que no son de ayuda. Así como tener hardware y software de acuerdo con las nuevas y crecientes necesidades de la organización.

Palabras clave. Automatización, generación, documento digital, optimizar, capacitación, recursos de la organización, base de datos.

¹ Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamerica. lilian_gisel@hotmail.com

ABSTRACT

The process optimization is the discipline that is in charge of adapting the procedures to improve its parameters, but without infringing its limits.

This article is about the organization CSC CAPACITACION MEXICO, an SME company in the area of training services and training located in the municipality of Cosoleacaque, in the state of Veracruz. Nowadays the processes are carried out according to the growing needs of the company, establishing the most important in the administrative area which is the documentation deliverable to companies and people in general. Currently they are performed without any established program or procedure, however, thanks to the dedication and professionalism of those who make up the organization has seen a considerable increase in the workload that is large volumes and the department is having delays in delivery times because each of the documents is done in a base document, but manually.

It is proposed to automate the documentation process of the organization thus improving delivery times, having a trained staff to take advantage of the functions of the documentation and to get rid of all those tools that are not helpful. As well as having hardware and software according to the new and growing needs of the organization.

Keywords. Automation, generation, digital document, optimize, training, organizational resources, database.

INTRODUCCIÓN

La automatización de procesos que refiere a las compañías para sistematizar sus procesos mediante el uso de tecnología y la organización de sus colaboradores través de flujos de trabajo. La automatización le permitiría tener el control de la problemática actual la cual estandarizar y desarrollar un proceso que mejore los tiempos y calidad de la documentación de CSC capacitacion mexico.

Antiguamente, cuando se hablaba de automatización de procesos, se relacionaba con el futuro distante y la robótica. Sin embargo, en la actualidad, significa algo totalmente diferente. En su actual etapa de evolución, la automatización de

procesos permite a las organizaciones mejorar sus procesos para ser más competitivos en el campo laboral.

PROBLEMÁTICA

CSC Capacitación es una Pyme que significa pequeña y mediana empresa. Según datos del Centro para el Desarrollo de la Competitividad Empresarial (CETRO-CRECE) el 75% de las PyMEs en México fracasan y cierran sus operaciones antes de cumplir los dos años de haber iniciado operaciones.

Las Pymes tienen una gran ventaja, debido a que se adaptan y cuenta con mayor facilidad al tomar decisiones, ya que los procesos son más eficientes al ser empresas con poco personal.

CSC CAPACITACION MEXICO es una empresa creciente en el mercado laboral correspondiente a una empresa dedicada al servicio de construcción, renta, venta de equipo y capacitación, en esta última el área administrativa está teniendo atrasos debido a que la documentación es casi diaria y la persona encargada tiene que realizarlos uno a uno debido a que la generación es totalmente manual.

Dentro de las operaciones que se realizan en la organización existen varios retrasos dado que existen silos de información, comunicación poco clara y mucha inversión de tiempo en tareas que no son tan prioritarias. La optimización de procesos más utilizada en estos casos es la automatización de los procesos. La cual suele ofrecer resultados en poco tiempo, agilizando los procedimientos y permitiendo que todos estén en el mismo canal.

La Pyme en la que se realiza la propuesta tiene como proceso principal la generación de documentación administrativa que en ocasiones se ve obstruida por la falta de tiempo y el cúmulo de trabajo de la organización.

Esto trae como consecuencia que la organización pierda clientes y haya descontento por parte de otros debido a que la organización no puede tener en menor tiempo y con el mínimo de errores su documentación que en ocasiones se deben realizar en grandes cantidades.

Además, un factor importante sería la ventaja competitiva puesto que hoy en día existen pocos sectores que no cuenten con una dura competencia y es importante

mantener los clientes y proveedores. Es por ello por lo que nos enfocamos en entender y atender sus necesidades y sus expectativas, así como responder a ellas de manera más satisfactoria y rápida que los competidores.

CSC Capacitación México debe buscar su profesionalización con la cual sus procesos se sistematicen y documenten para que sean más eficientes. Proporcionando las herramientas y capacitación necesaria de su propio personal. Mientras que en el entorno en el que se encuentra la organización es que está posicionándose como una empresa de capacitación líder en la zona sur del estado de Veracruz y al tener competencia los tiempos de entrega y respuesta deben ser óptimos para realizar la documentación entregable a los clientes.

Así mismo los aspectos de la problemática en el ámbito técnico es la documentación se realiza manualmente por cada participante y curso, esto da lugar a una baja eficiencia en el proceso de generación de la documentación, así como el desgaste de equipo por el uso forma prolongado por varias horas. El aspecto económico de la problemática es que al realizarse manualmente la documentación, en ocasiones, hay errores dentro de los paquetes impresos y posteriormente se tiene que volver a imprimir generando gastos extras de papelería. Y por último el aspecto social de CSC capacitación tiene un estándar de calidad en su servicio que se ve afectado al tener largos tiempos de espera para la entrega de documentación así mismo como la entrega de documentación errónea por realizarlos manualmente provoca descontento de parte de nuestros clientes.

JUSTIFICACIÓN

Los aspectos comentados anteriormente acerca de la problemática son de acuerdo con la viabilidad de la propuesta de automatizar la generación de la documentación administrativa del departamento de capacitación para satisfacer las necesidades de la organización. Proponer la automatización a través de un proceso de la generación de documentos específicos del área de capacitación para optimizar el proceso administrativo. Esta comprendería un periodo en la organización de 2023 -2024 en CSC Capacitación México.

La causa de la problemática actual es debido CSC capacitación tiene el compromiso de cumplir con los estándares de calidad de servicio al cliente dando solución rápida y eficaz a las necesidades nacientes en el departamento de Capacitación a través de la mejora de la formación del personal y los procesos así al optimizar sus procesos de generación de documentación se podrá ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo a través de la automatización de estos.

CSC Capacitación México es una empresa que debe satisfacer las necesidades de los clientes y solucionar los problemas de tiempos en el proceso de generación de documentación del área de capacitación. La automatización se debe realizar a mediano plazo debido a que los volúmenes de documentación y trabajos están creciendo rápidamente en el departamento de capacitación, el cual, está inmerso el proceso administrativo de la generación de la documentación de dicha área, a través de la mejora y automatización del proceso de la generación de documentos administrativos de los participantes en los diferentes cursos de capacitación, se realizaría la optimización de los tiempos y recursos del área administrativa del departamento de capacitación debido a que es importante documentar y dar seguimiento adecuadamente al progreso de la documentación de los participantes que se realiza.

La evidencia del problema documental es a través de los documentos físicos y digitales que se tiene investigación. Se observó que la organización presentó atrasos y pérdidas debido a la forma de realizar la documentación manualmente. La evidencia personal es el proceso de generación de documentación de los cursos de capacitación está en prioridad dentro de la organización debido a que por el momento es el área más solicitada y los volúmenes por semanas van incrementando, puesto que soy la persona encargada de la generación y a su vez, administro y realizo otras actividades que consumen tiempo, lo cual me dificulta dedicarme a realizar manualmente cada documento. Y la colectiva es a través del equipo de CSC, quien está de acuerdo en dedicar tiempo y esfuerzo a la implementación de la automatización en la documentación administrativa de capacitación para posicionar a la organización a través de la mejora del proceso con el fin de fortalecer la ventaja competitiva.

La organización está creciendo y no solamente en la cartera de clientes sino también en la realización de otros servicios dando a relucir nuevas necesidades y la ineficiencia de los procesos que conlleva a requerir la optimización de los recursos humanos, financieros, materiales, también la reducción de tiempos de los procesos de trabajo, es por ello que el automatizar el proceso de generación de la documentación administrativa de los participantes sería de gran apoyo para incrementar la calidad y productividad en el servicio.

Lo antes mencionado efectúa una pregunta de investigación, la cual es ¿Es factible implementar la automatización de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación para cada participante logrando así la optimización de los tiempos y recursos de la organización?

De igual manera la justificación teórica es establecer la factibilidad de implementar la automatización del proceso de generación de la documentación administrativa del área de capacitación en la empresa CSC capacitación México para optimizar los recursos de esta. Mientras que la parte práctica es el área de capacitación es la responsable de realizar la documentación de cada curso y participante, la cual incluye servicio completo desde la cotización y atención al cliente, hasta la generación de los documentos que se hacen entrega de acuerdo con el curso impartido.

Estos serían los beneficios de la automatización:

Realizar la documentación mediante un proceso establecido con las herramientas necesarias que mejoren la generación de esta.

- Reducir los tiempos de generación y entrega a los clientes.
- Reducir los costos de papelería y materiales.
- Capacitar al personal de forma más eficiente.
- Obtener una base de datos de los capacitados al instante y facilidad de usar nuevamente los datos.

En el ámbito social es lograr ser una empresa reconocida y recomendada por su eficacia y eficiencia la cual pueda proporcionar un servicio de calidad, logrando formar a través de la capacitación a trabajadores con los conocimientos necesarios para poder realizar sus actividades laborales.

En el último aspecto de tipo académico la empresa CSC capacitación mexico es una empresa que se dedica a la capacitación y otros servicios, donde no solamente las empresas nos solicitan como sus proveedores sino también las escuelas, universidades y otras instituciones que brinda el servicio de la educación. Esta automatización será de apoyo para las constancias que se emiten a las mismas, así como tener tiempo para poder darles la atención post servicio.

OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es desarrollar una propuesta del proceso de automatización del proceso de generación de la documentación administrativa del área de capacitación para la empresa CSC capacitación mexico.

1. Establecer el análisis del marco teórico el cual presenta, los antecedentes y las variables que se desarrollarán durante la investigación
2. Establecer el marco referencial y metodológico que incluye la compilación de las teorías que están ligadas al tema.
3. Presentar los resultados obtenidos de la investigación
4. Diseñar e implementar el proceso para la generación automática de la documentación administrativa del área de capacitación

HIPÓTESIS

La hipótesis de la investigación es la siguiente: la situación de la generación de los documentos administrativos de área de capacitación está asociada a la optimización de los tiempos y recursos de la organización.

VARIABLES

La elección de las variables es elemental en el momento de la automatización de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación debido que permitiría realizar el proceso con eficiencia y eficacia.

VARIABLES de estudio

En primer lugar, tenemos a la variable independiente que es la automatización de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación, para realizar la mencionada generación se tiene contemplado que se realice mediante

una base de datos que se actualiza a través de una interfaz que analice la información y genere automáticamente los documentos que se realizan como son reconocimientos, DC3 y credenciales. Y la segunda variable dependiente se tiene la optimización de los tiempos y recursos de la organización a través de la implementación de un proceso eficaz y eficiente del proceso de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación de la organización CSC capacitación mexico.

RESULTADOS

Enfoque metodológico

La presente investigación tiene como propósito proponer un proceso de automatización de la documentación administrativa del área de capacitación para la empresa CSC capacitación mexico.

Para determinar el tipo de estudio se tomó en cuenta las variables y objetivo que estamos buscando la investigación cualitativa se enfoca en comprender los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con su contexto. (SAMPIERI, 2014)

Se determina que el tipo estudio es cualitativo debido a que las características de este tipo son compatibles con el proceso que se quiere llevar a cabo y propone evaluar, ponderar e interpretar la información para llegar al objetivo y la recolección de dichos datos que está orientado a proveer un entendimiento el cual es la automatización de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación debido que permitiría realizar el proceso con eficiencia y eficacia.

Según el Dr. Roberto Hernández Sampieri el enfoque cualitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

De igual manera el proyecto presentará evidencia o información simbólica verbal, audiovisual o en forma de texto o imagen, así mismo se involucran a unos cuantos casos porque no se pretende necesariamente generalizar los resultados del estudio, sino analizarlos intensivamente.

En esta investigación se tiene desarrollado la hipótesis que procede a la recolección y análisis de los datos que se obtendrán de los procedimientos utilizados para obtener y analizarlos datos tomando en cuenta la formulación de la hipótesis en todo el proceso, de este modo podemos tener en cuenta que las preguntas se van perfeccionando mientras se lleva a cabo la investigación.

Creswell (2013a) y Reichardt (2004) llaman a los experimentos estudios de explicar intervención, porque un investigador genera una situación para tratar de cómo afecta a quienes participan en ella en comparación con quienes no lo hacen. De acuerdo con el libro Metodología de la Investigación (2014) El primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes.

Para determinar el diseño del tipo de estudio se define experimental como el tipo de estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes dentro de una situación de control para el investigador (experimentos puros, cuasiexperimentos y preexperimentos). (GARCÍA LÓPEZ & CANO FLORES, 2020)

En este proceso se observará el cambio del proceso de la automatización de la generación de los documentos administrativos del área de capacitación puesto que la administración tiene un plan de automatizarlo y requiere que el personal que realiza la actividad colabore con las mejoras que pueda realizarse y posteriormente tener un guía que pueda ser comprendida por nuevo personal que ingrese y pueda la realizar la documentación sin ningún problema siendo lo más eficiente posible.

Por último, el instrumento determinado para la investigación según Taylor y Bogan (1986) entienden la entrevista como un conjunto de reiterados encuentros cara a cara entre el entrevistador y sus informantes, dirigidos hacia la comprensión de las perspectivas que los informantes tienen respecto a sus vidas, experiencias o situaciones.

Las preguntas estarán ligadas a la generación de la documentación administrativa del área de capacitación que ayudará a mejorar el proceso. Interpretado a través del procedimiento para analizar los datos como una gráfica de barras tiene barras

rectangulares con longitudes proporcionales a los valores que representan. Estos se utilizan para compararlos o más valores. Este tendrá como objetivo identificar las deficiencias del proceso de generación de la documentación administrativa del área de capacitación.

A través de un gráfico apoyará a realizar un análisis visual acerca de las preguntas y cuestiones llevadas a cabo en la entrevista.

MARCO REFERENCIAL

Antecedentes

La investigación se localiza en el Estado Veracruz, una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana. Se localiza al centro-este de la nación Mexicana, sobre las costas del Golfo de México; con una superficie de 71.826 Km² representa el 3.66% del territorio nacional; su capital es la ciudad de Xalapa-Enríquez y está dividido en 212 municipios

Los sectores estratégicos que forman parte de este estado son: agroindustrial, metalmecánica, químicos, bioquímica, minería, turismo, petróleo, gas y petroquímica. En un futuro próximo se espera que los servicios médicos, puertos, energías renovables, productos para la construcción y proveedores automotrices.

CSC capacitación mexico

La organización CSC CAPACITACION MEXICO se ubica en la ciudad de Cosoleacaque en el estado de Veracruz en la zona centro costera del estado, en llamada Región Olmeca.

Ubicado en calle Aldama #2 Colonia Gustavo Díaz Ordaz, domicilio en el que se tiene la oficina central de la empresa. A continuación, se coloca el organigrama ubicando el departamento de capacitación:



Figura 1: Organigrama de CSC CAPACITACION MEXICO

Este departamento es responsable de la planeación, organización, ejecución, evaluación y seguimiento de los programas y planes de capacitación que se darán al público en general o empresas.

Tiene como objetivo establecer los medios necesarios para la obtención de los recursos en coordinación con la gerencia.

Determinar las prioridades de capacitación de los servicios a realizar para facilitar laprogramación de los cursos y programas.

Realizar la documentación referente a los servicios de capacitación como constancias, DC3, reconocimientos, credenciales entre otros.

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

El concepto teórico del fenómeno fue a través de un gráfico que indica el proceso que esta investigación.

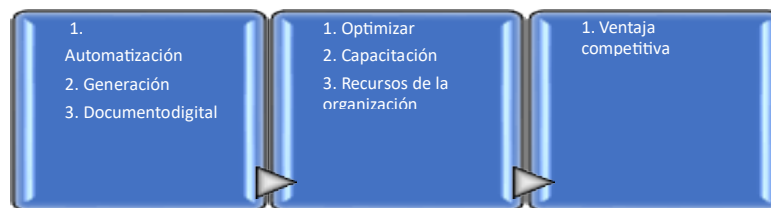


Figura 2: Esquema de variables

La automatización

La automatización es a través de un proceso de operaciones o serie de autocontrol que tiene como uso principal que los procesos sean automáticos. La automatización implica la utilización implica la utilización de un equipo automático

de proceso de datos que puede ser un ordenador u otros dispositivos simplifiquen el trabajo. (VIVINA, 1995)

La generación

La Real Academia Española menciona que

f. Acción y efecto de generar (ll producir). Generación de empleo.

La gestión

Con una connotación más actualizada o gerencial la gestión es planteada como "una función institucional global e integradora de todas las fuerzas que conforman una organización". En ese sentido la gestión hace énfasis en la dirección y en el ejercicio del liderazgo. (AUGUSTO, 1997)

Documentación digital

El documento digital es un producto de información y de comunicación dinámico e interactivo, siendo este último uno de sus componentes fundamentales mediante los recursos que ofrece al usuario para desarrollar su propio proceso cognitivo de lectura, comprensión y selección, así como de localización y recuperación de nuevos documentos asociados temáticamente. (CONTARDI, 2008)

Optimizar

La Real Academia Española define como optimizar como buscar la mejor manera de realizar una actividad.

Capacitación

La capacitación y el adiestramiento deberán tener por objeto: I. Actualizar y perfeccionar los conocimientos y habilidades del trabajador en su actividad; así como proporcionarle información sobre la aplicación de nueva tecnología en ella;

Recursos

“Los recursos son medios que las organizaciones poseen para realizar sus tareas y lograr sus objetivos: son bienes o servicios utilizados en la ejecución de las labores organizacionales. La administración requiere varias especializaciones y cada recurso una especialización.” Chiavenato (1999).

Ventaja competitiva

Porter, M. E. (1991). puntualiza que la competitividad es la capacidad de una empresa para producir y mercadear productos en mejores condiciones de precio, calidad y oportunidad que sus rivales.

Así mismo las teorías que están relacionadas con esta investigación son:

Administración por procesos de Alfredo Paredes 2018

La competitividad y la productividad de las organizaciones cómo resultado del mejoramiento de procesos. El cual su objetivo principal es comprender la contribución de la optimización a mejorar la productividad y competitividad de las organizaciones.

Metodología que utiliza es a través del programa inicial con un análisis gerencial sobre la importancia y contribución de los procesos en la gestión de las organizaciones. Se presentan un conjunto de fundamentos y modelos para la identificación, sistematización y mejora continua de los procesos.

Eficacia, eficiencia y efectividad en el desempeño del trabajo, Manene Cerragería LuisMiguel (2018)

Podemos definir la eficiencia como la relación entre los recursos utilizados en un proyecto y los logros conseguidos con el mismo.

“Capacidad para lograr un fin empleando los mejores medios posibles”: no siempre eficacia es sinónimo de eficiencia.

Los Indicadores de Eficiencia siguientes:

INDICE O EFICIENCIA GLOBAL= Eg (índice de

competitividad) Ra Resultado actual de la empresa

$Eg = \frac{Ra}{Rm} = \frac{\text{Resultado actual de la empresa}}{\text{Resultado mejor de la competencia}}$

Rm Resultado mejor de la competencia

Se evalúan las ventas, el valor añadido, el beneficio, la producción, el cash-flow, etc., por empleado, por unidad.

$$Eg = \frac{Rp}{Rm} \times \frac{Ra}{Rp} = Ee \times Eo$$

Rp = Resultado potencial u óptimo de la organización
empresarial
Ee = Indicador de eficiencia estratégica o
externa

Eo = Indicador de eficiencia operativa o interna

El modelo para la mejora de la eficiencia se apoya en tres conceptos: personas, procesos y clientes.

“Elaboración e implementación del manual de procedimientos para el control de inventario en una empresa distribuidora” EVELYN LIZET SERECH ENRÍQUEZ por 2005.”

El proyecto de elaboración e implementación del manual de procedimientos inicia con el diagnóstico de la empresa distribuidora, donde se obtiene conocimiento sobre el proceso de distribución de productos, la estructura organizacional y las fuerzas internas y externas que la empresa posee.

Posteriormente definieron las características de este, tales como diseño, costo y tiempo de implementación, la que llevó a la aprobación del manual.

Es debido a la tendencia de una herramienta administrativa para la inducción de nuevos trabajadores y de consulta para los trabajadores antiguos. El manual de procedimientos permite tener información actualizada sobre el proceso de distribución de productos masivos, lo cual genera nuevos métodos de trabajo que aumenten la productividad y eficiencia de la empresa.

ESTADO DEL ARTE

Las investigaciones que abordan el tema de la automatización y la implementación de una solución a una problemática similar a la de organización CSC CAPACITACION MEXICO son los siguientes:

Micro, Pequeña y Mediana empresa en México: condiciones, relevancia en la economía y retos de política (López, 2011)

La investigación busca proporcionar al capacitando las herramientas necesarias para poder realizar de una manera más eficiente y productiva la administración del tiempo.

Al término del curso los participantes serán capaces de utilizar dichas herramientas y aplicarlas en sus vidas personales y laborales.

A lo largo del proyecto se utilizó

- Gráfica de Gant
- Diagramas PERT (Program Evaluation and Review Technique) se utilizan para planificar, analizar y controlar proyectos.
- Método de Ruta Crítica CPM

Optimización De Procesos (RAMÍREZ, 2013)

La optimización de procesos de la compañía es un proyecto que se desarrolla a largo plazo y en varias fases hasta completar y mostrar resultados satisfactorios y mejoras notorias tanto en tiempo, recursos físicos, humanos informativos y de costos entre otros.

La Compañía de Financiamiento Comercial S.A., dentro de su política general de optimizar los procesos y agregar más valor a la organización, se enfrenta a la necesidad previa, de normalizar y actualizar la descripción de roles y responsabilidades, planta de cargos, procedimientos y flujos de documentos de la Dirección General debido a que actualmente solo cuenta con un manual de funciones de diseño conceptual, sin actualizar y muy general.

El objetivo general del artículo fue de optimizar los procesos administrativos de la Dirección General de la Compañía, desarrollando la primera etapa de este proyecto que consiste en actualizar los roles y responsabilidades, evaluar y documentar los procesos involucrados que prioritariamente lo ameriten de acuerdo con las proyecciones y entorno actual de la organización.

En este proyecto se realizó la metodología para la elaboración de los procesos a través de entrevistas personales o llamadas telefónicas a personal vinculado con la Dirección General.

Como combinar correspondencia Word y Excel Excel, A. y E. (n.d.). 2020

En el artículo de la página aprende y enseña en Excel a través de una base de datos combina con la herramienta correspondencia, que realiza la automatización de que en las cartas o documentos se realicen a través de una base de datos y cada uno se pueda personalizar con el nombre o dato que se requiere.

A través de un ejemplo de una carta de una empresa que realizan diariamente 20 cartas con nombres y direcciones diferentes se tiene que contar con dos archivos: El primer archivo es de Excel el cual debe tener la información por columnas de los datos que desean utilizar para la combinación de correspondencia y el segundo archivo es de Word con el esquema del documento que se requiere generar.

Después de realizar todo un procedimiento en automático se genera la combinación de correspondencia con la información de excel y genera diferentes cartas o documentos teniendo en cuenta la cantidad de registros que tenemos en Excel haciendo un trabajo de incluso horas en minutos, siempre y cuando se tenga los datos correctos.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las pequeñas y medianas empresas mexicanas, hoy en día son de gran importancia para el crecimiento del sector económico del país. Dichas organizaciones en muchas ocasiones no cuentan con el suficiente capital y/o conocimiento para mejorar sus procesos productivos y es conforme sus ganancias se muestra su crecimiento para mejorar la calidad de los productos y servicios que éstas ofrecen.

CSC Capacitación México es una empresa comprometida en la calidad de su servicio, no solamente innovando en su equipo de capacitación sino también en el área administrativa, la cual incluye la documentación diaria de la organización. Misma que no solamente es para el personal capacitado, sino también son documentos oficiales válidos ante la Secretaría De Trabajo y Previsión Social que

podieran ser auditados y el mejorar el proceso de la documentación básica hará una diferencia de tiempo, dinero y esfuerzo invertido en dicho procedimiento.

La automatización garantizará la coherencia en los procesos, centralización de errores, identificación de problemas rápidamente y la maximización de la productividad de los empleados, así como el sistema de control para la reducción del recurso humano en un proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARTIGA, V. A. (1995). Introducción a la automatización de los servicios de información. Universidad de Murcia.
- AUGUSTO, U. (1997). Introducción a la gerencia. UPB. UPB.
- CHIAVENATO, I. (1979). INTRODUCCION A LA TEORIA GENERAL DE LA ADMINISTRACION. MC GRAW HILL.
- Chiavenato, I. (199). INTRODUCCION A LA TEORIA GENERAL DE LA ADMINISTRACION. MEXICO: MCGRAW-HIL EDUCATION.
- CONTARDI, S. (2008 de JULIO de 19). Reseña de "Tendencias en Documentación Digital" de Jesús Tramullas Información, cultura y sociedad: revista del Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas. Universidad de Buenos Aires Bueno, págs. 112-114.
- De la O Casillas , J. (2008). LA GESTIÓN ESCOLAR. Colombia.
- ESPAÑOLA, R. A. (23 de 07 de 2006). REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA . Obtenido de <https://www.rae.es/>
- Excel, A. y E. (n.d.). Combinar correspondencia WORD y EXCEL. Retrieved January 31, 2023, from Aprende y Enseña Excel website: <https://www.xn--aprendeyenseaexcel-y0b.com/2019/01/combinacion-de-correspondencia-entre-word-y-excel.html>
- GARCÍA LÓPEZ, T., & CANO FLORES, M. (2020). LA INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS SOCIALES. UN ENFOQUE METODOLÓGICO. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C.
- GARY, & (RICARDO.), V. J. (2011). Administración de Recursos Humanos. México: PEARSON.
- IBM. (Septiembre de 2022). Obtenido de Creación de dimensiones de tiempo: <https://www.ibm.com/docs/es/planning-analytics/2.0.0?topic=dimensions-creating-time>
- KOTLER, P., & ARMSTRONG, G. (2013). Fundamentos de marketing. MEXICO: PEARSON.
- Ley Federal del Trabajo. (2022).

López, R. F. (2011). "Administración del Tiempo". México: Instituto Politécnico Nacional.

MANENE CERRAGERÍA, L. M. (2018). EFICACIA, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN EL DESEMPEÑO DEL TRABAJO. Obtenido de <https://actualidadempresa.com/eficacia-eficiencia-y-efectividad-en-el-desempeno-del-trabajo/>

PAREDES, A. (2018). ADMINISTRACION DE PROCESOS . MEXICO. PORTER, M. (1991). VENTAJA COMPETITIVA. MEXICO: CAMPAÑA EDITORIAL CONTINENTAL.

RAMÍREZ, D. A. (2013). OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS. MEXICO: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE.

ROBERTO, H. S. (2014). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION . MÉXICO:MC GRAW HILL.

ROJAS, M., JAIMES, L., & VALENCIA, M. (2018). Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo. Vol. 39 (Nº 06) Pág. 11 .

RUBIAS, A. (2018). Dimensión Económica. MEDELLIN: UPB. Obtenido de <https://www.upb.edu.co/es/sostenibilidad/que-es-dimension-economica-ds#:~:text=La%20Dimensi%C3%B3n%20Econ%C3%B3mica%20es%20un,l a%20dimensi>

<https://www.upb.edu.co/es/sostenibilidad/que-es-dimension-economica-ds#:~:text=La%20Dimensi%C3%B3n%20Econ%C3%B3mica%20es%20un,l a%20dimensi%C3%B3n%20social%20y%20ambiental.&text=Existen%20m%C3%BAltiples%20metodolog%C3%ADas%20para%20medir,monetaria%20y%20l>

SAMPIERI, R. H. (2014). METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION . MEXICO: McGRAW-HILL.

EVALUACIÓN TERMODINÁMICA PARA UN SISTEMA DE CONSERVACIÓN DE PAJILLAS CON SEMEN DE GANADO BOVINO

ROBERTO IVÁN HERRERA CUMPLIDO¹, EDILBERTO ESCALERA GALVÁN², FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA³

RESUMEN

Este trabajo consiste en la evaluación y comportamiento termodinámico de un sistema abierto que consiste en una cámara de criogenia, la cual es utilizada para la conservación de pajillas, que en su interior contienen semen de ganado bovino, las cuales deben de ejecutar un proceso térmico ya establecido por diferentes especies, basándonos así en el centro de mejora genética de la ciudad de Durango, para esto se llevó a cabo el estudio de la distribución de las temperaturas en dicha cámara, la cual cuenta con tres niveles, por ende tendremos 3 pruebas de distribución en los diferentes niveles ya mencionados, para dicho trabajo se cuenta con base en la transferencia de calor, mecánica de fluidos. Estas pruebas se hicieron de dos maneras por parte física y medición con instrumentación analógica y digital, una vez obtenidos estos datos, fueron ingresados a un software especializado en análisis térmico en base a mallas y dominios computacionales (Solid Works 2019), siendo así una simulación tanto del fluido como de la cámara de criogenia, para su posterior control del ingreso de variables a regular dentro de la cámara de criogenia, cabe resaltar que el fluido con el que se lleva a cabo el proceso térmico de extracción de calor dentro de la cámara es Nitrógeno en su fase gaseosa.

Palabras clave: Criogenia, Térmica, transferencia de calor, crio preservación.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 10040901@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. edilberto.escalera@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

This work consists of the evaluation and thermodynamic behavior of an open system that consists of a cryogenic chamber, which is used for the conservation of straws, which contain bovine semen inside, which must execute a thermal process since established by different species, thus basing ourselves on the genetic improvement center of the city of Durango, for this the study of the distribution of temperatures in said chamber was carried out, which has three levels, therefore we will have 3 tests of distribution at the different levels already mentioned, for said work it is based on heat transfer, fluid mechanics. These tests were done in two ways by physical part and measurement with analog and digital instrumentation, once these data were obtained, they were entered into a software specialized in thermal analysis based on meshes and computational domains (Solid Works 2019), thus being a simulation. both of the fluid and of the cryogenic chamber, for its subsequent control of the entry of variables to be regulated within the cryogenic chamber, it should be noted that the fluid with which the thermal process of heat extraction is carried out within the cryogenic chamber is Nitrogen in its gas phase on average temperature of -150°C .

Keywords: Cryogenics, Thermal, heat transfer, cryopreservation.

INTRODUCCIÓN

Se pretende aprovechar al máximo los recursos utilizados para el proceso en mención de la conservación y preservación de las células que contienen el semen de ganado bovino, para esto se sigue una curva de congelación establecida por expertos en la materia, así pues, generar las condiciones termodinámicas necesarias y optimas, que requieren determinado número de pajillas, dado que este enfoque está dirigido a pequeños productores, los cuales tendrán la posibilidad de reducir o aumentar la cantidad de pajillas que generen su producción, esto pues en base a las cantidades resultantes de cada productor, para ello cuentan con una cámara de almacenamiento de volumen variable, ya que cada pajilla contiene entre 2.5 m-L Cada pajilla almacenando 2.1 millones de espermatozoides siendo así que solamente se aproveche eficientemente el recurso, que en este caso el encargado de extraer el calor de dicha cámara será el nitrógeno en fase gaseosa.

La criogenia es un concepto utilizado para manejar temperaturas muy bajas, estas pueden llegar a los $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$, y aplicar procesos para la extracción de calor en los materiales o sustancias determinadas

La refrigeración en base a la criogenia se realiza por medio de un sistema abierto, debido a que no se puede retener el nitrógeno en estado gaseoso, así pues, se considera una presión atmosférica del estado de Durango, cabe mencionar que el calor latente, dicho así al calor necesario para el cambio de estado de líquido a gaseoso, el cual es bajo.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Fases del Nitrógeno.

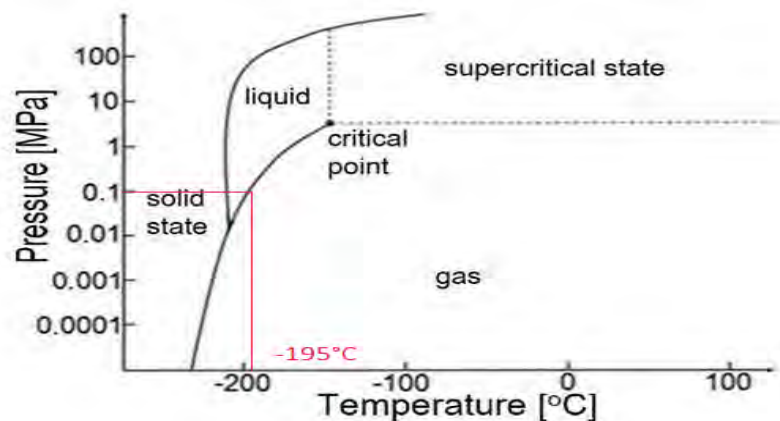


Fig. 1 grafica de estados del nitrógeno de presión y temperatura

Fuente: Mientras el agua hierve, el nitrógeno ¿qué? Por Ana Martínez Vázquez y Mayo Villagrán Muniz (2007)

Crio preservación

La crio preservación tiene como objetivo el mantenimiento de la viabilidad y funcionabilidad celular a temperaturas bajas (-196°C).

La estructura y composición de las membranas plasmáticas determinan los principales eventos celulares que tienen lugar durante los procesos de crio preservación, su comportamiento durante la congelación y descongelación definirá los índices de supervivencia de la célula congelada. Los periodos críticos para la sobrevivencia celular durante la crio preservación son la fase inicial del congelamiento y el periodo de retorno a condiciones fisiológicas.

Para tal conservación se estima una gráfica de comportamiento a seguir que a continuación se muestra.

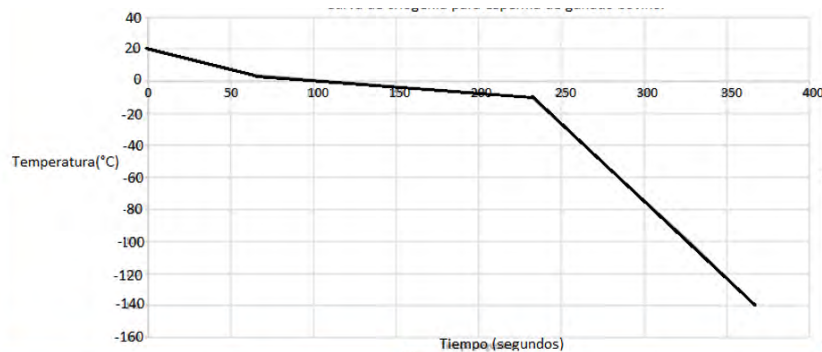


Fig.2 Gráfica de seguimiento, para una correcta criogenia según Thum.

Fuente: Thum y col. (2002)

Motilidad: Es la capacidad de movimiento espontanea e independientemente la cual mide la facultad que tienen los espermatozoides de moverse independientemente de su trayectoria o su velocidad.

Congelado de semen bovino.

Un gran número de protocolos de congelación han sido desarrollados, debido principalmente a las diferencias observadas entre especies bovinas, sin que se haya determinado con exactitud una curva estándar. Esto se debe principalmente a que los resultados dependen de factores tales como diluyentes, crio protectores, calidad seminal (parámetro altamente variable entre individuos), etc. [6]. Aunque se han realizados considerables investigaciones para determinar la tasa óptima de congelación y la adaptación de las curvas de enfriamiento individuales para cada toro, ha habido muy poco progreso en el sentido práctico.

El semen de toros puede ser conservado sobre congeladores de vapores estáticos, vapores de nitrógeno líquido, o mediante el uso de congeladores programables.

La mayor parte de los trabajos publicados utilizan congeladores programables a un ritmo de congelación de 5° C/min entre los +5° C a -1 0°C de -40° C/min entre los -10°C a -100C; de -20 °C/min entre los -100 °C a -140 °C [8]. Además, otras pautas de congelación son, de 5 °C/min entre los +5 °C a -10 °C, y -40 ° C/min entre los -

10 °C a -150 °C. [8] proponen un ritmo de congelación más agresivo, de -60°C/min entre +50 C y -1200 C, transfiriendo luego a nitrógeno líquido.

En relación a la congelación en vapores estáticos de nitrógeno, algunos centros aun lo siguen utilizando, aunque este sistema presentas grandes desventajas, ya que las muestras seminales están sometidas a condiciones incontrolables de congelación.

Cuando la congelación se realiza sobre vapores de nitrógeno líquido, el ritmo de congelación varía según la altura a la que se colocan las pajuelas.

Sistemas de refrigeración

Para entender de una mejor manera el proceso de criogenia, nos basamos en que es un sistema abierto de constante transformación de la energía, en donde el verdadero objetivo es extraer el calor de las pajillas y transferirlo por medio del fluido, en este caso gas de nitrógeno, que al pasar por las pajillas, tenga una ganancia de energía en forma de calor, para así transportarla al medio ambiente, así pues mantener una salida a presión atmosférica, y disminuir en lo posible la presión dentro de la cámara de criogenia, ya que al elevar la presión elevaríamos indirectamente la temperatura del gas nitrógeno, siendo así un impedimento para la extracción del calor optima de las pajillas de semen bovino.

Cámara de criogenia

La cámara de criogenia es básicamente está compuesto de dos cilindros, uno interior y otro exterior, el interior está hecho de lámina de 3 mm de espesor y el exterior cuenta con 2 mm de espesor, y tienen una separación entre si de un radio de 50 mm, así como una tapa fija por la parte superior de placa y un plato móvil en la parte inferior, esto con la finalidad de plantear niveles y modificar el volumen de dicha cámara, en el plato se encuentra la tubería que inyecta nitrógeno líquido, pero al tener contacto con el ambiente, este cambia su estado de líquido a gaseoso.

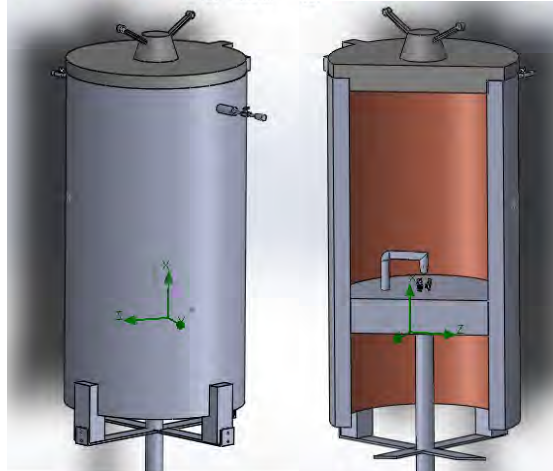


Figura 3.- Cámara de criogenia,

Fuente: Imagen propia generada en Solid Works.2019

En la siguiente imagen se muestra la dirección del flujo del gas nitrógeno dentro de la cámara de criogenia en una vista lateral, al inyectar dicho gas en la parte inferior del embolo a las dos salidas al exterior con las que cuenta la cámara, tubería con diámetro de 0.5 pulgadas, a presión atmosférica.

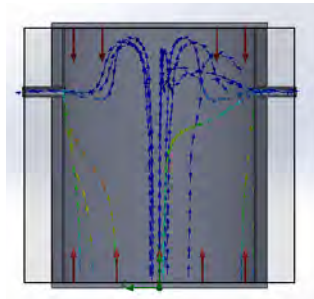


Fig.4.- Dirección de flujo del gas nitrógeno dentro de la cámara de criogenia

Imagen simulada de cámara de criogenia en Solid Works.2019.

Transferencia de Calor

Debido a que es un proceso de extracción de la energía debemos tomar en cuenta la energía en unidades BTU (british thermal Unit), no confundir los índices de temperatura con unidades de energía, esto es un punto clave para la visualización del flujo de energía que se requiere extraer del ambiente del sistema abierto de refrigeración

Dado pues que la presión está directamente proporcional a la temperatura, tomamos esta última como variable de control en dicha cámara, así como también, masa caudal y gasto másico de gas nitrógeno dentro de la cámara de criogenia.

Mecánica de fluidos

Esta es la ciencia encargada del estudio de las fuerzas y el movimiento de los fluidos, en este artículo es enfocado al comportamiento del gas nitrógeno y su posterior comportamiento tanto dinámico como térmico, dentro de la cámara de criogenia, para esto nos regimos en la ecuación principal de Boyle de los gases ideales hay ciertas propiedades que nos serán útiles para el estudio.

- **Propiedades cinemáticas:** Estas propiedades marcar pauta para saber la molocidad y la aceleración del fluido a emplear.
- **Propiedades termodinámicas:** Estas características ayudan a determinar el estado termodinámico del fluido. Las propiedades termodinámicas de los fluidos son la temperatura, la densidad, la presión y la entalpía específica.

Unidades de Energía en forma de calor.

Las unidades de energía corrientemente utilizadas son la kilocaloría internacional y la British thermal unit (Btu). La kilocaloría se define como 1/860 del kilovatio hora internacionales. Es así mismo 1/100 de la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura de 1 kg de agua desde 0°C a 100°C

Pruebas físicas de laboratorio

Se realizaron varias pruebas de laboratorio, esto con el fin de conocer el comportamiento del nitrógeno dentro de la cámara, en donde pudimos constatar el bajo índice de calor latente de este gas al tener contacto con el medio ambiente recordando que se vuelve parte de este de forma inmediata ya que el aire está compuesto principalmente por **un 20,94 % de oxígeno, 78,08 % de nitrógeno, 0,93 % de argón**, 0,035 % de [dióxido de carbono](#) y 0,40 % de [vapor de agua](#).



Fig. 5 cámara de criogenia y tanque de alimentación de nitrógeno

Fuente: Foto tomada en Instituto tecnológico de Durango (2022)

Al ingresar nitrógeno líquido al depósito, este tiende a tener un cambio de estado de líquido a gaseoso, por su punto de ebullición a -195°C , este es transportado por medio de una te de distribución, hacia la manguera que es dirigida a la cámara. Al realizar las mediciones correspondientes se tuvo como resultado lo siguiente:

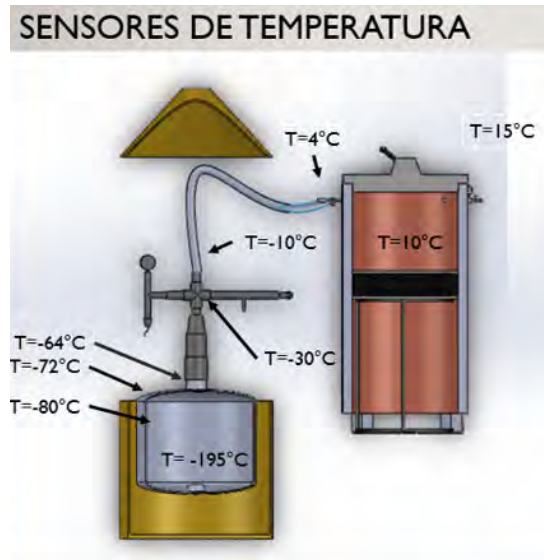


Fig. 6 resultados de mediciones en prueba del sistema.

Fuente: Imagen propia generada en Solid Works. 2019

Aislamiento Térmico.

El aislamiento térmico empleado, es de poliuretano con conductividad térmica de 0.023W/mK y se adapta fácilmente al contorno cilíndrico de la cámara criogénica.

Simulación de temperatura del fluido.

Para tener una visión más clara del comportamiento termodinámico del fluido, simulamos en el software tanto del fluido como la cámara con una escala de colores que van desde temperatura ambiente alrededor de 20°C(rojo) hasta la temperatura en el que el cambio de estado está presente al momento de su introducción en la cámara de criogenia, hasta su uniformidad de la temperatura, dentro de la misma cámara con una meta de temperatura de -195°C.



Fig. 7 Línea termografía en cámara de criogenia.

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019.

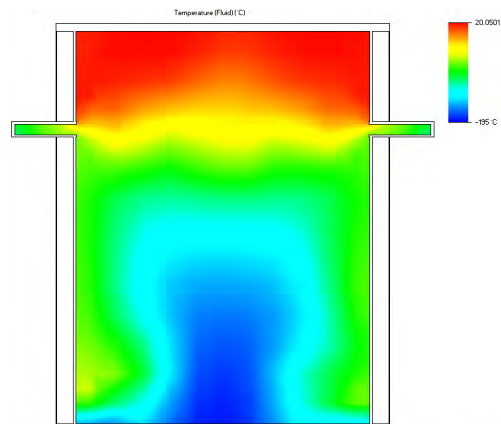


Figura 8 Visión termográfica del fluido en gas nitrógeno al momento inicial del proceso.

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019.

Podemos observar como al introducir el fluido, este inmediatamente se genera un intercambio de energía con tendencia a tener un equilibrio térmico entre el gas nitrógeno y el aire.

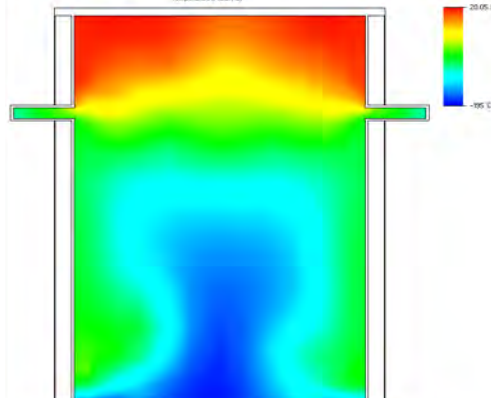


Fig. 9.- Vision termografica del fluido en gas nitrogeno a 2 min del proceso.

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019

Al esperar que ha transcurrido 2 min de dicho proceso, podemos notar que las moleculas del nitrogeno empiezan a absorber el calor del ambiente, asi como de la camara de criogenia, en donde podemos visualizar capas limites de temperaturas.

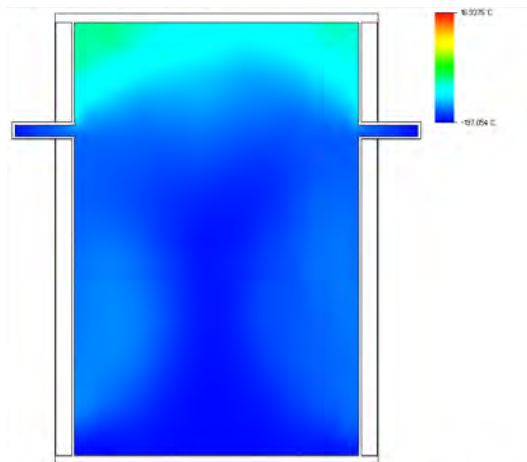


Fig. 10.-Visión termografía del fluido en gas nitrógeno al minuto 4

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019.

Al pasar el tiempo podemos percatarnos, que el fluido tiende a llevar el ambiente de una manera tentativa a la uniformidad y por ende tenderemos a una constante.

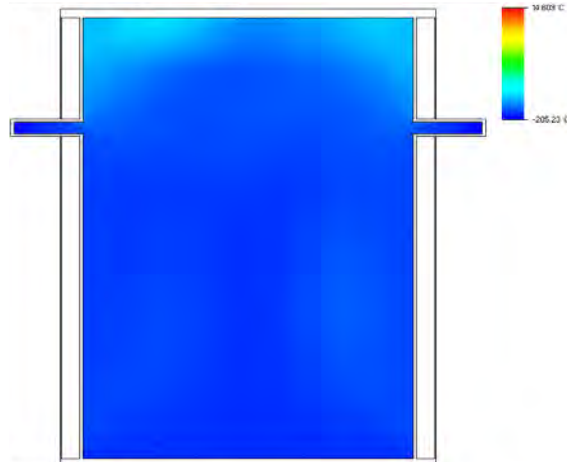


Fig 11.- Vista termográfica del fluido final del proceso

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019.

Al final del proceso, podemos definir cuáles son las mejores zonas donde podremos colocar nuestras pajillas.

Simulación termografía del sólido de cámara de criogenia

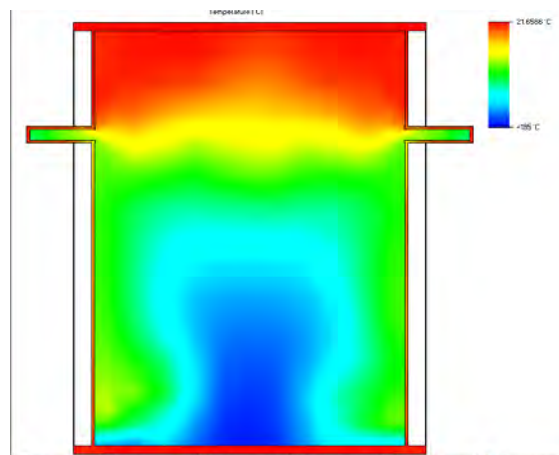


Fig 12 .-Visión de la temperatura del sólido, así como de las paredes de la cama de criogenia

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019

Al introducir en fluido este empieza a absorber calor del sólido, para su posterior extracción y mandarlo al exterior de la cámara, podemos observar que las paredes de la cámara se encuentran a una temperatura ambiente en color rojo.

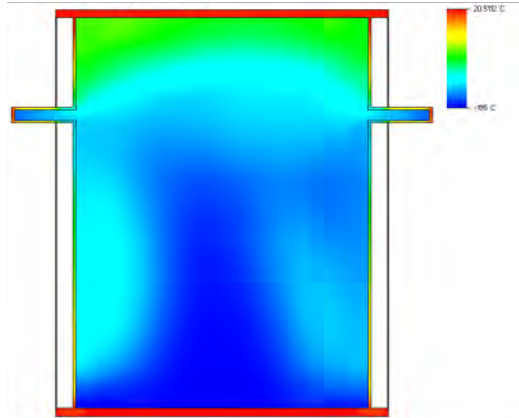


Fig. 13.-Visión de la temperatura del sólido así como de las paredes de la cama de criogenia a los 2 min

Fuente: Imagen propia generada en solid Works. 2019.

Podemos observar, como el fluido tiende a absorber el calor de los límites de la capa del material de la carcasa de la cámara de criogenia, así pues, asimilamos lo aislada que puede estar esta.

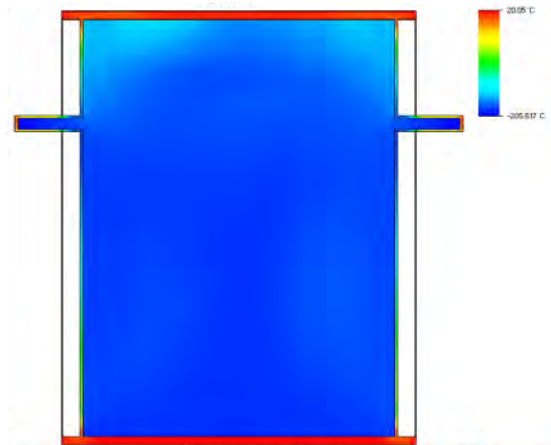


Fig. 14 Visión de la temperatura del sólido, así como de las paredes de la cama de criogenia a los 4 min

Fuente: Imagen generada en Solid Works (2019)

Al ver que el fluido dentro del ambiente de la cámara, se estabiliza, también se observa cómo, se mantiene la temperatura ambiente por fuera de dicha cámara, esto garantiza, que el proceso de extracción de calor dentro de la cámara sea el ideal.

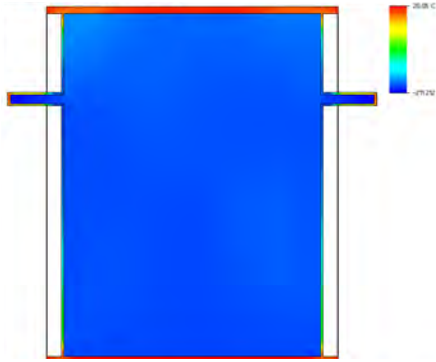


Fig.15.- Visión de la temperatura del sólido, así como de las paredes de la cámara de criogenia al final del proceso

Fuente: Imagen generada en Solid Works (2019)

Al terminar el proceso podemos ver que la temperatura más baja (-195°C), tiende a estar en constante con el primer cilindro dentro de la cámara de criogenia.

RESULTADOS

Variables del proceso

Definiendo las siguientes variables de la ecuación de los gases perfectos, para su posterior utilización en la ecuación de los gases ideales.

P= Presión atmosférica

V=volumen de la cámara

m=masa total del gas

n=numero de moles de un gas

M= masa molar

P= 1 atm

V= 0.05 m^3

m=?

R= $0.30.227 \text{ kg} \cdot \text{m} / ^{\circ}\text{k}$

T= $-195^{\circ}\text{C} = 78.5^{\circ}\text{K}$

P.M= 14.0067 g/mol

$PV = nRT$ [1][1]

$n=m/P.M$ [2]

Sustituyendo la ecuación 2 en 1.

$$PV = \frac{m}{P.M} (R * T) [3]$$

Para conocer la masa despejamos de la ecuación 1

$$m = \left(\frac{P * V * P.M.}{R * T} \right) (R * T) [3]$$

Sustituyendo los valores:

$$m = \frac{(1 \text{ atm} * 0.50 \text{ m}^3 * 14.067 \text{ g/mol.})}{(30.227 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{kg}} * 78.15^\circ \text{K})} [4]$$

$$m = 30.76 \text{ g} [5]$$

para obtener el numero de moles de nitrógeno dentro de la cámara de criogenia,

sustituimos

$$n = m / P.M [2]$$

$$n = 30.76 \text{ g} / 14.0067 \text{ g/mol} [6]$$

$$n = 2.196 \text{ moles} [7]$$

El *Coficiente global de transferencia de calor* " \dot{Q} ", fue calculado considerando la relación total de temperaturas y la suma de las resistencias térmicas

$$\Delta T = 26^\circ \text{C} - (-150^\circ \text{C}) = 176^\circ \text{C} [8]$$

$$\dot{Q} = \frac{(T_{\infty o} - T_{\infty i})}{R_{\text{Total}}} [9]$$

Dónde: $T_{\infty o} - T_{\infty i}$ = Temperatura ambiente – Temperatura en cámara

R_{Total} (resistencia total)

$$R_{\text{Total}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_n \dots [10]$$

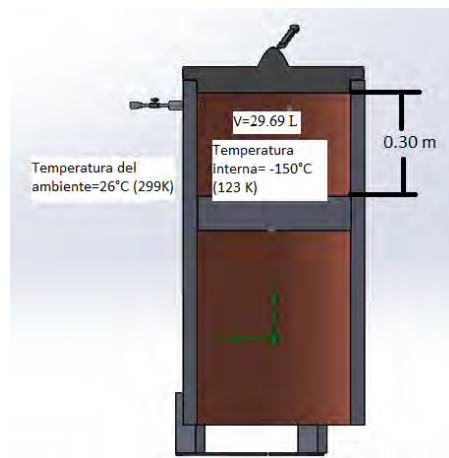


Fig.16 cámara de criogenia a un nivel 0.30 m
Fuente: Imagen generada en Solid Works (2019)

Tabla 1. Características de la cámara criogénica

Radio 1 (r1)		0.1775m	
Radio 2 (r2)		0.1801m	
Radio 3 (r3)		0.2075m	
Radio 4 (r4)		0.2085m	
Altura (L)	0.30m	0.40m	0.50m
Volumen	29.69Lts	35.59Lts	49.48Lts
Criógeno		LN ₂	
Presión Max		1 atm	
Temperatura de operación		26/-150°C	

Tabla 2. Valores resultantes para las Resistencias

Resistencia	Resultado
R _{convección1}	0.387169°C/W
R _{cilindro1}	0.000517°C/W
R _{poliuretano}	3.266576 °C/W
R _{cilindro2}	0.000171°C/W
R _{convección2}	0.587278°C/W
R _{Total}	4.241712°C/W

Sustituyendo valores en [9] tenemos pues que

$$\dot{Q}=41.4926 \text{ W [16]}$$

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Podemos llegar a la conclusión que para que la temperatura no pierda temperatura por choque en el fluido se recomienda conducir el gas de una forma menos abrupta hacia la salida, ya que estos cambios bruscos de dirección en el flujo, provocan un aumento de calor en las moléculas del gas nitrógeno, ganando así temperatura en el fluido por choque y no por extracción de calor de los cuerpos a emplear.

Concluimos que a mayor volumen que incremente la cámara de criogenia, para los 3 niveles se tendrá que inyectar la masa proporcional de gas nitrógeno para llegar, al correcto comportamiento térmico de las pajillas, así como lo muestra en la fig. 17

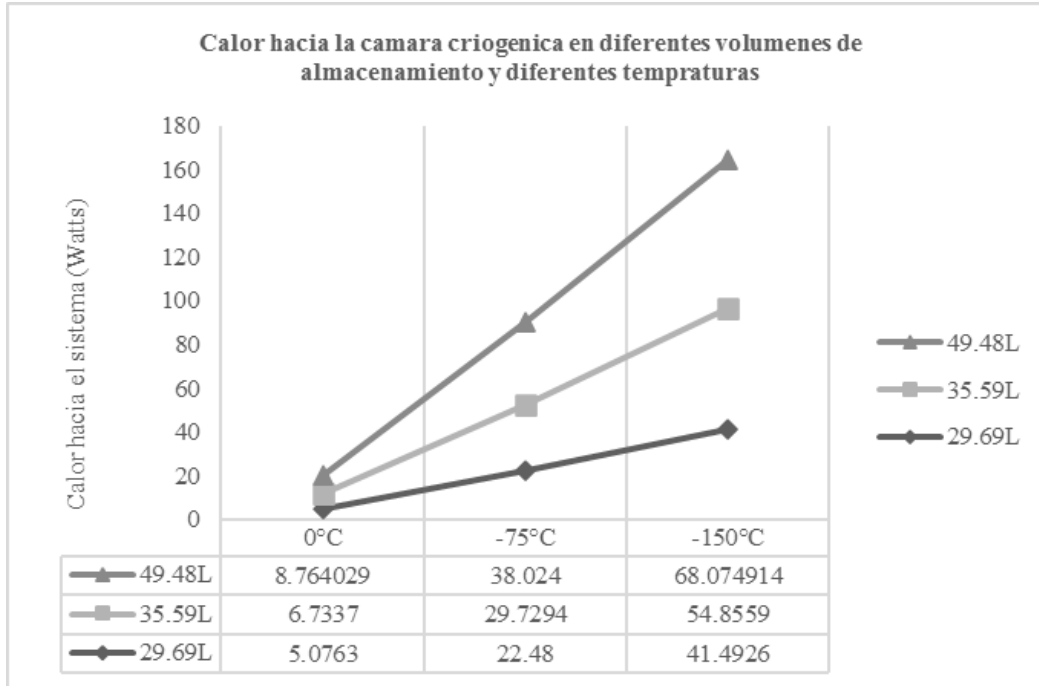


Fig.17 Ganancia de calor en volúmenes de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que esta investigación tiene mayor potencial, para ser estudiada de una manera más precisa, ya que este estudio es para una evaluación y una visualización del comportamiento térmico de una cámara de criogenia, pero puede llegar a ser determinante, si se aplican aún más parámetros y se mejora el dominio de la técnica termodinámica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Çengel, Y. & Gahar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa*. México: The McGraw-Hill.

Çengel, Y. & Gahar, A. J. (2011). Cilindros y esferas con capas múltiples. En *Transferencia de calor y masa*. (págs. 156-160). México: Mc Graw Hill.

DURANGO, TERCER LUGAR NACIONAL EN EXPORTACIÓN DE GANADO BOVINO EN PIE A USA: SAGDR. (19d. C., diciembre 21). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. <<https://bit.ly/3oUThN3>>

Economía. Ganadería. (2019). <<https://bit.ly/3NJ500z>>

INEGI (2019) Estadísticas oficiales de Disponible en < <http://bitly.ws/EmTJ> >

Llopis, F. J. Gálvez, C. Rubio, R. López Física. Curso teórico-práctico de fundamentos físicos de la ingeniería, colaboración de J. M. Bravo. p. 456. Universidad Politécnica de Valencia. (Google Libros).

Luz Mabel Ávila-Portillo, Bacter, José I. Madero, M.D., MSC, Claudia López, Bacter, María Fernanda León, Bacter, Lucía Acosta, Bacter, Claudia Gómez, M.D, Lucy Gabriela Delgado, PHD, Claudio Gómez, José Manuel Lozano, PHD, María T. Reguero, PHD “FUNDAMENTOS DE CRIOPRESERVACIÓN”
Recibido: mayo 15/06 - Revisado: octubre 10/06 - Aceptado: octubre 19/06.<
<http://bitly.ws/EmTB> >

Pérez, R. G. (22 de Agosto del 2013). *Criogenia Cálculo de equipos recipientes a presión*. Ediciones Díaz de Santos.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo rural, 2015 < <http://bitly.ws/EmTq> >

William H. Severns, H. E. Degler, H. E. Miles,” Reverte, 10 ene 2021. “La producción de energía mediante vapor, aire o gas.

Wolkers, F. O. (2015). *Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols*. New York Plaza: Humana Press.

DETECCIÓN DE ESPERMATOZOIDES DE GANADO VACUNO, POR MEDIO DE MÉTODOS CLÁSICOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

ÁNGEL ITZCÓATL HUIZAR BRETADO¹, RUBÉN GUERRERO RIVERA², NORMA ALICIA GARCÍA VIDAÑA³,
EDUARDO GAMERO INDA⁴

RESUMEN

La ganadería es una de las actividades económicas con mayor importancia en el estado de Durango, por este motivo, para los productores es importante ofrecer ganado de alta calidad, capaz de competir en los mercados internacionales. Este reto involucra la reproducción de los mejores especímenes que pasen sus excelentes características genéticas a sus descendientes. En este sentido, la inseminación artificial es uno de los métodos más eficaces para la reproducción selectiva de ganado, pero debido a sus costos elevados, su uso está limitado a grandes productores ganaderos.

En el presente trabajo se propone un algoritmo para la detección de espermatozoides en el semen de ganado bovino, por medio de videos microscópico utilizando métodos clásicos de procesamiento de imágenes. La importancia de este proyecto radica en ofrecer una alternativa a los sistemas comerciales de alto costo, que identifique a los espermatozoides presentes en una muestra de semen de ganado bovino, para que posteriormente, éstos puedan ser analizados con relación a sus características tales como tamaño, forma y movilidad con el fin de determinar la calidad del semen y que sirva como método de apoyo para la predicción de las probabilidades de fecundación durante la inseminación.

Palabras clave: Ganadería, Calidad del Semen, Procesamiento de Imágenes, Inseminación.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 150403456@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. rubenguerrero@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. norma.garcia@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. egamero@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

Livestock is one of the most important economic activities in the state of Durango, for this reason, it is important for producers to offer high-quality cattle, capable of competing in international markets. This challenge involves the reproduction of the best specimens that pass on their excellent genetic characteristics to their descendants. In this sense, artificial insemination is one of the most effective methods for the selective reproduction of cattle, but due to its high costs, its use is limited to large livestock producers.

In the present work an algorithm for the detection of spermatozoa in bovine semen is proposed, by means of microscopic videos using classical methods of image processing. The importance of this project lies in offering an alternative to high-cost commercial systems, which identifies the spermatozoa present in a bovine semen sample, so that they can later be analyzed in relation to their characteristics such as size, shape and mobility in order to determine the quality of the semen and to serve as a support method for the prediction of fertilization probabilities during insemination.

Keywords: Livestock, Semen Quality, Image Processing, Insemination.

INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las principales actividades económicas de México, encontrándose en los primeros lugares de producción de ganado a nivel mundial, según datos del gobierno mexicano (De Información Agroalimentaria Y Pesquera, 6d. C.). particularmente el estado de Durango se encuentra entre los primeros lugares a nivel nacional de producción de ganado bovino como lo menciona el inegi (*Economía. Ganadería*, 2019) y a través de los datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural del estado de Durango se menciona se encuentra como los principales exportadores de bovinos en pie hacia los Estados Unidos (*DURANGO, TERCER LUGAR NACIONAL EN EXPORTACIÓN DE GANADO BOVINO EN PIE A USA: SAGDR*. 19d. C., diciembre 21). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. <https://desarrollorural.durango.gob.mx/durango-tercer-lugar-nacional-en-exportacion-de-ganado-bovino-en-pie-a-usa-sagdr/>, por tal

motivo continuamente se busca mejorar su producción de ganado, tratando de mejorar la reproducción y crianza del ganado bovino.

El avance de la tecnología y la investigación sobre la reproducción ha permitido usar métodos que mejoren la probabilidades de reproducción, como lo es la inseminación artificial, que en conjunto con el uso de herramientas computacionales CASA promueven el índice de fertilidad.(Mayra Alejandra Marizancén Silva, 2017)

El análisis de espermatozoides de forma tradicional por medio de microscopio donde el operario analiza las muestras de forma manual se encuentra en desventaja frente a el uso de software especializados para el reconocimiento de espermatozoides y sus características, que permite de una forma más rápida determinar la viabilidad de los espermatozoides, desafortunadamente la mayoría de las veces se ve limitado a un grupo reducido de productores debido a la accesibilidad de estas herramientas, por tal motivo se encuentra con la necesidad de desarrollar un algoritmo por medio de procesamiento de imágenes usando técnicas clásicas, el cual permita la localización de espermatozoides, con el objetivo de un fácil acceso de parte de cualquier productor.(Vincent , 2012)

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción del procedimiento, muestra y la forma de muestreo; Exponer razones y posibles limitaciones de acuerdo con la Investigación realizada.

Material.

Equipo de cómputo.- computadora de memoria RAM de 8 GB y almacenamiento en disco de 512 GB.

Videos de espermatozoides.- Videos de semen bovino capturados a través del microscopio y una cámara instalada al mismo, por cortesía del centro de mejoramiento genético de la unión ganadera de Durango.

Pycharm.- Se empleo el software de programación pycharm para lenguaje de programación Python versión 3.9, en el cual prioritariamente se utilizó la librería Cv2 adecuada para el procesamiento de imágenes.

Métodos.

La metodología aplicada se muestra en la figura, el diagrama de flujo muestra los pasos que se llevan a cabo en los que se incluyen la introducción del video y la obtención de imágenes, el pre-procesamiento y el procesamiento para detectar los espermatozoides donde se especifica cada paso a continuación.



Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología

Obtención de imágenes.

Se cuenta con cuatro videos de grabación microscópica de semen bovino, cada video tiene una duración aproximada de 20 segundos cada uno, en estos se pueden observar fragmentos de diferente área de visualización. Un video consiste en una sucesión de imágenes, mejor conocido como fotogramas por segundo, en los cuales se cuentan con 30 fotogramas por segundo, para esto es necesario realizar la extracción de cada fotograma.

Una imagen se puede definir como una función bidimensional $f(x, y)$ donde x y y son coordenada espaciales (planas), y la amplitud de f cualquier par de coordenadas (x, y) es llamada la intensidad o niveles de grises de la imagen en un punto. Cuando x , y y el valor de intensidad de f son todas cantidades finitas discretas, las llamamos a la imagen como una imagen digital. (González & Woods, 2018). Para la extracción de las imágenes se realiza la lectura de video por medio de un ciclo que se encarga de extraer cada fotograma, y se guarda en una variable para aplicar las siguientes técnicas de procesamiento de imágenes que serán empleadas.

Descomposición de color.

Las imágenes extraídas se encuentran en composición de color rojo, verde y azul (RGB por sus siglas en inglés), por lo cual para fines prácticos se tiene que hacer una extracción de cada color rojo, verde y azul para una visualización más óptima de las imágenes y poder determinar cuál es más conveniente utilizar para el procesamiento, al observar las imágenes se determina con cual canal de color se procederá a trabajar, en este caso se procedió a trabajar con la imagen de canal rojo.

Escala de grises.

Para trabajar con imágenes es recomendable utilizar escala de grises en valores de 0 a 256 por lo cual se hace una conversión del canal con el que se haya elegido trabajar. Bradski, G. (2000). *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's *Journal of Software Tools*.

Filtrado.

Para el filtrado se utilizó un filtro de suavizado gaussiano, el cual nos permite eliminar pequeñas impurezas y suavizar la imagen, dándonos como resultado una imagen más limpia, con la que se puede trabajar más claramente sin tantas interferencias, eliminando el ruido innecesario y sólo dejando los objetos de interés que en este caso son los espermatozoides (González & Woods, 2018).

Binarización.

Para convertir la imagen de valores numéricos de 0 a 256 que se trabajaba en la imagen de escala de grises, se convierte en una imagen binaria donde obtendremos valores de cero y uno entendiéndose como cero el fondo de la imagen y como uno, los objetos de interés en este caso los espermatozoides esto se lleva a través de un método matemático de umbralización que nos permite eliminar elementos no necesarios de la imagen y sólo obteniendo dos clases es tu caso fondo y espermatozoides.(González & Woods,2018).

Detección de objeto.

Para la detección de objetos primeramente, se debe de pasar por todos los procesos de pre-procesamiento en los que se adecúa la imagen y tenemos una imagen clara, en la que podemos trabajar sin interferencias de ruidos en la imagen, que puede afectar el resultado y detectar elementos que no sean espermatozoides en este caso. Primeramente se tiene que crear el contorno del objeto que esto nos delimita los elementos conjuntos y que pertenecen al mismo grupo de pixeles, marcándolos como un solo elemento como en este caso se trata de una alta población de objetos se repite el proceso en cada objeto, cada grupo de pixeles creando un conjunto de lazos delimitadores de objetos, como los pixeles conjuntos se agrupan en la misma área se determina que son parte del mismo, después de esto se obtiene su dimensiones delimitados por medio de los contornos para poder encontrar su Centroide en cada uno, lo cual nos permite conocer donde se encuentran ubicados en el espacio. Y aparte como último paso se crea un elemento circular de color que será colocado en el centroide de cada espermatozoide detectado, lo cual permite visualizarlo en la pantalla y al correr la grabación se sobrepone el círculo creado que en este caso de dimensiones menores al espermatozoide se coloca sobre la máscara de los espermatozoides y se corre el video el cual nos permite la visualización en tiempo real de la localización. (Bradski, G. 2000).

RESULTADOS

Como resultado de la lectura de imágenes se muestra la figura 2 muestra un cuadro del video original, antes de comenzar el procesamiento de las imágenes.

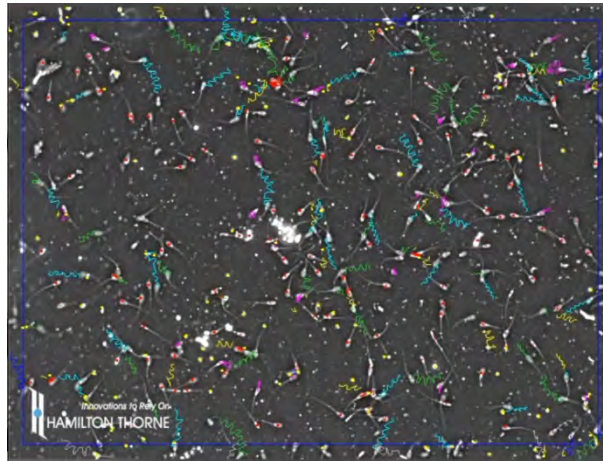


Figura 2. Imagen de entrada

Seguido encontramos los resultados de la descomposición de la imagen en sus tres canales, obteniendo como resultado las siguientes figuras(3,4 y 5) en las que se pueden obtener diferentes características, que al observarlas se determina utilizar el canal que mayor nos convenga, según lo que estamos realizando y los colores que mayor predominan en nuestra imagen, como es una imagen donde ocupamos los valores de mayor saturación que viene siendo el blanco se determina la imagen que tenga mayor claridad.

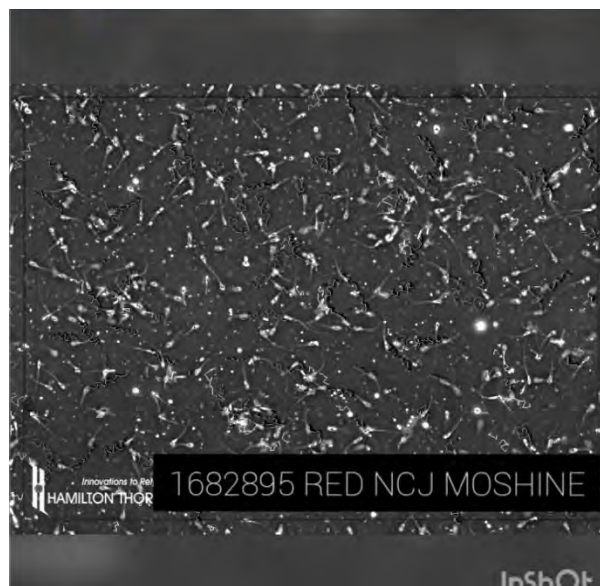


Figura 3. Canal rojo

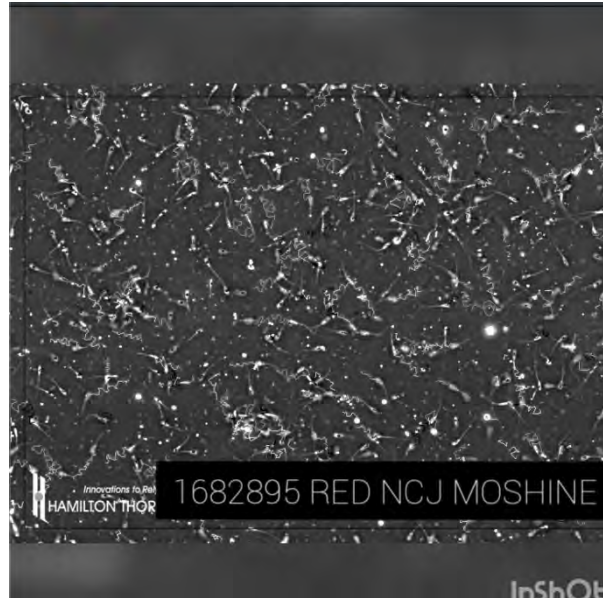


Figura 4. Canal verde

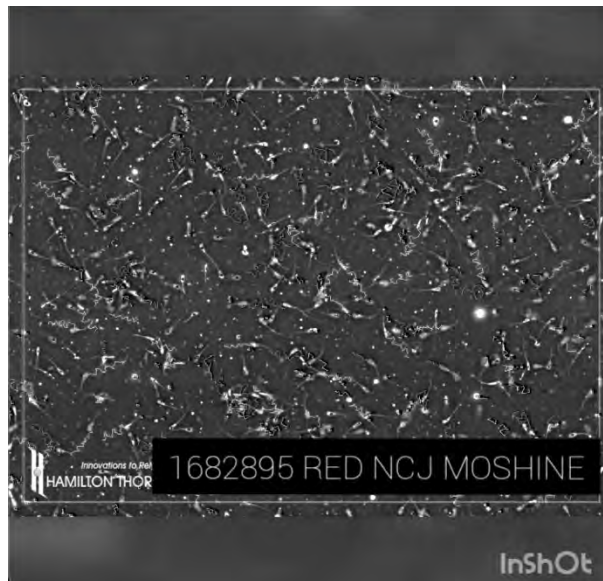


Figura 5. Canal azul

El canal elegido fue el rojo por sus características de visualización.

Las siguientes figuras muestran la comparativa de una imagen, en estado original y la resultante de la creación de una imagen de escala de grises, ya con el proceso de la selección de canales en la que podemos ver una diferencia significativa de elementos, con los que ya podemos trabajar más claramente.

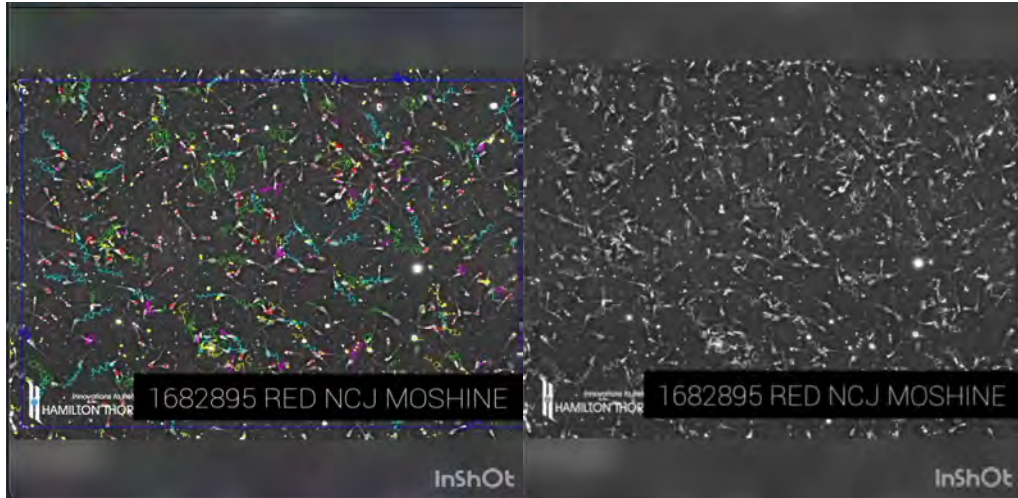


Figura 6. Imagen original e imagen en escala de grises

En la siguiente imagen se puede ver el proceso del filtrado donde se suavizó la imagen, se aclaró y se eliminó ruido innecesario para el proceso de análisis de la imagen.

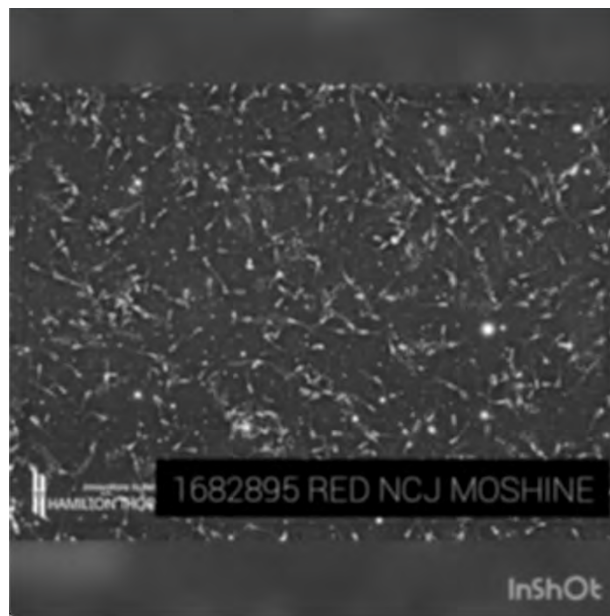


Figura 7. Imagen filtrada

En la figura 8 observamos la imagen Binarizada solo con los objetos de interés visibles, qué da como resultado los espermatozoides en color blanco correspondiente numéricamente y el fondo el negro que numéricamente corresponde a cero para su posterior visualización de detección.

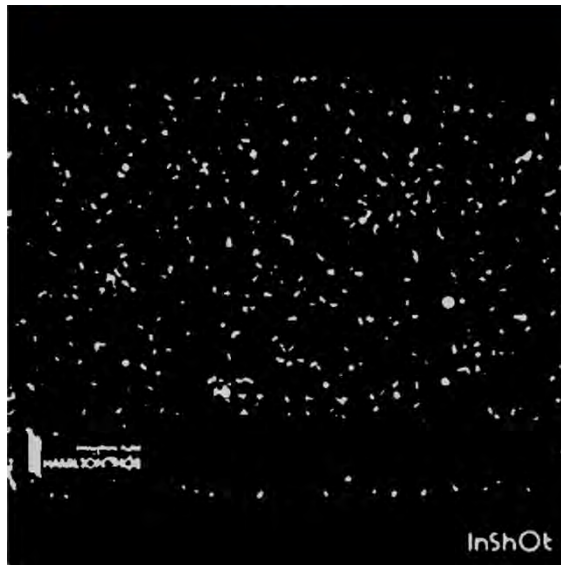


Figura 8. Imagen de entrada

En la figura nueve podemos observar dos cuadros del video donde ya se encuentra detectado cada uno de los espermatozoides y donde se aplicó el elemento circular color verde para poder señalar el elemento que se estaba buscando.

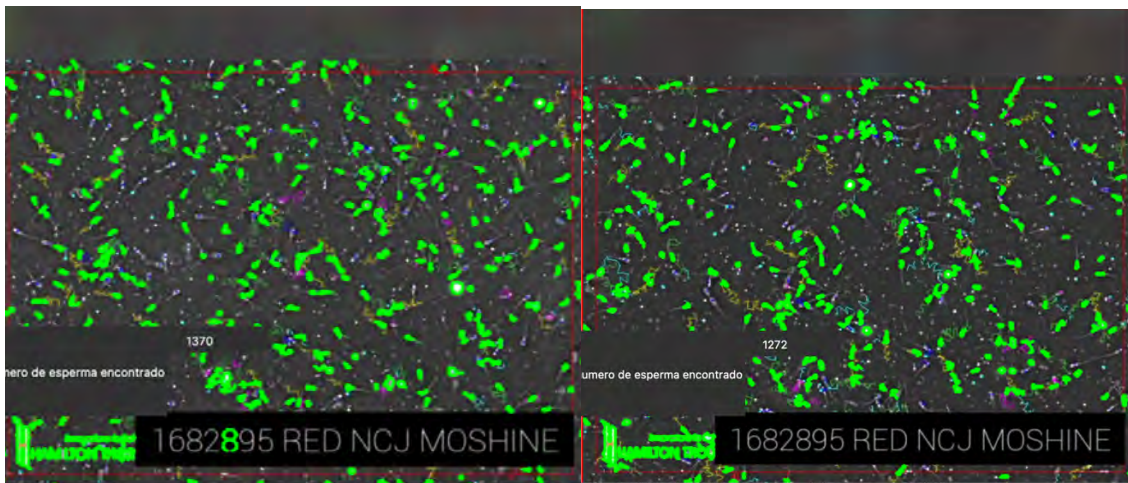


Figura 9. Espermatozoides detectados

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se puede decir que las técnicas de procesamiento de imágenes clásicas, son útiles para detectar espermatozoides teniendo sus limitantes de que algunos objetos no los logra identificar claramente pero en su mayoría son muy visibles para la computadora, se pudiera solucionar con una mejor calidad de imagen de los Videos en los que no se encuentre tanta perturbación como con los que se realizó esta

investigación sin embargo se sigue considerando apta porque los resultados fueron favorables dando paso a futuras investigaciones en las que partiendo de éste.

Se puede desarrollar algoritmos de aprendizaje automático en los que se puedan detectar los espermatozoides también se puede utilizar estas bases para el uso de seguimiento, determinación del movimiento velocidad y trayectoria de los objetos.

Primordialmente para estos posteriores trabajos es necesario obtener una buena identificación de los espermatozoides. Se puede concluir que los resultados son óptimos para este proceso utilizando estas herramientas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bradski, G. (2000). The OpenCV Library. Dr. Dobbs's Journal of Software Tools.

De Información Agroalimentaria Y Pesquera, S. (6d. C., marzo 18). La ganadería: símbolo de fortaleza del campo mexicano. gob.mx. <https://bit.ly/3ADjKkV>

Choi, J., Alkhoury, L., Urbano, L. F., Masson, P., VerMilyea, M. D., & Kam, M. (2022). An assessment tool for computer-assisted semen analysis (CASA) algorithms. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20943-9>

DURANGO, TERCER LUGAR NACIONAL EN EXPORTACIÓN DE GANADO BOVINO EN PIE A USA: SAGDR. (19d. C., diciembre 21). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/3oUThN3>

Economía. Ganadería. (2019). <https://bit.ly/3NJ500z>

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital Image Processing*.

Mayra Alejandra Marizancén Silva, L. A. (2017). Mejoramiento genético en bovinos a través de la inseminación artificial y la inseminación artificial a tiempo fijo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 247-259

Vincent, P., Underwood, S. L., Dolbec, C., Bouchard, N., Kroetsch, T., & Blondin, P. (2012). Bovine Semen Quality Control in Artificial Insemination Centers. En *John Wiley & Sons, Inc. eBooks* (pp. 685-695). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118833971.ch74>

DESARROLLO DE UNA MÁQUINA TOSTADORA DE SEMILLAS EN PROCESO CONTINUO: EFICIENCIA ENERGÉTICA Y REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE GAS LP

FRANCISCO ESTRADA GARCÍA¹, MAURICIO BOTELLO ORTÍZ², FRANCISCO JAVIER GUERRERO HARO³

RESUMEN

En este documento, presentamos el diseño y fabricación de una innovadora máquina tostadora de semillas en proceso continuo, que incorpora tres túneles de tostado y logra una significativa reducción en el consumo energético de gas LP en comparación con los métodos tradicionales. La máquina cuenta con tubos de 50 centímetros de largo y 10 centímetros de diámetro, cada uno equipado con aspas fijas en su interior que, al girar, permiten el avance de las semillas a lo largo del túnel. El proceso de tostado se realiza mediante fuego aplicado directamente a los tubos desde el exterior, mientras que las semillas avanzan de un túnel a otro a través de dos tolvas. Los tubos están aislados térmicamente para garantizar la eficiencia energética y un tostado homogéneo de las semillas. Los resultados obtenidos demuestran una reducción del 70% en el consumo de gas LP en comparación con la tostación convencional empleando estufas y sartenes. Además, la máquina en proceso continuo mejora la calidad y consistencia del producto final, al permitir un control preciso de las condiciones de tostado y reducir la variabilidad inherente a los métodos manuales. Este avance tecnológico tiene un impacto significativo en la industria de procesamiento de semillas, al ofrecer una solución más sostenible y eficiente para el tostado.

Palabras clave: Tostado, semillas, eficiencia, proceso.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. festrada@hotmail.com

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. mauricio.bo@regionllanos.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. fcojgroharo@hotmail.com

ABSTRACT

In this document, we present the design and manufacture of an innovative seed roasting machine in continuous process, which incorporates three roasting tunnels and achieves a significant reduction in LP gas energy consumption compared to traditional methods. The machine has tubes 50 centimeters long and 10 centimeters in diameter, each equipped with fixed blades inside that, when rotating, allow the seeds to advance along the tunnel. The roasting process is carried out by means of fire applied directly to the tubes from the outside, while the seeds advance from one tunnel to another through two hoppers. The tubes are thermally insulated to guarantee energy efficiency and homogeneous roasting of the seeds. The results obtained show a 70% reduction in the consumption of LP gas compared to conventional roasting using stoves and pans. In addition, the continuous process machine improves the quality and consistency of the final product, by allowing precise control of roasting conditions and reducing the variability inherent in manual methods. This technological breakthrough has a significant impact on the seed processing industry, by offering a more sustainable and efficient solution for roasting. The adoption of this innovative seed roasting machine has the potential to lower operating costs and improve the competitiveness of seed producers in the global marketplace.

Keywords: Roasting, seeds, efficiency, process.

INTRODUCCIÓN

El tostado de semillas es un proceso esencial en la industria agroalimentaria, que influye en el sabor, aroma y textura de una amplia gama de productos, como frutos secos, cereales y legumbres. Tradicionalmente, el tostado se ha realizado mediante métodos manuales, utilizando estufas y ollas, lo que puede conducir a una alta variabilidad en la calidad del producto final y un uso ineficiente de la energía. En este contexto, se hace necesario desarrollar soluciones tecnológicas que optimicen el proceso de tostado, minimicen el consumo energético y garanticen la calidad y homogeneidad de los productos tostados. El propósito de este estudio es diseñar y fabricar una innovadora máquina tostadora de semillas en proceso continuo con tres

túneles de tostado, que busque mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de gas LP en comparación con los métodos convencionales. La máquina se diseñará utilizando tubos giratorios con aspas fijas en su interior para avanzar las semillas a lo largo de los túneles, mientras que el fuego aplicado directamente a los tubos desde el exterior garantizará un tostado uniforme. Los tubos se aislarán térmicamente para maximizar la eficiencia energética y reducir la pérdida de calor. El presente trabajo se fundamenta en la necesidad de abordar los desafíos de la sostenibilidad y la eficiencia energética en la industria agroalimentaria, a través de la innovación en el diseño y fabricación de maquinaria especializada. El estudio pretende proporcionar una solución tecnológica que pueda mejorar la competitividad de los productores en el mercado global y reducir los costos operativos, así como contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería de procesos y la sostenibilidad en la industria agroalimentaria.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la investigación, se diseñó y fabricó un prototipo de la máquina tostadora de semillas en proceso continuo con tres túneles de tostado.

Selección de la muestra:

Para llevar a cabo la investigación utilizando únicamente semillas de calabaza de la especie Cucúrbita pepo, con una preparación previa de un baño en solución de agua con sal, y considerando las variaciones en temperatura y velocidad de avance de las semillas por el túnel de tostado, se procedió de la siguiente manera:

1. Selección del proveedor: Se seleccionó un proveedor confiable que ofrece semillas de calabaza de la especie C. pepo. Aunque sólo se utilice un proveedor, es nos aseguramos de que las semillas fueran de buena calidad y representen adecuadamente las características de la especie.
2. Muestreo aleatorio: Se seleccionaron al azar lotes de semillas de C. pepo del proveedor elegido, garantizando una representación adecuada de la especie de semillas de calabaza estudiada.
3. Preparación previa de las semillas: Antes del proceso de tostado, las semillas de calabaza se sometieron a un baño en una solución de agua con sal para mejorar el sabor y la textura del producto final. Las concentraciones de sal y el tiempo de inmersión se mantuvieron constantes en todas las muestras para asegurar la comparabilidad de los resultados.

4. Diseño experimental: Se establecieron diferentes combinaciones de temperatura y velocidad de avance de las semillas por el túnel de tostado. Se consideraron tres niveles de temperatura (baja, media y alta) y tres niveles de velocidad de avance (lenta, moderada y rápida), resultando en un total de nueve combinaciones experimentales.

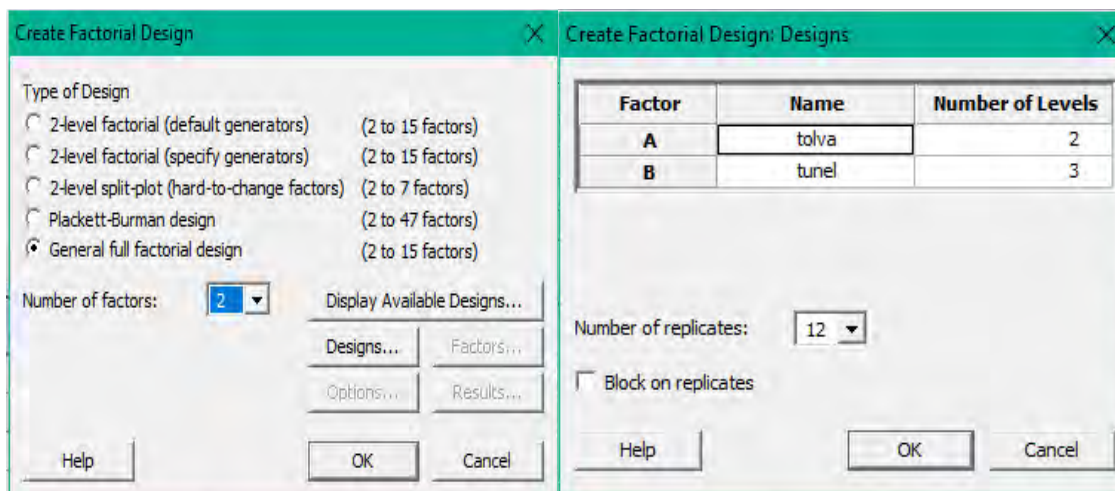


Fig. 1. Diseño factorial completo, variables de tolva y túnel

5. Asignación de las muestras: Cada lote de semillas de *C. pepo* seleccionado se dividió en submuestras para someterlas a cada una de las combinaciones experimentales de temperatura y velocidad de avance. En la Fig. 2 se muestra la medición de temperatura.

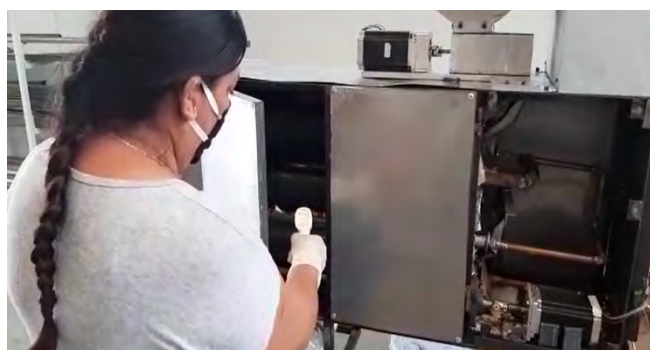


Fig. 2. Análisis y revisión de temperatura

6. Registro de datos: Para cada submuestra, se registraron datos como el peso de las muestras, peso del tanque de gas al principio y al final de cada muestra sometida al tostado, así como la combinación de temperatura y velocidad de avance utilizada en el proceso. En la siguiente figura Fig. 3 Se muestra en análisis realizado en la interacción del tiempo de cocción (velocidad) con la temperatura.

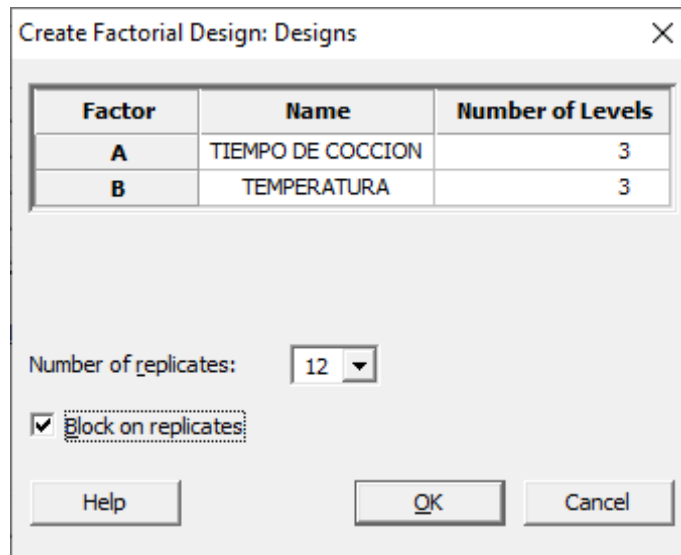


Fig. 3. Factorial Velocidad vs Temperatura

Con esta selección de muestra y diseño experimental, se logró evaluar y comparar los resultados del proceso de tostado en función de las diferentes combinaciones de temperatura y velocidad de avance de las semillas por el túnel de tostado, lo que permitió determinar las condiciones óptimas para tostar semillas de calabaza de la especie Cucúrbita pepo utilizando la máquina tostadora desarrollada para este proyecto.

Cabe mencionar que, al utilizar semillas de un solo proveedor, la diversidad y representatividad de la muestra podría verse limitada, lo que podría afectar la generalización de los resultados a otras poblaciones de semillas de calabaza de la especie C. pepo. Sería recomendable, en futuras investigaciones, incluir semillas de diferentes proveedores y regiones para abordar esta limitación.

El procedimiento de tostado consistió en cargar las semillas en la máquina tostadora y someterlas a un proceso continuo de tostado en los tres túneles: Para el proyecto se utilizó un método de investigación mixta, ya que utiliza aspectos cualitativos tales como: el tostado de la semilla, su consistencia, apariencia y su sabor. Por otro lado, se toma en cuenta variables cuantitativas tales como: el tiempo que tarda durante el proceso de tostado, la temperatura con la que la máquina trabaja, la velocidad de los motores y revoluciones por minuto que estos efectúan en el alimentador de la tolva y en el túnel de tostado.

Se utilizó un diseño de experimentos factorial completamente aleatorizado que permitió determinar la aprobación o no aprobación del tostado de la semilla, teniendo como variable independiente la aprobación (1) o no aprobación (0) del producto.

Considerando $\alpha = 0.01$, un nivel de significancia del 1% vs un nivel de confianza del 99%

Ho: El tostado de la semilla es eficiente con el tiempo de 8 min y 122 °C

H1: El tostado de la semilla no es el adecuado con el tiempo de 8 minutos 122 °C

Considerando dos factores (temperatura y tiempo de cocción) y tres niveles para cada uno:

Temperatura: de 69°C a 100°C, 101°C a 115°C y 116°C a 126°C.

Tiempo de cocción: de 4 min a 5 min, 6 min a 7 min, y 8 min a 9 min.

Considerando ocho replicas en cada interacción para contar con un total de 72 corridas las cuales son las 72 pruebas realizadas.

Para comprobar el funcionamiento de la maquina se deben realizar pruebas de verificación para agregar correcciones para que el funcionamiento de esta sea óptimo.

Materiales y recursos:

- Semilla de calabaza
- Sal refinada
- Agua destilada
- Cuchara sopera
- Charola de aluminio
- Charola de aluminio
- Cerillos o encendedor
- Tanque de gas de 9 kg lleno
- Bascula digital
- Prototipo de la máquina tostadora de semillas en proceso continuo

1. Preparación de la semilla

Antes de introducir la semilla a la máquina para su proceso se llevan a cabo los siguientes pasos para su correcta preparación:

Paso 1: Se retira los excesos e impurezas de la semilla; Paso 2: Se separa en cantidades de 100 gramos; Paso 3: La semilla se vierte en un recipiente donde se rocía con agua; Paso 4: Se agrega sal en una cantidad de 10 gramos de sal; Paso 5: Se remueve la sal en conjunto con la semilla para mayor impregnación.



Fig. 4. Preparación de semilla

2. Preparación de la maquina

La máquina se conectará a una fuente de energía para su funcionamiento, verificando que ninguno de los circuitos este dañado ya que este hará girar los cilindros creando un flujo de producción continua; 2. Se conecta la máquina al tanque de gas L.P. de una forma segura para que no pueda ocasionar algún accidente y evitando las fugas de gas y algún incendio o intoxicación. 3. Encender los tres quemadores de manera convencional mediante un cerillo o mechero, regulando la salida del gas mediante la llave de paso, tomando nuestras debidas precauciones. 4. Se esperan unos minutos para que la máquina pueda precalentarse hasta llegar a la temperatura que permita realizar las pruebas según la configuración de temperaturas mencionadas anteriormente.

Diseño experimental:

Con el fin de obtener los datos necesarios se utilizó el programa estadístico Minitab, y mediante las variables de velocidad en los motores de la tolva y el túnel con tres niveles, así como de la temperatura con tres niveles nos proyectó setenta y dos pruebas, las cuales deberíamos recrear para obtener los resultados del tostado de la semilla.

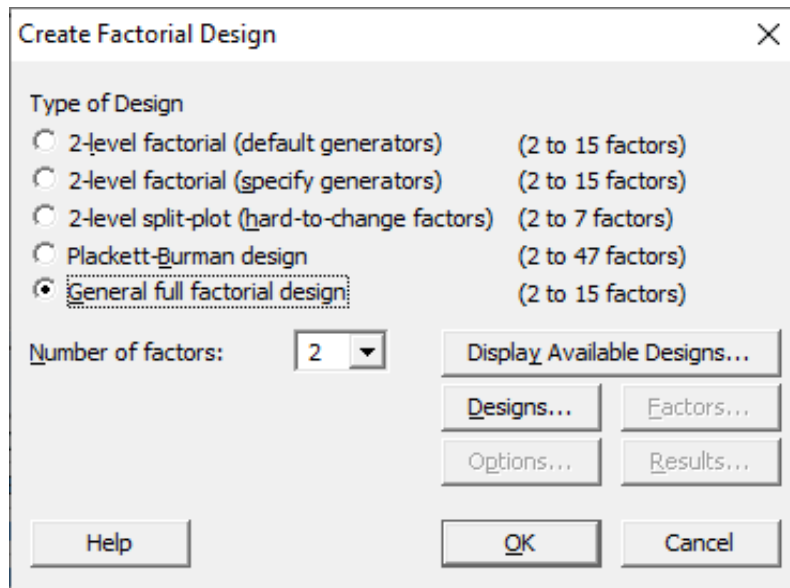


Fig. 5. Diseño factorial completo

Razones y posibles limitaciones:

La investigación se realizó con el propósito de abordar los desafíos de sostenibilidad y eficiencia energética en la industria agroalimentaria, a través del desarrollo de una innovadora máquina tostadora de semillas en proceso continuo. El estudio se centró en evaluar la efectividad y versatilidad de la máquina tostadora en el tostado de diversas semillas, con el objetivo de proporcionar una solución tecnológica viable para la industria.

Sin embargo, existen algunas posibles limitaciones en la investigación realizada. En primer lugar, el prototipo de la máquina tostadora podría no representar completamente el rendimiento de una versión final y optimizada del dispositivo, lo que podría afectar los resultados obtenidos. En segundo lugar, el tamaño de la muestra y la selección de semillas podrían no ser suficientemente amplios como para abarcar todas las posibles aplicaciones y condiciones en las que se utilizaría

la máquina tostadora. Además, la evaluación sensorial podría estar sujeta a sesgos y variabilidad entre los jueces, lo que podría limitar la validez de las conclusiones sobre la calidad del producto final.

En futuras investigaciones, sería útil abordar estas limitaciones mediante la realización de pruebas adicionales en un rango más amplio de semillas y condiciones de tostado, así como mediante la optimización del diseño de la máquina tostadora y la implementación de metodologías de evaluación sensorial más rigurosas y estandarizadas.

RESULTADOS

Una vez que se hicieron las pruebas, se realizó el registro de datos, en Minitab y en Excel, con el objetivo de:

Realizar un Diseño de Experimentos Completamente Aleatorizado, determinando las variables que más actúan en determinar si el producto es aceptable o no, con base en valores cualitativos como: tostado de la semilla, color, sabor, consistencia, etc.

Se seleccionaron las variables X1: Tiempo de cocción y X2: Temperatura, que son las que actúan más sobre el producto final, realizando el DOE completo adecuado, de la siguiente manera:

1. Seleccionar DOE, y crear diseño Factorial
2. Seleccionar diseño factorial completo general
3. Colocar el nombre de las variables o factores, así como el número de niveles que le corresponden a cada factor.
4. Se describen los niveles que contiene cada uno de los factores.
5. Para que el Diseño sea completamente aleatorizado se deja activado que las corridas sean mediante Random y esto permita que sea aleatorio.
6. Una vez que se termina de diseñar, se crea una columna a la derecha de TEMPERATURA, con en nombre de A/NA (Aprobación y No aprobación)

En el caso de la interacción de Tiempo de cocción vs Temperatura se tiene un $p\text{-value} = 0.250 > \alpha = 0.01$, por lo que No se Rechaza H_0 , indica que la interacción entre ambas interactúa de manera adecuada en el tostado de la semilla.

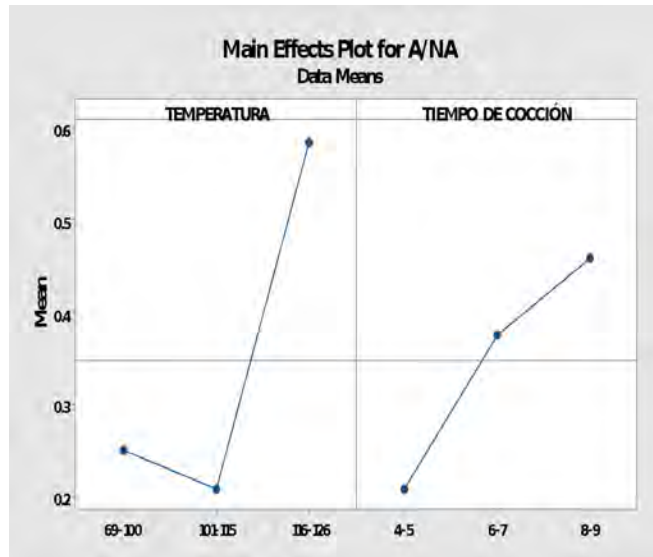


Fig. 6. Main effects

En la gráfica se muestra que en cuanto a la temperatura el intervalo adecuado para el tostado óptimo de semilla está en el intervalo de 116-126 °C, y por otro lado en el tiempo de Cocción el mejor tiempo está registrado en el intervalo de 8-9 min.

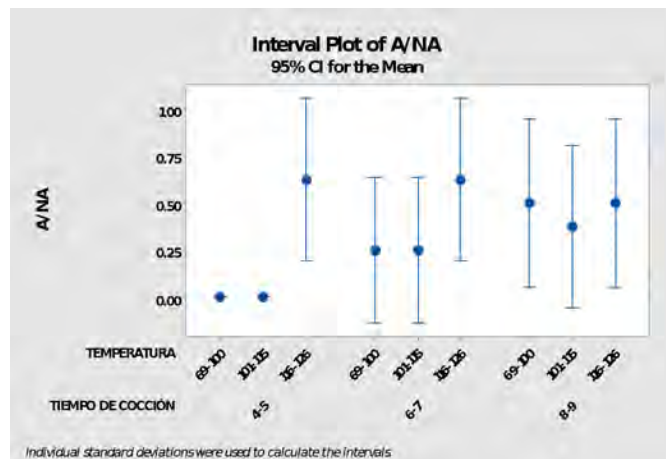


Fig. 7. Interval Plot

En la gráfica de Interval Plot, se puede apreciar que el tiempo de cocción que tiene mejores promedios es de 8-9 min, y en cuanto a temperatura se observa que los mejores promedios lo registran el intervalo de 116-126 °C.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En la interacción de las dos variables, se puede observar que el mejor registro de tiempo de cocción es de 6 a 7 minutos, y la temperatura adecuada oscila entre 116 y 126 °C. Este tiempo podría resultar factible, ya que la temperatura es óptima; sin embargo, los tiempos de 8 a 9 minutos registran mayor constancia en los registros.

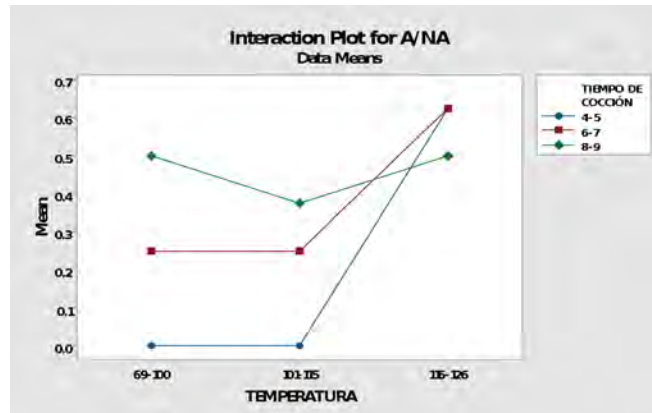


Fig. 8. Interval Plot completo

Se pueden determinar cuáles son los factores que influyen en el proceso del tostado de semillas del prototipo propuesto. Dichos factores son determinantes para optimizar la máquina y establecer los parámetros que permitirán fijar los valores máximos y mínimos de operación, así como para la elaboración del manual de usuario de la máquina.

De manera específica, determinamos que con esta máquina es posible tostar 3.5 kilogramos de semillas de calabaza en una hora, consumiendo 325.2 g de gas LP en el mismo lapso de tiempo.

Esto representa una disminución en el consumo de gas utilizado para tostar la misma cantidad de semillas en comparación con el método tradicional, además de un ahorro de tiempo significativo. En el proceso tradicional, para tostar 1 kg de semillas se utilizan 350.6 g de gas, mientras que con el dispositivo se emplean solo 100 g de gas para el mismo kg de semillas. Esto significa un ahorro de más del 70% en el consumo de gas, cumpliendo con los tres objetivos específicos: determinar el consumo de gas en el proceso tradicional, desarrollar un prototipo para tostar semillas (en este caso, de calabaza) y disminuir el consumo de gas en al menos un 10%. A continuación, se presentan los cálculos que ilustran de manera más precisa la reducción en el consumo de gas LP..

Consumo de gas LP con el método tradicional: 1 kg = 350.6 g

Consumo de gas LP con el método utilizando la máquina tostadora: 1 kg = 92.91 g
(325.2 g de gas / 3.5 kg de semilla)

Para obtener el porcentaje de disminución, aplicamos los siguientes cálculos:
 $((350.6 \text{ g} - 92.91 \text{ g}) / 350.6 \text{ g}) \times 100\% = 73.4\%$.

En conclusión, este estudio ha demostrado que el prototipo propuesto para tostar semillas de calabaza es eficiente en términos de tiempo y consumo de gas LP en comparación con el método tradicional. Hemos identificado los factores clave que influyen en el proceso de tostado, lo que permitió optimizar la máquina y establecer parámetros de operación adecuados.

El prototipo logró cumplir con los objetivos planteados al disminuir el consumo de gas en más del 70% y permitir un ahorro de tiempo significativo en el proceso de tostado de las semillas. Estos resultados no solo tienen implicaciones prácticas para la industria de procesamiento de semillas, sino que también pueden contribuir a la sostenibilidad ambiental al reducir el consumo de combustibles fósiles.

Como sugerencia para futuras investigaciones, se podrían realizar estudios adicionales para evaluar la eficiencia del prototipo en el tostado de otros tipos de semillas y granos. Además, sería interesante explorar el diseño de máquinas tostadoras más eficientes en términos energéticos y adaptar el prototipo a diferentes entornos y condiciones de trabajo. Finalmente, sería útil investigar cómo las mejoras en el proceso de tostado de semillas podrían impactar en la calidad final del producto y en la aceptación por parte de los consumidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Rössel Kipping. D, Ortiz Laurel. H, Amante Orozco. A, Durán García. H. M, López Martínez. L. A. "Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento". Nova scientia, ISSN 2007-0705, bit.ly/3VqTnYU, año 2018.
- Ristic-Medic D, Perunicic-Pekovic G, Rasic-Milutinovic Z, Takic M, Popovic T, Arsic A, Glibetic M. Efectos de la mezcla de semillas molidas en la dieta sobre el estado de ácidos grasos y marcadores inflamatorios en pacientes en hemodiálisis. Sci. World J 2014; ID563576: 9 páginas. bit.ly/42go4Cq
- Patel S, Abdur R. Semillas comestibles de la familia de las cucurbitáceas como posibles alimentos funcionales: promesas inmensas, pocas preocupaciones. Biomed Pharmacother 2017; 91: 330-337.
- Caili F, Shi H, Li Q. Una revisión sobre actividades farmacológicas y tecnologías de utilización de la calabaza. Plant Foods Hum Nutr 2006; 61 (2): 70-77.
- Al-Zuhair H, Amal E, Hekma A. Eficacia de la simvastatina y el aceite de semilla de calabaza en el tratamiento de la hipercolesterolemia inducida por la dieta. Pharmacol Res. 1997; 35 (5): 403-408. bit.ly/3LmmsQC
- Applequist, W. L. (2006). Comparative fatty acid content of seeds of four Cucúrbita species grown in a common (shared) garden. Journal of Food Composition and Analysis, 19(6), 606-611.
- Gohari, A. A. (2011). Chemical composition and physicochemical properties of pumpkin seeds (Cucúrbita pepo Subsp. Pepo Var. Styriaka) grown in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology, 13, 1053-1063. bit.ly/42kzvZx
- Subbaiah, M. V. (2016). Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies. Ecotoxicology and environmental safety, 128, 109-117. bit.ly/41WsRc9
- Muschler, R. G. (2008). Escuela de campo para promotores y promotoras de La Selva, Chiapas, México. Módulo 6. Producción ecológica de cultivos anuales básicos: maíz, frijol y calabaza. 30.
- Martínez, A. (2010). Efecto del proceso de tostado en el desarrollo de pasta untada de semillas de zapallo (Cucurbita máxima Duch). Universidad de Chile.
- Wikihow (2020). "tostar semillas de girasol." <https://bit.ly/44ib2pT>
- Minitab. (2018). Retrieved from bit.ly/40WRHrm

- ALAMPRESE, C., RATTI, S., & ROSSI, M. (2009). Effects of roasting conditions on hazelnut characteristics in a two-step process. *Journal of Food Engineering* , 95, 272- 279
- KRISHNAMURTHY, K., KHURANA, H. K., JUN, S., IRUDAYARAJ, J., & DEMIRCI, A. (2008). Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *Comprehensive reviews in food science and food safety* , 7,1-12.
- UYSAL, N., SUMNU, G., & SAHIN, S. (2008). Optimization of microwave-infrared roasting of hazelnut. *Journal of food engineering* , 90, 255-261.
- Huang X, Hirose K, Wakai K, Matsuo K, Ito H, Xiang J, Takezaki T, Tajima K. Comparación de los factores de riesgo del estilo de vida según los antecedentes familiares de cáncer de estómago, mama, pulmón y colorrectal. *Asian Pac J Cancer Prev* 2004; 5: 419-427. bit.ly/3nw5siR
- Balbín chuquillaqui, y. (2018) influencia de la coccion por via humeda y seca en las propiedades funcionales de harina de semilla de calabaza.
- Goilav, N., & Geoffrey, L.O.I. (2016). *Arduino: Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*. Ediciones ENI.
- López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *Metodología de la investigación cuantitativa*.
- Anchaluisa silva, c. G. (2016) "departamento de ciencias de la energía y mecánica."
- Gutiérrez, j. M. R. (2019) "manual de programación arduino." transl.: bw evans et al., *arduino notebook: a beginner's reference*
- Herrador, R. E. (13 de 11 de 2009). *Guía de Usuario de Arduino - Universidad de Córdoba*. Recuperado el 17 de 08 de 2015, de *Guía de Usuario de Arduino - Universidad de Córdoba*: <https://bit.ly/41YUrFY>
- López-García, R., Dorado-Vicente, R., Vasco-Olmo, J., & López-Alba, J. (2012). *Las herramientas de Ingeniería Asistida aplicadas a la Historia de las Máquinas y Mecanismos*. Recuperación virtual de un Molino Hidráulico.
- Martínez Ibáñez, A. A. (2010). "Efecto del proceso de tostado en el desarrollo de pasta untable de semillas de zapallo (Cucurbita maxima duch)."
- Pini, A. (2014). "La salud en las semillas."
- CLANDRow, F. F. (1 de sept de 1931). *NEW YORK Patente nº 330,217*.
- Herreras, Esperanza Bausela. (2005). *UN INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS*. Departamento de Filosofía y Ciencias de la Educación, 62-69. Obtenido de <http://laboratorios.fi.uba.ar/lie/Revista/Articulos/020204/A3mar2005.pdf>

maquinariaeindustria.es. (2020). maquinariaeindustria.es. Obtenido de ¿Qué son las tolvas industriales?: <https://maquinariaeindustria.es/que-son-las-tolvas-industriales/>

motores, p. (2020). puro motores. Recuperado el 2020, de Cómo calcular las RPM de un motor: <https://www.puromotores.com/13075291/como-calcular-las-rpm-de-un-motor>

osteopaths, s. e. (2020). scientific european federation osteopaths. Obtenido de LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS: <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/las-pruebas-estadisticas/>

rotoplas.com.mx. (2020). rotoplas.com.mx. Obtenido de Tolva: ¿Qué es y para qué sirve?: <https://rotoplas.com.mx/tolva-que-es-y-para-que-sirve/>

tecnicas-de-estudio.org. (2020). tecnicas de estudio. Recuperado el 2020, de Metodología de la Investigación: <http://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion34.htm>

Tidland, J. W. (2001). United States Patente nº Pat. No. 6,123,97.

RED MÓVIL DE MONITOREO CLIMÁTICO BASADA EN ARDUINO

CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA¹, FELIX ACOSTA HERNÁNDEZ², OMAR FABIAN RIVERA CENICEROS³

RESUMEN

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad. La necesidad de monitorear y comprender los cambios en el clima es cada vez más importante para tomar medidas efectivas y mitigar sus efectos. En este contexto, se presenta un proyecto de telemetría avanzada diseñado para una red móvil de monitoreo climático basada en Arduino. La red consta de una serie de sensores que miden diferentes parámetros climáticos, como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica. Estos sensores se conectan a un microcontrolador Arduino Oplà IoT, que se encarga de recopilar y transmitir los datos a través de una red móvil. La red móvil permite que los datos sean enviados en tiempo real a una plataforma en la nube, donde se pueden visualizar y analizar. Además, la red se puede mover a diferentes ubicaciones para monitorear diferentes áreas geográficas y climáticas. El proyecto tiene como objetivo proporcionar una herramienta de monitoreo climático de bajo costo y fácil de usar para comunidades locales, organizaciones y científicos. También se espera que el proyecto fomente la participación ciudadana en la recopilación de datos climáticos y contribuya a la conciencia pública sobre el cambio climático.

Palabras clave: ARDUINO; telemetría avanzada; Internet de las cosas; Servicios WEB.

ABSTRACT

Climate change is one of the greatest challenges facing humanity today. The need to monitor and understand changes in climate is becoming increasingly important in order to take effective measures and mitigate their effects. In this context, an advanced telemetry project designed for an Arduino-based mobile climate

¹ Universidad Politécnica de Durango. christian.rios@unipolidgo.edu.mx

² Universidad Politécnica de Durango. felix.acosta@unipolidgo.edu.mx

³ Universidad Politécnica de Durango. omar.rivera@unipolidgo.edu.mx

monitoring network is presented. The network consists of a series of sensors that measure different climatic parameters, such as temperature, humidity and atmospheric pressure. These sensors are connected to an Arduino Oplà IoT microcontroller, which is responsible for collecting and transmitting the data through a mobile network. The mobile network allows data to be sent in real time to a cloud platform, where it can be viewed and analyzed. Also, the network can be moved to different locations to monitor different geographic and climatic areas. The project aims to provide a low-cost and easy-to-use climate monitoring tool for local communities, organizations and scientists. The project is also expected to encourage citizen participation in climate data collection and contribute to public awareness of climate change.

Keywords: ARDUINO; advanced telemetry; Internet of things; Web services.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo de variables climatológicas en México es de suma importancia debido a que este país se encuentra ubicado en una zona geográfica que lo hace vulnerable a diversos fenómenos naturales como huracanes, ciclones, inundaciones, sequías y terremotos. Además, México es uno de los países más afectados por el cambio climático, lo que ha tenido un impacto significativo en su economía, en la salud de su población y en el medio ambiente (Baró Suárez, 2022).

El monitoreo de variables climatológicas proporciona información precisa y actualizada sobre las condiciones meteorológicas en diferentes regiones del país. Esta información es crucial para la toma de decisiones en diversos sectores, como la agricultura, la pesca, la industria, el turismo y la gestión de desastres naturales. Además, el monitoreo de variables climatológicas es fundamental para la prevención y mitigación de los efectos del cambio climático en México (Arreguín - Cortés, 2020).

En los últimos años, México ha implementado diversas estrategias para fortalecer su sistema de monitoreo climatológico, como la instalación de estaciones meteorológicas automáticas y la creación de una red de observación satelital. Sin embargo, aún existen desafíos en cuanto a la cobertura y la calidad de la

información obtenida. Por lo tanto, es importante continuar invirtiendo en el monitoreo de variables climatológicas en México para garantizar la seguridad y el bienestar de la población y proteger el medio ambiente (“Evaluación Estratégica Del PECC 2014-2018”, 2018).

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

La red móvil de monitoreo climático basada en Arduino fue desarrollada gracias a la colaboración de tres Profesores Investigadores de Tiempo Completo y la participación de dos alumnos de la Universidad Politécnica de Durango del Programa Académico de Ingeniería en Software, quienes llevaron a cabo dos proyectos de Estadía Profesional para su realización. La primera fase del proyecto consistió en la creación de un sistema electrónico de sensado basado en Arduino Oplà IoT, el cual permitió la recolección de datos en tiempo real. La segunda fase del proyecto se enfocó en el desarrollo del software de monitoreo, el cual permitió el análisis y visualización de los datos recolectados. Cabe mencionar que dicho desarrollo tecnológico puede ser de gran utilidad para muchos campos de estudio, desde la agricultura hasta la meteorología.

Para comenzar, es importante mencionar que esta red móvil de monitoreo climático se basa en la plataforma Oplà IoT Kit - Arduino, la cual es una herramienta de programación y electrónica de código abierto que permite la creación de dispositivos electrónicos interactivos y la cual ya dispone de los sensores necesarios para recopilar información sobre el clima, como temperatura, humedad, presión atmosférica e intensidad lumínica. Además, incluye un módulo de micro SD y un Arduino MKR Wifi 1010, que cuenta con un PIC para la codificación del sistema y un módulo wifi integrado en la placa (ARDUINO Copyright (c), 2023).

Las imágenes 1 y 2 muestran los componentes que tiene este dispositivo:



Imagen 1 – Arduino Oplà IoT exterior

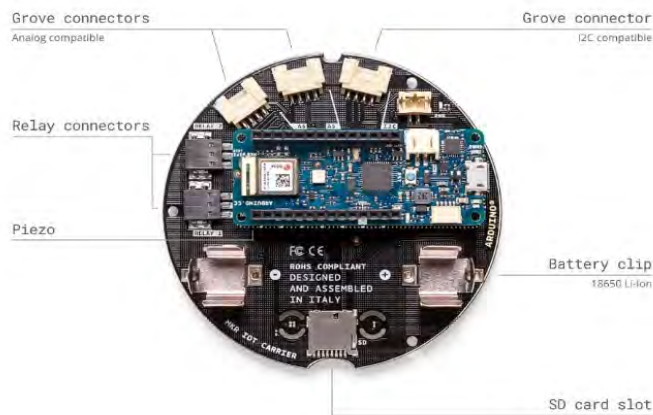


Imagen 2 – Arduino Oplà IoT interior

Las pruebas de esta versión se llevaron a cabo en conjunto debido a que están todos los componentes requeridos dentro de la misma placa junto con la batería. Así mismo, el Arduino MKR WiFi 1010 cuenta con una amplia documentación (ARDUINO DOCS, 2023) y ejemplos que simplificaron la programación de los sensores, el módulo micro sd card y por supuesto, el módulo WiFi. En la imagen 3, se puede ver el monitor serial que muestra las impresiones codificadas para visualizar los procesos en curso a través de WiFi.

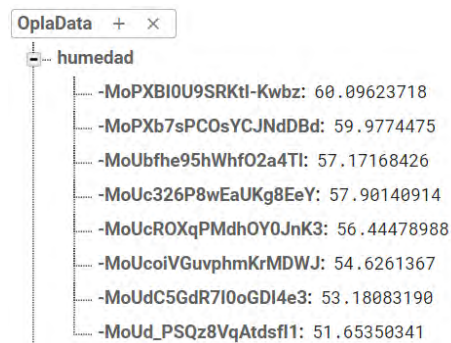
```

Staring weather station...
Temperatura: 20.07
Humedad: 57.17
Presion: 82.14
Attempting to connect to wifi...
Connected with IP: 192.168.1.4
Inserting humidity...
ok
path: /OplaData/humedad
push name: -MoUbfhe95hWhfO2a4Tl
Inserting pressure...
ok
path: /OplaData/presion
push name: -MoUbhUrxQ0tyLr3mD2P
Inserting Temperature...
ok
path: /OplaData/temperatura
push name: -MoUbi-yhhjP7G6Xe-NK
Saving data into data.txt...
Saved complete!

```

Imagen 3 – Lecturas de los sensores vía WiFi

Para enviar las lecturas de las magnitudes de las variables sensadas, se utilizó Firebase, una plataforma en la nube para el desarrollo de aplicaciones WEB y móviles. La principal ventaja de Firebase (FIREBASE, 2023) es su herramienta de bases de datos en tiempo real, que almacena los datos como JSON en servidores en Internet, permitiendo la actualización en tiempo real de la información de la aplicación, incluso sin la intervención del usuario. En las imágenes 4, 5 y 6 se ilustra el proceso de envío de las lecturas censadas a la base de datos.



OplaData + x

humedad

- MoPXBI0U9SRKtl-Kwbz: 60.09623718
- MoPXb7sPCOsYCJNdDBd: 59.9774475
- MoUbfhe95hWhfO2a4TI: 57.17168426
- MoUc326P8wEaUKg8EeY: 57.90140914
- MoUcROXqPMdhOY0JnK3: 56.44478988
- MoUcoiVGuvphmKrMDWJ: 54.6261367
- MoUdC5GdR7I0oGDI4e3: 53.18083190
- MoUd_PSQz8VqAtdsfl1: 51.65350341

Imagen 4 – Almacenamiento de lecturas de los sensores de humedad



presion

- MoPXD4GnFgkUjVd_WqM: 82.180664062
- MoPXcv1jrGHaBUcSHz6: 82.180984497
- MoUbhUrxQ0tyLr3mD2P: 82.135696411
- MoUc4pETrmNrwpUzMRr: 82.132324219
- MoUcTAbGvx4-ynd66Vm: 82.133323669
- MoUcqVbXa4txaoQI4Cs: 82.134864807
- MoUdDsRsgMZp_YmwkFF: 82.130882263
- MoUdbBXLJqCmOdw61RJ: 82.131393433

Imagen 5 – Almacenamiento de lecturas de los sensores de presión

```

temperatura
-----MoPXDaHb9HqTIQFe9of: 23.163635254
-----MoPXdQvBulxoNMzleX1: 23.199998856
-----MoUbi-yhhjP7G6Xe-NK: 20.072727203
-----MoUc5L70jTmgI06ScEN: 20.21818161
-----MoUcTgZj42xpeNHORS9: 20.563634872
-----MoUcr0_gU79AdjI2KbN: 21.054544449
-----MoUdEOGw_0EEzFcmJEn: 21.454544067

```

Imagen 6 – Almacenamiento de lecturas de los sensores de temperatura

Para desarrollar el software de monitoreo, se empleó la API WeatherBit (weatherbit.io, 2023). Esta herramienta permite obtener información sobre pronósticos meteorológicos y comparar los datos obtenidos por el sistema propio desarrollado en Arduino. Esta API permite obtener registros del clima actual y predicciones de hasta 16 días en el futuro. Para acceder a ella, se generó una llave de uso que se integró a los parámetros de la URL para realizar búsquedas específicas de registros meteorológicos.

El software de monitoreo desarrollado para el sensado basado en Arduino hace uso de una URL para solicitar la respuesta del Servidor mediante un método REQUEST. La respuesta del servidor incluye el nombre de la ciudad y el horario actual, lo que indica que se han utilizado correctamente los parámetros del código postal y del país. La respuesta también incluye los datos del clima actual y las predicciones meteorológicas para los próximos tres días.

La pantalla principal de la aplicación (ver imagen 7) se divide en cuatro partes funcionales que interactúan entre sí: la gráfica circular, los botones verticales con la información de los últimos registros, la sección de configuración y las predicciones.



Imagen 7 – Pantalla principal de la aplicación

La gráfica circular (ver imagen 8) muestra por defecto los datos del último registro de la base de datos de Firebase, incluyendo la temperatura, la sensación térmica y la humedad relativa, representada por un espacio relleno con color. Además, el icono de la gráfica hace referencia al estado del cielo, mostrando un sol para cielos despejados y una nube para cielos nublados.



Imagen 8 – Gráfica circular

La sección de últimos registros (ver imagen 9) es interactiva y muestra información de los últimos 5 registros de la base de datos en botones que permiten modificar la información mostrada en la gráfica circular.



Imagen 9 – Lecturas de los últimos registros

La sección de predicciones (ver imagen 10) combina fuentes de datos para mostrar información completa del clima semanal, utilizando registros obtenidos por la Estación Meteorológica Portátil en la parte superior y datos de la API de WeatherBit en la parte inferior para mostrar pronósticos de hasta 3 días.



Imagen 10 – Predicciones

Por último, la sección de configuración (ver imagen 11) permite modificar las preferencias de la aplicación, incluyendo las unidades utilizadas para los datos recuperados por la Estación Meteorológica Portátil y la API de WeatherBit.

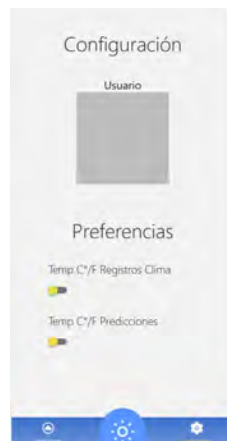


Imagen 11 – Sección de configuración

Aunque este proyecto puede ser muy útil, también existen posibles limitaciones que deben ser consideradas. Por ejemplo, la duración de las baterías puede ser limitada, lo que puede afectar la cantidad de muestras que se pueden tomar. Sin embargo, existe una alternativa cableada la cual limita su autonomía debido a que el dispositivo se puede alimentar directamente a través de un cable USB a una fuente eléctrica.

RESULTADOS

El desarrollo tecnológico del proyecto de Red Móvil de Monitoreo Climático basada en Arduino Oplà IoT ha permitido obtener resultados muy interesantes y útiles para el seguimiento y análisis del clima en diferentes zonas geográficas por su naturaleza minimalista menor al tamaño de una libreta de notas, lo cual lo hace altamente portable como se puede ver en la imagen 12.

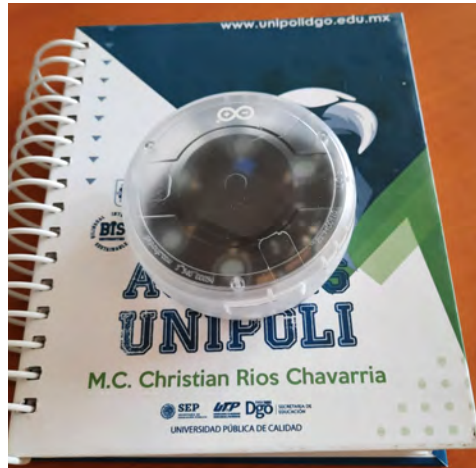


Imagen 12 – Proyecto implementado en Arduino Oplà IoT

En su primera fase, se ha diseñado y construido una red de dispositivos móviles que permiten medir diferentes variables climáticas como humedad, presión atmosférica y temperatura. Estos dispositivos están basados en la plataforma Arduino, lo que permite su fácil programación y configuración. En su segunda fase se incorporó el software de monitoreo basado en tecnologías en la nube para su fácil consulta a través de Internet.

Además, la metodología utilizada en el proyecto de Red Móvil de Monitoreo Climático basada en Arduino puede ser replicada en diferentes contextos y zonas geográficas, lo que amplía su potencial impacto y utilidad.

En cuanto a las consecuencias de la metodología aplicada en la investigación, se puede destacar su potencial para mejorar la comprensión y gestión del clima en diferentes ámbitos. La información obtenida a través de la red de dispositivos móviles puede ser utilizada para la toma de decisiones en diferentes sectores, lo que puede contribuir a una gestión más eficiente y sostenible del clima.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En conclusión, la creación de una red móvil de monitoreo climático basada en Arduino ha arrojado importantes hallazgos que pueden ser de gran utilidad para futuras investigaciones y proyectos relacionados con el monitoreo climático.

En primer lugar, se ha demostrado que el desarrollo de sistemas electrónicos basados en Arduino como plataforma para la creación de una red móvil de monitoreo climático es altamente efectiva, ya que permite la recolección y procesamiento de datos en tiempo real de manera eficiente y económica.

Además, se ha comprobado que la integración de sensores de temperatura, humedad y presión atmosférica en la red móvil de monitoreo climático permite obtener una visión completa y detallada de las condiciones climáticas en un área determinada.

Sin embargo, es importante destacar que este desarrollo tecnológico también ha revelado algunas limitaciones en el diseño de la red móvil de monitoreo climático. Por ejemplo, se ha observado que la duración de la batería de los dispositivos Arduino puede ser un problema, lo que limita la capacidad de monitoreo en áreas remotas o de difícil acceso. Aunque esto se puede solucionar mediante su conexión a una fuente eléctrica mediante USB.

En cuanto a las deducciones para futuras investigaciones, se sugiere la exploración de nuevas tecnologías que permitan el uso de energía renovable para prolongar la vida útil de las baterías de los dispositivos Arduino. Asimismo, se recomienda el desarrollo de algoritmos de procesamiento de datos más precisos y eficientes para mejorar la calidad de la información recolectada.

En cuanto a los objetivos del estudio del proyecto, se puede afirmar que se han cumplido satisfactoriamente. La creación de una red móvil de monitoreo climático basada en Arduino ha demostrado ser una herramienta efectiva para el monitoreo y la recolección de datos climáticos en tiempo real, lo que puede contribuir significativamente a la toma de decisiones en materia de cambio climático y protección del medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baró Suárez, J. E. (2022). Capítulo 2. Herramientas para la Protección Civil y la Gestión Integral de Riesgo: reguladoras, financieras, de investigación, transversales y otras. In *Herramientas de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgo en México* (Primera edición, abril de 2022 ed., pp. 24-26). Ameditores. <https://bit.ly/3KOh88w>
- Arreguín - Cortés, F. I. (2020, 3 2). Water challenges in Mexico. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 11(2), (pp. 349-352). <https://bit.ly/3MWwqdK>
- Evaluación Estratégica del PECC 2014-2018. (2018). In Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (Ed.), *Evaluación de la Política Nacional de Cambio Climático* (pp. 7-8). Evaluación de la Política Nacional de Cambio Climático. <https://bit.ly/3KPnjcj>
- ARDUINO Copyright (c). (2023, 3 30). Arduino - Home. Retrieved March 30, 2023. <https://bit.ly/3LdxIQk>
- ARDUINO DOCS. (2023, April 19). *MKR WiFi 1010 | Arduino Documentation*. ARDUINO DOCS. Retrieved April 19, 2023. <https://bit.ly/3KObd33>
- FIREBASE, G. (2023, APRIL 19). *GOOGLE FIREBASE*. Google Firebase. Retrieved April 19, 2023. <https://bit.ly/3owHHas>
- WEATHERBIT.IO, A. (2023, APRIL 19). *weatherbit.io*. Weatherbit - Free Weather API. Retrieved April 19, 2023. <https://bit.ly/43NWiig>

NANOSENSOR DE DEFORMACIÓN PARA EL MONITOREO DEL CRECIMIENTO EN PLANTAS

JOSÉ ALBERTO GOMEZ ELIZALDE¹, FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA², JOSUÉ ORTIZ MEDINA³

RESUMEN

Los nanosensores son dispositivos compuestos de materiales con estructuras en escala nanométrica, los cuales pueden utilizarse para la detección de moléculas, partículas, campos eléctricos y térmicos entre otra amplia variedad de aplicaciones. Estos dispositivos tienen diferentes áreas de aplicación como lo son la electrónica, la informática, la energía y la medicina, en donde son utilizados para la detección de diversas sustancias y cambios en propiedades físicas. En este trabajo se elaboraron nanosensores a partir de películas delgadas y nanocompuestos flexibles, a base de dispersiones de nanotubos de carbono de pared simple. Estos nanosensores muestran una buena conductividad eléctrica, relacionada con las características de la dispersión del nanomaterial en términos de concentración y del tipo de dispersante. El nanosensor desarrollado fue puesto a prueba aplicando deformaciones mecánicas en modelos de plantas, a fin de obtener una relación entre la deformación y el cambio en la conductividad eléctrica. Por medio de la instrumentación electrónica adecuada, se pudieron determinar cambios morfológicos en plantas, medibles en términos de magnitud y tiempo. La propuesta de nanosensor desarrollada en este trabajo tiene usos prometedores en el área agroindustrial con flexibilidad en el ajuste de sus propiedades, lo cual ayudaría a contribuir a un mejor estudio del crecimiento y otros cambios morfológicos y fisiológicos en plantas de los cultivos en las de las diferentes partes de nuestro estado y nuestro país.

Palabras clave: nanotecnología, nanosensor, aplicaciones agroindustriales, nanoelectrónica.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 16041278@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. j.ortiz@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

Nanosensors are devices composed of materials with nanoscale structures, which can be used for the detection of molecules, particles, electric and thermal fields, among others in a wide variety of applications. These devices find applications in a wide range of areas, such as electronics, computer science, energy, and medicine, where they are used for the detection of various substances and changes in their physical properties. In this work, nanosensors were developed from thin films and flexible nanocomposites, based on dispersions of single-walled carbon nanotubes. These nanosensors show good electrical conductivity, related to the characteristics of the dispersion of the nanomaterial in terms of concentration and the type of dispersant. The developed nanosensor was evaluated by applying mechanical deformations in plant models, to obtain a relationship between morphological deformation and changes in electrical conductivity. By means of the appropriate electronic instrumentation, morphological changes in plants, measurable in terms of magnitude and time, could be determined. The nanosensor proposal developed in this work has promising uses in the agro-industrial area where it can be modified to adjust its properties and improve its functionality towards, better devices designed to study the growth and other morphological and physiological changes in crop plants in various parts of our state and our country.

Keywords: nanotechnology, nanosensor, agro-industrial applications, nanoelectronics

INTRODUCCIÓN

La agricultura, la cría y explotación de animales, el aprovechamiento forestal, la pesca y la caza son las principales actividades económicas en el estado de Durango, aportando un 9.6% del PIB 2020 y un 3.1% en 2021 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2022). El cultivo de semillas oleaginosas, leguminosas y cereales en particular, es una actividad estratégica para el desarrollo rural del estado, ya que tiene un impacto social y económico significativo en la ocupación, autoempleo y generación de empleos en las áreas rurales y periféricas de las concentraciones poblacionales. Sin embargo, dados los retos actuales relacionados

con los cambios en los patrones climáticos, la falta de agua, y de contaminación y degradación de suelos, la sustentabilidad de dichos cultivos y otras actividades agrícolas se ven sujetas a diferentes tipos de dificultades. La tecnificación de métodos de producción agrícolas pueden ser una alternativa para incrementar la rentabilidad y resiliencia del sector agrícola, tal y como se ha observado en otras regiones del país y del mundo. Dentro de estas alternativas de tecnificación, se han propuesto por ejemplo nuevas técnicas de riego inteligente (García et al., 2020), de liberación controlada de agroquímicos (Nongbet et al., 2022), etc., los cuales contribuyen a un mejor aprovechamiento de recursos. Sin embargo, para una implementación exitosa de estas técnicas, es necesario contar con medios novedosos de monitoreo fisiológico de cultivos, que permitan tener información detallada de la salud de las plantas, a fin de poder determinar de manera automatizada las tasas requeridas de riego y de fertilización.

El objetivo del presente proyecto es desarrollar un modelo de nanosensores novedosos, delgados y flexibles, a base de nanomateriales, para su aplicación en necesidades agroindustriales, que aseguren el cuidado adecuado de los cultivos, al llevar a cabo el monitoreo de las variables morfológicas y fisiológicas. En principio, el sensor se caracterizará para medir el crecimiento en las plantas, ya que actualmente, el proceso más utilizado para monitorear el crecimiento de las plantas es la observación externa de las plántulas. Sin embargo, este proceso tiene varias desventajas, como por ejemplo baja precisión en la medición (Q. Zhang et al., 2022). Existe por tanto la necesidad de desarrollar un sensor que ayude a monitorear el crecimiento de las plantas de manera más precisa y eficiente. El uso de sensores a base de nanomateriales permitirá un monitoreo más preciso y menos invasivo de las variables fisiológicas y morfológicas de las plantas en comparación con los métodos tradicionales, disminuyendo los daños a las plantas de prueba y, por lo tanto, posibles alteraciones en sus parámetros fisiológicos ocasionados al mismo estrés de la prueba. Posteriormente se podrán modificar los sensores para monitorear diferentes variables en las plantas, ya que además del monitoreo en tiempo real de la planta para lograr una mejor producción agrícola, también se debe

prestar atención al suministro de nutrientes y al manejo de plagas durante el crecimiento de la planta (Q. Zhang et al., 2022).

Los sensores a base de nanomateriales constituyen una nueva plataforma para monitorear el crecimiento y desarrollo de las plantas, no destructiva y precisa, que puede aplicarse a plantas individuales (Liu et al., 2021). Estos nanosensores se han utilizado ya para la detección de oxígeno molecular, trifosfato de adenosina, iones de calcio, especies reactivas de oxígeno, óxido nítrico, hormonas vegetales, patógenos vegetales, determinación de maduración de frutos y gestión de fertilizantes y plaguicidas (Shaw & Honeychurch, 2022). Según su construcción, los nanomateriales se clasifican actualmente como: a base de carbono, compuestos, dendrímeros y a base de metal (Saleem & Zaidi, 2020), entre otros. Los nanomateriales basados en carbono han sido utilizados cada vez más en el diseño de sensores y biosensores (Morais, 2021). Dentro de la familia de nanoestructuras del carbono podemos encontrar los nanotubos (CNT), nanocables, nanocristales, fullerenos y nanocompuestos los cuales dependiendo de su forma de fabricación y la estructura muestran propiedades particulares a cada material. Por ejemplo, cuando se combinan nanopartículas metálicas con estas nanoestructuras de carbono los materiales resultantes muestran propiedades tales, como resistencia mecánica, propiedades ópticas mejoradas, potencial antimicrobiano, y características de conducción eléctricas sobresalientes (Neme et al., 2021). Otras propiedades deseables son una, alta relación superficie-volumen, lo que permite detecciones altamente sensibles en escalas nano, femto, atto y zepto (Arndt et al., 2020), donde las nanopartículas actúan como generadoras o detectoras de una señal, aumentando la sensibilidad (Swierczewska et al., 2012). Otro ejemplo de aplicaciones de sensores a base de nanomateriales de carbono puede ser su uso en la medición de humedad en las plantas, esto porque los sensores que se basan en CNT son muy sensibles a variaciones en las energías de unión y activación con las moléculas de agua circundantes (Li et al., 2017). Otro ejemplo del uso de nanomateriales en áreas agrícolas sería la detección de niveles de potasio en el suelo, utilizando nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNTs) modificados con óxido de zinc y valinomicina. Dispositivos hechos a base de estos fueron usados

para mediciones estables y altamente sensibles ante la presencia de potasio en el suelo (Kumar Khanna, 2021). Finalmente, pueden mencionarse algunos dispositivos sensores de resistencia mecánica o de deformación, en donde los rellenos de carbono conductivo y los nanocables metálicos se puede combinar con sustratos flexibles (como polidimetilsiloxano (PDMS), poliuretano (PU), caucho de silicona (SR), telas elásticas, bandas elásticas, entre otros materiales), y son utilizados para fabricar sensores piezorresistivos flexibles con una alta sensibilidad y un amplio rango de estiramiento mediante un determinado método de preparación (P. Zhang et al., 2020).

Ya que el carbono es uno de los elementos más comunes que existen en la naturaleza, y que es la base para varios tipos de nanomateriales relevantes, (Serag et al., 2011; Zhu et al., 2022), este trabajo se basa en una aplicación de nanotubos de carbono de pared simple (SWCNTs por sus siglas en inglés), los cuales son básicamente cilindros de carbono grafitico que poseen propiedades eléctricas y mecánicas únicas. El nanosensor desarrollado puede integrarse directamente en la superficie de la planta. Con el crecimiento de la planta, el sensor experimenta deformaciones mínimas lo que provoca una pequeña expansión de este y, como consecuencia, cambios en las señales eléctricas de salida. Estos cambios son procesados por medio de una interfaz electrónica diseñada específicamente para el nanosensor, e implementa una metodología para el procesamiento de los datos. Además, se busca que el diseño del nanosensor permita una operación menos invasiva que los métodos tradicionales, lo que reduciría los daños a las plantas de prueba y posibles alteraciones en sus parámetros fisiológicos debido al estrés de la prueba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron diferentes procesos para optimizar el desarrollo de un dispositivo de sensado a base de SWCNTs aprovechando sus propiedades electrónicas y mecánicas, para el monitoreo del crecimiento en plantas, el cual consto de los siguientes procesos:

Dispersiones

Se elaboraron dispersiones de 6.8 mg de SWCNTs (pureza 99.8%, Sigma Aldrich) mezclados en 15 ml de Triton X-100 (solución surfactante al 1% en agua, Hycel reactivos químicos) mediante una agitación constante a 3000 rpm en un homogeneizador FSH-2A durante diferentes periodos de tiempo: 3, 6 y 10 horas (ver esquema en Figura 1a). De esta manera, se obtuvieron muestras como la mostrada en la Figura 1b, con diferentes niveles de dispersión lo cual permitió evaluar las propiedades de los nanotubos en función del tiempo de agitación.

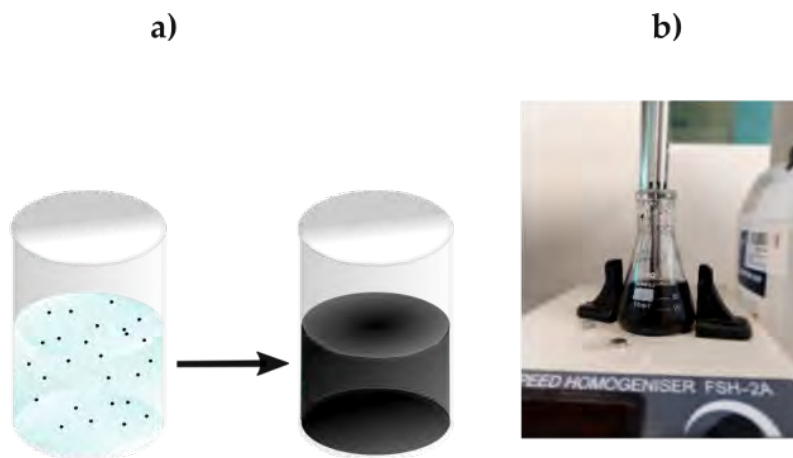


Figura 1.- Preparación de las dispersiones de nanotubos de carbono de pared simple, **a)** Esquemático de la preparación de dispersiones, **b)** Preparación de la dispersión de nanotubos de carbono sobre homogeneizador.

Fuente: Elaboración propia.

Pruebas de conductividad

Para evaluar la conductividad de las dispersiones, se aplicaron sobre sustratos de resina de silicio las diferentes muestras de dispersiones obtenidas con ayuda de un aerógrafo (mkz-Aerogminigri, Gutsark), tal como se muestra en la figura 2. Posteriormente, las películas obtenidas (ver Figura 3a), se cortaron en películas más pequeñas como se muestra en la figura 3b, con dimensiones de 2x4 cm. Con ayuda de una fuente de voltaje (HM-305, Havimatek) se sometieron a una tensión de 5 volts para registrar la corriente que circulaba a través de ellas (ver Figura 3c) y, así calcular su resistencia por medio de la ley de Ohm. Este método permitió obtener información precisa sobre las propiedades eléctricas de las dispersiones de

nanotubos de carbono de pared simple mezclados en Triton X-100, en función del tiempo de agitación.



Figura 2.- Rocío de las dispersiones sobre sustratos a base de resina de silicio.

Fuente: Elaboración propia.

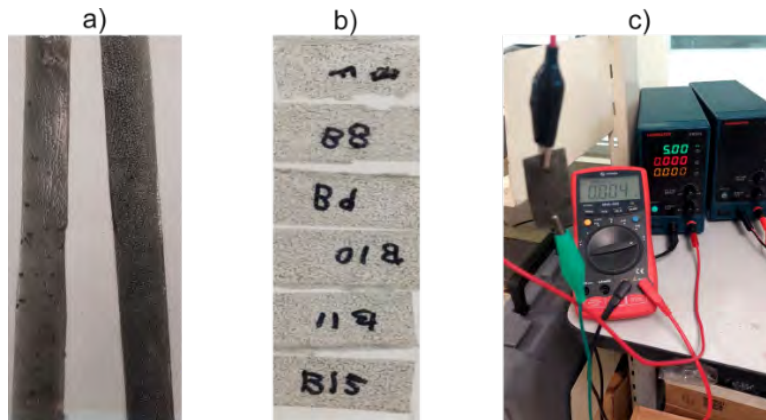


Figura 3.- a) películas resistivas a base de resina de silicio obtenidas después de rociar la dispersión, **b)** películas resistivas de 2x4 cm para evaluar conductividad, **c)** medición de conductividad eléctrica sobre película.

Fuente: Elaboración propia

Preparación del compuesto para creación del sensor

Durante la elaboración de la dispersión SWCNTs, sobre un agitador magnético (S18525, Thermolyne) se preparó una mezcla de 50 ml de agua destilada (CTR SCIENTIFIC) a la que se añadieron 947.2 mg de alcohol polivinílico (PVA, REAXSOL). Una vez que el PVA se disolvió por completo, se agregaron 20 ml de acetato de polivinilo (PVAc), un adhesivo comercial de PVA, y se dejó mezclar durante 1 hora. Posteriormente, se añadieron 183.4 mg de grafito en polvo y 10 ml de la dispersión de nanotubos de carbono.

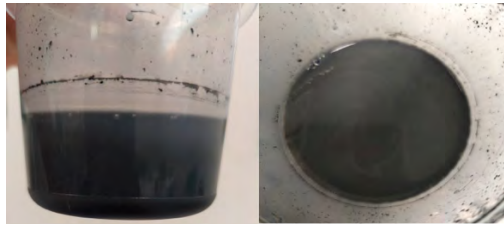


Figura 4.- Composito elaborado a base de las dispersiones de nanotubos de carbono de pared simple.

Fuente: Elaboración propia

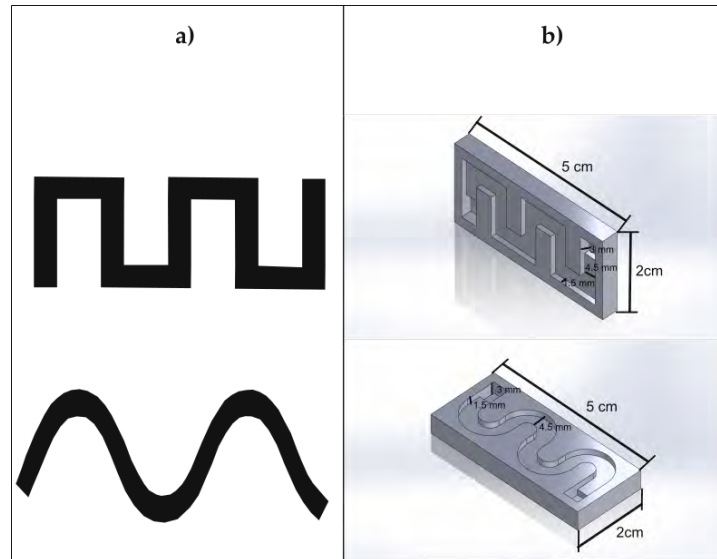


Figura 5.- a) propuesta de diseño para forma del sensor, b) prototipos diseñados en base a la propuesta para la forma del sensor la profundidad del molde es de 1.5 mm, en los extremos la profundidad es de 3 mm para la colocación de los electrodos, el ancho del sensor es de 4.5 mm, el largo y ancho de la placa es de 2x5 cm.

Fuente: Elaboración propia

Elaboración del sensor y colocación sobre planta de muestra

Para la fabricación del sensor se utilizaron los moldes que se muestran en la Figura 5. Se colocó una pequeña cantidad de PVAc como base sobre la cual se depositó, por medio de una jeringa, una cantidad determinada de composito (ver Figura 4), que se extendió naturalmente en forma de película delgada. Una vez colocada la primera capa del sensor, se insertaron los cables que sirvieron como electrodos para conectar el sensor al circuito. Durante este proceso, fue necesario esperar a que se secase la mezcla previamente colocada antes de agregar una nueva capa del composito. En total, se requirieron 10 capas para completar la fabricación del sensor. Una vez seca la última capa de la mezcla, se añadió otra pequeña cantidad de PVAc para proteger el sensor.

El sensor elaborado figura 6a, se colocó sobre una de las partes del bambú de la familia *bambusa oldhamii* como se muestra en la figura 6b. Este fue colocado con ayuda de un poco de etanol con el fin de ablandar la capa protectora del sensor y que este se adhiriera correctamente a la planta. El diseño del circuito de presenta en la figura 6c el cual consta de un divisor de tensión el cual va conectado a un amplificador operacional (LM324). Una vez colocado el sensor en posición se conectó al circuito que se muestra en la figura 6d, por medio del cual se registraron las variaciones en resistividad en el microcontrolador (Microchip ATmega328P, dentro de un Arduino Uno). Es importante mencionar que la adquisición de datos desde el circuito diseñado se realiza por medio del convertidor analógico-digital integrado en el microcontrolador, el cual cuenta con 10 bits de resolución, suficientes para poder medir las variaciones de resistividad del nanosensor por medio de 1028 valores.

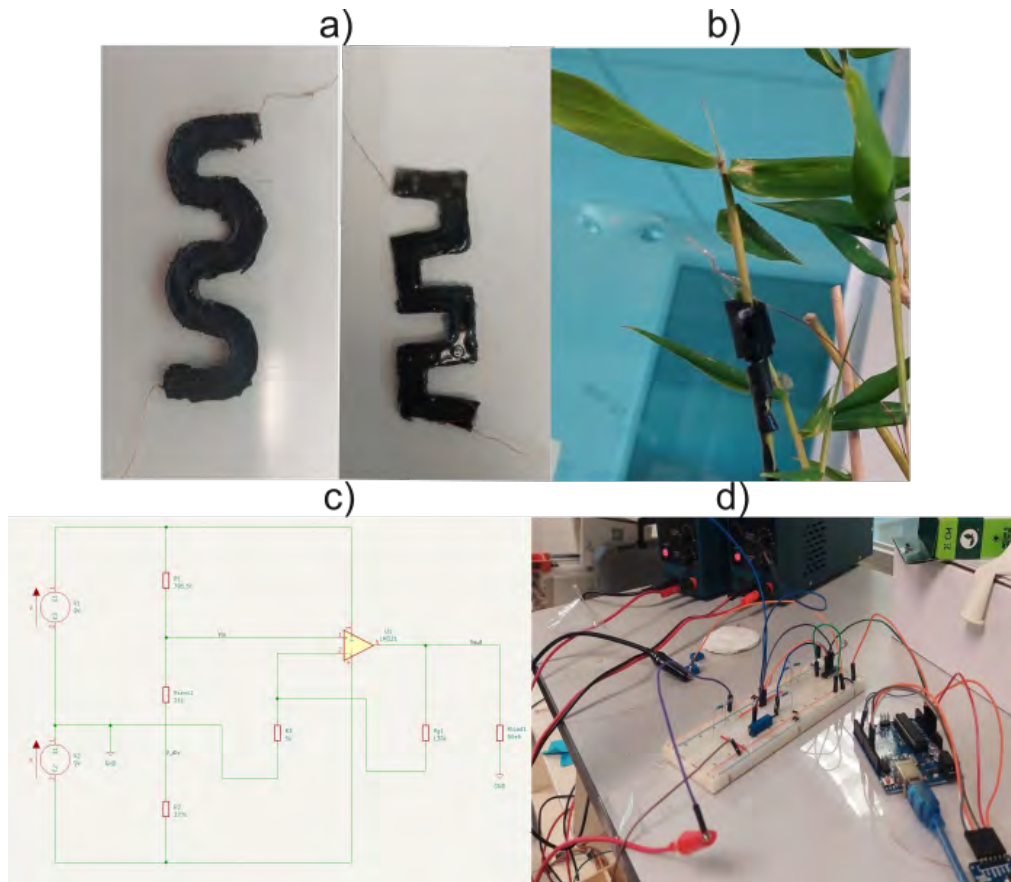


Figura 6.- a) sensores obtenidos del compuesto y la mezcla, **b)** sensor colocado sobre bambú, **c)** esquemático del circuito utilizado para medición del sensor, **d)** circuito implementado para medición del sensor conectado a las fuentes y al microcontrolador para la recolección de la información.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Las siguientes gráficas muestran los resultados de las mediciones de las dispersiones que fueron elaboradas por diferentes periodos de tiempo, los resultados se expresan en kilohms ($k\Omega$), determinados mediante la Ley de Ohm.

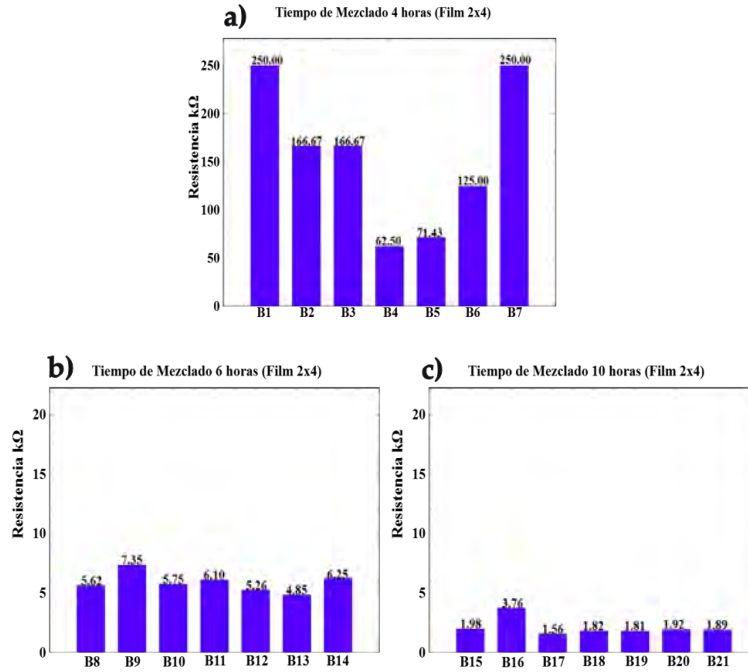


Figura 7.- Evaluación de resistencia de las dispersiones elaboradas. **a)** dispersión que se mezcló por 4 horas, **b)** dispersión que se mezcló por 6 horas, **c)** dispersión que se mezcló por 10 horas.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 8 muestra la respuesta en términos de la resistencia del sensor al aplicar deformaciones manuales, con respecto al tiempo. La zona de color azul muestra como el sensor en su estado de resistividad inicial, mientras que la zona de color rosa muestra el cambio en la resistencia del sensor al ejercer deformaciones. La zona en color verde muestra el comportamiento del sensor al dejar de aplicar deformaciones.

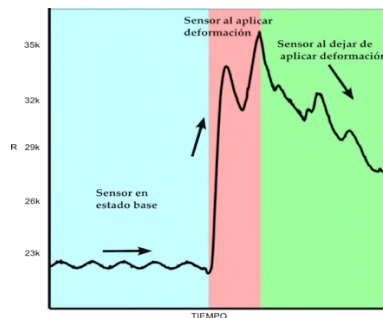


Figura 8.- Comportamiento del sensor al ejercer deformaciones manuales

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 9 muestra el comportamiento del sensor al ser colocado sobre la planta de bambú, a fin de monitorear el crecimiento por medio de la detección de extensión mecánica del nanosensor. En color verde se observan los periodos de incremento en la resistencia del sensor, relacionados con el crecimiento de la planta, mientras que en color rojo se observan periodos de reducción de resistividad, que se asocian con los tiempos en los que dejar de crecer la planta. El sensor se colocó a las 18:00h del día 1, con un muestreo cada 30 minutos por un periodo de 2 días y medio.

La Figura 10 ilustra el comportamiento del sensor al no ser sometido a deformaciones y no ser colocado sobre a ninguna planta, medido como punto de referencia. El resultado mostrado es el promedio de las diversas pruebas que fueron tomadas al sensor, en donde todas las muestras presentaban una baja en la resistencia del sensor al no ser colocado sobre plantas o ejercer sobre esta ninguna deformación.

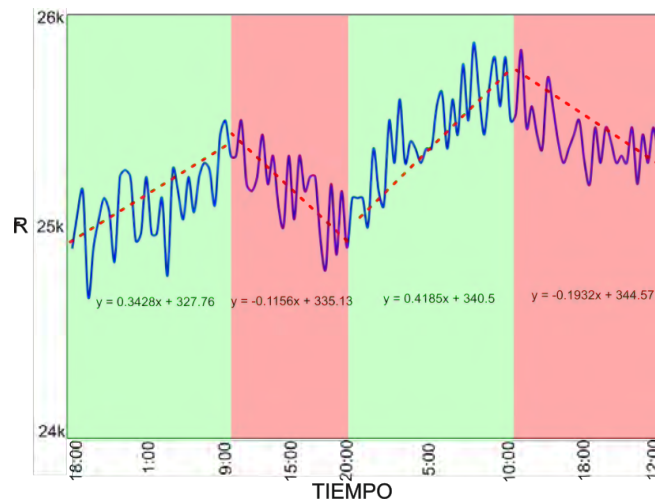


Figura 9.- Comportamiento de la resistencia del sensor colocado sobre bambú respecto al tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

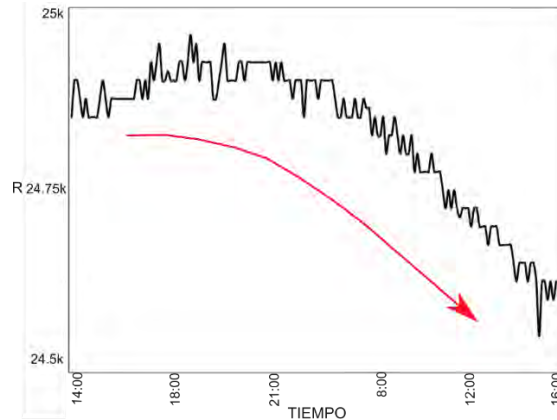


Figura 10.- Comportamiento del sensor sin ser colocado en plantas ni aplicar deformaciones
Fuente: Elaboración propia.

Las fotografías presentadas en la parte superior de la Figura 11 se tomaron diariamente, mientras que las fotografías de la parte inferior se tomaron cada 3 días para el monitoreo visual del crecimiento del bambú.



Figura 11.- Monitoreo de crecimiento del bambú con respecto al tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las dispersiones de SWCNTs dispersados en Triton X-100 por diferentes periodos de agitación constante, fueron sometidas a pruebas de conductividad al rociarlas sobre sustratos de resina de silicio. Los resultados mostrados en la Figura 7 indicaron que la dispersión preparada por un tiempo de mezclado de 10 horas exhibe una mejor conductividad eléctrica y una menor resistencia, por lo cual se decidió utilizarla para elaborar el compuesto final del sensor. Con el compuesto elaborado, se obtuvieron los sensores mostrados en la Figura 6a, los cuales mostraron una buena conductividad eléctrica, exhibiendo cambios en su resistencia

al aplicar deformaciones manuales como se muestra en la Figura 8, las cuales permiten conocer su comportamiento de respuesta al ser sometido a estas deformaciones.

Se ha comprobado que, aunque el crecimiento de la planta de estudio no genera una deformación significativa en el sensor, se puede percibir un cambio positivo en la línea de tendencia como se ilustra en la figura 9. Es posible apreciar un crecimiento de la planta de estudio durante la tarde y madrugada, donde de acuerdo a el tipo de bambú (en este caso, perteneciente a la familia *bambusa oldhamii*) corresponde adecuadamente a periodos en el día en el que su crecimiento suele ser mayor (Guadua Bamboo SAS, 2020). Además, para el monitoreo del crecimiento de la planta, se midió el grueso del tallo por medio de un vernier, resultando en una circunferencia de 3.1 mm y altura de 13.7 cm, contra una circunferencia de 3.4 mm y una altura de 15.59 cm medidas al tercer día.

En comparación con las pruebas en las que se aplicaron deformaciones manuales al sensor, el cambio en la planta es menor, sin embargo, fueron detectables y cuantificables por medio del nanosensor desarrollado. Así mismo, como se ilustra en la figura 10, el comportamiento del sensor en estado estático (es decir, al no ser sometido a deformaciones) muestra que su resistencia tiende a disminuir hacia un valor mínimo, lo cual demuestra que las curvas de respuesta obtenidas, en donde se observan incrementos de resistividad, pueden ser efectivamente atribuidas al crecimiento de la planta.

En este punto es importante contrastar nuestro trabajo con otros relacionados. Por ejemplo, en un trabajo reciente (Tang et al., 2019) se desarrolló un sensor a base de CNT y grafito utilizando como película un pedazo de látex, para ser colocado sobre frutos para la medición de su crecimiento, la incorporación de los electrodos de este sensor fue mediante el uso de cinta, al igual que el sensor desarrollado en este trabajo es portátil y flexible. Lo que diferencia a nuestro sensor es que nuestra propuesta incorpora los electrodos dentro del sensor, lo que evitaría el movimiento de los electrodos y posibles interferencias de ruido que puedan interferir en la señal medida. Así mismo, nuestro sensor con la capa de PVAc se protege de la humedad evitando así que este se pueda ver afectado por el riego al que son sometidos los

cultivos para su desarrollo. Otro punto importante es que, en el trabajo citado, los CNT fueron adquiridos como tinta comercial, sobre la cual no se conoce el modo de preparación. En nuestro caso, se están utilizando SWCNTs puros para la preparación de la dispersión, y al ser utilizados de este modo permite la funcionalización para en el futuro poder utilizarlos para la detección de otras sustancias.

La implementación de este sensor a base de nanomateriales podría tener un impacto significativo en el cuidado de los cultivos ya sea para el monitoreo del crecimiento de las plantas cultivadas así como para el monitoreo de diferentes variables fisiológicas y morfológicas al modificar los nanosensores para la detección de estas. Por ende, tendría un gran impacto en el desarrollo rural y económico de las áreas agrícolas de los estados de nuestro país. La capacidad de monitorear de manera precisa y en tiempo real el crecimiento de las plantas permitiría tomar decisiones más informadas y oportunas sobre su cuidado, lo que podría aumentar la calidad y la producción de los cultivos y así mejorar la rentabilidad de la agricultura. Por otro lado, es importante tener en consideración los posibles desafíos que pueden surgir durante la implementación del sensor en el campo, donde se requiere asegurar la estabilidad y durabilidad en los diferentes entornos en los que se encuentran los cultivos. El desarrollo e implementación de estos sensores podrían requerir una inversión significativa en investigación y desarrollo, así como en capacitación y educación para su uso. No obstante, el potencial beneficio económico y social podría superar ampliamente los costos a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arndt, N., Tran, H. D. N., Zhang, R., Xu, Z. P., & Ta, H. T. (2020). Different Approaches to Develop Nanosensors for Diagnosis of Diseases. *Advanced Science*, 7(24), 2001476. <https://doi.org/10.1002/advs.202001476>
- García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-Based Smart Irrigation Systems: An Overview on the Recent Trends on Sensors and IoT Systems for Irrigation in Precision Agriculture. *Sensors*, 20(4), 1042. <https://doi.org/10.3390/s20041042>
- Guadua Bamboo SAS. (2020). *El Bambú es la Planta de Más Rápido Crecimiento del Planeta*. El Bambú Es La Planta de Más Rápido Crecimiento Del Planeta. <https://bit.ly/3oM61p8>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2022, December 7). *Producto Interno Bruto por Entidad Federativa*. Cifras Preliminares 2021. <https://bit.ly/3LgbrQG>
- Kumar Khanna, V. (2021). *Nanosensors: Physical, Chemical, and Biological; Second Edition*.
- Li, T., Li, L., Sun, H., Xu, Y., Wang, X., Luo, H., Liu, Z., & Zhang, T. (2017). Porous Ionic Membrane Based Flexible Humidity Sensor and its Multifunctional Applications. *Advanced Science*, 4(5), 1600404. <https://doi.org/10.1002/advs.201600404>
- Liu, C., Zhou, H., & Zhou, J. (2021). The Applications of Nanotechnology in Crop Production. *Molecules*, 26(23), 7070. <https://doi.org/10.3390/molecules26237070>
- Morais, S. (2021). Special Issue: Carbon-Based Nanomaterials for (Bio)Sensors Development. *Nanomaterials*, 11(9), 2430. <https://doi.org/10.3390/nano11092430>
- Neme, K., Nafady, A., Uddin, S., & Tola, Y. B. (2021). Application of nanotechnology in agriculture, postharvest loss reduction and food processing: food security implication and challenges. *Heliyon*, 7(12), e08539. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08539>
- Nongbet, A., Mishra, A. K., Mohanta, Y. K., Mahanta, S., Ray, M. K., Khan, M., Baek, K.-H., & Chakrabarty, I. (2022). Nanofertilizers: A Smart and Sustainable Attribute to Modern Agriculture. *Plants*, 11(19), 2587. <https://doi.org/10.3390/plants11192587>
- Saleem, H., & Zaidi, S. J. (2020). Recent Developments in the Application of Nanomaterials in Agroecosystems. *Nanomaterials*, 10(12), 2411. <https://doi.org/10.3390/nano10122411>

- Serag, M. F., Kaji, N., Gaillard, C., Okamoto, Y., Terasaka, K., Jabasini, M., Tokeshi, M., Mizukami, H., Bianco, A., & Baba, Y. (2011). Trafficking and Subcellular Localization of Multiwalled Carbon Nanotubes in Plant Cells. *ACS Nano*, *5*(1), 493–499. <https://doi.org/10.1021/nn102344t>
- Shaw, D. S., & Honeychurch, K. C. (2022). Nanosensor Applications in Plant Science. *Biosensors*, *12*(9), 675. <https://doi.org/10.3390/bios12090675>
- Swierczewska, M., Liu, G., Lee, S., & Chen, X. (2012). High-sensitivity nanosensors for biomarker detection. *Chem. Soc. Rev.*, *41*(7), 2641–2655. <https://doi.org/10.1039/C1CS15238F>
- Tang, W., Yan, T., Wang, F., Yang, J., Wu, J., Wang, J., Yue, T., & Li, Z. (2019). Rapid fabrication of wearable carbon nanotube/graphite strain sensor for real-time monitoring of plant growth. *Carbon*, *147*, 295–302. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2019.03.002>
- Zhang, P., Chen, Y., Li, Y., Zhang, Y., Zhang, J., & Huang, L. (2020). A Flexible Strain Sensor Based on the Porous Structure of a Carbon Black/Carbon Nanotube Conducting Network for Human Motion Detection. *Sensors*, *20*(4), 1154. <https://doi.org/10.3390/s20041154>
- Zhang, Q., Ying, Y., & Ping, J. (2022). Recent Advances in Plant Nanoscience. *Advanced Science*, *9*(2), 2103414. <https://doi.org/10.1002/adv.202103414>
- Zhu, L., Chen, L., Gu, J., Ma, H., & Wu, H. (2022). Carbon-Based Nanomaterials for Sustainable Agriculture: Their Application as Light Converters, Nanosensors, and Delivery Tools. *Plants*, *11*(4), 511. <https://doi.org/10.3390/plants11040511>

INTEGRACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA EN SECADOR SOLAR DIRECTO CON CONVECCIÓN FORZADA

JESUS ADRIAN RODRIGUEZ GURROLA¹, AURELIO CASTILLO LIÑÁN², YOLOCUAUHTLI SALAZAR MUÑOZ³

RESUMEN

Actualmente el proceso de deshidratado del chile poblano se realiza por medio de un secador solar directo tipo invernadero con convección forzada (activo), cuya medición de temperatura se lleva a cabo de manera manual utilizando un pirómetro de mano e ingresar al interior del secador. Por lo tanto, la calidad del producto se ve afectada por la perturbación ocasionada por esta técnica y ocasionalmente no se cumple con las condiciones en contenido de humedad y apariencia que exige la norma NMX-FF-107/1-SCFI- 2014.

Por lo que el objetivo es diseñar e integrar un sistema de medición de temperatura al proceso. Para ello, se analizó el sistema a medir, se seleccionó el sensor, microcontrolador y el tipo de comunicación según las características físicas del propio sistema, se implementó físicamente el sistema de medición en el deshidratador solar, seguido de las correspondientes pruebas de los dispositivos instalados, monitoreo del deshidratador con el sistema de medición de temperatura en funcionamiento, para esto se realizaron una serie de mediciones de temperatura con el uso de una red inalámbrica de sensores, en modo de mapeo dentro de las cámaras de deshidratado, según los resultados e interpretación es crucial la ubicación de los sensores que registraron esta variable.

Palabras clave: Temperatura, Deshidratador, Solar, Activo, IoT, Medición, Chile.

ABSTRACT

Currently, the poblano chili dehydration process is carried out by means of a greenhouse-type direct solar dryer with forced convection (active), whose temperature measurement is carried out manually using a hand-held pyrometer and

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 10040779@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. acastillo@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. ysalazar@itdurango.edu.mx

entering the interior of the dryer. Therefore, the quality of the product is affected by the disturbance caused by this technique and occasionally does not meet the conditions in moisture content and appearance required by NMX-FF-107/1-SCFI-2014.

Therefore, the objective is to design and integrate a temperature measurement system to the process. For this, the system to be measured was analyzed, the sensor, microcontroller and the type of communication were selected according to the physical characteristics of the system itself, the measurement system was physically implemented in the solar dehydrator, followed by the corresponding tests of the installed devices, monitoring of the dehydrator with the temperature measurement system in operation, for this purpose, a series of temperature measurements were taken with the use of a wireless network of sensors, in mapping mode inside the dehydration chambers, according to the results and interpretation, the location of the sensors that recorded this variable is crucial.

Keywords: Temperature, Dehydrator, Solar, Active, IoT, Measurement, Chili.

INTRODUCCIÓN.

La (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural., 2022) en su artículo llamado “Chile poblano, delicia del campo mexicano” nos dice que, internacionalmente México es el segundo productor con más de 140 mil hectáreas al cultivo de este fruto. Seguido de esto el (Instituto Nacional de Estadística y Geografía., 2019) marca dentro del sector productivo en la agricultura un referente de producción anual de Chile de 1,981,390 toneladas en México.

Como lo indica (SAGARPA., 2015) tres cuartas partes de la producción nacional de esta hortaliza la generan cuatro estados: Sinaloa (26%), Zacatecas (24%), Guanajuato (15%) y Durango (10%), en el anuario estadístico de la producción agrícola de Chile verde poblano (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021 a), Durango cuenta con 538.8 ha de superficie sembradas, 538.8 ha cosechadas, 0 ha siniestradas dando como resultado una producción de 8658.52 Ton con un valor de \$100,480,825.82, del cual pertenece al municipio de Poanas siembra y cosecha de 462.54 ha, una producción de 464.34 Ton destinado

para el secado de este producto, después del proceso de deshidratado obtiene un valor de producción de \$31,308,960.00 indicado en el cierre de agricultura municipal de Durango (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2021 b). Debido a esta demanda de chile seco se desarrollaron nuevas tecnologías en el mundo para realizar el proceso de deshidratado, derivado de esto existe una ecotecnología la cual utiliza secadores solares como método de deshidratado en Mexico según el ingeniero (González Ricardo, 2018), quien diseño y llevo a cabo la construcción de la deshidratadora solar en Rincón de Romos, Aguascalientes, como objetivo para bajar los costos de producción en el deshidratado. El prototipo que construyó es uno de tipo de invernadero de cristal, por dentro tiene una pared interna de láminas negras que funcionan como colectores solares, tiene dos ventiladores que hacen que circule el aire caliente de forma homogénea en las dos cámaras, manteniendo la temperatura al mismo nivel en ambas. Este proyecto se replicó en Oaxaca y Durango, resaltando el poblado Villa Unión, Poanas, Durango donde se encuentra el secador con el cual se trabajó, pertenece al Ing. Virgilio Morales Lara, productor y presidente del Consejo Nacional de Productores de Chile.

Según (Enrique & Rivera, 2019) los secadores solares más utilizados son de tipo invernadero, con las principales características de ser un secador solar directo tipo invernadero con circulación forzada, por medio de un ventilador de aire, la radiación solar penetra a través de la pantalla de vidrio hasta el producto. En su redacción (Getahun et al., 2021), el secado es la transferencia de masa y calor que excluye la humedad del producto sólido, al circular aire caliente a su alrededor para apropiarse del vapor liberado. La absorción de humedad continúa hasta que se igualan la presión de vapor del producto y la del medio ambiente. Así, el objetivo de cualquier tipo de secador es proporcionar más calor al producto para maximizar la presión de vapor del producto y decreciendo la humedad relativa del aire de secado, en el secado solar, el calor esencial para eliminar la humedad del producto se obtiene principalmente de la energía solar. El flujo de masa de aire puede ser convección forzada o natural. El producto se calienta mediante el paso de aire caliente dentro del producto, el producto absorbe directamente la energía solar o una combinación de ambos. Así como lo propuesto por (Abdenouri et al., 2022) nos dice que, en

relación con los resultados de la simulación de la temperatura de secado con base en la radiación solar, se observó que casi todos los productos agrícolas se pueden secar en un rango de temperatura adecuado de 40 °C a 80 °C a diferentes periodos de secado.

Según la norma mexicana (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014) de productos alimenticios –chiles secos enteros– parte 1 –especificaciones y métodos de prueba nos dice que la humedad se refiere al porcentaje de humedad presente en los chiles una vez que han sido deshidratados y se disponen para comercializarse, su contenido en los chiles secos enteros no deber exceder el límite de 12.5% según la Tabla 1.- Contenido de humedad en chiles secos. En cualquiera de sus clasificaciones, los chiles secos enteros del tipo comercial “chile ancho” tiene que presentar una apariencia uniforme; rojo intenso u oscuro sin decoloraciones para la clase extra. Clase I; ligera variación en la intensidad de color, sin decoloraciones. Clase II; variación en la intensidad del color incluyendo decoloraciones dentro de los límites de los requisitos mínimos. Estas características están indicadas en la Tabla 2.-Clasificación por color.

Para mejorar la eficiencia de cualquier secador se tiene que partir por analizar el comportamiento de las temperaturas en su interior y su medición, según las conclusiones del artículo publicado por (Vengsungnle et al., 2020), para medir la temperatura del aire interior y exterior se utilizan seis termopares tipo T, con una precisión del 0,1 % del fondo de escala, se puede encontrar que a frecuencias más altas de ventilación del aire y temperaturas de secado altas tienen un efecto significativo en la tasa de evaporación de la humedad en el Ganoderma, lo que da como resultado una mayor tasa de secado para el método II. También durante el procedimiento experimental del secado de banano que realizo (Nabnean & Nimnuan, 2020), para demostrar el potencial del secador solar, en este estudio se utilizaron termopares tipo K para medir la temperatura del aire en el secador (precisión $\pm 2\%$). En sus resultados experimentales obtuvieron una medición de temperatura por termopar tuvo una incertidumbre de ± 0.5 °C a la temperatura de ebullición. El análisis de incertidumbre indica que los datos medidos son lo suficientemente precisos para evaluar el rendimiento de los sistemas de secado

solar, los patrones de cambios de temperatura en diferentes posiciones fueron comparables para todos los lugares. Las temperaturas en diferentes posiciones en estos tres lugares variaron dentro de una banda estrecha para las posiciones T1 a T9.

En la metodología del artículo publicado por (Recio Colmenares & Pilatowsky Figueroa, 2019), la temperatura a la entrada de la cámara se registró por medio de un sensor PT1000, durante el procedimiento experimental, en la cámara de secado se estableció para el análisis de las cinéticas un dominio de temperaturas controladas de 40, 50 y 60 °C \pm 0.5. En conclusión, sea el caso de la cámara de secado con condiciones controladas podemos observar que la velocidad del aire y la temperatura controlada son los que definen el tiempo de secado y el contenido de humedad final que posee el alimento.

Actualmente el proceso de deshidratado del chile se realiza por medio de un secador solar directo con convección forzada (activo), cuya medición de temperatura se lleva a cabo de manera manual utilizando un pirómetro de mano e ingresar al interior del secador. Por lo tanto, la calidad del producto se ve afectada por la perturbación ocasionada por esta técnica.

Ya que la temperatura del proceso debe oscilar entre 50 y 60 grados centígrados, de preferencia mantenerse a 55 °C durante 8 horas continuas, para obtener como resultado el chile deshidratado en las condiciones en contenido de humedad y apariencia que exige la norma mexicana (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014). Aunado a esto toda la producción de nuestro colaborador esta bajo contrato para su exportación a los Estados Unidos de América.

Dado el caso que no existe una medición sobre la variable de temperatura, de forma precisa y continua, se tiene que partir por integrar un sistema de medición para el monitoreo del producto durante la deshidratación.

Por lo cual se plantea la hipótesis de que el sistema de medición de temperatura del secador solar permite mejorar la calidad del producto y eficiencia del proceso de deshidratado. Consecuente a esto, nuestro objetivo es diseñar e integrar un sistema de medición de temperatura interna en ambas cámaras del deshidratador solar, con el uso de tecnología inalámbrica.

Para ello, se tiene que seleccionar el sensor, microcontrolador y tipo de comunicación según las características físicas del propio sistema, implementar físicamente nuestros dispositivos en el deshidratador con el uso de una red inalámbrica de sensores seguido de las correspondientes pruebas de los dispositivos instalados, hay que analizar el comportamiento propio del secador en vacío (sin producto), medir con ventilación forzada en modo de mapeo, realizar una serie de mediciones de temperatura, dentro de las cámaras de deshidratado.

MATERIALES.

Descripción del secador solar.

El área de estudio de este proyecto se centra en el uso de las ecotecnologías dado es el caso de este secador solar que fue construido en el poblado de Villa Unión, municipio de Poanas del estado de Durango, Mexico. Es uno de tipo de invernadero con paredes y techo de cristal de 5 mm de espesor, por dentro tiene una pared interna de láminas negras que funcionan como colectores solares, tiene dos ventiladores de 5 Hp a 1780 rpm que hacen que circule el aire caliente de forma homogénea en las dos cámaras, las dimensiones del secador son de 4.8 m de ancho x 13 m de largo x 2.4 m de alto con un techo de tipo aguilón. Este tipo de tecnología requiere de una investigación del tipo aplicada. En la Figura 1 se muestra una fotografía del secador.



Figura 1: Fotografía del secador solar directo con convección forzada tipo invernadero.

MÉTODO EXPERIMENTAL.

Se plantea la hipótesis de que el sistema de medición de temperatura del secador solar permite mejorar la calidad del producto y eficiencia del proceso de deshidratado.

Selección de dispositivos.

El universo de temperaturas internas en el secador corresponde a un intervalo de 0 °C a 100 °C, por lo que se seleccionan los siguientes dispositivos: Termopar tipo K Figura 2 (a) con un rango de -100°C a 1250°C una precisión $\pm 0.75\%$, resolución de 0.25 °C y una sonda de 10 cm con cable compensado de 3 metros de longitud. Microcontrolador Atmega 328p Figura 2 (b). Módulo transceptores de radiofrecuencia NRF24L01 y un NRF24L01+PA+LNA Figura 2 (c) y 2 (d). La comunicación entre sensores y receptor se selecciona de tipo inalámbrica, mediante radio frecuencia de largo alcance. Una caja plástica para exterior grado de protección IP65 con 158mm de largo x 90mm de ancho x 60mm de alto para alojar el microcontrolador y el módulo transceptor.

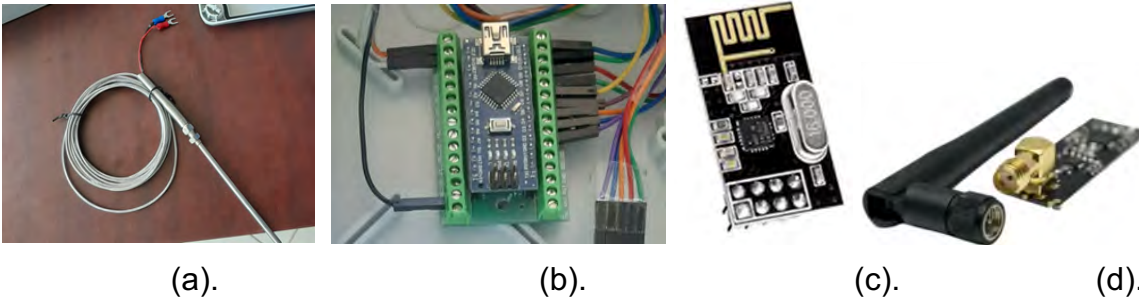


Figura 2: Termopar tipo K (a), microcontrolador Atmega328p (b), NRF24L01 (c), NRF24L01+PA+LNA (d).

Implementación física.

Previo a la integración del sistema de medición se realiza la construcción de los equipos (Figura 3), donde se realizaron los trabajos manuales requeridos para la correcta fijación y conexión de los dispositivos.

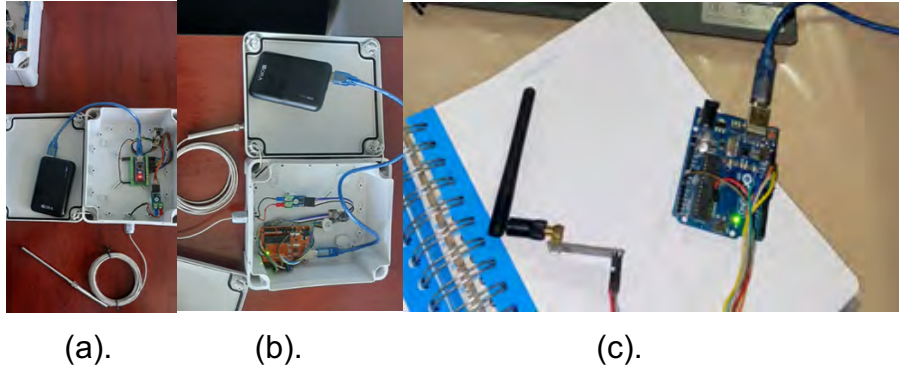


Figura 3: Fotografías de los equipos de medición (a), (b) y receptor (c).

Integración de equipos de medición en el deshidratador.

En la Figura 4 visualizamos en un diagrama de flujo como esta constituido nuestro sistema y el cual integramos al secador, indicando una medición física de la temperatura, transmitida por el termopar hacia el microcontrolador por medio de comunicación SPI (interfaz periférica serial) el cual interpreta la señal analógica y la convierte en datos digitales, de igual forma el dato es comunicado al modulo NRF24L01 y transmitido por el de forma inalámbrica hacia el receptor NRF24L01+PA+LNA a 2.5GHz y una velocidad de transmisión de 2 Mbps. Este comunica el dato recibido al microcontrolador y lo enviamos por medio de comunicación serial al software LabVIEW 2015.

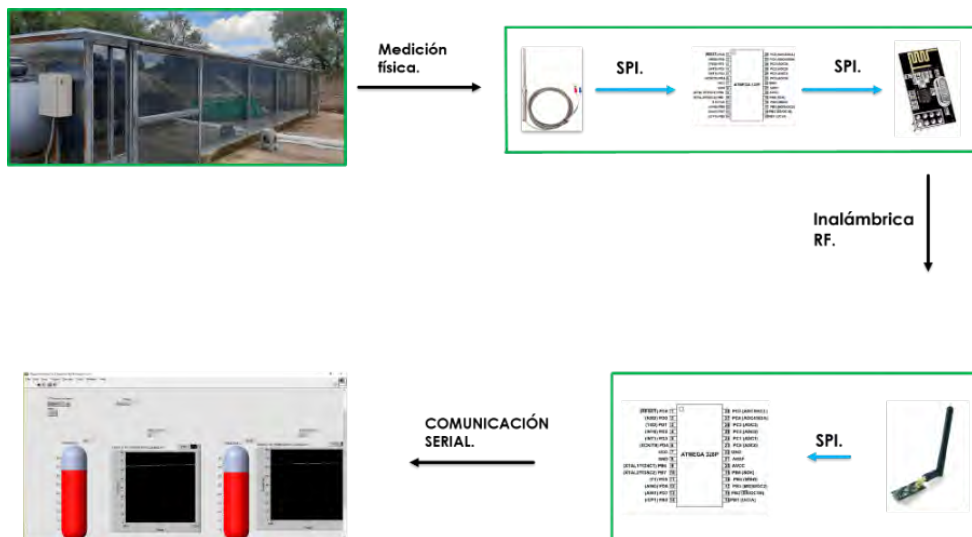


Figura 4: Diagrama de Flujo del sistema de medición para el secador solar.

Instalación física en deshidratador de todos los elementos de medición.

Los equipos de medición fueron instalados de forma provisional a una distancia media tanto en longitud, ancho y alto de cada una de las cámaras, se muestra la posición de esto en la figura 5.



Figura 5: Posición de los equipos de medición en ambas cámaras de deshidratado exterior (a) e interior (b).

Para el receptor inalámbrico de datos (temperaturas) realizamos las debidas conexiones y comunicaciones entre dispositivos y software NRF24L01+PA+LNA, Atmega328p y LabVIEW 2015, el cual posicionamos a manera de prototipo a un costado de la laptop figura 6.

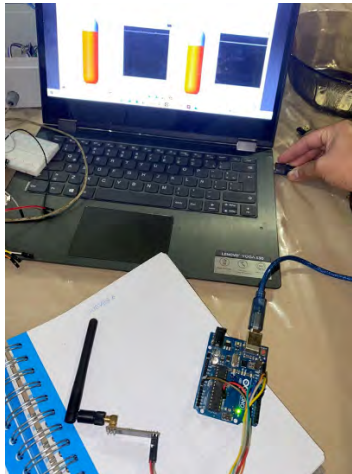


Figura 6: Posición del receptor.

Programación a microcontroladores.

Para la programación de los microcontroladores Atmega 328p se utilizamos el IDE Arduino, donde a continuación presentamos en diagrama de flujo para los sensores 1 y 2 ambos receptores y receptor.

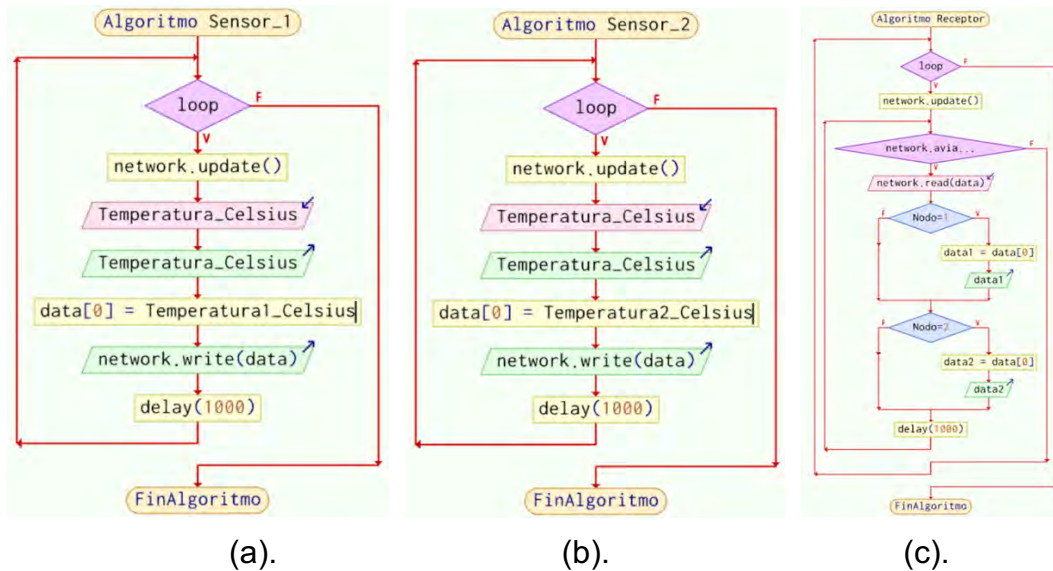


Figura 7: Diagrama de flujo de la programación del sensor 1 (a), 2 (b) y receptor (c).

Adquisición y Presentación de Datos en software LabVIEW 2015:

Para su adquisición e interpretación configuramos como se muestra en la figura 8, un diagrama de bloques en el software donde agregamos la configuración serial para recibir los datos del Atmega 328p, un convertidor de datos string a dato numérico, seguido de esto agregamos tres bloques donde visualizamos los datos en indicadores, otro bloque donde guardamos los datos en dos archivos xls (hoja de cálculo de Microsoft Excel).

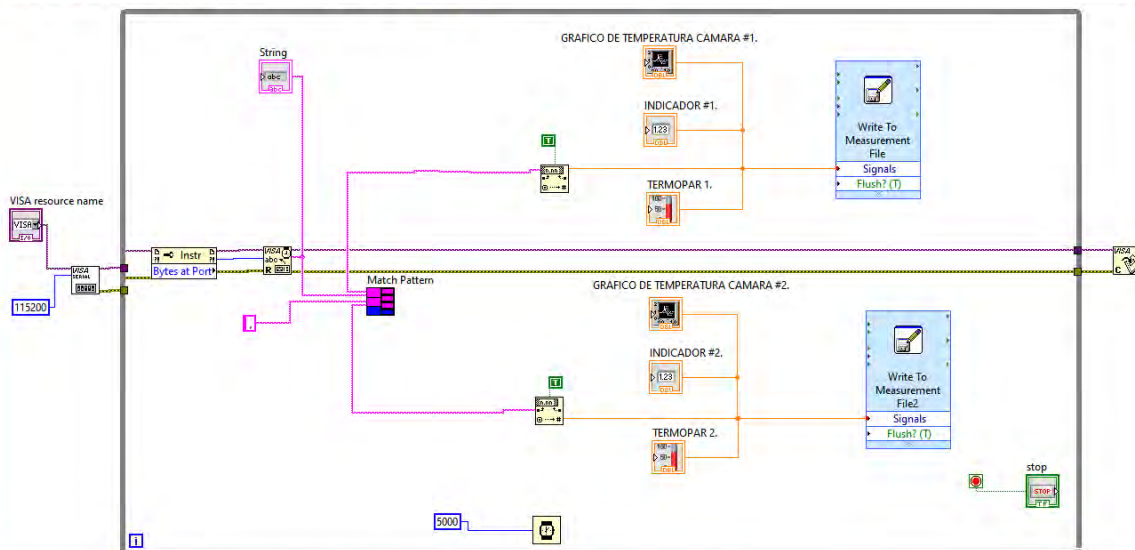


Figura 8: Diagrama de Bloques en software LabVIEW.

Mapeo del comportamiento de temperaturas dentro del secador solar con ventilación forzada.

Para el mapeo de temperaturas internas en el secador, recolectamos los datos en forma matricial de 9 puntos posicionados en el espacio volumétrico de una sola cámara de deshidratado como se muestra en la figura 9, la ventilación forzada que generamos hace que circule el aire caliente de forma homogénea en las dos cámaras, manteniendo la temperatura al mismo nivel en ambas, analizamos el comportamiento propio del secador en vacío (sin producto). Para este método se utiliza una estadística descriptiva.

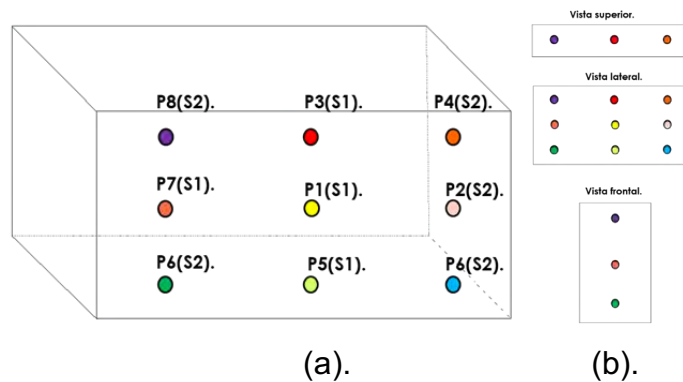


Figura 9: Posición matricial de los sensores 1 y 2 (a), vistas del posicionamiento (b).

RESULTADOS.

En la siguiente figura 10. Se muestra el resultado de la programación de bloques el cual se visualiza en un panel frontal, indicamos en dos figuras tipo termómetro la temperatura en ambas cámaras, así como en un gráfico de líneas correspondiente a cada termómetro y un indicador digital para cada cámara.

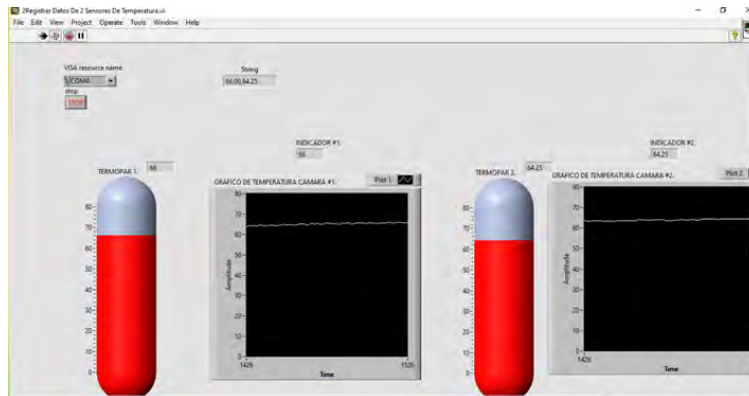
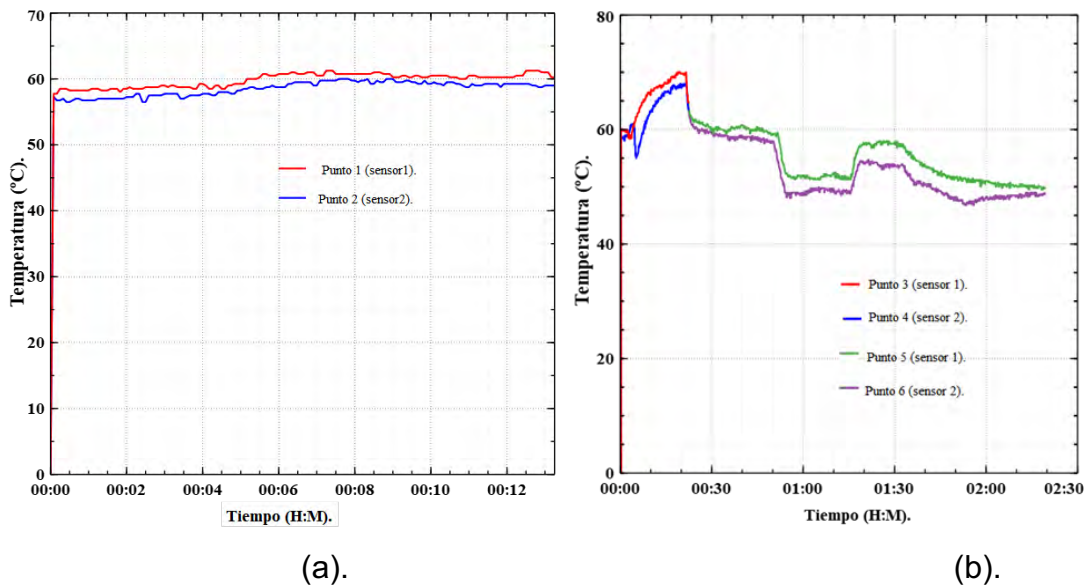


Figura 10: Panel frontal desarrollado en LabVIEW.

Tabla 1. Mediciones del comportamiento de temperaturas.

Posiciones en el secador:	Temperatura inicial (°C):	Temperatura final (°C):	Tiempo inicial (minutos):	Tiempo final (minutos):
Punto1 (S1)	58.75	61.25	0	12
Punto 2 (S2)	56.50	61.00	0	12
Punto 3 (S1)	67.25	60.75	0	22
Punto 4 (S2)	65.00	60.00	0	22
Punto 5 (S1)	60.25	49.50	25	140
Punto 6 (S2)	58.00	49.00	25	140
Punto 7 (S1)	44.25	60.50	0	15
Punto 8 (S2)	61.50	60.75	0	15
Punto 9 (S2)	46.75	60.50	0	24

En la Tabla 1 se muestran las mediciones de temperatura inicial y final en cada punto medido con su respectivo intervalo de tiempo donde cada temperatura alcanza aproximadamente la estabilidad. En las siguientes figuras 11 y 12, se muestran las temperaturas en la matriz de puntos del secador, graficados sensor 1 vs sensor 2.

**Figura 11:** Gráficos de temperaturas en puntos 1, 2 (a) y puntos 3, 4, 5, 6 (b).

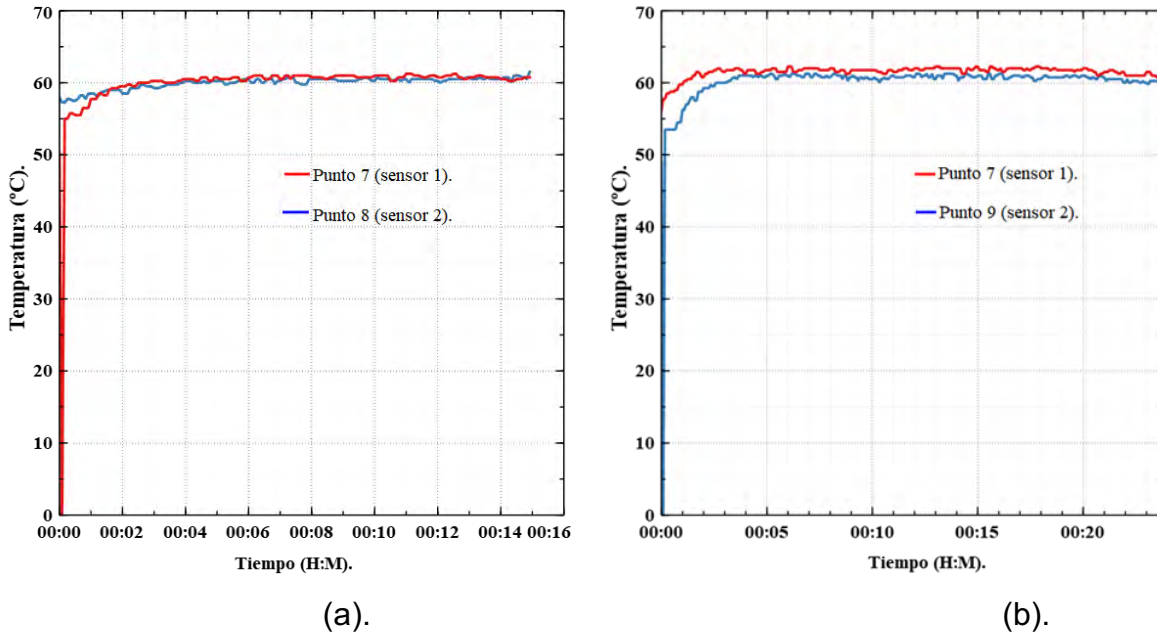


Figura 12: Grafica de temperaturas en los puntos 7, 8 (a) y puntos 7, 9 (b).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

Las mediciones de temperatura dados en diferentes puntos de la cámara de deshidratado tal es el caso de la figura 11 (a) de los puntos uno y dos nos indican que en un intervalo de 0 a 12 minutos según la tabla 1, las temperaturas alcanzan el punto de equilibrio, las dos temperaturas 61.25 °C y 61.00 relativamente en algún instante tienen el mismo nivel. Así en la figura 11 (b) tenemos cuatro mediciones de la matriz correspondientes a los puntos tres (60.75 °C), cuatro (60.00 °C), cinco (49.50), y seis (49.00), los cuales se comportan de la misma manera, pero en niveles diferentes. Figura 12 (a) observamos el punto siete y ocho con valores de temperatura final de 60.50 °C y 60.75 °C en un intervalo de tiempo de 0 a 15 minutos. Como medición extra se tomó como referencia el punto siete contrastado con el punto nueve, tenemos valores de 60.50 °C y 60.50 °C en un lapso de 0 a 24 minutos. Estos niveles en cada punto nos indican que efectivamente existe la homogeneidad de temperaturas provocadas por la ventilación forzada.

Interpretando el análisis de las mediciones de las temperaturas nos damos cuenta de que la posición adecuada para colocar uno de los dos sensores es en la parte central del volumen de cada cámara donde la temperatura mantiene una media estadística, por lo que se determina el punto de instalación en la posición 1.

Durante las mediciones de temperaturas en cualquier punto al momento de cambiar manualmente la posición de los sensores, se abre la puerta aplicando una perturbación o entrada de tipo escalón, esto nos muestra en el gráfico una curva de tipo exponencial, comportándose el secador como un sistema de primer orden, dando cavidad a trabajos futuros con el objetivo de controlarla la variable de temperatura.

Con los resultados obtenidos podemos concluir que la hipótesis es verdadera y nos permite mejorar la calidad del producto y eficiencia del proceso de deshidratado al conocer la temperatura en tiempo real y poder tomar las decisiones acertadas de retirar o mantener el producto por más tiempo dentro del proceso de deshidratado impactando así directamente en el porcentaje de humedad y apariencia que la norma (NMX-FF-107/1-SCFI-2014, 2014) exige.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdenouri, N., Zoukit, A., Salhi, I., & Doubabi, S. (2022). Model identification and fuzzy control of the temperature inside an active hybrid solar indirect dryer. *Solar Energy*, 231, 328–342.
<https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2021.11.026>
- González Ricardo. (2018, febrero 26). *Diseñan prototipo de deshidratadora de chiles*. <https://bit.ly/42c2oae>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). *Cultivos Anuales. Producción. Chile, Estados Unidos Mexicanos*.
<https://bit.ly/3NpQrtM>
- Nabnean, S., & Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100787.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100787>
- Recio Colmenares, R. Berenice., & Pilatowsky Figueroa, C. Livier. (2019). Experimental study of Green tomato dehydration (*Pysalis ixocarpa* brot) using a direct type solar dryer. *Bistua Revista de la Facultad de Ciencias Básicas.*, 17(1), 76–86.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2019.3136>
- SAGARPA. (2015). *Hortalizas Chile poblano*. <https://bit.ly/40RDfkn>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022, septiembre 17). *Chile poblano, delicia del campo mexicano*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
<https://bit.ly/427Laeq>
- NMX-FF-107/1-SCFI-2014, (2014). <https://bit.ly/3LGqdSf>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021a). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de Chile Verde Poblano*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/3AlqD4p>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021b). *Cierre agricultura municipal 2021*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
<https://bit.ly/3AlqD4p>
- Vengsungnle, P., Jongpluempiti, J., Srichat, A., Wiriyasart, S., & Naphon, P. (2020). Thermal performance of the photovoltaic–ventilated mixed mode greenhouse solar dryer with automatic closed loop control for *Ganoderma* drying. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100659.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100659>

ANÁLISIS CRONOLÓGICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA MEDIANTE IMÁGENES PARA DETERMINAR LA MADUREZ FISIOLÓGICA

PATRICIA AYALA VERDÍN¹, RUBÉN GUERRERO RIVERA², OSCAR GILBERTO ALANIZ VILLANUEVA³, AURELIO CATILLO LIÑÁN⁴

RESUMEN

Para poder llevar a cabo una investigación acerca de un cultivo es necesario implementar técnicas o tecnologías que ayuden a identificar información y características que interfieran en los procesos fisiológicos de las plantas.

Las redes neuronales convolucionales de tipo U-Net son las más utilizadas para poder detectar características específicas dentro de una imagen, ya que estas trabajan con imágenes segmentadas, lo que ayuda a su fácil interpretación.

El presente trabajo de investigación plantea el uso de una red neuronal convolucional de tipo U-Net dentro de un cultivo de cebolla. La red neuronal fue entrenada con 2200 fotografías que se obtuvieron de diversas plantas de cebolla que se seleccionaron dentro del cultivo. La toma de fotografías fue de forma cronológica a lo largo de un periodo de crecimiento, luego de obtener las fotografías se implementó la segmentación semántica, en donde solo se seleccionó lo que era las hojas y el tallo de la planta de cebolla, para finalmente entrenar el modelo de la red, en donde se obtuvieron 93.90% de precisión al momento de su entrenamiento, así como una predicción acertada de la planta de cebolla. Los resultados obtenidos muestran que la utilización de una red neuronal convolucional U-Net puede ser una herramienta eficaz para mejorar la producción de la cebolla al poder detectar las características de esta, y poder utilizar estos resultados para futuras investigaciones.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 22040323@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. rubenguerrero@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana.
Oscar.av@vguadiana.tecnm.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. acastillo@itdurango.edu.mx

Palabras clave: Red Neuronal, cebolla, entrenamiento, fotografías, segmentación semántica

ABSTRACT

To carry out research on a crop, it is necessary to implement techniques or technologies that help identify information and characteristics that interfere with the physiological processes of plants.

U-Net convolutional neural networks are the most used to detect specific features within an image, as they work with segmented images, which aids in their easy interpretation.

This research proposes the use of a U-Net convolutional neural network within an onion crop. The neural network was trained with 2200 photographs obtained from various onion plants selected within the crop. The photographs were taken chronologically over a growth period, and semantic segmentation was implemented, selecting only the leaves and stem of the onion plant. Finally, the network model was trained, obtaining 93.90% accuracy during training and accurate prediction of the plant. The results show that the use of a U-Net convolutional neural network can be an effective tool for improving onion production by detecting its characteristics and using these results for future research.

Keywords: neural networks, onion, training, photographs, semantic segmentation

INTRODUCCIÓN

La cebolla (*Allium cepa*) es un cultivo que se produce principalmente en Asia, África, Europa, América y Oceanía. Por las características con las que cuenta la cebolla con relación a su almacenamiento y su durabilidad de envío, estas son comercializadas con mayor facilidad a comparación de las demás hortalizas. (Suleria et al., 2014) Según la información encontrada en (FAOSTAT, 2021) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) la producción mundial de la cebolla en el año 2021 fue de 4,562,530.02 toneladas, el principal país de producción fue China con una producción de 605,153.61 toneladas. México en el mismo año, obtuvo una producción de 97,360.16 toneladas. En la

entidad de Durango, se consiguió una producción total de 14,140.35 toneladas donde el municipio de Mapimí fue el principal productor con la cantidad de 9360 toneladas, en cambio el municipio de Durango, su producción fue de 107.80 toneladas.(Producción Agrícola | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | Gob.Mx, 2021.).

Según (Saini & Saini, 2020) señala que el aumento del crecimiento de la población ha hecho que la agricultura se convierta en un sector muy importante de manera mundial, por ello la agricultura tiene como desafío mejorar la eficiencia y la calidad de sus productos finales sin un control físico constante para poder satisfacer de manera completa la demanda de alimentos. Para estos desafíos existen la agricultura de precisión la cual ayuda a optimizar el uso de los insumos agrícolas ya que se utilizan la cantidad correcta de insumos, así como el momento adecuado y en el lugar exacto. La agricultura de precisión (AP) utilizan tecnologías para recabar información acerca de sus cultivos. Ya existe una evolución de la agricultura de precisión, esta se llama agricultura 4.0 o agricultura inteligente la cual utiliza principalmente el internet de las cosas, Big Data, Inteligencia Artificial y la Robótica, estas herramientas ayudan a amplificar, agilizar y hacer mas eficientes las actividades que se efectúan dentro de la agricultura.(da Silveira et al., 2021)

Para poder estudiar el crecimiento de un cultivo es necesario identificar los factores que influyen en su desarrollo. Para ello es necesario utilizar herramientas apropiadas, que existen de una combinación de la agricultura con las tecnologías, las cuales ayudan a la identificación de información y algunas características que interfieren en los procesos fisiológicos de las plantas.(*Repositorio Institucional Caxcán: Identificación de Parámetros Comunes En Un Cultivo de Cebolla (Allium Cepa) Mediante PDI*, n.d.). De acuerdo con (Fidel López Saca, 2019) mientras aumenta la capacidad de procesamiento de las computadoras, se ha tenido que buscar que estos sean capaces de imitar algunas funciones que realizamos los seres humanos. Uno de los sentidos que más intervine en nuestra vida diaria es la vista, en donde empresas y una gran cantidad de investigaciones han buscado desarrollar métodos para lograr que las computadoras puedan distinguir y clasificar diversas imágenes.

Las redes neuronales convolucionales (CNN) conformadas por modelos matemáticos, las cuales simulan el comportamiento de las neuronas de un cerebro biológico, lo cual permite realizar diversas tareas a la vez tal como identificar y clasificar imágenes.(Israel Izquierdo-Valladarez & Pablo Cuenca-Tapia, 2020). Las CNN tiene como componente básico la convolución, por lo cual su nombre. La convolución es una operación la cual es entre matriz de entrada y la matriz de filtros, obteniendo un resultado un mapa de características. Una imagen esta representada por una matriz o matrices. Las CNN, son redes utilizadas para procesar imágenes, estas aprenden relaciones entre entrada y salida, en donde su entrada es una imagen. Sus principales trabajos son, la detección o categorización de objetos, clasificación de imágenes. Trabajan principalmente con imágenes filtradas utilizando una máscara, estas mascararas producen distintos resultados.(Loncomilla, n.d.).

Una de las arquitecturas son las redes neuronales convolucionales de tipo U-NET, las cuales han presentado un gran desempeño trabajando con imágenes segmentadas. La segmentación de imágenes es posible utilizando diversos filtros, ya que simplifica las imágenes, pues remueve fondos y objetos que no son de interés, lo cual ayuda a facilitar su interpretación.(Felipe et al., 2022).

Por ello en el presente trabajo de investigación, se propone segmentar las diversas partes de la planta de cebolla durante su cultivo, como las hojas, el tallo y si se observa el bulbo. Los resultados de la segmentación semántica, nos ayudara para utilizar una red neuronal convolucional de tipo U-NET para su entrenamiento y observar si la red neuronal puede detectar la planta de cebolla.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Se utilizó como área de estudio un campo de cultivo sembrado con cebolla, el cual se encontraba en el Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana, km. 22.5 carretera Durango-México, Villa Montemorelos, Dgo.

Diseño estadístico

Para trabajar con el cultivo primero se realizó la eliminación de orilla o el efecto orilla, el cual consiste en descartar las primeras camas o surcos del cultivo ya que estas suelen estar propensas a daños externos, después se dividió el cultivo restante en una cuadrícula de 3x3 obteniendo 9 cuadros en total, luego se seleccionó los cuadros de las esquinas inferiores y superiores y el cuadro central, esto para tener muestras de diversos puntos del cultivo, ya que es diferente el crecimiento en todo el cultivo. En cada cuadro se tenía 4 camas para trabajar, en cada cama se seleccionó 10 plantas que estuvieran continuas para su facilidad de detección, ya que se pretendió trabajar con las mismas plantas durante un periodo del ciclo de crecimiento de la planta de cebolla. En total se seleccionaron 200 plantas, como se muestra en la ilustración 1.

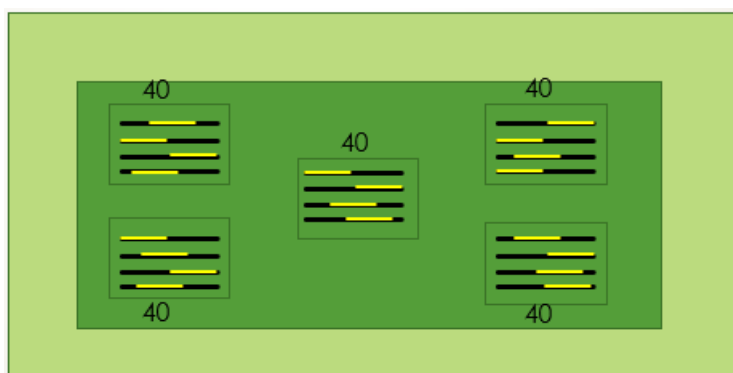


Ilustración 3 División del cultivo de cebolla a trabajar.

Toma de fotografías

Se utilizó una cámara fotográfica con lente EF-S 18-55 mm con una resolución de 18 Mp. La toma de fotografías se realizó los sábados durante el periodo noviembre 2022 a enero 2023, obteniendo un total de 2200 fotografías. Tabla 1.

La cámara se colocó sobre un bastón de selfies, este nos servía para que al momento de la captura de la imagen fuera a la misma altura, también se utilizaba una regla de 30 cm, esta nos ayudaba para que fuera a la misma distancia de la planta. Se tomaba la fotografía frente a la planta a trabajar.

Tabla 4 Fechas de toma de fotografías

Fecha	Cantidad de fotografías
12 noviembre 2022	200
19 noviembre 2022	200
26 noviembre 2022	200
03 diciembre 2022	200
10 diciembre 2022	200
17 diciembre 2022	200
24 diciembre 2022	200
31 diciembre 2022	200
07 enero 2023	200
14 enero 2023	200
21 enero 2023	200
Total	2200

Segmentación de imágenes

Para la segmentación de imágenes se utilizó una página de internet de uso libre, llamada Robloflow, Ilustracion2., la cual es un startup cuyo principal objetivo es hacer más fácil el proceso de la realización de modelos de visión por computadora. Para segmentar las imágenes se utilizó la clase tallo y la clase hoja, ya que estas son las que queremos detectar en la fotografía. Para seleccionar cada clase se utilizó la herramienta llamada polygon tool, esta nos ayudó a que fuera más exacta la selección de los objetos. Se trabajaron con todas las fotografías que anteriormente se habían obtenido.

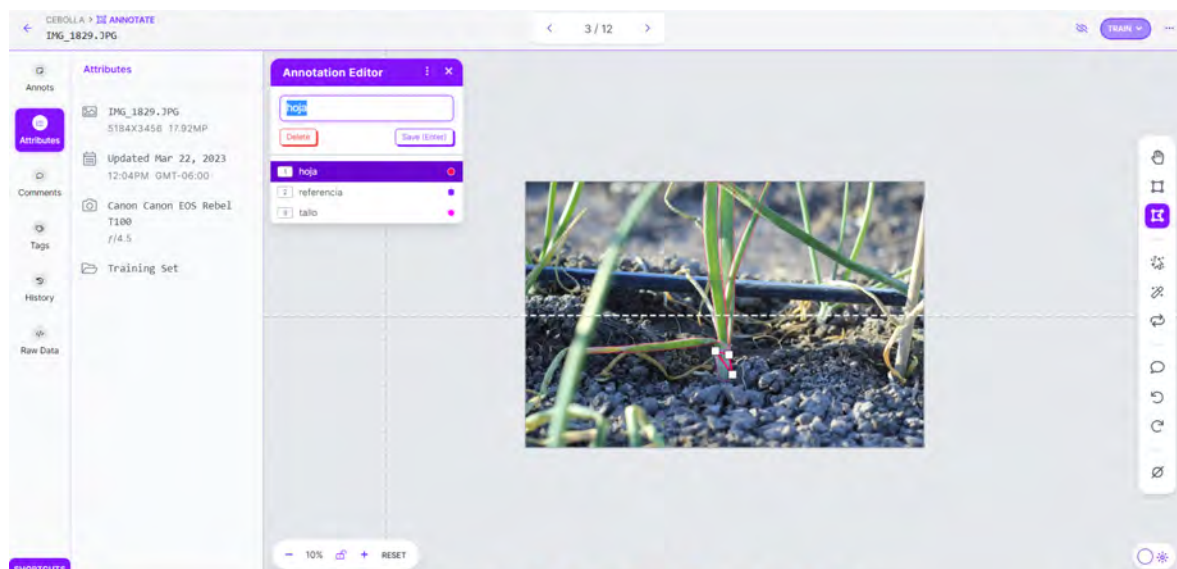


Ilustración 4 página Roboflow, ejemplo de segmentación de la imagen.

Selección de algoritmo de clasificación

Para seleccionar un algoritmo de clasificación se buscó información acerca de los diversos algoritmos y sus características de trabajo, luego de la búsqueda se optó por trabajar con la red neuronal convolucional de tipo U-Net, ya que es una red neuronal que trabaja con imágenes segmentadas y que obtiene características de estas, teniendo así una mayor precisión en comparación a los modelos convencionales. La arquitectura de U-Net es como se muestra en la Ilustración 3, en donde se observa todas las capas con las que trabaja este tipo de red, así como las cantidades de convoluciones que se realizan para sacar las características que se encuentran en la imagen.

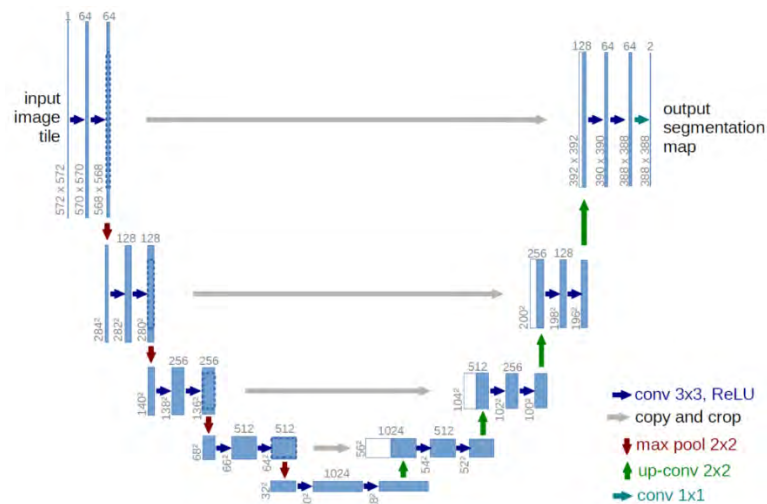


Ilustración 5 Arquitectura de CNN U-NET

Procesamiento de imagen

Para el procesamiento de imagen se empleó una herramienta de Google, la cual se llama Google Colab, esta nos permite realizar y ejecutar códigos en Python a través de servidores de Google, en este te otorga un servicio gratuito en la nube para el uso de GPU el cual ayuda a que se implemente de manera más rápida la red neuronal. En esta herramienta se utilizó el código de la U-Net así como su entrenamiento. Ilustración 4.


```
[ ] import tensorflow as tf
import keras
from keras.layers import Conv2D, MaxPooling2D, Dense, Flatten, Dropout, Conv2DTranspose

from keras.engine import InputLayer
inp = tf.keras.layers.Input((512,512,3))

c1=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(inp)
c1=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c1)
m1=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c1)

c2=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(m1)
c2=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c2)
m2=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c2)

c3=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(m2)
c3=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c3)
m3=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c3)

c4=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(m3)
c4=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c4)
m4=tf.keras.layers.MaxPooling2D(pool_size=(2,2), strides=(2,2))(c4)

c5=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1024, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(m4)
c5=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1024, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c5)

t6=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=512, kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2))(c5)
cc6=tf.keras.layers.concatenate([t6,c4])
c6=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(cc6)
c6=tf.keras.layers.Conv2D(filters=512, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c6)

t7=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=256, kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2))(c6)
cc7=tf.keras.layers.concatenate([t7,c3])
c7=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(cc7)
c7=tf.keras.layers.Conv2D(filters=256, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c7)

t8=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=128, kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2))(c7)
cc8=tf.keras.layers.concatenate([t8,c2])
c8=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(cc8)
c8=tf.keras.layers.Conv2D(filters=128, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c8)

t9=tf.keras.layers.Conv2DTranspose(filters=64, kernel_size=(2,2),padding="valid", strides=(2,2))(c8)
cc9=tf.keras.layers.concatenate([t9,c1])
c9=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(cc9)
c9=tf.keras.layers.Conv2D(filters=64, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="relu")(c9)

out=tf.keras.layers.Conv2D(filters=1, kernel_size=(3,3),padding="same",activation="sigmoid")(c9)

model=tf.keras.Model(inputs=[inp], outputs=[out])
```

Ilustración 6 Código CNN U-NET

RESULTADOS

Al momento de realizar la segmentación de imágenes se obtuvo las máscaras las cuales son binarias de cada una de las imágenes utilizadas para segmentar. Ilustración 5. Para poder visualizar los resultados de la máscara se tuvo que realizar un código en Python para poder dibujar en tonos grises las máscaras y así poder visualizar el resultado. Ilustración 6.



Ilustración 7 Ejemplo de imagen a segmentar



Ilustración 8 Ejemplo de mascara binaria segmentación

Luego de la segmentación de las imágenes se entreno una red neuronal de tipo U-NET en donde se obtuvo buenos resultados ya que en exactitud se obtuvo 0.93.90 trabajando con 20 épocas de entrenamiento, como se muestra en la ilustración7.

```

Epoch 1/20
8/8 [=====] - 15s 872ms/step - loss: 0.0670 - accuracy: 0.9752 - val_loss: 0.5511 - val_accuracy: 0.9255
Epoch 2/20
8/8 [=====] - 6s 759ms/step - loss: 0.0232 - accuracy: 0.9906 - val_loss: 0.6398 - val_accuracy: 0.9274
Epoch 3/20
8/8 [=====] - 6s 804ms/step - loss: 0.0235 - accuracy: 0.9902 - val_loss: 0.6281 - val_accuracy: 0.9270
Epoch 4/20
8/8 [=====] - 6s 722ms/step - loss: 0.0231 - accuracy: 0.9905 - val_loss: 0.5925 - val_accuracy: 0.9278
Epoch 5/20
8/8 [=====] - 6s 756ms/step - loss: 0.0464 - accuracy: 0.9826 - val_loss: 0.6901 - val_accuracy: 0.9250
Epoch 6/20
8/8 [=====] - 6s 801ms/step - loss: 0.0224 - accuracy: 0.9907 - val_loss: 0.6394 - val_accuracy: 0.9288
Epoch 7/20
8/8 [=====] - 6s 759ms/step - loss: 0.0242 - accuracy: 0.9900 - val_loss: 0.5392 - val_accuracy: 0.9297
Epoch 8/20
8/8 [=====] - 7s 834ms/step - loss: 0.0222 - accuracy: 0.9907 - val_loss: 0.4070 - val_accuracy: 0.9368
Epoch 9/20
8/8 [=====] - 6s 730ms/step - loss: 0.0217 - accuracy: 0.9910 - val_loss: 0.5047 - val_accuracy: 0.9345
Epoch 10/20
8/8 [=====] - 6s 727ms/step - loss: 0.0204 - accuracy: 0.9915 - val_loss: 0.4712 - val_accuracy: 0.9351
Epoch 11/20
8/8 [=====] - 6s 769ms/step - loss: 0.0252 - accuracy: 0.9896 - val_loss: 0.3278 - val_accuracy: 0.9447
Epoch 12/20
8/8 [=====] - 6s 801ms/step - loss: 0.0241 - accuracy: 0.9901 - val_loss: 0.3801 - val_accuracy: 0.9361
Epoch 13/20
8/8 [=====] - 6s 728ms/step - loss: 0.0245 - accuracy: 0.9899 - val_loss: 0.3475 - val_accuracy: 0.9431
Epoch 14/20
8/8 [=====] - 6s 734ms/step - loss: 0.0234 - accuracy: 0.9904 - val_loss: 0.3473 - val_accuracy: 0.9423
Epoch 15/20
8/8 [=====] - 7s 849ms/step - loss: 0.0227 - accuracy: 0.9906 - val_loss: 0.2935 - val_accuracy: 0.9427
Epoch 16/20
8/8 [=====] - 6s 733ms/step - loss: 0.0163 - accuracy: 0.9933 - val_loss: 0.3798 - val_accuracy: 0.9436
Epoch 17/20
8/8 [=====] - 7s 844ms/step - loss: 0.0243 - accuracy: 0.9901 - val_loss: 0.2898 - val_accuracy: 0.9414
Epoch 18/20
8/8 [=====] - 6s 737ms/step - loss: 0.0685 - accuracy: 0.9749 - val_loss: 0.5633 - val_accuracy: 0.9332
Epoch 19/20
8/8 [=====] - 6s 776ms/step - loss: 0.0202 - accuracy: 0.9919 - val_loss: 0.4860 - val_accuracy: 0.9373
Epoch 20/20
8/8 [=====] - 6s 812ms/step - loss: 0.0163 - accuracy: 0.9933 - val_loss: 0.4828 - val_accuracy: 0.9390
<keras.callbacks.History at 0x7fcd920dc970>

```

Ilustración 9 Resultados de entrenamiento de CNN

Después de los resultados se realizó una predicción con los datos obtenidos con el entrenamiento de la red neuronal, en donde se puede observar en la Ilustración 8.

Por ello se puede decir que la red funciona correctamente para la detección de la planta de cebolla.



Ilustración 10 Resultados de la predicción mediante datos de entrenamiento

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al realizar este trabajo de investigación se observó que los resultados obtenidos al momento de entrenar la red neuronal de tipo U-Net son buenos, ya que se obtuvo una precisión deseada, pues se dice que, si se obtiene una precisión del 100% al entrenar, no siempre significa que el modelo sea óptimo, por lo cual se tiene que hacer una evaluación cuidadosa para garantizar que la red este ajustada de manera adecuada. Este trabajo de investigación se realizó en campo y esto ocasionó que la toma de fotografías no fuera tan precisa como se deseaba, puesto que el suelo cambiaba a consecuencia del agua al momento del riego del cultivo, se puede concluir que el objetivo de utilizar una red neuronal U-Net para detectar las plantas de cebolla durante su cultivo se logró, esta investigación podrá ayudar a futuras investigación para detectar crecimiento o características específicas del cultivo o de cualquier otro cultivo tomando como base esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- da Silveira, F., Lermen, F. H., & Amaral, F. G. (2021). An overview of agriculture 4.0 development: Systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. *Computers and Electronics in Agriculture*, 189, 106405. <https://doi.org/>
- FAOSTAT. (n.d.). Retrieved April 23, 2023, from <https://www.fao.org/>
- Felipe, J., Salazar, M., Corona, O., Rodrigo, J., & Posada, J. (2022). Conteo de gránulos usando redes neuronales tipo U-Net y componentes conectados. *Ingeniería Industrial*, 137–153. <https://doi.org/>
- Fidel López Saca. (2019, May 30). *Clasificación de imágenes usando redes neuronales convolucionales*. <http://zaloamati.azc.uam.mx/>
- Israel Izquierdo-Valladarez, J. I., & Pablo Cuenca-Tapia, J. I. (2020). Reconocimiento de objetos del hogar, usando redes neuronales convolucionales para personas con discapacidad visual. *Polo Del Conocimiento*, 5(01), 563–580. <https://doi.org/>
- Loncomilla, P. (n.d.). *Deep learning: Redes convolucionales*.
- Producción Agrícola | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera | Gobierno | gob.mx*. (n.d.). Retrieved April 23, 2023, from <https://www.gob.mx>
- Repositorio Institucional Caxcán: Identificación de parámetros comunes en un cultivo de cebolla (Allium cepa) mediante PDI*. (n.d.). Retrieved March 22, 2022, from <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/>
- Saini, M. K., & Saini, R. K. (2020). Agriculture monitoring and prediction using Internet of Things (IoT). *PDGC 2020 - 2020 6th International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing*, 53–56. <https://doi.org/10.1109/PDGC50313.2020.9315836>
- Suleria, H. A. R., Butt, M. S., Anjum, F. M., Saeed, F., & Khalid, N. (2014). Onion: Nature Protection Against Physiological Threats. <https://doi.org/>

INSTRUMENTACIÓN DE UN DESTILADOR PARA LA TRATA DE RESIDUOS DE BAGAZO DE MEZCAL PARA GENERAR BIOCOMBUSTIBLES COMO MANERA DE COMBATIR LA CONTAMINACIÓN DE SUELOS

OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS¹, JUAN MANUEL HIDALGO MARTÍNEZ², LUIS ALBERTO ORDAZ DÍAZ³

RESUMEN

Con la aceptación del mezcal por parte de los consumidores de bebidas con alcohol y la difusión del mismo, se ha incrementado su producción trayendo consigo el incremento de subproductos de la destilación como vinaza y bagazo que contienen altas cargas de sólidos disueltos y materia orgánica. Aproximadamente el 80% de las vinazas son descargadas directamente en los cuerpos de agua, suelos o al sistema de alcantarillado sin recibir el tratamiento adecuado para su disposición.

Por otra parte, la demanda de combustibles automotrices, la inminente reducción de las reservas de combustibles fósiles y el grave impacto ambiental producido por su uso, han derivado en el desarrollo de tecnologías para obtener bio-combustibles que en su mayoría proviene de productos de consumo humano como el maíz y la caña. Como beneficio, estos biocombustibles presentan un elevado octanaje y una reducida emisión de gases de efecto invernadero.

Considerando lo anterior este proyecto propone resolver estas problemáticas haciendo uso de los residuos del mezcal como materia prima, buscando una alternativa para generar biocombustible, sin emplear alimentos como materia prima, proponiendo el uso de destiladores y fermentadores monitoreados y controlados mediante un sistema de instrumentación electrónica, ya que se reportan estudios sobre la producción de bioetanol por distintas técnicas, donde todos concuerdan considerar una instrumentación adecuada para optimizar la producción.

Palabras clave: Mezcal, biocombustibles, Bioetanol, residuos, vinaza, bagazo instrumentación.

¹ Universidad Politécnica de Durango. omar.rivera@unipolidgo.edu.mx

² Universidad Politécnica de Durango. juan.hidalgo@unipolidgo.edu.mx

³ Universidad Politécnica de Durango. luis.ordaz@unipolidgo.edu.mx

ABSTRACT

With the acceptance of mezcal by consumers of alcoholic beverages and its diffusion, its production has increased, bringing with it an increase in distillation byproducts such as vinasse and bagasse that contain high loads of dissolved solids and organic matter. Approximately 80% of vinasses are discharged directly into bodies of water, soils or the sewer system without receiving adequate treatment for disposal.

On the other hand, the demand for motor fuels, the imminent reduction of fossil fuel reserves and the serious environmental impact caused by their use, have led to the development of technologies to obtain biofuels that mostly come from human consumer products such as corn and sugar cane. As a benefit, these biofuels have a high octane rating and a reduced emission of greenhouse gases.

Considering the above, this project proposes to solve these problems by using mezcal waste as raw material, seeking an alternative to generate biofuel, without using food as raw material, proposing the use of distillers and fermenters monitored and controlled by an electronic instrumentation system, since studies report the production of bioethanol by various techniques, where all agree to consider adequate instrumentation to optimize production

Keywords: Mezcal, Biofuels, Bio-ethanol, waste, vinasse, bagasse, instrumentation.

INTRODUCCIÓN

El bioetanol es un combustible renovable fabricado a partir de materias primas vegetales como el maíz, la caña de azúcar y los residuos de cultivos. Se produce a través de un proceso de fermentación en el que las enzimas y las levaduras convierten el almidón y la celulosa de las materias primas en etanol. El etanol bio se mezcla con gasolina para crear un combustible híbrido conocido como E85 que se puede usar en muchos vehículos diseñados para funcionar con combustibles mezclados con etanol.

El bioetanol es atractivo porque es una fuente de energía renovable que produce menos emisiones que la gasolina pura. Ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles no renovables y proporciona oportunidades a los agricultores. Sin embargo, también se han planteado preocupaciones sobre el impacto ambiental del bioetanol, incluidos los cambios en el uso de la tierra y las emisiones de carbono relacionadas con el cultivo de materias primas, los insumos requeridos y el proceso de producción. También se necesita más investigación para aumentar los rendimientos de las materias primas y hacer que la conversión del bioetanol sea más eficiente, contribuyendo en mejoras en la sostenibilidad y la eficiencia de la producción, esperando que el bioetanol juegue un papel cada vez más importante en el suministro de energía y la seguridad energética

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente proyecto se abordó como objetivo la obtención de bioetanol a partir del material lignocelulósico presente en el bagazo de *Agave Durangensis* a través de un proceso de hidrólisis enzimática donde se pueda obtener un hidrolizado para ser llevado a una posterior etapa de fermentación y finalmente la obtención de bioetanol.

Lo anterior se justificará por la razón del hecho de tratar de resolver una problemática del Estado con un paquete tecnológico que pueda ser replicado a nivel Nacional. Aportando ayuda a nivel económico para aquellos que se dediquen a la trata de los residuos del Mezcal, y aquellos que usan vehículos automotores al poder reducir costos en gasto de combustible y protegiendo su motor con un aditivo de biocombustible, como para protección del Medio Ambiente, ya que la bibliografía muestra que el uso de bioetanol como aditivo de gasolina en vehículos a motor de gasolina puede ofrecer varios beneficios para el consumidor y el medio ambiente. No obstante, para sustentar la justificación del proyecto se debe adentrar primeramente en los antecedentes de la producción de la industria mezcalera que proyectarán la problemática presente en la industria y permitirán visualizar el alcance de la solución planteada para la obtención de un producto con valor agregado a partir de materia prima considerada como desecho. La producción de

mezcal, aguardiente mexicano, ha aumentado considerablemente para satisfacer la demanda mundial. Este crecimiento ha acarreado problemas medioambientales, entre ellos un tratamiento inadecuado de los residuos.

En el estado de Durango, la cadena productiva del mezcal se encuentra en un nivel bajo de desarrollo tecnológico ya que se pretende que la producción sea lo más artesanal posible, pero representando una fuente muy importante de ingresos económicos y en ocasiones la única (*Barraza et al., 2014*).

Sin embargo, la producción de bebidas alcohólicas a partir del maguey ha tenido problemas desde sus inicios con el uso de subproductos al generar vinaza y bagazo. El bagazo se genera después de la extracción de las mieles (cocción y molienda) y estos residuos contienen un alto contenido de materia orgánica, por lo que es necesario el tratamiento de estos antes de ser vertidos, sumándose al problema que mensualmente se estima que se pueden alcanzar más de 100 toneladas mensuales de este subproducto que a menudo se retiran de las instalaciones de producción y se vierten en los suelos y las fuentes de aguas subterráneas cercanas (*García & Peralta, 2022*).

Este vertido de residuos de la industria del mezcal al medio ambiente puede contaminar los suelos y las aguas subterráneas como se ha mencionado, con sustancias nocivas como pesticidas, metales pesados y otros contaminantes químicos utilizados en la producción. También pueden agotar los nutrientes del suelo, provocar un crecimiento excesivo de hongos y patógenos y hacer que la materia orgánica en descomposición libere metano, un potente gas de efecto invernadero. Aunque los residuos del agave pueden utilizarse como fertilizante o biocombustible como el Bioetanol, cuando se tratan y reciclan adecuadamente, la forma más habitual de deshacerse de ellos es el vertido, lo que crea un grave problema para las comunidades locales y el medio ambiente.

Para solucionar este problema, las fábricas de mezcal deben establecer y aplicar programas de gestión de residuos sólidos para reciclar y reutilizar los residuos, así como formar a los trabajadores en prácticas sostenibles.

Y es precisamente lo que atañe a este proyecto, la generación de biocombustibles como el Metano y el Bioetanol para poder llevar a cabo estas prácticas sostenibles donde se aproveche al máximo la producción considerando los residuos que una vez tratados podrían utilizarse para otros fines provechosos (*Estrada Maya, 2022*). Considerando que en la actualidad, el desarrollo científico y tecnológico para la producción de biocombustibles alternativos se ha convertido en una prioridad en un contexto nacional con aumentos en el costo de combustibles fósiles y la necesidad de energías sustentables para beneficio del medio ambiente. Por el contrario, el uso de etanol como fuente de energía se ha convertido en un tema amplio de investigación mundial, y su producción ha aumentado notablemente en los últimos años (*Arellano Perales, 2015*).

Por otro lado, entre los cultivos utilizados habitualmente para la producción de biocombustibles se encuentran el maíz, la caña de azúcar, la papa y la soya, que proporcionan una fracción considerable de la energía obtenida a partir de fuentes renovables. Sin embargo, para producir estos cultivos se utilizan tierras fértiles, lo que plantea un grave problema, ya que la producción de estos cultivos para consumo humano puede disminuir peligrosamente, generando escasez de alimentos.

Al utilizar el bagazo obtenido como residuos de la industria mezcalera, se obtiene una materia prima para generar biocombustible dentro de la industria del mezcal, y de esta forma los productores podrían crear otra actividad que genere ingresos considerables para el sustento de las comunidades y sobre todo no estarían utilizando cultivos para consumo humano como fuente de materia prima para la generación de biocombustibles como el bioetanol. Debido a la naturaleza del proceso donde están en contacto permanente con los productos de fermentación, lo que significa que permanecerán impregnados de alcoholes que pueden aumentar la eficiencia al ser utilizados como biocombustible.

Asimismo, los estudios muestran la importancia de mantener los niveles de temperatura y monitorear los gases producidos durante la evaporación a diferentes temperaturas, manteniendo los niveles adecuados del proceso para producir únicamente Etanol ya que el bagazo aún permanece impregnado de compuestos

volátiles como Metanol, Acetato de Etilo, n-Propanol, etc. Se espera obtener alcohol etanol puro para su uso como biocombustible. El etanol en sí tiene un octanaje de 113 en comparación con la gasolina que tiene un octanaje de 93 (Premium) y a diferencia de la gasolina, su composición química ya incluye oxígeno, lo que ayuda a tener una mejor combustión. El etanol o bioetanol se utiliza a menudo como oxigenante de la gasolina, lo que reduce las emisiones de hidrocarburos sin quemar y de monóxido de carbono y de igual manera en la mayoría de los casos se mezcla con la gasolina del tanque como un aditivo.

Para convertir el bagazo de agave en etanol se pueden seguir los siguientes pasos (Abascal Fernández, 2017):

- Hidrólisis: Las enzimas celulasa y hemicelulasa se utilizan para descomponer la celulosa y la hemicelulosa del bagazo de agave y formar una solución azucarada. Estas enzimas catalizan la ruptura de los enlaces que unen moléculas de azúcar más grandes para liberar unidades de azúcar individuales.
- Fermentación: Las levaduras productoras de etanol, como *Saccharomyces cerevisiae*, se añaden a la solución azucarada. Las levaduras consumen los azúcares y los convierten en etanol y dióxido de carbono.
- Destilación: El líquido fermentado se hierva y se recoge el vapor que se condensa. El condensado será en su mayor parte etanol y agua. La destilación se repite para aumentar la concentración de etanol.
- Secado: Se utiliza un agente desecante como la zeolita para absorber el agua del etanol y producir etanol muy concentrado.

METODOLOGÍA Y PROCESO

A continuación se describen los materiales y métodos empleados para llevar a cabo el proceso de obtención de bioetanol empleando bagazo como materia prima, tomando en consideración los pasos recomendados por Abascal Fernández para la obtención del producto final.

Para dar inicio se realizó la caracterización de la materia prima y posteriormente se establecieron cinco fases: la primera fase concierne a la obtención de un residuo agroindustrial de tipo lignocelulósico, en este caso se recolectó una muestra representativa de bagazo de *Agave Durangensis*, procedente del municipio de Nombre de dios del Estado de Durango, en la segunda fase fue la caracterización

fisicoquímica de dicho material, es decir la medición de los principales parámetros en la materia prima los cuales son de importancia para la fermentación del bagazo (humedad y cenizas). La tercera fase fue la aplicación de unos varios tratamientos de tipo físico (trituración, molienda, secado y tamizado) al bagazo de Agave, cuya finalidad fue obtener diferentes tamaños de partícula y analizar su efecto en la fermentación. En la cuarta fase se realizó la hidrolisis enzimática mediante el uso del Hongo *Trichoderma* con la finalidad de medir azúcares reductores y obtener una fuente de celulosa para ser fermentada. Y posteriormente la obtención del bioetanol como aditivo.

Obtención de la materia prima

El Bagazo de Agave *Durangensis*, es una especie de importancia económica que se distribuye particularmente en los municipios de Durango, El Mezquital, Nombre de Dios y SÚchil, en el estado de Durango, la materia prima fue colectada de una vinata ubicada en el municipio de Nombre de Dios (Figura 1). En esta vinata se realiza la producción de mezcal utilizando la técnica tradicional para su elaboración, donde se obtiene bagazo como residuo el cual es acumulado después del lote de producción de una “quema”.

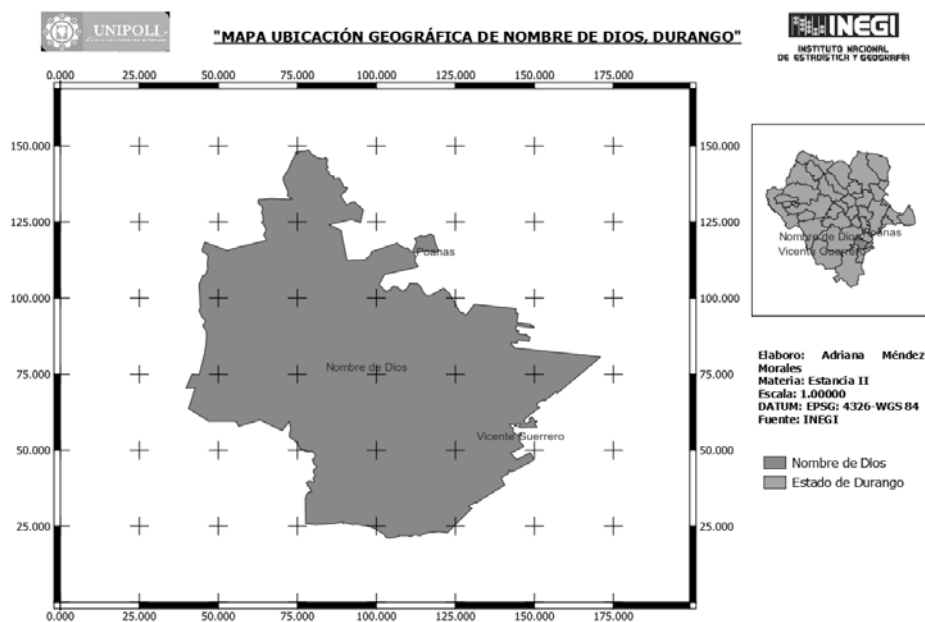


Figura 1. Ubicación geográfica de Nombre de Dios, Dgo.

Caracterización de la materia prima

El residuo de bagazo como materia prima (Figura 2) fue transportado hasta los laboratorios de la Universidad Politécnica de Durango.

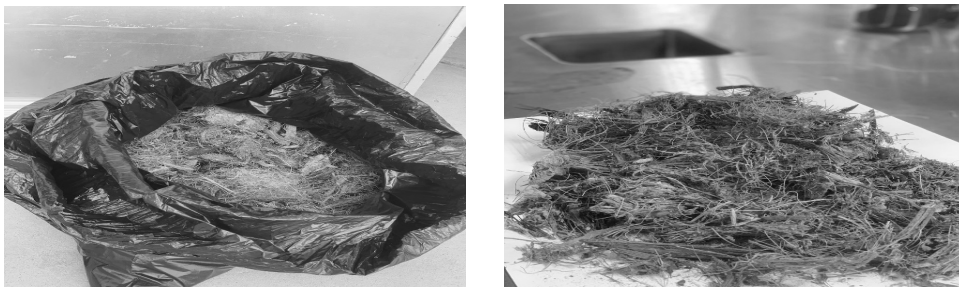


Figura 2. Bagazo recolectado como materia prima.

Se determinaron las siguientes características bromatológicas del bagazo de acuerdo a las referencias bibliográficas: Humedad, materia orgánica, ceniza, pH y proteína cruda descritas por Tejada (1983), fibra cruda, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) según Van Soest (1987) y lignina ácido detergente. Posteriormente el bagazo es tratado en molienda y tamizado para obtener los granos molidos con diferentes grados para facilitar el proceso de hidrólisis con las partículas.

Durante el proyecto se busca obtener bioetanol mediante una hidrólisis enzimática debido a la reducción del impacto ambiental al emplear enzimas para llevar a cabo la hidrólisis, sin embargo, también se realizó una hidrólisis ácida para tener un punto de comparación entre los resultados obtenidos con uno u otro proceso.

Etapa de tratamiento del bagazo

Al bagazo de *Agave Durangensis* se le dio un tratamiento de tipo físico el cual consistió en moler el material lignocelulósico a un tamaño de partícula específico, es decir se buscó disminuir el área superficial del bagazo con la intención de generar mayor disponibilidad a la celulosa por parte de las enzimas celulolíticas de las levaduras. Por lo que se obtuvo el bagazo en base seca y se molió hasta obtener un polvo fino en un procesador de alimentos.

Tratamiento físico

El primer pre-tratamiento físico del bagazo de *Agave durangensis* fue realizado mediante este puesto en sequedad total, pasado a triturar en un molino para después ser tamizado por medio de un equipo de tamizado de la marca TYLER MOD. RX812 (Figura 3) en tamiz con malla #40 con tamaño de poro de 0.4191 mm como se muestra en la figura 10 hasta obtener un polvo fino. Posteriormente se pesó la cantidad obtenida de este pretratamiento el cual se pasó a guardar en una bolsa de celofán a temperatura ambiente en un lugar seco. Tal y como se realizó la primer molienda, se continuo aumentando el número de tamiz para llevar a cabo el tratamiento físico mediante el mismo procedimiento que el primer tratamiento solo puesto a ser tamizado a través de un tamiz con malla #100 (Figura 4) con tamaño de poro de 0.149860 mm donde se obtuvo gabazo fino el cual se guardó en un vaso desechable cubierto a temperatura ambiente.

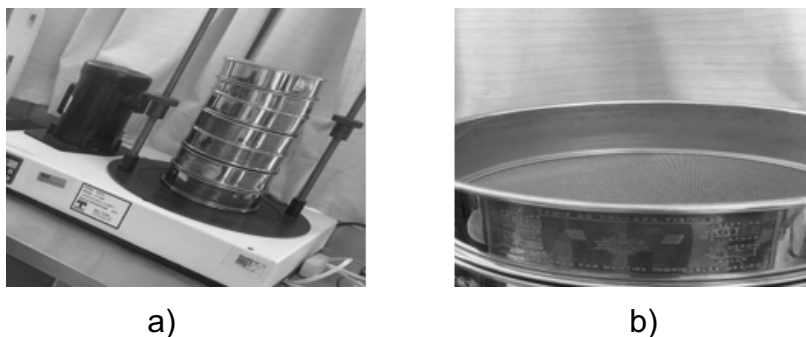


Figura 3. a) Equipo de Tamizado. b) Malla de tamizado No. 40



Figura 4. Tamiz de malla No. 100.

Consecuentemente se molió y puesto a secar a una temperatura de 90 °C para después ser tamizado a través de un tamiz en malla #60 como se muestra en la figura 5 con abertura de 0.24892 mm llegando a obtener una determinada cantidad de bagazo fino el cual se pasó a almacenar en distintos tamaños de muestra.

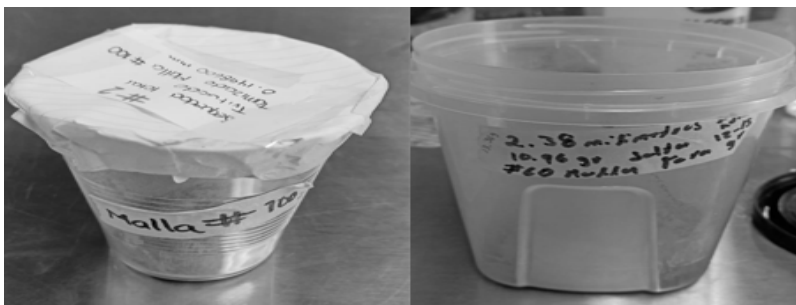


Figura 5. Tamiz y muestras de bagazo cernido con malla No. 60 y 100.

Lo anterior con la finalidad de determinar la influencia del tamaño de la molienda en la producción de Bioetanol.

Tratamiento físico-químico

El último tratamiento se realizó mediante el método hidrotérmico de agua caliente (MHAC) realizado en el laboratorio químico con ayuda de un matraz de 500 ml donde se pasó a agregar 200 ml de H₂O, 10 g de bagazo en sequedad total y tamizado a través de un tamiz en malla #80 (figura 13) con abertura de 0.17780 mm y esto puesto a calentar a una temperatura de 80°C durante 1 hora.

Fase de Hidrolisis Ácida

La hidrólisis ácida es un proceso en el que un ácido prótico se utiliza para catalizar la escisión de un enlace químico a través de una reacción de sustitución nucleófila, con la adición de agua. A continuación se presentan los puntos de cada experimento.

- Primera Hidrolisis (Solución Cloro 6%, por 12 hrs) (2 g de bagazo)
- Segunda Hidrolisis (Ácido Sulfúrico H₂SO₄ concentrado a 75% por 15 min)
- Solución H₂SO₄, al 70%, 2 g de bagazo a temperaturas de 30°C, 50°C Y 70°C
- por 10, 20, 40, 60 y 90 minutos.
- Solución de H₂SO₄, al 70%, 2 g de bagazo a temperatura de 80°C por 1 hora.

Fase de Hidrolisis Enzimática

Se entiende por hidrólisis enzimática la hidrólisis que se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas. Estas enzimas ejercen un efecto catalítico hidrolizante:

- Hongo Trichoderma
- En solución $\text{pH}=5$, $T=37^{\circ}\text{C}$
- Tubosfalcon 0.2 (2g de bagazo) y 1ml
- Baño maría 37°C
- Levadura Sacharomyces Cerevisies

Caracterización de la Biomasa

Las características químicas de importancia para el bagazo se relacionan con el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina presente el material lignocelulósico. Se realizaron diversos procesos para determinar sus características con otros parámetros fisicoquímicos con la finalidad de obtener una caracterización completa del bagazo: porcentaje de humedad, pH, porcentaje de cenizas, fibra neutro detergente (FND), fibra acido detergente (FAD), lignina acido detergente (LAD) y posteriormente el tratamiento, ver figura 6a, 6b y 6c.



a)



b)

c)

Figura 6. a) Secado del bagazo, b) Extracción de la vinaza del bagazo húmedo, c) Muestra de bagazo seco.

Destilación

Se empezó a trabajar con la biomasa obtenida en las etapas anteriores, pasándola primeramente al destilador de 20 litros para empezar a obtener el destilado del bagazo del *agave Durangensis* a diferentes grados de alcohol manteniendo los niveles de temperatura tanto de calentamiento como de enfriamiento para garantizar solamente la producción de bioetanol por medio de destilación extractiva aproximadamente a los 78.6 grados Celsius y tener un enfriamiento adecuado por medio de flujo de agua fría en la etapa de condensación.

Se optó por trabajar con el destilador de 20 litros ya que la materia prima obtenida después de la limpieza y el tamizado, esta se redujo considerablemente de volumen. Para poder separar el alcohol etílico (etanol) por evaporación como consecuencia de la aplicación de calor, y a consecuencia de la aplicación de calor, se le aplica y monitorea una temperatura de ebullición es de 78.°C, para que se evapore más rápido que el resto de los componentes de la mezcla líquida del bagazo, para luego condensarlo a través del enfriamiento del vapor de alcohol etílico, haciendo circular agua fría a través del tubo de enfriamiento mediante una bomba de agua. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas inestabilidades, o sea separar los materiales inestables de los estables. Para obtener los mejores resultados se destiló varias veces los distintos alcoholes obtenidos. Cada destilación tuvo diferentes grados de alcohol, como a continuación se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Grados de Alcohol obtenidos en las distintas vinazas.

Primer Destilación	Segunda Destilación	Tercer Destilación
22.3 °	48.2 °	71.3 °

Cabe mencionar que para poder medir los grados de alcohol se usó un densímetro, el cual se sumerge en la solución destilada dentro de una columna de 100ml, donde previamente se tomó la temperatura para poder determinar con exactitud el grado de alcohol, recurriendo a Tabla de Corrección de la Temperatura del alcohol propia del instrumento.

En la figura 7 se muestra la destilación del bagazo posteriormente a su tratamiento enzimático y ácido, en la figura 8 se observan las muestras obtenidas después de la destilación, de acuerdo a la tabla de menor a mayor grado de alcohol, donde incluso a simple vista se puede observar la diferencia del color entre la primera y tercera destilación, siendo más puro el Etanol obtenido en la tercera destilación con un grado de alcohol de 71.3°



Figura 7. Destilación del bagazo preparado.



Figura 8. Muestras de los 3 destilados obtenidos.

La figura 9 muestra cómo se determinó el grado de alcohol de cada resultado mediante un densímetro, tal y como se escribió anteriormente.



Figura 9. Medición de grados de alcohol por medio de un densímetro y termómetro.

Instrumentación

La instrumentación inicial del proyecto consiste en medir la temperatura del destilador y la temperatura del serpentín de enfriamiento, al monitorear estas variables se puede controlar la parrilla de calefacción por medio de una etapa de control a través de TRIAC, en un inicio se pensó en un controlador PID para mantener la temperatura regulada de una manera estable, sin embargo al realizar las pruebas se reemplazó el controlador ya que la temperatura varía lentamente de acuerdo a la siguiente aproximación con el destilador lleno a 20 litros de biomasa.

La razón de cambio de la temperatura en un destilador de 20 litros lleno de vinaza y bagazo molido, usando una parrilla eléctrica de 1000 watts a su máxima potencia, y considerando que la temperatura inicial del agua es de aproximadamente 23 grados y se desea alcanzar una temperatura máxima de 80 grados Celsius, dependerá de varios factores como la eficiencia del sistema de calentamiento y la temperatura ambiente, se puede utilizar la ley de calentamiento de Joule para calcular la tasa de cambio de la temperatura. Asumiendo que la eficiencia del sistema de calentamiento es del 100%, la tasa de cambio de la temperatura se calculó y se obtuvo que la temperatura aumentará a una tasa constante de 0.0239 grados Celsius por segundo hasta alcanzar la temperatura deseada de 80 grados Celsius. Debido a esta tasa de cambio tan pequeña, se optó por llevar a cabo un monitoreo de temperatura complementado con un simple control ON/OFF conmutado por una configuración muy conocida por medio de un optoacoplador y un TRIAC BTA20 controlado por una señal proveniente de la interfaz de monitoreo y control.

Para llevar a cabo la etapa electrónica para la implementación de la instrumentación y control del sistema se determinó que se debería usar una tarjeta de desarrollo ESP32 (figura 10a), debido a que esta tarjeta de desarrollo ofrece varias ventajas para el desarrollo de tarjetas de instrumentación y control en sistemas embebidos.

A continuación, se mencionan algunas de estas ventajas:

- **Conectividad:** La tarjeta de desarrollo ESP32 cuenta con una amplia variedad de opciones de conectividad, como Wi-Fi, Bluetooth, Ethernet, y protocolos estándar de comunicación como I2C, SPI, y UART.

La conectividad de la tarjeta permite la integración con otros dispositivos y sistemas, para este proyecto contar con comunicación UART y Wi-Fi es de gran ventaja, ya que permite el monitoreo remoto a través de una Red LAN o incluso internet.

Todo lo anterior es especialmente útil para proyectos de instrumentación y control en donde se pueden pensar en mejoras y escalamiento del proyecto a futuro y agregar telemonitoreo de sensores para determinar los distintos tipos de gases que produce el proceso.

Para la medición de temperatura dentro del destilador se usó una sonda termopar de acero inoxidable que soporta hasta 800°C y aislamiento térmico en el conductor (figura 10b). La temperatura se puede monitorear a través de la computadora por medio de la comunicación UART o bien, cuenta con una pantalla LCD que muestra las mediciones en grados Celcius, y Kelvin.

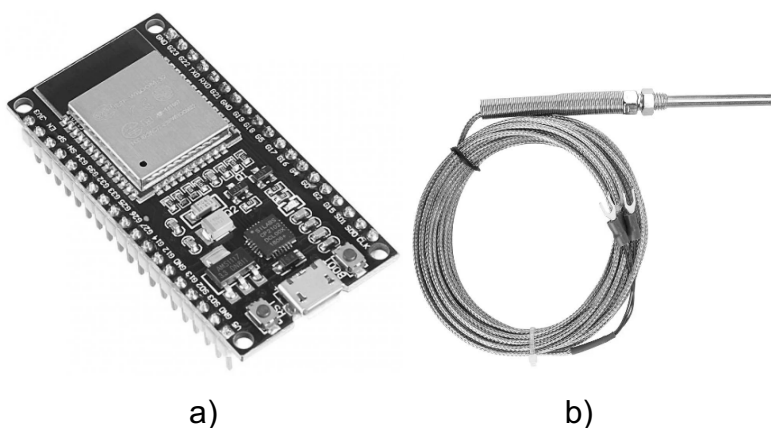


Figura 10. a) Tarjeta de desarrollo ESP32, b) Sensor termopar de acero inoxidable.

RESULTADOS

Se logró la caracterización, procesado y obtención de una cantidad de biomasa capaz de producir biocombustible a partir de residuos de la industria mezcalera, a diferencia de la materia prima que se emplea actualmente para generar biocombustibles, como lo es el maíz y la caña de azúcar que son alimentos y por lo cual es una materia prima fundamental para la alimentación, con este trabajo se está presentando una propuesta para no emplear alimentos, si no, residuos de una industria altamente rentable que deja muchos desechos y contaminantes en suelos

y mantos fríaticos los cuales no están siendo tratados por los productores de mezcal y simplemente se desechan.

Se ha obtenido Bioetanol de 71° y de 82° de alcohol, sin embargo, se busca producir un bioetanol al 99° a partir del bagazo del mezcal sin aumentar considerablemente los costos, tiempo de preparación y rentabilidad para emplear este combustible ecológico como parte de la logística de la producción y distribución de los diferentes tipos de Mezcal, mediante un sistema de destilado económico con cierta autonomía y poco intervención de mano de obra, que permita generar el biocombustible de manera sencilla para los productores mezcaleros. Con el tratamiento adecuado de la materia prima (bagazo) se espera obtener las mejores condiciones para la obtención del bioetanol y de esta manera llevar a cabo telemetría y telecontrol de gran parte del proceso mediante un sistema embebido. Esto con la finalidad de permitir a los productores operar este proceso con un reducido uso de mano de obra para que su principal prioridad siga siendo la producción de mezcal y esta actividad no se vea descuidada en lo más mínimo, y todo con solo una pequeña inversión.

A continuación se muestran algunas imágenes de los resultados obtenidos



Figura 12. Destilador con monitoreo electrónico y parrilla con control ON/OFF



Figura 13. Bagazo, Destiladores y Densímetro de Alcohol

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La temperatura adecuada de calentamiento en un destilador para obtener etanol a partir de bagazo de agave puede variar dependiendo del proceso de destilación utilizado y las condiciones específicas de la operación. Sin embargo, generalmente se recomienda que la temperatura de calentamiento se mantenga en el rango de 78-82 grados Celsius para producir etanol a partir de bagazo de agave. Además, es importante señalar que el proceso de destilación para obtener etanol a partir de bagazo de agave generalmente se lleva a cabo en dos etapas: la primera etapa, conocida como la fermentación, en la que se convierte el azúcar del bagazo de agave en alcohol, y la segunda etapa, la destilación, en la que se separa el alcohol del agua y otros componentes. Se ha generado Bioetanol a partir de desechos de la industria mezcalera y no del uso de alimentos como materia prima a manera que sea venido haciendo desde hace tiempo y hasta la actualidad para la producción de biocombustible. Sin embargo aún requiere mejorar el proceso en la etapa de destilación para producir un alcohol más puro, así como el secado para eliminar todo rastro de agua, aunque esto llevara a la reducción de la cantidad del destilado. A la salida del destilado se requiere que los grados del bioetanol sean del 99 para poder ser considerado como biocombustible. Por lo tanto el etanol obtenido por el momento se aconseja solo usar el producto como material de curación. Se recomienda mezclar vinaza al bagazo para mejorar la producción de etanol, ya que como se ha mencionado, los azúcares ayudarán a mejorar el proceso enzimático durante la fermentación.

Por otra parte, se puede llegar a concluir que la generación de etanol a partir del bagazo de agave, que es un subproducto de desecho de la industria del mezcal, puede ofrecer varios beneficios, como los siguientes:

- **Uso de recursos renovables:** El bagazo de agave es una materia prima renovable que puede utilizarse como fuente de energía para producir etanol. Esto puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la transición hacia fuentes de energía más sostenibles.
- **Reducción de residuos:** La generación de etanol a partir del bagazo de agave puede reducir la cantidad de residuos producidos por la industria del mezcal y el tequila. Esto puede ayudar a minimizar el impacto ambiental y mejorar la gestión de residuos.

- Mejora de la rentabilidad: La generación de etanol a partir del bagazo de agave puede generar una fuente adicional de ingresos para la industria del mezcal y el tequila, al proporcionar un valor agregado al subproducto de desecho.
- Contribución a la economía local: La producción de etanol a partir del bagazo de agave puede fomentar la creación de empleos y el desarrollo económico en las regiones productoras de mezcal y tequila.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero: La producción de etanol a partir del bagazo de agave puede reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles. Esto puede ayudar a mitigar el cambio climático y mejorar la calidad del aire.

En resumen, la generación de etanol a partir del bagazo de agave puede ofrecer beneficios ambientales, económicos y sociales, al utilizar un recurso renovable y reducir la cantidad de residuos producidos por la industria del mezcal, que incluso una vez destilado el etanol, los subproductos o los residuos del proceso se pudiesen emplear como fertilizante de cultivos, sin embargo validar su efectividad no atañe a este trabajo y solo se hace mención de su posible aplicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal Fernández, R. (2017, septiembre). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica, matriz de reacciones y optimización. Tesis Archivo PDF. Recuperado 7 de septiembre de 2022, de <https://bit.ly/3KbAUvi>
- Aburto-Medina, A., Pérez-Camargo, M., & Miranda, C. R. (2019). Producción de bioetanol a partir de bagazo de agave utilizando un proceso de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 18(2), 455-466.
- Aguilar-Uscanga, M., Ramírez, J., Contreras, D., & Vázquez, J. (2018). Bioetanol a partir de bagazo de agave: Optimización de la hidrólisis enzimática combinada con cinética de fermentación alcohólica. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 17(3), 535-544.
- Almaraz AN, Hernández VV, Torres MI, Delgado AA, Orea LG, Cifuentes DA, Ávila RJA, Herrera CJ, Uribe SN., Muñiz MR, Naranjo JN. (2007). *Agave duranguensis*. Primera edición. Talleres gráficos del IPN. México.
- Arellano Perales, C. (2015). Lignocelulósicos: Obtención de bioetanol a partir de materiales sometidos a hidrólisis enzimática”. Tesis Archivo PDF. Recuperado 10 de septiembre de 2022, de <https://bit.ly/3FXym1A>
- Barraza-Soto, S., Domínguez-Calleros, P. A., Montiel-Antuna, E., Návar-Chaidez, J. J., y Díaz-Vásquez, M. A. (2014). La producción de mezcal en el municipio de Durango, México. *Ra Ximhai*, 10(6).
- Bothast, R. J., & Schlicher, M. A. (2005). Biotecnología de producción de etanol a partir de granos y residuos agrícolas. *Química Nova*, 28(4), 584-590.
- Cardona, C. A., & Sánchez, O. J. (2007). Fuel ethanol production: Process design trends and integration opportunities. *Bioresource Technology*, 98(12), 2288-2304.
- Chen, R. F., Li, Y. Y., & Yang, R. D. (2011). Bioconversion of agricultural wastes to bioethanol: Substrate characteristic, technology, and economics. *Biotechnology Advances*, 29(5), 781-793.
- COMERCAM, (2018). Consejo Mexicano Regulador del Mezcal. Informe estadístico 2018. consultado el 29 de septiembre del 2022: <https://bit.ly/3KbDL7s>
- Domínguez-Robles, J., Escalona-Buendía, H. B., & Pérez-Camargo, M. (2017). Optimización de la producción de etanol a partir de bagazo de agave utilizando un proceso SHF. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(3), 601-611.

- Estrada Maya, A. (2022). Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática. Archivo PDF. Recuperado 9 de septiembre de 2022, de: <https://bit.ly/3nnzTrk>
- Feliz-Rodríguez, J. O., Jaramillo-Flores, M. E., & Rodríguez-Vázquez, R. (2017). Producción de bioetanol a partir de residuos agroindustriales, bagazo de agave y pulpa de papaya, mediante fermentación con levaduras recombinantes. *Revista Bio Ciencias*, 5(2), 237-243.
- Galbe, M., & Zacchi, G. (2002). A method for producing ethanol from softwood at high yield. *Biotechnology and Bioengineering*, 80(6), 646-655.
- García, E. & Peralta, D. (Eds.). (2022). Vista de Hidrólisis enzimática de bagazo de caña (*Saccharum sp* híbrido) para la producción de azúcares simples. Archivo PDF. Recuperado 25 de septiembre de 2022, de: <http://bit.ly/3M0HOoN>
- Morales-Carrillo, N., Escobar-Moreno, D. A., y Paredes-Hernández, E. (2007). Estudio sobre el impacto que a las modificaciones a la NOM-070 traeran a la industria del mezcal. Universidad Autónoma Chapingo-CRUCEN, Zacatecas.
- Palma, F., Pérez, P., y Meza, V. (2016). Diagnóstico de la Cadena de Valor Mezcal en las Regiones de Oaxaca. Recuperado de: <https://bit.ly/3ILwCS1>
- Sanchez, O. J., & Cardona, C. A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99(13), 5270-5295.
- Secretaría de Economía (2015). Se amplía zona de denominación de origen del mezcal. Consultado de: <http://bit.ly/3JMDbvO>
- Valenzuela, J.F., Velasco, O.H., y Márquez, M.A. (2003). Desarrollo Sustentable del Agave Mezcalero en Durango. Primera Edición. SEP-SEIT-DGETA-CBTA171-ITAN°1-SAGDR-Gobierno de Estado de Dgo.
- Van Soest P. 1987. Practical aspects of forage quality. Arizona dairy newsletter University of Arizona, Cooperative Extension Service (USA). Recuperado de: <https://bit.ly/3TL7Huz>

DETECCIÓN DE AFECTACIONES EN CULTIVOS DE MAÍZ UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

OMAR FABIÁN RIVERA CENICEROS¹, CHRISTIAN RÍOS CHAVARRÍA², JULIO CÉSAR ÁLVAREZ CHARQUEÑO³

RESUMEN

Existen agentes causales de las enfermedades del maíz como hongos, bacterias y virus. La mayoría de estas enfermedades son de importancia económica, mientras que otras, aunque no lo son en la actualidad, tienen el potencial para llegar a serlo, el cultivo de maíz, ocupa el primer puesto dentro de la producción nacional de cereales frente a cultivos como trigo, sorgo y cebada, constituyéndose en una de las principales actividades agrícolas.

Las enfermedades virales, espiroplásmicas y fitoplásmicas se presentan en las primeras etapas de desarrollo del cultivo, y su importancia está relacionada con el grado de severidad, la incidencia y la época de infección. Las enfermedades foliares causadas por hongos y afectación por plagas se presentan con mayor frecuencia en las etapas finales del cultivo, y solamente son importantes cuando su aparición ocurre antes de floración o muy cercana a ella. Todos estos daños socavan los medios de vida rurales, las economías nacionales y la seguridad alimentaria.

Por este motivo, se tiene pensado en este proyecto de investigación centrado en facilitar una respuesta prematura con el objetivo final de evitar la pérdida de la cosecha y reducir la necesidad de aplicaciones intensivas de fitosanitarios, mediante el uso de la inteligencia artificial, la cual ofrece muchas posibilidades a la agricultura, y una de ellas es la creación de aplicaciones que permitan detectar con tiempo dichas enfermedades y permitan al agricultor actuar de manera correcta e inmediata para socavar la afectación.

Cabe hacer mención que este proyecto tiene la característica de usar las redes neuronales convolucionales como principal herramienta para el análisis de

¹ Universidad Politécnica de Durango. omar.rivera@unipolidgo.edu.mx

² Universidad Politécnica de Durango. christian.rios@unipolidgo.edu.mx

³ Consultor Independiente. JulioCharqueno@hotmail.com

imágenes de diversas afectaciones del maíz, entre el dataset de imágenes se pueden encontrar las siguientes afectaciones:

- Tizón de la hoja.
- Gusano cogollero
- Mancha follar gris
- Roya común

Palabras clave: Maíz, detección de enfermedades, inteligencia artificial, redes neuronales, Machine Learning.

ABSTRACT

There are causal agents of corn diseases such as fungi, bacteria and viruses. Most of these diseases are of economic importance, while others, although they are not currently, have the potential to become so. Corn cultivation occupies first place within national cereal production compared to crops such as wheat, sorghum and barley, constituting one of the main agricultural activities.

Viral, Spiroplasmic and Phytoplasmic diseases occur in the early stages of crop development, and their importance is related to the degree of severity, incidence and time of infection. Foliar diseases caused by fungi and pest infestation occur most frequently in the final stages of the crop, and are only important when their appearance occurs before flowering or very close to it. All of these damages undermine rural livelihoods, national economies and food security.

For this reason, this research project is focused on facilitating an early response with the ultimate goal of avoiding crop loss and reducing the need for intensive applications of phytosanitary products, through the use of artificial intelligence, which offers many possibilities for agriculture, and one of them is the creation of applications that allow these diseases to be detected in time and allow the farmer to act correctly and immediately to undermine the damage.

It is worth mentioning that this project has the characteristic of using convolutional neural networks as the main tool for the analysis of images of various corn infections, among the image dataset you can find the following infections:

- Leaf blotch.
- Corn stalk borer
- Gray leaf spot
- Common rust

Keywords: Corn, disease detection, artificial intelligence, neural networks, Machine Learning.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades, plagas o el clima suponen un riesgo para la producción alimentaria como son los cultivos de maíz (entre otros) planteando un grave problema para los agricultores que pueden dar lugar a grandes pérdidas de cosecha. Los hongos, las bacterias y los virus pueden infectar las plantas de maíz y manifestarse en forma de lesiones, plagas y otros daños en las hojas. A medida que las enfermedades progresan, pueden propagarse a otras partes de la planta y reducir drásticamente el rendimiento. Para cuando muchas de estas enfermedades son detectables visualmente para los agricultores, es demasiado tarde para tratar eficazmente el cultivo. Por esa razón el monitoreo es un factor importante que permite localizar la presencia de afectaciones o anomalías con el fin de erradicar y mantener los cultivos en buenas condiciones. Es por ello que el uso de tecnologías como la inteligencia artificial para la detección de afectaciones nos ha generado un gran interés para el apoyo a este sector tan importante.

La detección temprana y precisa de las enfermedades de las hojas de maíz es crucial para minimizar los impactos, pero esto es difícil de lograr a escala dado el gran tamaño de las extensiones de cultivos. Sin embargo, los recientes avances en aprendizaje automático y visión por computadora ofrecen soluciones prometedoras. Técnicas como las redes neuronales convolucionales, que se inspiran en los sistemas de visión biológicos, se pueden entrenar en grandes conjuntos de datos de imágenes de hojas de maíz sanas y enfermas para detectar enfermedades con alta precisión. Estos modelos de aprendizaje automático luego se pueden implementar para analizar nuevas imágenes de drones, satélites o cámaras de nivel de suelo que escanean los cultivos de maíz.

Esto permitiría sistemas de alerta para notificar a los agricultores de inmediato cuando se detectan enfermedades para que puedan responder rápidamente antes de que ocurran grandes pérdidas.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Existen agentes causales de las enfermedades del maíz como hongos, bacterias y virus. La mayoría de estas enfermedades son de importancia económica, mientras que otras, aunque no lo son en la actualidad tienen el potencial para llegar a serlo. Estas afectaciones como la mancha follar gris, el tizón de la hoja, espiroplasma y fitoplasma provocan graves daños y grandes pérdidas de cosecha que socavan los medios de vida rural, las economías nacionales y la seguridad alimentaria. Lo anterior partiendo de la premisa de que el cultivo de maíz ocupa el primer puesto dentro de la producción nacional de cereales frente a cultivos como trigo, sorgo y cebada, constituyéndose en una de las principales actividades agrícolas.

Por este motivo, se ha pensado en este proyecto de investigación centrado en facilitar una respuesta prematura con la finalidad de evitar lo más posible la pérdida de la cosecha y reducir la necesidad de aplicaciones intensivas de fitosanitarios mediante el uso de la inteligencia artificial, la cual ofrece muchas posibilidades a la agricultura; una de ellas es la creación de aplicaciones que permitan detectar con tiempo dichas enfermedades y permitan al agricultor actuar de manera correcta e inmediata para socavar la afectación.

Es por ello y debido a la problemática planteada, que el objetivo de este proyecto es detectar enfermedades y plagas en cultivos hortícolas empleando inteligencia artificial como base de escaneo de afectación de la planta y predecir enfermedades del cultivo de maíz dentro de la producción nacional con la finalidad de brindar una respuesta eficaz para iniciar con el tratamiento adecuado. Las enfermedades que afectan a las plantas de maíz son un problema común en la agricultura, y pueden tener un impacto significativo en el rendimiento y la calidad del cultivo.

Primeramente algunas de las enfermedades más comunes que afectan a las plantas de maíz y las medidas que se pueden tomar para prevenirlas y tratarlas.

La roya del maíz es una enfermedad fúngica que afecta a las hojas de la planta de maíz que incluye síntomas como manchas amarillas o naranjas en las hojas, que eventualmente se vuelven marrones y necróticas.

La roya del maíz puede reducir significativamente el rendimiento del cultivo y se propaga fácilmente en condiciones húmedas y cálidas. La prevención de esta enfermedad implica el uso de variedades de maíz resistentes a la roya, así como la eliminación de las hojas infectadas.

Otra enfermedad común del maíz es la pudrición de la raíz, que es causada por hongos del suelo. Los síntomas incluyen un crecimiento lento, amarillento y marchitamiento de las hojas, y una disminución en el rendimiento del cultivo. La prevención de la pudrición de la raíz implica la rotación de cultivos, la eliminación de los residuos de la cosecha y la aplicación de fungicidas.

La marchitez del maíz es una enfermedad causada por bacterias del suelo y se caracteriza por un marchitamiento rápido de la planta. Los síntomas incluyen hojas marchitas y amarillentas, y las plantas pueden morir en cuestión de días.

En general y para no profundizar en todas las afectaciones del maíz se pueden algunas de las enfermedades más comunes que afectan al este cultivo incluyen:

- **Roya del maíz:** La roya del maíz es una enfermedad fúngica que causa manchas marrones en las hojas del maíz y puede reducir el rendimiento de los cultivos. Se controla mediante el uso de variedades resistentes y el manejo de fungicidas.
- **Tizón del maíz:** El tizón del maíz es otra enfermedad fúngica que causa cancro en las plantas de maíz, lo que conduce a un menor crecimiento de los tallos y las hojas y una reducción en la producción de granos. Como con la roya, se utilizan variedades resistentes y fungicidas para el control.
- **Podredumbre del tallo del maíz:** La pudrición del tallo es una enfermedad fúngica que penetra en los tallos jóvenes de maíz y puede matar las plantas o causar que se caigan. Se previene con el uso de fungicidas y el control de inóculos de patógenos en los campos.

A través de una combinación de prácticas de control de enfermedades y el uso de variedades resistentes de maíz, muchas de estas enfermedades se pueden prevenir o mitigar para reducir su impacto en el rendimiento.

La detección temprana de enfermedades en las plantas de maíz es crucial para prevenir su propagación y minimizar su impacto en el rendimiento del cultivo.

En este proyecto, se llevó a cabo el uso de redes neuronales para la detección temprana de las enfermedades más comunes que afectan a las plantas de maíz por medio del procesamiento de imágenes aplicando redes neuronales artificiales.

Las redes neuronales artificiales (RNA) son un tipo de algoritmo de aprendizaje automático que se inspira en la estructura y función del cerebro humano. Consisten en capas interconectadas de nodos o neuronas que procesan y analizan información para realizar una tarea específica, como la clasificación de imágenes o la detección de patrones.

En la detección temprana de enfermedades en las plantas de maíz, las redes neuronales se pueden utilizar para analizar imágenes de las hojas de las plantas e identificar patrones que indiquen la presencia de enfermedades. Estos patrones pueden incluir cambios en el color, la textura y la forma de las hojas, así como la presencia de manchas o lesiones.

Para entrenar una red neuronal para la detección de enfermedades en las plantas de maíz, se requiere un conjunto de datos de imágenes de hojas de plantas sanas y enfermas. Estas imágenes se utilizan para entrenar la red neuronal para reconocer los patrones asociados con cada tipo de hoja. Una vez que se ha entrenado la red neuronal, se puede utilizar para analizar nuevas imágenes de hojas de maíz obtenidas en el campo mediante el uso de algún dispositivo como cámaras a nivel de tierra o drones.

METODOLOGÍA Y PROCESO

Primeramente, cabe hacer mención que este proyecto tiene la característica de usar las Redes Neuronales Convolucionales (CNN) como principal herramienta para el análisis de imágenes de diversas afectaciones del maíz. Por lo que se emplearon una serie de dataset que sirvieron tanto de entrenamiento, prueba comprobación para obtener una red neuronal entrenada con la capacidad de detectar algunas afectaciones en las hojas del maíz. Entre el dataset de imágenes se pueden encontrar las siguientes afectaciones:

- Tizón de la hoja.
- Gusano cogollero
- Mancha follar gris
- Roya común

Para realizar un proyecto de procesamiento de imágenes, entrenamiento y clasificación de manera general se puede seguir la siguiente metodología:

- Recopilar un conjunto de datos de imágenes de hojas de maíz sanas y enfermas. Se necesitan muchas imágenes de entrenamiento para que el modelo de CNN funcione bien.
- Preprocesar las imágenes. Esto puede incluir técnicas como ajuste de contraste, filtrado, segmentación, etc. para mejorar la detección.
- Entrenar un modelo de CNN en Python/Keras/TensorFlow. Se deben probar varias arquitecturas de redes neuronales convolucionales e hiperparámetros para optimizar el rendimiento.
- Validar y evaluar el modelo entrenado con un conjunto de datos de prueba para medir la precisión de detección de enfermedades.
- Desplegar el modelo entrenado en un servicio para analizar nuevas imágenes de campo y detectar enfermedades de hojas de maíz.
- Opcionalmente, mejorar el modelo con técnicas como aumento de datos o transferencia de aprendizaje para aumentar la precisión.

Aunque se tienen varias opciones para aplicar redes neuronales, los modelos de redes neuronales convolucionales se prefieren para la visión artificial y la clasificación de imágenes por las siguientes razones:

- Las CNN están inspiradas en la visión biológica y la percepción visual humana. Tienen capas de convolución que actúan como filtros para detectar características en las imágenes, similar a los receptores en la retina.
- Las CNN son muy efectivas para aprender características de imágenes relacionadas con la posición, como bordes y formas, que son importantes para la visión.
- Las CNN pueden capturar características a múltiples escalas / niveles de abstracción en imágenes, desde bordes y texturas hasta objetos y escenas completas.
- Se han logrado grandes avances y el rendimiento de las CNN es superior a otros modelos de redes neuronales para muchas tareas de visión, como la clasificación de imágenes.
- Existen muchas bibliotecas y Frameworks que facilitan la implementación de redes convolucionales, como Keras y TensorFlow.

En general, las redes neuronales convolucionales y bibliotecas basadas en ellas como YOLO, se han convertido en la herramienta más usada para la visión artificial y la clasificación de imágenes debido a sus ventajas para aprender las características visuales de las imágenes.

A continuación en la figura 1 se muestran algunos otros modelos disponibles que se pudieran tener en cuenta, pero las CNN por obvias razones y de acuerdo a lo descrito anteriormente, fue la herramienta elegida para realizar el proyecto.

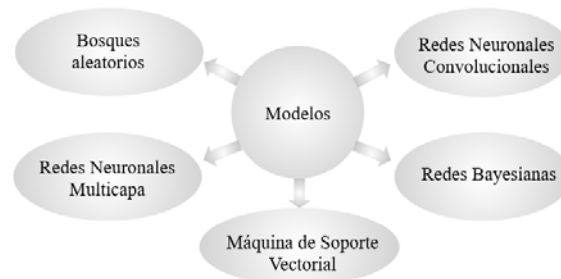


Figura 1. Modelos de Redes Neuronales.

De acuerdo a la metodología primeramente se deben de recopilar un conjunto de imágenes para poder realizar el entrenamiento de la CNN, esta recopilación (dataset) debe contener conjuntos de imágenes de las afectaciones en las hojas de maíz (agrupadas por cada enfermedad) y un conjunto de imágenes de hojas sanas. Entre más imágenes cuente el conjunto de datasets, el resultado final será mucho más preciso, a continuación se muestran algunos ejemplos de imágenes de hojas de maíz empleadas para el entrenamiento, cabe hacer mención que la estas imágenes fueron aportadas por productores de maíz a la par de que fueron descargadas de internet en diferentes bases de datos públicas

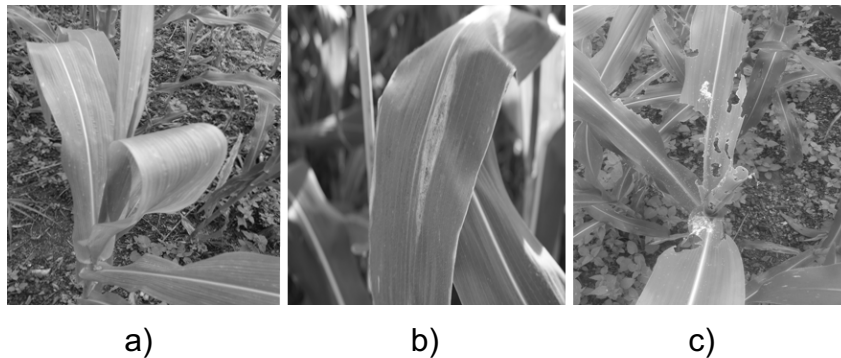


Figura 2. Muestras de fotografías de hojas de maíz, a) 1998 imágenes sanas, b) 1018 imágenes tizón de la hoja, c) 2227 imágenes gusano cogollero.

En la siguiente tabla se muestra como fueron divididos los conjuntos de imágenes, así como las características de los hiperparámetros con las que fue entrenada la CNN.

Tabla 1. Conjuntos de Imágenes e Hiperparámetros de entrenamiento

Imágenes	Entrenamiento: 70% Validación: 20% Prueba: 10%
Hiperparámetros	Dimensiones: 180x180 Tamaño de lote: 32 Funciones de activación: ReLu y Softmax Función de pérdida: Entropía cruzada Optimizador: Adam

A continuación se describen los pasos a seguir para poder realizar el entrenamiento y clasificación por medio de la CNN:

Primeramente se proporciona una gran cantidad de imágenes etiquetadas (imagen + clase de imagen) y separadas por grupo, la cantidad de imágenes fue la siguiente: Las imágenes se introducen en la red neuronal convolucional donde se detectan características en las imágenes a través de sus capas de convolución.

Las características se pasan a una capa de clasificación densa donde se utiliza la retropropagación para calcular los gradientes de error y ajustar los pesos de la red para predecir las clases correctamente, repitiendo el proceso de entrenamiento en lotes de imágenes hasta que el error de entrenamiento se estabilice.

Posteriormente para hacer la evaluación de la CNN entrenada, se introducen nuevas imágenes sin etiquetar de prueba en la red neuronal, donde está predice las clases de las imágenes de prueba y se compara cada predicción con la clase real. Se calcula la precisión de las predicciones como la fracción de imágenes de prueba clasificadas correctamente. La precisión se utiliza para evaluar el rendimiento de la CNN y comparar modelos CNN.

La CNN entrenada se puede agregar mediante código o implementar un servicio de captura de imágenes para analizar nuevas fotografías. Para cada nueva imagen, la CNN predice la clase más probable y determina si la fotografía corresponde a una hoja sana o una hoja enferma.

La manera gráfica en que se podría representar lo anterior es se muestra en la figura 3, en donde se tiene una imagen de entrada en donde se van extrayendo las características de los pixeles a evaluar hasta obtener un salida en del clasificador.

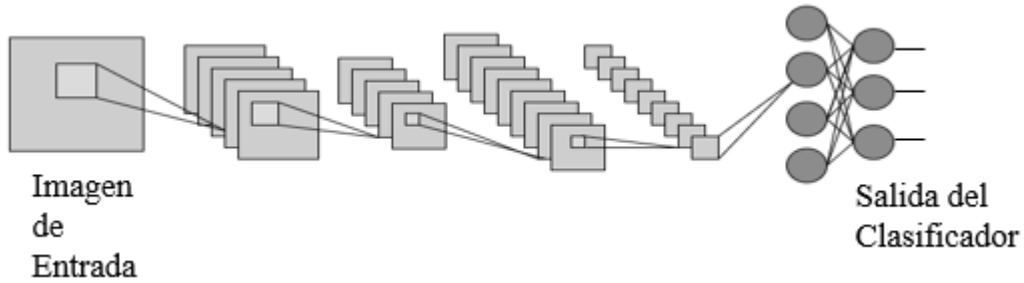


Figura 3. Interpretación gráfica de la extracción de características por medio de una CNN. Las CNN consisten en múltiples capas de filtros convolucionales de una o más dimensiones. Después de cada capa, por lo general se añade una función para realizar un mapeo causal no-lineal. Como redes de clasificación, al principio se encuentra la fase de extracción de características y es básicamente lo que está mostrando la imagen de la figura 3.

Modelado de Red Neuronal

Para el modelado de la CNN se usaron las Biblioteca de Keras y Tensorflow de Python, la principal función de estas es modelar la red neuronal, y de acuerdo a la metodología de diseño de un sistema de aprendizaje profundo, primeramente se deben cargar las imágenes para cada conjunto de fotografías de hojas de maíz, distribuyéndolas en grupos de acuerdo a la afectación y a hojas sanas que servirán para referencia. Las imágenes son procesadas y normalizadas para que todas queden del mismo tamaño y calidad.

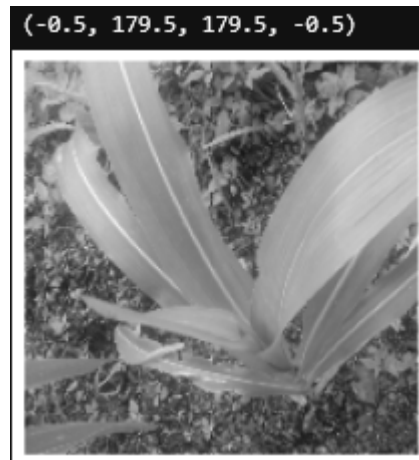


Figura 4. Imagen de una planta de maíz sana con sus parámetros normalizados.

Se debe configurar la totalidad de cada conjunto de las imágenes en 3 secciones, donde se indica el porcentaje de como son divididas las imágenes de cada grupo:

Imágenes de Prueba – 20%

Imágenes de Entrenamiento – 70%

Imágenes de Validación – 10%

En las siguientes líneas de código se puede visualizar esta parte:

```
train_dataset = image_dataset_from_directory(
    base_dir / "train",
    image_size = image_size,
    batch_size = batch_size)
```

```
validation_dataset = image_dataset_from_directory(
    base_dir / "validation",
    image_size = image_size,
    batch_size = batch_size)
```

```
test_dataset = image_dataset_from_directory(
    base_dir / "test",
    image_size = image_size,
    batch_size = batch_size)
```

La red neuronal se configura con los hiperparámetros necesarios como la activación tipo ReLu para las capas ocultas de la red neuronal. Las funciones de activación realizan la transformación de la entrada con la ayuda de una suma ponderada a la salida, las redes neuronales aprenden a partir del algoritmo de retropropagación del error para actualizar los pesos de las capas, el modelo requiere derivadas del error de predicción mediante una función de activación para calcular la derivada de primer orden para un valor de entrada determinado.

La función de activación lineal rectificadora (ReLU) se ha convertido en la elección por defecto de los científicos de datos debido a que computacionalmente hablando se tiene mayor simplicidad en el cálculo y un comportamiento lineal.

A continuación se muestra parte del código del diseño de la CNN y su configuración:

```
inputs = keras.Input(shape = (image_w_h, image_w_h, 3))
x = data_augmentation(inputs, training = True)
x = layers.Rescaling(1./255)(inputs)
x = layers.Conv2D(filters = 32, kernel_size = kernel_size, activation = "relu")(x)
x = layers.MaxPooling2D(pool_size = 2)(x)
x = layers.Dropout(dropout)(x)
x = layers.Conv2D(filters = 64, kernel_size = kernel_size, activation = "relu")(x)
x = layers.MaxPooling2D(pool_size = 2)(x)
x = layers.Dropout(dropout)(x)
x = layers.Conv2D(filters = 128, kernel_size = kernel_size, activation = "relu")(x)
x = layers.MaxPooling2D(pool_size = 2)(x)
x = layers.Dropout(dropout)(x)
x = layers.Conv2D(filters = 256, kernel_size = kernel_size, activation = "relu")(x)
x = layers.MaxPooling2D(pool_size = 2)(x)
x = layers.Dropout(dropout)(x)
x = layers.Conv2D(filters = 256, kernel_size = kernel_size, activation = "relu")(x)
x = layers.Flatten()(x)
x = layers.Dropout(0.5)(x)
outputs = layers.Dense(1, activation = "sigmoid")(x)
model = keras.Model(inputs = inputs, outputs = outputs)
```

RESULTADOS

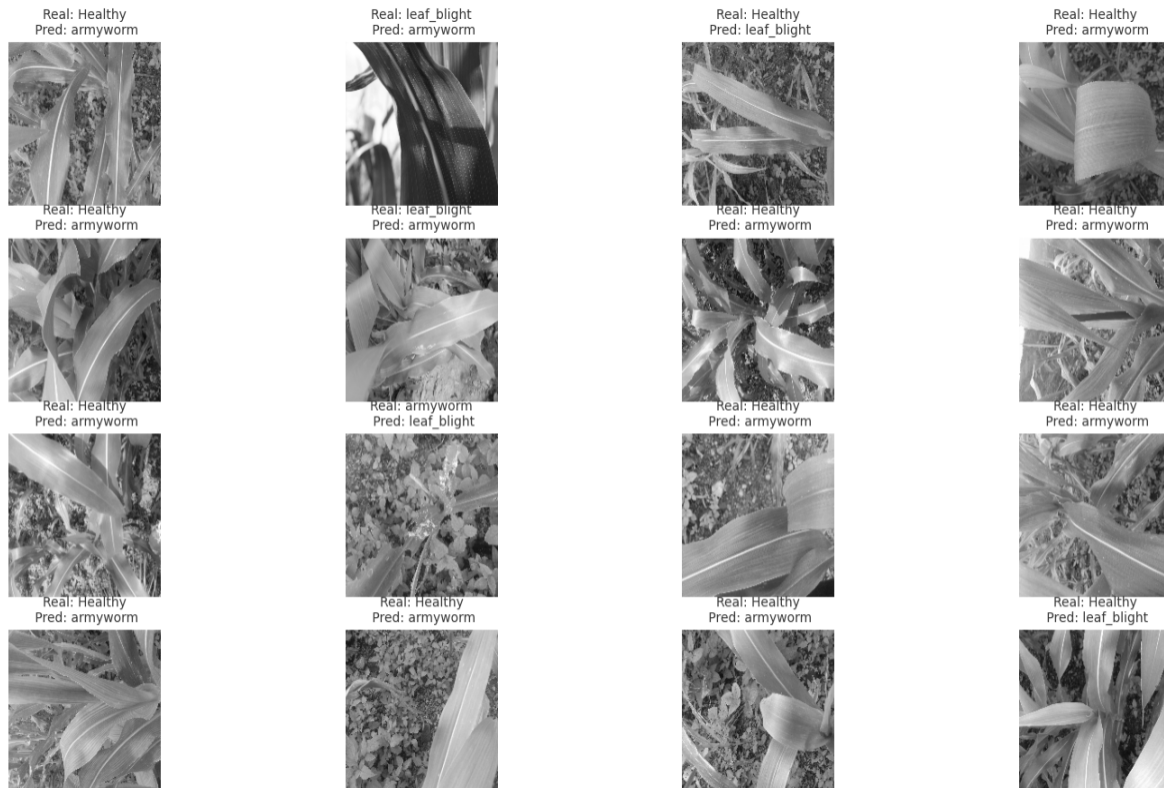
Se obtuvo una red neuronal capaz de identificar diferentes afectaciones, en la tabla 2 se muestra la cantidad de imágenes, la cantidad de épocas de entrenamiento y la exactitud de la clasificación. La pérdida reducida en decimal y una exactitud cercana al 1 nos indica que se tiene una gran precisión para determinar a partir de una imagen si la hoja padece de alguna afectación o si es una hoja sana.

Tabla 2. Resultados de la validación del algoritmo.

(3,900 imágenes, 25 épocas – 55 minutos)		
Loss	Accuracy	Test Accuracy
0.3291	0.9031	0.9031

La eficiencia de un 90% es bastante buena, sin embargo esto se pudiera mejorar mediante varias técnicas que puedes usar para optimizar la precisión de un modelo machine Learning como aumentar los datos de entrenamiento así como su calidad. Otras consideraciones serian elimina las características irrelevantes o redundantes que introducen ruido y reducen la precisión utilizando técnicas como filtrado por relevancia, análisis de componentes principales, etc.

Dado que la precisión no es el único factor a considerar, la claridad, consistencia y facilidad de interpretación de las predicciones del modelo también son importantes. Las representaciones de salida cuentan con etiquetado para mejor presentación, a continuación se muestran en la figura 5, varias imágenes de validación que fueron “introducidas” al algoritmo y a su salida se tiene la imagen con un texto indicando el tipo de afectación encontrado en cada una de ellas según la predicción, para esta tarea se empleó la biblioteca Pillow.



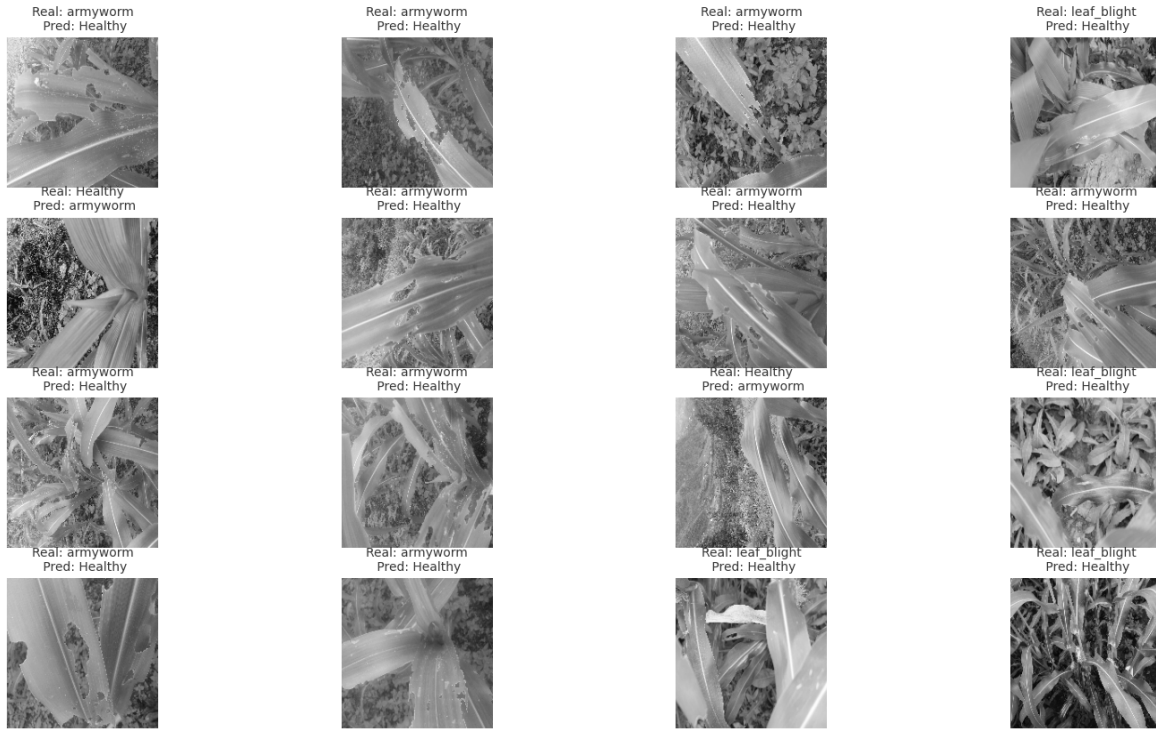


Figura 5. Clasificación y presentación de las fotografías de hojas del maíz, acompañadas de un título que indica la afectación que padece.

En la figura 6, se muestra un acercamiento de 4 predicciones. Como se puede apreciar en la 3er fotografía, se tiene una predicción errónea, lo que indica que la imagen es difícil de predecir dado que la toma de la fotografía ocupa muchas plantas alrededor, lo que puede llevar a una inexactitud en la predicción.

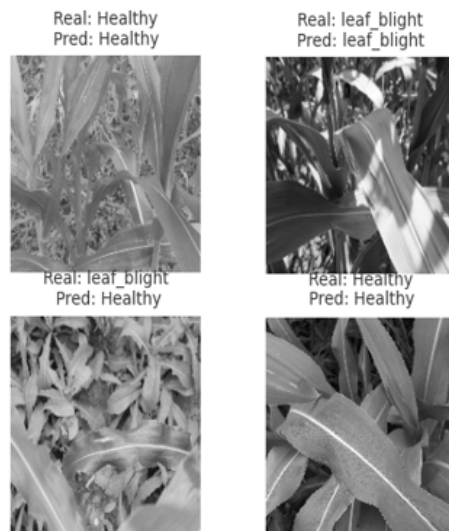


Figura 6. Resultado de las predicciones de 4 fotografías de prueba

El etiquetado de los resultados se puede realizar mediante el uso de la biblioteca de Matplotlib para realizar una mejor presentación de resultados que permita visualizar de una manera más sencilla el resultado de la predicción, a continuación se muestra el código correspondiente que ejecuta esta tarea:

```
def Plotting(results):

    for i,res in enumerate(results):
        try:
            ax = plt.subplot(4, 4, i + 1)
            plt.imshow(res[0].numpy().astype("uint8"))
            plt.title('Real: ' + class_names[res[1]] + '\n Pred: '+class_names[res[2]],
                size = 10, color = "red")
            plt.axis("off")
        except:
            break
plt.show()
```

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, el aprendizaje automático tiene un gran potencial para transformar la detección de enfermedades de las hojas de maíz y ayudar a salvaguardar este cultivo esencial. Con los continuos avances, estas técnicas podrán dar a los agricultores una opción para monitorear la salud de sus cultivos y proteger mejor sus medios de vida dado que las enfermedades de las hojas de maíz plantean un grave problema para los agricultores y pueden dar lugar a grandes pérdidas de cosecha. Los hongos, las bacterias y los virus pueden infectar las plantas de maíz y manifestarse en forma de lesiones, plagas y otros daños en las hojas, y a medida que las enfermedades progresan, pueden propagarse a otras partes de la planta y reducir drásticamente el rendimiento como ya se ha explicado.

Para cuando las enfermedades o afectaciones como el gusano cogollero, el tizón, etcétera son detectadas visualmente por parte de los agricultores, es demasiado tarde para tratar el cultivo, por lo que un proyecto de detección temprana y precisa

de las enfermedades de las hojas de maíz es crucial para minimizar los impactos. Sin embargo, los recientes avances en aprendizaje automático y visión por computadora ofrecen soluciones prometedoras empleando técnicas que se inspiran en los sistemas de visión biológicos, entrenando grandes conjuntos de datos de imágenes de hojas de maíz sanas y enfermas para detectar enfermedades con alta precisión. Estos modelos de aprendizaje automático luego se pueden usar para analizar nuevas imágenes, aunque esto en veces pudiera ser difícil de lograr implementar a escala dado el gran tamaño de las extensiones de cultivos. Por lo cual se pudiera solucionar, aunque a mayor costo monetario, mediante el uso de drones, satélites o cámaras de mayor alcance que puedan escanean los cultivos de maíz. Esto permitiría mejorar los sistemas de alerta para notificar a los agricultores de inmediato cuando se detectan enfermedades para que puedan responder rápidamente antes de que ocurran grandes pérdidas.

En cuanto a la discusión y conclusiones sobre el algoritmo de clasificación de imágenes se puede determinar que se deben usar mejoras extra para aumentar la precisión de del modelo CNN, entre las cuales se puede hacer lo siguiente:

- Agregar ajustes a los hiperparámetros que controlan el comportamiento del modelo y su optimización, hasta encontrar la combinación óptima.
- Aplicar métodos de regularización que reducen la complejidad del modelo y previenen el sobreajuste, lo que mejora la capacidad de generalización. Incluye L1/L2 regularization, dropout, batch normalization, etc.
- Transferir aprendizaje mediante modelos entrenados con conocimiento de dominios relacionados para inicializar el modelo y mejorar la precisión en el dominio actual. Los modelos pre-entrenados en una gran cantidad de datos pueden servir como punto de partida del algoritmo al tener una referencia.
- Combinar múltiples modelos. A menudo, la combinación de varios modelos diferentes da como resultado una precisión compuesta superior a la de cualquier modelo individual. Usa técnicas como voting, stacking, blending, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adames, M., Muñoz-Marí, J., & Posada, D. (2019). Plant disease detection and diagnosis using artificial intelligence and deep learning techniques. *Crop Protection*, 120, 59-71.
- ATRIA. (2023). ATRIA. Consultado de: <https://bit.ly/42SAa5L>
- Bhandary, S. S., Singh, V. K., & Deepthi, S. M. (2020). Automatic detection and classification of plant leaf diseases using machine learning algorithms. *Procedia Computer Science*, 167, 1207-1214.
- Demir, I., Koruk, S. C., & Özkan, C. (2019). Detection of potato leaf roll virus disease based on deep convolutional neural networks. *Food and Bioprocess Technology*, 12(5), 750-761.
- Gulli, P. Sujit. (2017). "Deep Learning with Keras". Packt Publishing Ltd, Livery Place, 35 Livery Street, Birmingham, UK. pp. 368-422.
- Hernández, C., Sundaraj, K., Pamarde, R., & Pandya, P. (2019). An automated image analysis system for cotton leafroller pest detection in cotton crop fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105085.
- Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 70-90.
- Keras. (2023). keras.com. Consultado de: <http://bit.ly/3U1i3q7>
- Martinez-Fernandez, J. C. (2019). An Interdisciplinary Review of Early Detection of Plant Diseases using Computer Vision. *Computers*, 8(4), 88.
- Patel, D., Rajan, S., Nanjappa, C., Radhakrishnan, A., & Deepak, B. (2019). Convolutional neural networks for plant disease detection and classification using leaf image datasets. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 94-105.
- Paudel, D., Habib, A., & Chow, T. W. (2020). Deep Learning Architecture for Detection and Classification of Plant diseases. 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP).
- Singh, L., Mopuri, A., & Dewal, D. (2020). A computer vision approach to disease detection of tomato leaves. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105265.
- TensorFlow. (2023). tensorflow.org. Consultado de: <https://www.tensorflow.org/>
- VanderPlas. J. (2015) "Python Data Science Handbook ". O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472. pp. 331-332, 359-462.

Xavier, P. M., Parthiban, R., & Mahyoub, M. M. (2018). Monitoring crop diseases and pests using deep learning and UAV-based imaging techniques. 2018 Internacional Conference on Networking, Systems and Security (NSysS).

ESTUDIO COMPARATIVO DE HUMEDAD Y GRADOS BRIX EN MIEL DE ABEJA DEL NORTE DEL PAÍS Y MIEL DE ABEJA DEL SUR DEL PAÍS

RAÚL ANTONIO ALVARADO ARROYO¹, ALICIA RODRÍGUEZ PULIDO², MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN³

RESUMEN

A mejor calidad la miel de abeja se proyecta una mejor comercialización y posicionamiento en el mercado tanto nacional como internacional. Así, en este proyecto se colectaron muestras de miel de abeja de diferentes estados de Sur del país como Yucatán, Oaxaca y Tabasco y del del Norte del país, en particular del Coahuila y Durango. A las muestras se les practicaron análisis de calidad de grados Brix y porcentaje de humedad para comparar y confirmar que encuentran dentro de los rangos aceptables marcados por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 relacionada con la producción de miel y especificaciones en México. Así, se encontró que muestras de estados del sur presentan el menor valor en grados Brix de 79.5 y un mayor valor de 82.6° Brix. En el mismo tenor, se detectó que, entre las muestras de Durango y Coahuila, el mayor valor indicado es fue de 86.5 °Brix y el menor fue de 80 °Brix. Además, se encontró que muestras de estados del sur presentan el mayor valor en porcentaje de humedad de hasta 18.8% y el menor valor de 15.5%. En el mismo respecto, se detectó que, entre las muestras de Durango y Coahuila, el mayor valor indicado es fue de 18.5 % y el menor fue de 12%.

Palabras clave: Apicultura, *Apis mellifera*, calidad, humedad, grados Brix.

ABSTRACT

The better the quality of the bee honey, the better its commercialization and positioning in the national and international market. Thus, in this project, bee honey samples were collected from different states in the south of the country, such as

¹ Universidad Autónoma de Coahuila. rantoyo@gmail.com

² Universidad Autónoma de Coahuila. Alicia.rodriguez@uadec.edu.mx

³ Universidad Politécnica de Gómez Palacio. r_ml_10@hotmail.com

Yucatan, Oaxaca and Tabasco, and from the north of the country, particularly Coahuila and Durango. Quality analyses of Brix degrees and moisture percentage were performed on the samples to compare and confirm that they are within the acceptable ranges set by the Mexican Official Standard NOM-004-SAG/GAN-2018 related to honey production and specifications in Mexico. Thus, it was found that samples from southern states have the lowest Brix value of 79.5 and the highest value of 82.6° Brix. In the same vein, it was found that, among the samples from Durango and Coahuila, the highest value indicated was 86.5 °Brix and the lowest was 80 °Brix. In addition, it was found that samples from southern states had the highest moisture percentage value of up to 18.8% and the lowest value of 15.5%. In the same respect, it was found that, among the samples from Durango and Coahuila, the highest value indicated was 18.5% and the lowest was 12%.

Keywords: *Apis mellifera*, beekeeping, quality, moisture, Brix degrees.

INTRODUCCIÓN

La miel de abeja es una de las sustancias naturales más dulces y su producción inicia cuando las abejas extraen el néctar de las flores para transportarlo al panal en donde lo mezclan con sustancias que ellas mismas producen. Después lo deshidratan para llevarlo desde el 60% hasta el 18% de humedad. Finalmente lo almacenan en celdas o cavidades (Santacruz et al., 2016).

La miel es un producto natural alimenticio con un alto valor nutritivo que se ha utilizado en la medicina tradicional de todo el mundo por sus diferentes propiedades curativas, antibacterianas y antiinflamatorias. Diversos estudios muestran que la miel tiene propiedades quimiopreventivas e inmunorreguladoras y antioxidantes (Fauzi et al., 2011).

De acuerdo con el sedimento que se encuentra presente en la miel, ésta puede ser de dos tipos: a) miel de néctar de flores, donde domina el polen de plantas nectaríferas y b) miel de mielada o miel de bosque, que proviene principalmente de secreciones o exudaciones de otras partes vivas de las plantas o de insectos que se encuentra presentes sobre ellas (la Serna et al., 1999).

Las mieles de néctar o de flores se clasifican según la fuente donde las abejas hacen la recolección del néctar. La clasificación es de acuerdo con tres criterios, que son: origen botánico de la miel, características melisopalinológicas y grado de comercialización (Díaz-Forestier et al., 2008).

Los principales componentes de la miel son los carbohidratos como fructosa y glucosa, los cuales constituyen el 85% de los sólidos presentes, que a su vez se pueden traducir a grados Brix. Por otro lado, el contenido de humedad es un de las propiedades más importantes de la miel. Ésta depende de algunos factores como condiciones ambientales y humedad del néctar del que proviene la miel. Una miel madura generalmente presenta un contenido de humedad por debajo del 18.5%, y cuando se supera este nivel, puede pasar a la fermentación con mayor facilidad, especialmente si tiene contacto con levaduras osmofílicas. Además, el contenido de agua de la miel afecta la viscosidad, la gravedad específica y el color de la miel, influyendo así en su vida de anaquel y propiedades sensoriales (Ulloa et al., 2010). De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 relacionada con la producción de miel y especificaciones en México, la miel en condiciones de comercialización no debe presentar signos de fermentación, sabores y aromas absorbidos por sustancias extrañas durante su obtención, sedimentación, filtración, envasado y/o almacenamiento, y debe tener entre otras, las siguientes características de su calidad. Su contenido global de fructosa y glucosa debe ser al menos de 60 g/100 g (60 °Brix) y debe tener un grado de humedad (g/100 g) hasta de 20.00% (Diario Oficial de la Federación, 2018).

Además, la actividad apícola tiene relevancia social y económica ya que genera una importante derrama de divisas provenientes del comercio exterior, convirtiéndose en un elemento básico de la socioeconomía (Instituto Nacional de la Economía Social, 2018) Actualmente, la producción mundial de miel de abeja es de alrededor de 1.8 millones de toneladas y la mitad de esta producción se concentra en países como China, Argentina, Turquía, Irán, Ucrania, Estados Unidos, India, Rusia y México (AtlasBig.com, 2022).

Por otra parte, la apicultura es una actividad fundamental para la seguridad alimentaria, no solo por sus productos, sino también por su impacto en la polinización de los cultivos (Benitez-Vieyra et al., 2019).

México es rico en especies vegetales que favorecen la actividad de los insectos, principalmente abejas (*Apis mellifera L.*), las cuales producen rendimientos de miel de 50 a 75 kg por colmena (Reyes-Carrillo et al., 2014).

Al 2017, el valor de la producción de este endulzante en el país fue de 500 millones de dólares, equivalentes a cerca de 10 mil millones de pesos anuales, de los que 150 millones de dólares se obtuvieron por su exportación (Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca, 2017).

El conocimiento de los componentes bioactivos de un producto conlleva a la certeza de que un alimento es ideal para su consumo, de ahí la importancia y relevancia de realizar estudios como el presente, que permita conocer la calidad de un producto (García-Chaviano et al., 2022).

En el país se distinguen 5 regiones apícolas, con diferentes grados de desarrollo y variedad de tipos de mieles de acuerdo a sus características de humedad, color, aroma y sabor. Estas regiones son Altiplano, Pacífico, Golfo, Norte y Península de Yucatán (Martell-Tamanis et al., 2020).

La miel producida en la Región Norte se caracteriza por ser excelente y tiene un fuerte mercado en los Estados Unidos de América. Sin embargo, la participación de estados como Coahuila (en promedio, 0.16%) (Reyes-Carrillo et al., 2014) y Durango (en promedio, 0.05%) (*Primeras 9 Ton. de Miel de 2021*, n.d.) a nivel nacional es muy pequeña.

Además, el mercado de la miel de abeja producida a nivel local se puede expandir incluso a nivel internacional por lo que es necesario definir su calidad y proponer la estandarización de sus procesos de obtención (Kumul et al., 2015).

El objetivo de este trabajo se dará a conocer la calidad de mieles de abeja producidas en estados del norte (Durango y Coahuila) y del sur (Tabasco, Yucatán y Oaxaca) de México con respecto parámetros como humedad y grados Brix teniendo como referencia los valores marcados en la Norma Oficial Mexicana NOM-

004-SAG/GAN-2018 relacionada con la producción de miel y especificaciones en México.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

La parte analítica de este proyecto de investigación se ha desarrollado en el Departamento de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica de Gómez Palacio, municipio de Gómez Palacio, Durango, México, latitud 25° 38' 22.524" N, y longitud 103° 31' 53.847" W, con una altura promedio de 1120 m.s.n.m. Las muestras de miel de abeja revisadas fueron proporcionadas por apicultores cuyos apiarios se ubican los estados de Durango y Coahuila, del norte del país, y Oaxaca, Tabasco y Yucatán, del sur del país. A continuación, se encuentra una tabla que presenta datos de identificación de las muestras revisadas. A cada muestra se le ha asignado una clave de identificación que se ubica en la primera columna de la tabla.

Tabla 1. Identificación de las muestras de miel de abeja.

CLAVE	Estado	Área	Origen floral de la miel	Época de recolección
C1	Coahuila	Torreón	Multifloral.	Febrero de 2022
C2	Coahuila	San Pedro de las Colonias	Monofloral: Mezquite.	Marzo - abril de 2022
C3	Coahuila	CBTA No. 1 - La Partida	Multifloral.	Febrero de 2022
D1	Durango	Pilar de Zaragoza	Monofloral: Mezquite.	Marzo - abril de 2022
D2	Durango	Terrones	Multifloral: Maíz y frijol.	Octubre de 2022
D3	Durango	El Cerrito	Multifloral: Frijol, cebada, girasol, lampote.	Octubre de 2022
D4	Durango	Nuevo Ideal	Multifloral: Aceitilla, lampote, frijol.	Septiembre - Octubre de 2022
D5	Durango	Pilar de Zaragoza	Monofloral: Mezquite	Marzo - abril de 2022
D6	Durango	Ejido Pinosuárez, Durango	Multifloral: Aceitilla, lampote, frijol.	Septiembre - Octubre de 2022
D7	Durango	El Manzanal	Multifloral: Aceitilla, lampote, frijol.	Octubre - noviembre de 2022.
D8	Durango	Casablanca	Multifloral: Maíz, frijol, calabaza.	Octubre de 2022
D9	Durango	Nombre de Dios	Monofloral: Mezquite.	Marzo - abril de 2022

D10	Durango	La Granjita del Saber, Estación Poana, Poanas	Monofloral: Mezquite.	Agosto - diciembre de 2022
D11	Durango	Apiario La Leona	Multifloral: Palo Blanco, alfalfa.	Diciembre de 2022
D12	Durango	Lt.3 Ex Hacienda de Cañas, Canatlán	Multifloral: Frijol, aceitilla, baradulce, engordacabra, gatuño.	Agosto - Octubre de 2022
D13	Durango	Nombre de Dios	Multifloral	Marzo - abril de 2020
D14	Durango	Malaga	Multifloral: Frijol y aceitilla.	Noviembre de 2022
D15	Durango	Malaga	Multifloral.	Noviembre de 2022
D16	Durango	Predio Calabacillas, La Parrilla, Nombre de Dios	Multifloral: Frijol, aceitilla.	Julio - octubre de 2021
D17	Durango	Manzanal	Multifloral.	Septiembre - octubre de 2022
D18	Durango	El Refugio, Mezquital, Dgo.	Multifloral: Maíz, frijol y alfalfa.	Octubre de 2022
D19	Durango	Arenal.	Monofloral: Mezquite.	Marzo - abril de 2022
D20	Durango	Las Maravillas.	Multifloral: Frijol, aceitilla.	Octubre de 2022
D21	Durango	Nuevo Ideal	Multifloral: Aceitilla, lampote, frijol.	Septiembre - octubre de 2022
D22	Durango	Ignacio Ramírez, Guadalupe Victoria	Multifloral: Gatuño, gobernadora.	Junio - julio de 2022.
D23	Durango	El Chaparral, Panuco de Coronado.	Multifloral: Frijol, sorgo, maíz.	Septiembre - octubre de 2022
D24	Durango	Santa Clara	Multifloral: Jasmín, baradulce.	Junio - julio de 2022.
D25	Durango	Santa Clara	Multifloral.	Agosto de 2022
D26	Durango	Lerdo y Gómez Palacio	Multifloral: pinabete, flor de melón.	Septiembre - octubre de 2022
D27	Durango	Rancho Mortero Col. Hidalgo	Multifloral: Lampotillo y varadulce.	Septiembre - octubre de 2022
D28	Durango	Emiliano Zapata, Cuencamé	Multifloral: Frijol, avenas.	Julio - octubre de 2021
D29	Durango	Emiliano Zapata, Cuencamé	Multifloral: Frijol, avenas.	Julio - octubre de 2021
D30	Durango	Gómez Palacio	Multifloral.	Septiembre - octubre de 2022
D31	Durango	Gómez Palacio	Multifloral.	Septiembre - octubre de 2022
D32	Durango	Guadalupe Victoria, Región de los Llanos	Monofloral: Aceitilla	Septiembre - octubre de 2022
D33	Durango	Lerdo	Multifloral	Julio - agosto de 2022

O1	Oaxaca	La Huerta, Pluma Hidalgo	Monofloral: Campanilla.	Mayo de 2022
O2	Oaxaca	La Peña, San Pedro Ixclahuaca	Multifloral.	Diciembre de 2022
O3	Oaxaca	Loma Alta, Mazatlán Villa de Flores	Multifloral: Guojinicuil, jonote.	Mayo de 2022
O4	Oaxaca	Barranca Honda.	Multifloral.	Diciembre de 2022
O5	Oaxaca	Los Vargas, Santa María Colotepec	Multifloral.	Mayo de 2022
O6	Oaxaca	Loma Ata Norte	Multifloral: Flores silvestres del bosque.	Mayo de 2022
O7	Oaxaca	Santa María La Asunción, La Peña	Multifloral: Bosque, pino, laurel, encino, sabias, guayaba.	Mayo de 2022
O8	Oaxaca	San Antonio Acutla Mixteco	Multifloral.	Noviembre de 2017
O9	Oaxaca	San Pedro Caojonos	Multifloral: De bosque, acahual.	Noviembre de 2018
O10	Oaxaca	Tejupan de la Unión	Multifloral: Acahual, aceitilla, mostaza, flores espontáneas.	Noviembre de 2019
O11	Oaxaca	Zaachila	Multifloral: Acahual, aceitilla, flores espontáneas, rastreras, huamucho, uña de gato, rastreras.	Noviembre de 2020
O12	Oaxaca	Yerbasanta, Santiago Yosandua	Multifloral: Huajal, acahual, aceitilla, plantas rastreras.	Noviembre de 2021
O13	Oaxaca	San Mateo Cajonos	Multifloral del bosque.	Noviembre de 2022
O14	Oaxaca	San Jerónimo Tecoaatl, La Cueva	Multifloral: Jonote, huajinicuil, maíz, frijol.	Mayo de 2022
Y1	Yucatán	Halachó, Halachó	Multifloral: Dzidzilche, jabin, chacal.	Abril de 2022
Y2	Yucatán	Halachó, Halachó	Multifloral: Tzalam.	Junio de 2022
Y3	Yucatán	Santa María Acu, Halachó	Multifloral: Chukum, Sac litsa y Box Calzin.	Junio de 2022
Y4	Yucatán	Kinchil, Kinchil	Multifloral: Tzalam y Tzimin che.	Junio de 2022
Y5	Yucatán	Hunucma	Multifloral.	Febrero de 2023
T1	Tabasco	El Tinto	Multifloral.	Mayo de 2022

Elaboración propia.

Análisis de grados Brix (°Brix): La concentración de distintos carbohidratos en la miel de abeja tiene un efecto decisivo en sus propiedades físicas y químicas. Los principales carbohidratos de la miel son la fructosa y la glucosa, y constituyen un promedio del 77.85 por ciento del producto. Otros carbohidratos incluidos son; disacáridos como sucralosa, maltosa y melezitosa (Santacruz et al., 2016). Con el fin de determinar en forma global la proporción de carbohidratos como parámetro

de calidad, se midieron los grados °Brix de todas las muestras de miel mediante la ayuda del refractómetro provisto de un sistema de corrección de temperatura automático. Para ello, se coloca una gota de miel sobre la cámara del refractómetro y se toma la lectura de grados Brix correspondiente de acuerdo a su escala.

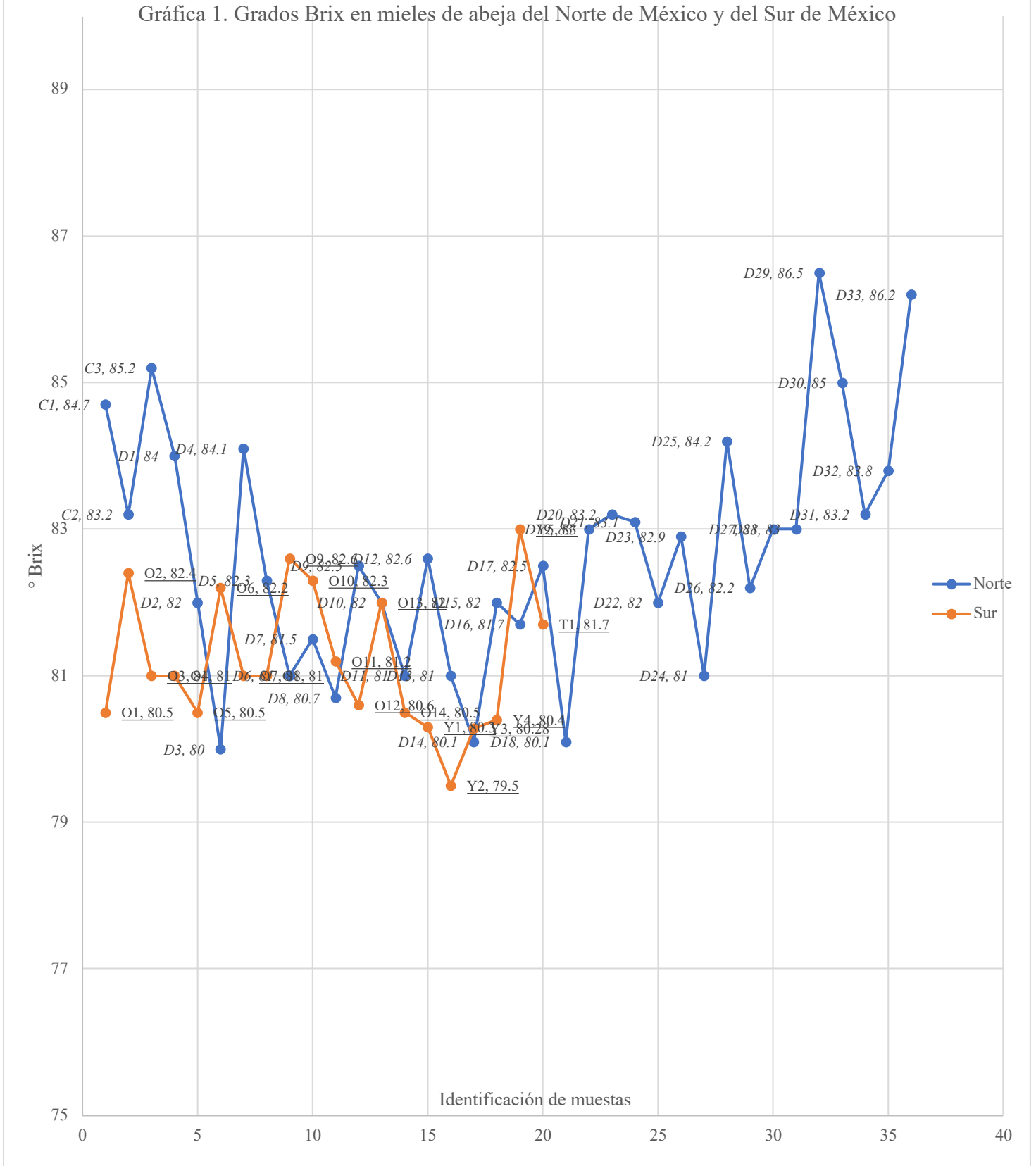
Análisis del porcentaje de humedad (% humedad): Este método se ha desarrollado con base en el índice de refracción utilizando instrumental de laboratorio y el equipo refractómetro con corrección automática de temperatura. Para ello, se coloca una gota de miel sobre la cámara del refractómetro y se toma la lectura del porcentaje de humedad correspondiente de acuerdo a su escala.

El equipo refractómetro utilizado para ambas mediciones descritas es un equipo profesional de alta escala, adecuado para la medición de grados Brix y porcentaje de humedad en muestras de miel, cerveza, vino, jugos de fruta, entre otras sustancias alimenticias. Está construido en base de aluminio y de fácil portabilidad. Por otro lado, el equipo consta de un sistema de corrección automática de temperatura para evitar que pequeñas variaciones en este parámetro afecte la medición de los parámetros en cuestión. Además, las lecturas llevadas a cabo en el equipo son de alta precisión

RESULTADOS

A continuación, se presenta una gráfica en donde se indican los resultados en grados Brix determinados en las muestras de miel de abeja revisadas. En una serie se presentan los valores detectados en las muestras correspondientes a los estados del norte de México. En otra serie se presentan los valores detectados en las muestras correspondientes a los estados del sur de México.

Gráfica 1. Grados Brix en mieles de abeja del Norte de México y del Sur de México



Elaboración propia.

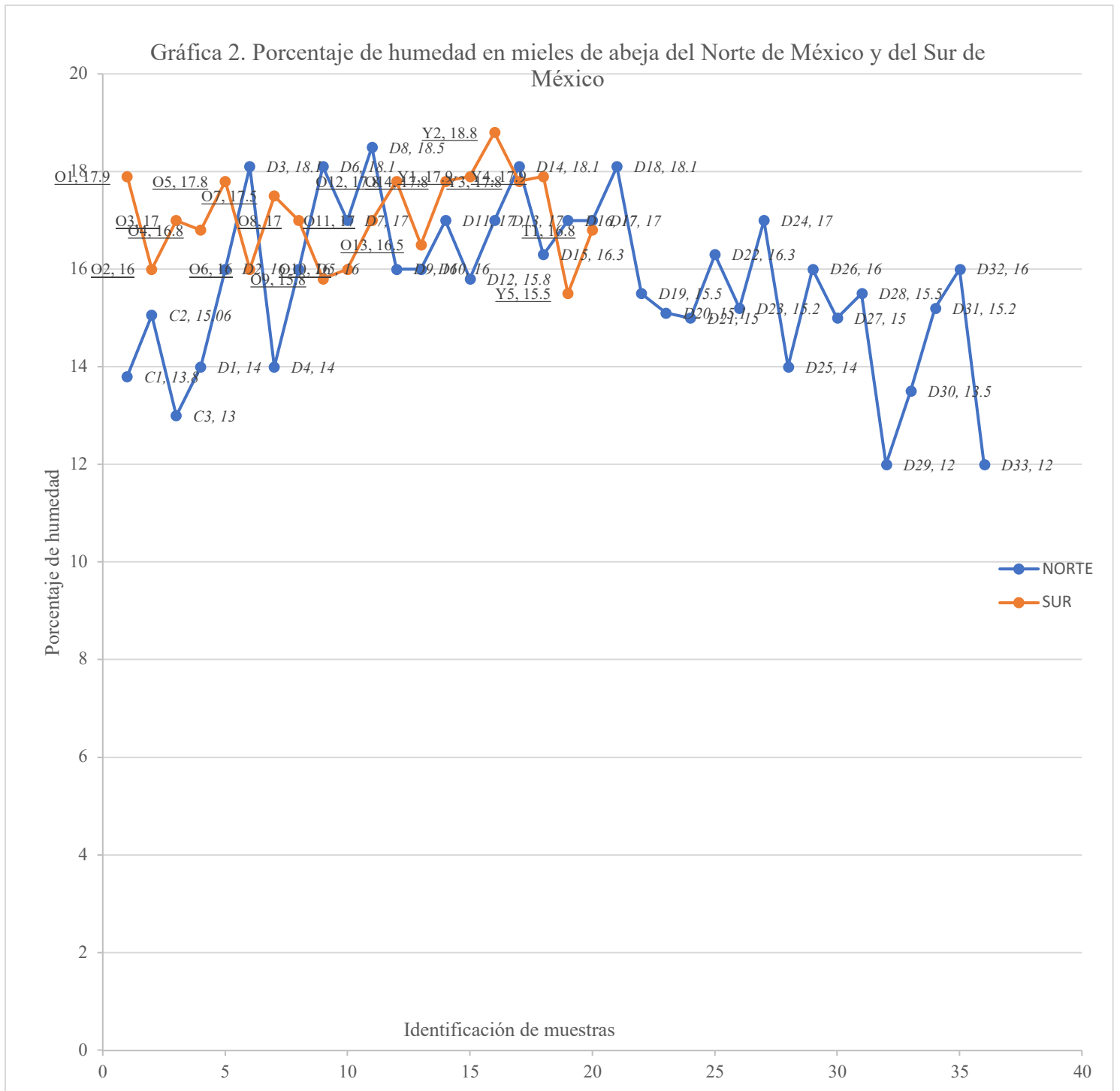
De acuerdo a los resultados de la determinación de grados Brix en todas las muestras de miel de abeja analizadas, es importante destacar que todas las muestras presentan valores que se encuentran por encima del valor límite marcado por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 de al menos 60 °Brix. Se puede detectar también, a este respecto, que la muestra que presenta el menor valor en grados Brix es la marcada con clave Y2 con un valor de 79.5° Brix. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en Halachó, Halachó en el estado de Yucatán.

Entre los estados del sur de México, la muestra de miel que presenta un mayor valor en grados Brix es la correspondiente a la clave O9 con un valor de 82.6° Brix. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en San Pedro Cajonos en el estado de Oaxaca.

Entre los estados del norte de México, la muestra de miel que presenta un mayor valor en grados Brix es la correspondiente a la clave D29 con un valor de 86.5° Brix. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en Emiliano Zapata, Cuencamé en el estado de Durango.

Finalmente, entre los estados del norte de México, la muestra de miel que presenta un menor valor en grados Brix es la correspondiente a la clave D3 con un valor de 80° Brix. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en El Cerrito en el estado de Durango.

A continuación, se presenta una gráfica en donde se indican los resultados de porcentajes de humedad determinados en las muestras de miel de abeja revisadas. En una serie se presentan los valores detectados en las muestras correspondientes a los estados del norte de México. En otra serie se presentan los valores detectados en las muestras correspondientes a los estados del sur de México.



Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados de la determinación del porcentaje de humedad en todas las muestras de miel de abeja analizadas, es importante destacar que todas las muestras presentan valores que se encuentran por abajo del valor límite

marcado por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 de máximo 20%. Se puede detectar también, a este respecto, que la muestra que presenta el mayor valor en porcentaje de humedad es misma marcada con clave Y2 con un valor de 18.8%. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en Halachó, Halachó en el estado de Yucatán.

Entre los estados del sur de México, la muestra de miel que presenta un menor valor en porcentaje de humedad es la correspondiente a la clave Y5 con un valor de 15.5%. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en Hunucma en el estado de Yucatán.

Entre los estados del norte de México, las muestras de miel que presenta un menor valor en porcentaje de humedad son las correspondientes a las claves D29 y D33 con un valor de 12% cada una. La primera muestra pertenece a un apiario localizado en Emiliano Zapata, Cuencamé en el estado de Durango, y la segunda muestra pertenece a un apiario localizado en Lerdo en el mismo estado.

Entre los estados del norte de México, la muestra de miel que presenta un mayor valor en porcentaje de humedad es la correspondiente a la clave D8 con un valor de 18.5%. Esta muestra pertenece a un apiario localizado en Casablanca en el estado de Durango.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Todas las muestras de miel analizadas cumplen con los límites de calidad marcados por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SAG/GAN-2018 para comercialización.

Por otro lado, y como se ha detectado en las mediciones, los valores grados Brix determinados en al menos ocho muestras de miel de abeja de los estados de Durango y Coahuila fluctúan entre 84 y 86.5 °Brix, por lo que tienden a presentar una mayor riqueza en carbohidratos simples. En consecuencia, riqueza nutricional se ve aumentada en comparación con la miel de abeja producida en los estados de Yucatán, Oaxaca y Tabasco, en que el mayor valor detectado de grados Brix es de 82.6° Brix.

Además, y como se ha observado, los valores de porcentaje humedad determinados en al menos ocho muestras de miel de abeja de los estados de Durango y Coahuila fluctúan entre 12 y 15%, por lo que tienen menor susceptibilidad a ser objeto de fermentación. En consecuencia, su vida de anaquel se ve aumentada en comparación con la miel de abeja producida en los estados de Yucatán, Oaxaca y Tabasco, en que el menor valor detectado de porcentaje de humedad es de 15.5%. El complemento al presente trabajo se está desarrollando en relación al análisis de otros parámetros de calidad como capacidad antioxidante, y específicamente, concentración de compuestos fenólicos y flavonoides. Estos parámetros se encuentran en conexión directa con la proporción de grados Brix y el porcentaje de humedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AtlasBig.com. (2022). *World Honey Production by Country*. <https://www.atlasbig.com/en-us/countries-by-honey-production>
- Benitez-Vieyra, S., Pérez-Alquicira, J., Sazatornil, F. D., Domínguez, C. A., Boege, K., Pérez-Ishiwara, R., & Fornoni, J. (2019). Evolutionary transition between bee pollination and hummingbird pollination in *Salvia*: Comparing means, variances and covariances of corolla traits. *Journal of Evolutionary Biology*, 32(8), 783–793. <https://doi.org/10.1111/jeb.13480>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2017, May 4). *Anuncia SAGARPA nuevo programa para fomentar la producción de miel en México*. Anuncia SAGARPA Nuevo Programa Para Fomentar La Producción de Miel En México. <https://www.gob.mx/conapesca/prensa/anuncia-sagarpa-nuevo-programa-para-fomentar-la-produccion-de-miel-en-mexico-106005>
- Diario Oficial de la Federación. (2018). Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-004-SAG/GAN-2018, Producción de miel y especificaciones. In *Norma*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5592435&fecha=29/04/2020#gsc.tab=0
- Díaz-Forestier, J., Gómez, M., & Montenegro, G. (2008). Secreción de néctar de quillay. *Una Herramienta Para Una Apicultura Sustentable. Agronomía y Forestal*, 35, 27–29.
- Fauzi, A. N., Norazmi, M. N., & Yaacob, N. S. (2011). Tualang honey induces apoptosis and disrupts the mitochondrial membrane potential of human breast and cervical cancer cell lines. *Food and Chemical Toxicology*, 49(4), 871–878. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2010.12.010>
- García-Chaviano, M. E., Armenteros-Rodríguez, E., Escobar-Álvarez, M. del C., García-Chaviano, J. A., Méndez-Martínez, J., & Ramos-Castro, G. (2022). Composición química de la miel de abeja y su relación con los beneficios a la salud. *Revista Médica Electrónica*, 44(1), 155–167.
- Instituto Nacional de la Economía Social. (2018, February 22). *La Apicultura: actividad económica que apoya el INAES | Instituto Nacional de la Economía Social | Gobierno | gob.mx*. La Apicultura: Actividad Económica Que Apoya El INAES. <https://www.gob.mx/inaes/articulos/la-apicultura-actividad-economica-que-apoya-el-inaes?idiom=es>
- Kumul, R. C., Ruiz, J. C. R., Vázquez, E. O., & Campos, M. R. S. (2015). Antioxidant potential of melipona becheii honey and its relationship to health: A review. *Nutricion Hospitalaria*, 32(4), 1432–1442. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9312>

- la Serna, I. E., Méndez, B., & Gómez, C. (1999). Aplicación de nuevas tecnologías en mieles de Canarias para su tipificación y control de calidad. In S. C. de Tenerife (Ed.), *Grana* (Issue 6). Cajas de Ahorro.
- Martell-Tamanis, Y. A., Lobato-Rosales, F. G., Landa-Zárate, M., Luna-Chontal, G., García-Santamaría, L. E., & Fernández-Lambert, G. (2020). Variables de influencia para la producción de miel utilizando abejas *Apis mellifera* en la región de Misantla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1353–1363. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1690>
- Primeras 9 ton. de miel de 2021.* (n.d.). Retrieved October 8, 2022, from <https://www.elsiglodedurango.com.mx/noticia/2021/primeras-9-ton-de-miel-de-2021.html>
- Reyes-Carrillo, J. L., Galarza-Mendoza, J. L., Muñoz-Soto, R., & Moreno-Reséndez, A. (2014). Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 215–228.
- Santacruz, E. I., Martínez Benavides, J., & Jurado Gámez, H. (2016). Identificación de flora y análisis nutricional de miel de abeja para la producción apícola. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 37. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)37-44](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)37-44)
- Ulloa, A., Mondragón Cortez, P. M., Rogelio, Q. F. B., Rodríguez, R., Juan, Q. F. B., Reséndiz Vázquez, A., En, M., Petra, C., & Ulloa, R. (2010). La miel de abeja y su importancia. In *Revista Fuente Año* (Vol. 2, Issue 4).

AUTOMATIZACIÓN DEL MONITOREO DE PARÁMETROS A TRAVÉS DE UN DASHBOARD DIGITAL: CASO INVERNADERO INTELIGENTE

RAÚL LOREDO MEDINA¹, JESÚS AURELIO MELÉNDREZ ROJAS², JUAN HÉCTOR ALZATE ESPINOZA³

RESUMEN

En la región de Guasave, Sinaloa, una de las actividades primarias es la agricultura la cual demanda mejores formas de llevar a cabo cada uno de sus procesos, esto para buscar la mayor producción posible en los productos que se cultivan. Una manera de mejorar esto, es automatizando cada uno de sus procesos, tal como ha sido usando invernaderos donde de alguna manera es posible hacerlo, controlando parámetros de interés para los cultivos como temperatura, humedad, luminosidad, entre otros. La manera de hacerlo es a través del uso de sistemas embebidos, los cuales, con el uso de sensores, actuadores y, sobre todo, utilizando dashboard, permiten verificar en todo momento que se requiera los diferentes parámetros de interés. Es por ello, que en este trabajo se presenta un dashboard adaptado a un prototipo de invernadero, en el cual se pueden monitorear temperatura, luminosidad y humedad. La información además de ser recolectada por los sensores y almacenada, puede ser consultada cuando en todo momento que se desee y procesada para poder detectar anomalías que pudieran afectar el rendimiento de algún cultivo si los parámetros no fueran los adecuados, con ello permitirá que se lleve a cabo una acción rápida ya sea por parte del agricultor o que el mismo sistema de manera automática, esto para minimizar estos efectos y obtener la mejor producción posible.

Palabras clave: Invernadero inteligente, Sistemas embebidos, Dashboard, Parámetros.

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave. raul.lm@guasave.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave. jesus.mr@guasave.tecnm.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Guasave. juan.ae@guasave.tecnm.mx

ABSTRACT

In the region of Guasave, Sinaloa, one of the primary activities is agriculture, which demands better ways to carry out each of its processes, in order to seek the highest possible production of the products grown. One way to improve this is by automating each of its processes, such as using greenhouses where it is somehow possible to do so, controlling parameters of interest for crops such as temperature, humidity, luminosity, among others. The way to do this is through the use of embedded systems, which, with the use of sensors, actuators and, above all, using dashboard, allow to verify at any time required the different parameters of interest. For this reason, this work presents a dashboard adapted to a greenhouse prototype, in which temperature, luminosity and humidity can be monitored. The information, besides being collected by the sensors and stored, can be consulted at any time and processed to detect anomalies that could affect the performance of a crop if the parameters were not adequate, thus allowing a quick action to be carried out either by the farmer or by the system itself automatically, in order to minimize these effects and obtain the best possible production.

Keywords: Smart greenhouse, Embedded systems, Dashboard, Parameters.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad fundamental para el desarrollo económico y social del país, y el municipio de Guasave, Sinaloa no es la excepción. En el año 2022, la importancia de la agricultura en este municipio se mantuvo como uno de los principales pilares de su economía y de su identidad.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la actividad agropecuaria representa el 24% de la economía del municipio, siendo el cultivo de hortalizas el de mayor relevancia. Además, la agricultura en este municipio genera empleo directo e indirecto, lo que contribuye al bienestar de la comunidad y al crecimiento de la región ((INEGI), 2022).

Por otra parte, la agricultura en Guasave también tiene un impacto importante en la seguridad alimentaria de México. Este municipio es uno de los principales productores de hortalizas en el país, abasteciendo a diversas regiones de México y exportando a otros países (Rural, 2022).

De esta manera, es de gran importancia impulsar políticas públicas que fomenten la inversión en tecnologías y capacitación para los productores, así como la diversificación de cultivos y el fortalecimiento de la cadena productiva, para garantizar un desarrollo sostenible y competitivo de la agricultura en Guasave.

El uso de tecnologías en la agricultura es fundamental para mejorar la productividad y eficiencia en la producción de alimentos. En el municipio de Guasave se han implementado diversas tecnologías para el sector agrícola, a continuación, se presentan algunos ejemplos:

Agricultura de precisión: esta tecnología se basa en la utilización de herramientas de medición como drones y sensores, para optimizar la gestión de los cultivos y reducir costos. En Guasave se ha implementado esta tecnología en cultivos como el tomate y el chile, con resultados positivos en cuanto a rendimiento y calidad de los productos (Mazón et al., 2021).

Riego inteligente: el uso de sensores de humedad del suelo y sistemas de riego automatizados permite una gestión eficiente del agua, reduciendo el consumo y mejorando la productividad. En Guasave, se han implementado sistemas de riego inteligente en cultivos de hortalizas, con resultados positivos en cuanto a ahorro de agua y mejora de la producción (Pérez et al., 2020).

Monitoreo de plagas y enfermedades: el uso de tecnologías de monitoreo y diagnóstico de plagas y enfermedades permite una gestión preventiva y eficiente de estos problemas. En Guasave, se han utilizado sensores y cámaras para detectar plagas y enfermedades en cultivos de tomate y chile, con resultados positivos en la reducción de pérdidas (Sánchez et al., 2022).

Por otro lado, el uso y aplicación de tecnologías para el monitoreo de cultivos es una herramienta importante a la hora de tomar de decisiones en la agricultura, esto ya que permiten observar el comportamiento de ciertos parámetros. A continuación, se presentan algunos trabajos de investigación enfocados en ello.

Kim et al. (2020) presentan un trabajo donde hablan acerca del uso del Internet de las Cosas (IoT) en la agricultura, teniendo como objetivo el optimizar diferentes actividades como son sistemas de gestión y control de información, sistemas de maquinaria no tripulada. Además, también se discuten las limitaciones que pudiera llegar a tener el uso del IoT dentro de la agricultura.

Chanchi, et al., (2022) propone el diseño e implementación de una arquitectura software basada en IoT para la monitorización, análisis y visualización de las principales variables de interés en plantas de interior. A partir de la arquitectura definida, se desarrolló un prototipo de sistema para la monitorización y análisis de las variables de interés en plantas de interior como temperatura, humedad y luminancia, que fue evaluado en un caso de estudio particular con la planta Siempreviva China. La arquitectura y el prototipo desarrollados pretenden servir de referencia para ser replicados en contextos de aplicación similares como: agricultura de precisión y escenarios de monitoreo de variables ambientales.

Nigam, et al., (2022), nos muestran una aplicación denominada Grow-IoT la cual analiza la salud de las plantas y una plataforma de monitorización remota para garantizar que el agricultor esté al tanto de todos los factores críticos que afectan al estado de ellas. Además, usa cámaras instaladas en el campo que facilitan la captura de imágenes de las plantas para determinar su salud basándose en características fenotípicas, usa un algoritmo de visión por ordenador que proporciona información visual para clasificar la salud de las plantas en tres categorías distintas. Todos los datos pueden visualizarse mediante la aplicación Grow-IoT de fácil uso para supervisar a distancia y tomar las medidas necesarias en caso de condiciones críticas.

Estos estudios demuestran la importancia y beneficios de la aplicación de tecnologías para el monitoreo de cultivos en la agricultura.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se siguió la metodología propuesta por (Pressman, 2010) en su libro Ingeniería de Software para sistemas de información, la cual consiste en 5 etapas que son:

- Análisis
- Diseño
- Codificación
- Prueba
- Mantenimiento

En la etapa de análisis, se procedió a consultar a docentes del Instituto Tecnológico Superior de Guasave del área de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable, esto para conocer el funcionamiento de un invernadero y qué parámetros son los más importante que se pueden llegar a monitorear en un cultivo. Con ello se concluyó que para este caso de estudio solo se monitorearían los parámetros de luminosidad, temperatura y humedad, ya que estos parámetros son de gran importancia para todos los cultivos, además de que existen un mayor número de sensores comerciales que se pueden utilizar para el desarrollo de prototipos.

Siguiendo con la etapa de diseño, se establecieron los componentes que se iban a necesitar para desarrollar el prototipo, en este caso se optó por utilizar un microcontrolador ESP32, para llevar a cabo todo el control del prototipo, sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad, por último, se decidió usar un fotorresistor para medir la luminosidad.

En la Figura 1, podemos apreciar el diseño propuesto para la conexión del sensor de temperatura y humedad, DHT11 con el microprocesador ESP32.

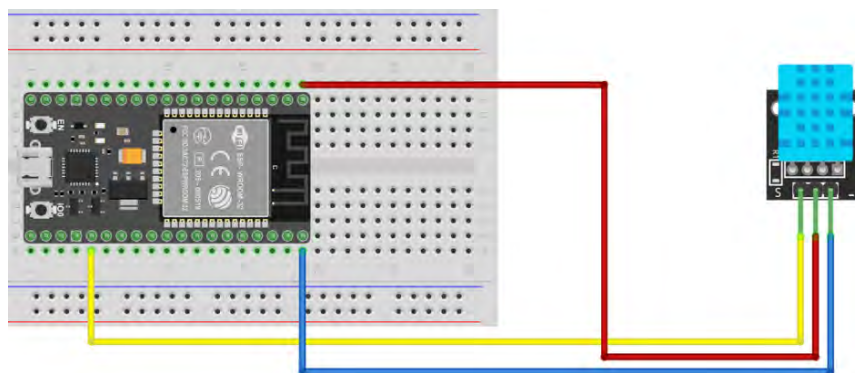


Figura 1. Conexiones ESP32 y DHT11.

En la Figura 2, podemos apreciar el diseño propuesto para la conexión del sensor de luminosidad, que es el fotorresistor con el microprocesador ESP32.

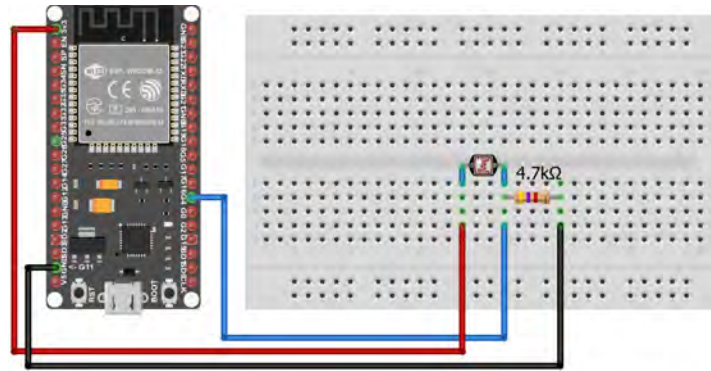


Figura 2. Conexiones ESP32 y fotoresistor.

Además, se estableció que se desarrollaría un dashboard digital que permitiera visualizar las mediciones de los sensores, para ello se optó por utilizar el lenguaje C#, junto con XAML y WPF, para el desarrollo de una interfaz amigable en la que se pudieran visualizar las mediciones de manera numérica y gráfica.

Aquí se decidió también la forma que tendría la interfaz gráfica, en este caso debería contar con un control donde se pudiera elegir el puerto de conexión del dispositivo que permitiría leer los datos en el computador, además, se tendrían cuadros de texto donde se mostrarán las lecturas obtenidas por los sensores, así como una parte donde se mostrarán de manera gráfica los mismos, con lo cual se permitiría observar un comportamiento de los parámetros a lo largo del tiempo.

Siguiendo con la parte del desarrollo, lo primero que se realizó fue una simulación en el software Proteus 8 Professional, esto para verificar el funcionamiento de los diversos componentes que se iban a utilizar, una vez hecho esto, se procedió a realizar las conexiones físicas del prototipo.

Además, también se realizó la programación del dashboard en el ambiente Visual Studio mediante el lenguaje de programación C#, además de usar XAML y WPF para la parte de la interfaz gráfica.

En la parte de pruebas, se realizaron pruebas unitarias de cada uno de los sensores por separado, para poder mostrar las lecturas en el dashboard digital, y por último se realizaron pruebas del sistema con todo en conjunto.

Para el último paso de la metodología, que es el mantenimiento, se estableció que este debería ser un mantenimiento tanto preventivo como correctivo, es decir, se estableció que, debido al tipo de dispositivos utilizados, que más que nada son

comerciales, se debe verificar su funcionamiento cada mes como prevención, y en caso de una falla detectada llevar a cabo las correcciones necesarias para solucionar los problemas presentados.

RESULTADOS

En la Figura 3, podemos observar el prototipo realizado para simular el funcionamiento de un invernadero, en dicho prototipo se instalaron los sensores establecidos en las etapas anteriores. Además, se puede apreciar la forma en la que se establece la conexión con el computador, la cual es una conexión serie por medio de USB.



Figura 3. Prototipo de invernadero.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, se pueden ver las conexiones físicas de los sensores con el ESP32, tanto el DTH11 como el fotoresistor. En este caso se usó un protoboard para poder realizar estas conexiones.



Figura 4. Conexiones físicas de los sensores.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5, es posible apreciar el diseño final y funcionamiento del dashboard, en el cual se puede ver tanto la parte de las mediciones, como la parte de la gráfica de los parámetros que se están detectando.



Figura 5. Interfaz gráfica del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se realizó un prototipo funcional de un invernadero en el cual se pudo comprobar el funcionamiento de los sensores, su comunicación con el computador, así como el funcionamiento del dashboard para mostrar los parámetros en sus mediciones como de manera gráfica.

Además, podemos decir que el uso de dashboards digitales para el monitoreo de cultivos en la agricultura específicamente del municipio de Guasave tiene el potencial de mejorar la eficiencia y precisión del monitoreo, lo que a su vez permitirá una mejor toma de decisiones y una mayor productividad. Los estudios revisados demuestran que la aplicación de dashboards en combinación con tecnologías como IoT puede resultar en una mejora significativa en el monitoreo y gestión de cultivos. Si bien, el prototipo realizado no se probó en invernadero real, esto da pauta para seguir mejorando el prototipo, ya que la siguiente etapa sería probar los sensores ya en un ambiente real, para después poder implementar mejoras al sistema en general, como poder cambiar a uso de sensores que puedan llegar a tener un funcionamiento óptimo en este tipo de sistemas, así como el poder también realizar una comunicación más directa entre el sistema y el agricultor, como podría ser el implementar una aplicación que pudiera mostrarle en cualquier momento cual es el estado de los parámetros de su cultivo y poder realizar alguna acción a la distancia, que no necesariamente se tendría que tener la presencia física de la persona en el lugar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (INEGI), I. N. (2022). INEGI. Obtenido de Sistema de Cuentas Nacionales de México: <https://bit.ly/44e5QmJ>
- Chanchí G., G. E., Ospina A., M. A., & Campo M., W. Y. (2022). IoT Architecture for Monitoring Variables of Interest in Indoor Plants. *Computación y Sistemas*, 695-705.
- Kim, W.-S., Lee, W.-S., & Kim, Y.-J. (2020). A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation. *Journal of Biosystems Engineering*, 385–400.
- Mazón, L., Cota, A., Lizárraga, C., & Angulo, B. (2021). Agricultura de Precisión en el cultivo de tomate en Guasave, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 33-45.
- Nigam, R., Rao, M., Rian Dias, N., Hariharan, A., Choraria, A., Tendolkar, A., & Manohara Pai, M. M. (2022). Grow-IoT (smart analytics app for comprehensive plant health analysis and remote farm monitoring using smart sensors). *Journal of Physics: Conference Series*, 44-55.
- Pérez, E., Medina, M., & López, J. C. (2020). Sistemas de Riego Inteligente para el Cultivo de Hortalizas en Guasave, Sinaloa. *Agroproductividad*, 47-54.
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software un Enfoque Práctico*. México, D.F.: McGrawHill.
- Rural, S. d. (2022). Gobierno de México. Obtenido de Agricultura en cifras: <https://bit.ly/44k1BpF>
- Sánchez, J., Castro, J., Camacho, E., & Ibarra, J. (2022). Monitoreo de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Tomate y Chile en Guasave, Sinaloa. *Agricultura Técnica en México*, 27-36.

APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN (TIC) Y EL INTERNET DE LAS COSAS (IOT/CLOUD) PARA EL FORTALECIMIENTO DEL SECTOR AGROPECUARIO DEL MUNICIPIO DE DURANGO, A TRAVÉS DE PROYECTOS INTEGRADORES DE LA UTD

OMAR ANTONIO GÓMEZ ARREOLA¹, ISAAC OMAR REYES LARA², REBECA GUERRERO RODRÍGUEZ³,
ALBERTO BRAVO ALCARAZ⁴

RESUMEN

El sector agropecuario es uno de los pilares económicos del municipio de Durango, sin embargo, enfrenta desafíos en términos de productividad, sostenibilidad y competitividad. El uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) puede ser una herramienta valiosa para el fortalecimiento del sector agropecuario en la región. La Universidad Tecnológica de Durango (UTD), a través de proyectos integradores, puede desempeñar un papel clave en la promoción de la innovación y la sostenibilidad en el sector agropecuario de Durango. En este trabajo, se presentarán algunos casos de éxito en la aplicación de las TIC en el sector agropecuario.

ABSTRACT

The agricultural sector is one of the economic pillars of the municipality of Durango, however, it faces challenges in terms of productivity, sustainability and competitiveness. The use of Information and Communication Technologies (TIC) can be a valuable tool for strengthening the agricultural sector in the region. The Technological University of Durango (UTD), through projects integrating, can play a key role in promoting innovation and sustainability in the agricultural sector of

¹ Universidad Tecnológica de Durango. omar.gomez@utd.edu.mx

² Universidad Tecnológica de Durango. isaac.reyes@utd.edu.mx

³ Universidad Tecnológica de Durango. rebecca.guerrero@utd.edu.mx

⁴ Universidad Tecnológica de Durango. alberto.bravo@utd.edu.mx

Durango. In this work, will be presented some success cases in the application of TIC in the agricultural sector.

INTRODUCCIÓN

El proyecto "Aplicación de las Tecnologías de la Información (TIC) y el Internet de las cosas (IOT/CLOUD) para el fortalecimiento del sector agropecuario del municipio de Durango, a través de proyectos integradores de la UTD", se enfoca en aprovechar las TIC y las IoT para mejorar la productividad, la sostenibilidad y la rentabilidad del sector agropecuario local. Este proyecto se lleva a cabo en colaboración con agricultores, ganaderos, instituciones gubernamentales, empresas privadas y organizaciones no gubernamentales.

"La agricultura de precisión en invernaderos busca optimizar la producción a través de la identificación y manejo de la variabilidad espacial y temporal de factores como el clima, el suelo y las plagas, utilizando tecnologías de la información y comunicación para la adquisición, procesamiento y análisis de datos." (Paredes & Lara, 2018, p. 14).

Las iniciativas principales del proyecto son:

Implementación de soluciones IoT y TIC: Desarrollar e implementar soluciones tecnológicas específicas para abordar desafíos y necesidades del sector agropecuario en Durango, como monitoreo de cultivos, agricultura de precisión, automatización y sistemas de apoyo a la toma de decisiones.

Evaluación y monitoreo: a través de sensores arduino, monitorear estaciones meteorológicas y automatización de invernaderos, los datos recolectados son enviados a una base de datos en la nube (mongo atlas), que a su vez pueden ser consultados en tiempo real.

Uso de tecnologías en el sector agropecuario: control, análisis y almacenamiento de información, a través de sensores arduino para el monitoreo de cultivos con el desarrollo de aplicaciones móviles e interfaces web.

Desarrollo de proyectos integradores: Dentro del plan de estudios de Tecnologías de la Información (TI) en las Universidades Tecnológicas del país, se llevan a cabo proyectos educativos que brindan a los estudiantes la oportunidad de desarrollar

habilidades profesionales al crear prototipos tecnológicos, teniendo en cuenta parámetros, funciones y aspectos clave para la implementación de técnicas avanzadas de hardware y software.

PROBLEMÁTICA

Los agricultores del municipio de Durango enfrentan dificultades para mantener condiciones óptimas de humedad y temperatura en sus invernaderos debido a la falta de sistemas de monitoreo y control eficientes. Esto afecta negativamente la productividad, sostenibilidad y competitividad del sector agropecuario en la región, y aumenta la vulnerabilidad de los cultivos a los riesgos asociados con la crisis climática.

La crisis climática en la región duranguense tiene mucho impacto para los sectores agropecuarios, es por esto que el desarrollo de proyectos IoT, pueden mejorar de manera significativa la eficiencia y eficacia en el monitoreo de cultivos en la región. La agricultura es un sector clave en la economía y el bienestar de la población. Los invernaderos ofrecen la posibilidad de cultivar durante todo el año en condiciones controladas, lo que resulta en mayores rendimientos y mejor calidad de los productos. La implementación de tecnologías de monitoreo y control del clima en invernaderos automatizados puede aumentar aún más la productividad y reducir los costos y el impacto ambiental asociado con la producción agrícola.

En la universidad Tecnológica de Durango se desarrollaron dos proyectos integradores, que se encuentran en fase de prototipo y pruebas: estación meteorológica y control de invernadero, la principal función de estos proyectos es el monitoreo usando sensores arduino para medir: humedad, temperatura y viento, que a su vez, los datos obtenidos son enviados en tiempo real a una base de datos en la nube.

DESARROLLO

Los proyectos integradores llevan a los estudiantes a comprender, formular y evaluar la didáctica de las disciplinas y a visibilizar formas idóneas de enseñanza tendientes a favorecer los aprendizajes de los estudiantes (enseñar). (Díaz Barriga).

Vinculación con las organizaciones e instituciones del ámbito agropecuario del municipio de Durango

Se llevaron a cabo mesas de trabajo con el Instituto Tecnológico del Valle del Guadiana (ITVG), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Asociación Ganadera del Estado de Durango y agricultores de la región de Durango.

Una vez detectadas las necesidades de las organizaciones del sector agropecuario se llevó a cabo la asignación de proyectos para los alumnos de Tecnologías de la Información, a nivel técnico superior universitario de la universidad Tecnológica de Durango, se conformaron dos equipos de cuatro integrantes, para la creación de los proyectos integradores.

Dentro del equipo de trabajo conformado por los alumnos, cada uno de ellos cumplió con un rol específico, definido por la metodología SCRUM, que es la estructura de trabajo seleccionada para la creación de módulos específicos para el desarrollo de aplicaciones.

Apoyados de un diagrama de Gantt se establecen fechas de los entregables al usuario, se planifica desde la recolección de la información, a través de entrevistas, aplicación de cuestionarios y la observación, en la etapa de desarrollo se definen los entregables, así como el periodo de pruebas e implementación.

Durante el ciclo de vida del desarrollo de los prototipos, los alumnos contaron con asesores externos y especialistas en el tema, así como el acompañamiento de los maestros de la academia de TI de la Universidad Tecnológica de Durango.

Los prototipos desarrollados se encuentran en periodo de pruebas, para implementarse en una segunda etapa, cada uno de los proyectos se describe a continuación:

DESCRIPCIÓN DE LOS PROTOTIPOS

Prototipo estación meteorológica:

Las TIC facilitan la recopilación y el análisis de datos climáticos, como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y la precipitación, que son esenciales para la toma de decisiones en la agricultura y la ganadería. La

información meteorológica precisa y oportuna permite a los productores anticiparse y adaptarse a las condiciones climáticas, minimizando los riesgos y las pérdidas asociadas con eventos extremos como sequías, inundaciones o heladas. Las TIC también pueden mejorar la comunicación y la colaboración entre los agricultores, los ganaderos, los investigadores y las instituciones públicas y privadas, lo que facilita el acceso a información técnica, financiera y de mercado, y promueve el intercambio de conocimientos y buenas prácticas en el sector agropecuario.

Monitoreo en tiempo real: Con la capacidad de supervisar los parámetros de temperatura y humedad en tiempo real, los productores pueden identificar rápidamente cualquier cambio o anomalía en las condiciones del invernadero, lo que les permite tomar decisiones más rápidas y mejor informadas.

Reducción de errores humanos: Al reemplazar los métodos manuales de monitoreo, se minimizan los errores humanos y la variabilidad en la medición de temperatura y humedad. Esto conduce a un mayor control y precisión en el manejo del microclima dentro del invernadero.

Mayor eficiencia: Con la capacidad de acceder a los datos de temperatura y humedad a través de internet, los productores pueden ahorrar tiempo y recursos al no tener que visitar el invernadero físicamente para realizar mediciones.

Adaptación al cambio climático: El monitoreo en tiempo real y la capacidad de respuesta rápida a las condiciones climáticas cambiantes pueden ayudar a los productores a adaptarse mejor a los desafíos planteados por la crisis climática, como las fluctuaciones extremas de temperatura y humedad.

Mejora en la productividad y la sostenibilidad: Al optimizar el manejo de temperatura y humedad en el invernadero, se pueden mejorar las condiciones de crecimiento de los cultivos, lo que puede resultar en una mayor productividad y eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía.

Prototipo unidad meteorológica

"El prototipado en el ámbito del Internet de las cosas (IoT) consiste en la creación de un modelo preliminar y funcional de un dispositivo o sistema conectado, permitiendo a los diseñadores, desarrolladores y usuarios validar y mejorar

aspectos técnicos, de usabilidad y de diseño antes de la producción y comercialización" (Pérez & Sánchez, 2017).

El prototipo de la monitorización a distancia del invernadero tiene como objetivo contribuir significativamente a la prevención de riesgos asociados a la crisis climática en los cultivos del ITVG. Al automatizar el proceso de monitoreo de temperatura y humedad mediante el uso de sensores y una aplicación conectada a una base de datos en la nube.

Monitoreo en tiempo real: Con la capacidad de supervisar los parámetros de temperatura y humedad en tiempo real, los productores pueden identificar rápidamente cualquier cambio o anomalía en las condiciones del invernadero, lo que les permite tomar decisiones rápidas y mejor informadas.

Portabilidad en dispositivos móviles: la unidad meteorológica administrada con una aplicación móvil, para el monitoreo de temperatura, humedad de la tierra y velocidad del viento, con almacenamiento de datos agroclimáticos para la agricultura.

Materiales utilizados

1. Sensor yl-69 (humedad de tierra)
2. Sensor DHT11 (temperatura)
3. Anemómetro (sensor de velocidad del viento)
4. ESP32 (Módulo genérico de Wi-Fi+BT+BLE MCU que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones)
5. Cables de point
6. Pila Power Bank

Para el diseño de la app móvil:

1. React Native (Framework de código abierto)
2. NodeJS (Para crear aplicaciones network escalables)
3. Servidor Vercel

Para la base de datos:

1. MongoDB (Plataforma unificada en la nube)
2. IDE Arduino

Desafíos y barreras para la adopción de las TI:

- Costos de inversión y acceso a financiamiento.
- Falta de infraestructura y conectividad en áreas rurales.
- Capacitación y habilidades digitales de los agricultores.
- Cambio cultural y aceptación de nuevas tecnologías.

RESULTADOS

Se realizó una evaluación de los proyectos en campo, y para cada uno de ellos, se llevaron a cabo pruebas en el ITVG. Se registraron las mediciones obtenidas por los sensores Arduino en cada proyecto, y estas mediciones se almacenaron en una base de datos en la nube. De esta manera, los investigadores involucrados en el proyecto pueden acceder y consultar los datos recopilados para poder generar estadísticas y seguimiento.

Los alumnos al final del cuatrimestre exponen sus proyectos en la Universidad Tecnológica de Durango, así como a personas externas del sector agropecuario e investigadores, en donde son evaluados.

Al concluir con las pruebas y toma de datos reales, los investigadores se mostraron interesados en el seguimiento de los proyectos en una segunda etapa.

Durante el período de estadías, los estudiantes deben completar una estancia fuera de la universidad para obtener su primer título como Técnico Superior Universitario. En este tiempo, se espera que aborden y continúen con la problemática planteada. Es en esta etapa donde los prototipos desarrollados se pondrán en producción, permitiendo la verificación y evaluación de los resultados obtenidos.

CONCLUSIÓN

El uso de las TIC puede ser una herramienta valiosa para el fortalecimiento del sector agropecuario del municipio de Durango, mejorando la eficiencia, sostenibilidad y competitividad de la producción agrícola y pecuaria. La Universidad Tecnológica de Durango, a través de proyectos integradores, puede desempeñar un papel crucial en la promoción de la innovación y la sostenibilidad tecnológica en el sector agropecuario de Durango

En conjunto la aplicación de las Tecnologías de la Información y el desarrollo de proyectos con IoT, permitirán el fortalecimiento del sector agropecuario en el municipio de Durango, así mismo, este tipo de proyectos contribuirán al desarrollo de habilidades técnicas y al fomento de la innovación en el ámbito local y regional.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Calvo, A. (2020, 12 febrero). La tecnología en la agricultura: ¿Cómo me beneficia? Agroptima. <https://www.agroptima.com/es/blog/tecnologia-agricultura-beneficios/>
- Fuente: Paredes, J. L., & Lara, J. A. (2018). Agricultura de precisión en invernaderos: Tecnologías y aplicaciones. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 34(1), 13-26.
- Díaz-Barriga, F. y Hernández, G. (2010). Estrategias docentes para un aprendizaje significativo: una interpretación constructivista. México, D. F.: McGraw Hill.
- Pérez, J., & Sánchez, A. (2017). Diseño y prototipado de un sistema de monitoreo de variables ambientales en tiempo real utilizando tecnología IoT. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 14(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.07.006>
- Castañeda, J. P., & Gómez, J. M. (2018). Aplicaciones del internet de las cosas en la agricultura de precisión. *Revista de Investigaciones UNAD*, 17(2), 99-112.
- Flores, A. G., & Martínez, R. A. (2018). Tecnologías de la información y comunicación en la agricultura de precisión. *Revista de Innovación Tecnológica*, 4(1), 1-10.
- Martínez, J. M., & Torres, J. A. (2018). Aplicación de las tecnologías de la información y comunicación en la agricultura de precisión en invernaderos. *Revista de Innovación Tecnológica*, 4(2), 1-10.

ANEXOS

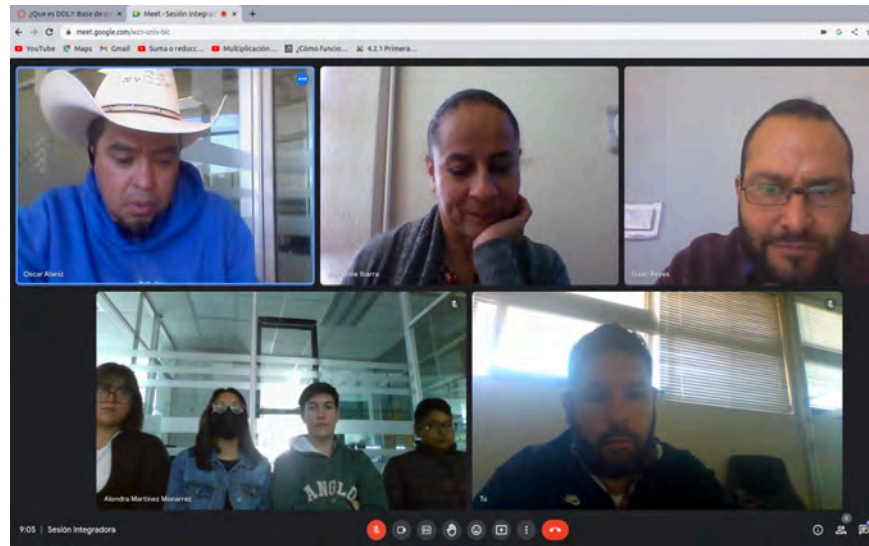


IMAGEN 1.- Mesa de trabajo para la definición de requerimientos de proyectos en el ITVG.



IMAGEN 2.- Pruebas de unidad meteorológica sensores de humedad, temperatura , velocidad del viento, fecha y hora.

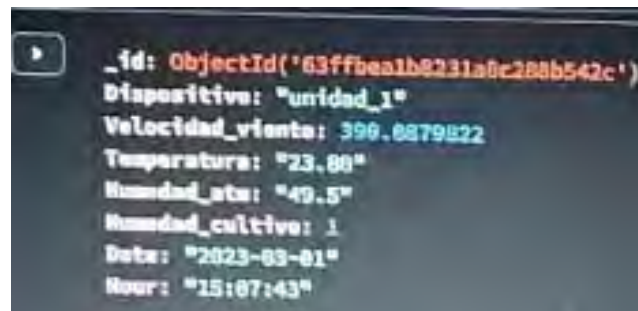


IMAGEN 3.- Envío de datos a la nube(cloud) a través de mongo db.

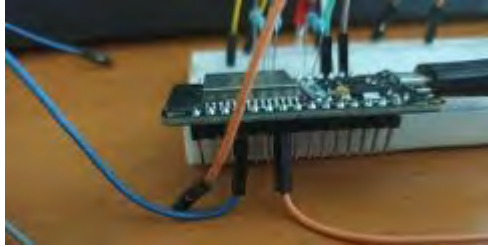


IMAGEN 4.- Sensor ESP32 arduino para el envío y conexión de datos de forma remota.



IMAGEN 5.- Pruebas de recolección de datos de temperatura y humedad dentro del invernadero del ITVG.



IMAGEN 6.- Ejemplo de medidor de temperatura básico de un invernadero del ITVG.



IMAGEN 7.- Datos generados por aplicación android dentro del invernadero del ITVG.

CADENA DE VALOR AGRÍCOLA EN LAS LOCALIDADES RURALES DE LA REGIÓN DE LOS LLANOS

JESUS EBER GUTIÉRREZ LÓPEZ¹, IVÁN GONZÁLEZ LAZALDE², MARÍA QUETZALCIHUATL GALVÁN ISMAEL³,
MAYELA DEL RAYO LECHUGA NEVÁREZ⁴

RESUMEN

Esta investigación documental analiza detalladamente la cadena de valor agrícola, así como las unidades productivas que realizan actividades agrícolas en la Región de los Llanos, considerada como una de las regiones agrícolas en el estado de Durango siendo conformada por los municipios de Pánuco de Coronado, Peñón Blanco, Cuencamé y Guadalupe Victoria, debido a que es una región que está integrada a través de relaciones socio económicas, de comercialización entre las distintas localidades rurales, además de que es una región que cuenta con extensos campos de cultivo y un clima adecuado para la siembra, lo cual la coloca como una de las regiones de producción de avena forrajera en verde , frijol pinto, frijol negro y maíz grano blanco entre otros cultivos. Mediante el análisis de la cadena de valor se pretende identificar el grado de integración que existe entre los distintos actores que participan en la cadena productiva de la región de los Llanos, esta investigación muestra el contexto nacional, estatal y local en cuanto a características como, el nivel de producción agrícola, tipo de agricultura aplicada en los campos, ciclos agrícolas, volumen cosechado, rendimiento obtenido por hectárea y rendimiento expresado en valor monetario.

Palabras Clave: Cadena de valor agrícola, Actividades agrícolas, relaciones socioeconómicas

ABSTRACT

This documentary research analyzes in detail the agricultural value chain, as well as the productive units that carry out agricultural activities in the Llanos Region,

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 15041146@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. igonzalez@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. qgalvan@itdurango.edu.mx

⁴ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. mlechuga@itdurango.edu.mx

considered as one of the regions with the best agricultural production in the state of Durango, comprising the municipalities of Pánuco de Coronado, Peñón Blanco, Cuencamé, and Guadalupe Victoria. This is because it is a region that is integrated through socio-economic and commercial relations between different rural areas, and also because it has extensive cultivation fields and a suitable climate for planting, which places it as one of the regions with the highest production of green oat forage, pinto beans, black beans, white maize grain, and other crops. By analyzing the value chain, the aim is to identify the degree of integration that exists between the different actors involved in the productive chain of the Llanos Region. This research shows the national, state, and local context in terms of characteristics such as the level of agricultural production, type of agriculture applied in the fields, agricultural cycles, harvested volume, yield obtained per hectare, and yield expressed in monetary value.

Keywords: Agricultural value chain, Agricultural activities, Socioeconomic relations.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés en la cadena de valor como herramienta para la motivación comercial, el desarrollo económico y social, el comercio internacional y la innovación, así como el desarrollo y evaluación de políticas y evaluación del estado, aumentó. Con el creciente nivel de complejidad de los procesos de producción y la alta especialización de producción, los intermediarios son actualmente los objetos centrales para la estructura de la cadena de valor y el intercambio de transición. Si bien el papel de los intermediarios en las cadenas de valor ha sido estudiado en la literatura económica y empresarial, no existe consenso sobre si contribuyen positiva o negativamente a la competitividad y los ingresos de toda la cadena de valor. El análisis de cuatro estudios de caso de cadenas de valor agrícolas en Guatemala, El Salvador y República Dominicana muestra que el insumo y el control que los intermediarios aportan a la cadena de valor dentro de la cadena depende principalmente de tres factores: i) la capacidad de producción y la tecnología del productor; ii) potencial productivo y tecnología de los intermediarios y iii) estructura de mercado y tipo de gestión específica de la cadena. Con base en

estudios de casos, se presentan recomendaciones de política pública para equilibrar las relaciones de poder en la cadena y fomentar la creación, con la participación de los actores de la cadena, de nuevas reglas y formas de gobernanza. Corregir las disparidades en la distribución del valor en la cadena de valor es esencial para facilitar la expansión de la escala de producción y el desarrollo competitivo de toda la cadena de valor (Gaudin & Padilla, 2020).

La investigación realizada por Fisher (2022) sobre un análisis sociodemográfico de las unidades productivas agrícolas en la sierra de Durango, cuyo objetivo fue identificar las características productivas de dicha región, debido a que es una zona con muy pocas adecuaciones para llevar a cabo actividad agrícola, para llevar a cabo la recopilación de información se diseñaron dos cuestionarios, uno corto con información demográfica básica del agricultor, y otro más extenso que consto de 90 preguntas el cual buscó información general y específica tanto del producto como de su unidad productiva, identificaron 29 variables de distinto tipo (Escala, nominales y ordinales), por último tener una muestra representativa se recabó información de distintas localidades en la región, de acuerdo con los resultados recabada se obtuvo que el 86% de los productores son hombres mientras que solo 14% son mujeres. Mientras que, solo el 3.3% de los productores son menores de 30 años, 26.7% tienen una edad de entre 31 y 40 años, 30% entre 41 y 50 años, 16.7% entre 51 y 60 años y 23.3% son productores mayores a los 61 años. En tema de escolaridad en los productores, 33.3% cuenta con primaria terminada, 23.3% con secundaria completa, 13.3% con primaria incompleta y solo un 3.3% de la población cuenta con un posgrado. En cuestión del tipo de semilla un 62% usa semilla criolla, la semilla mejorada 28% y 10% utiliza semilla certificada. La actividad que más representa un costo para los productores es la fertilización de la cosecha, otros resultados sobre la maquinaria infraestructura y medios de transporte fue que la capitalización de las unidades productivas tiene un valor promedio de 1,064,356 pesos, donde la maquinaria y equipo ocupa un valor promedio de 62% con un costo de 650 mil pesos, la infraestructura el 17% con 184 mil, los medios de transporte el 13% con 136 mil (Fisher, et al., 2022).

Según datos el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en el estado de Durango, el sector agrícola ha desempeñado un papel importante a nivel económico y social, como generador de empleo y a nivel productivo contribuye al desarrollo y crecimiento del estado. La actividad agrícola genera alrededor de 9.7 millones de toneladas de diversos productos y se siembran un promedio de 661,000 hectáreas de cultivos cíclicos y 50,000 de cultivos perennes. La mayor parte de la agricultura del estado es estacional, principalmente en el ciclo de siembra de primavera-verano, siendo los productos más cosechados los frijoles, la alfalfa verde, el maíz grano, la avena forrajera, el maíz forrajero, la cebada, el chile, el sorgo forrajero, el jitomate rojo, el algodón hueso, los pastos y el sorgo. En cuanto a los cultivos perennes, destacan el cultivo de nueces, espárragos, alfalfa y arándanos, entre otros. También se cultivan frutas como melones, manzanas, peras de perón, membrillos, chabacanos y duraznos en la región del valle. El PIB (Producto Interno Bruto) de las actividades primarias en Durango, en 2019, ascendió a \$607,457.39 pesos, (al último trimestre de 2019), lo que representa el 3.82% del valor total y contribuye con el 3.4% al PIB primario nacional; esto incluye agricultura, ganadería y explotación, silvicultura, pesca y caza (Hernández, et al., 2022).

La investigación pretende analizar la cadena de valor agrícola de la región de los Llanos conociendo los principales actores, procesos, actividades y relaciones que intervienen en la producción y comercialización de productos agrícolas, y cómo estas interacciones afectan el desarrollo económico y de social de la región. En una localidad rural de la Región de los Llanos, el conocer la cadena de valor agrícola es muy importante para sus habitantes y sociedad ya que repercute positiva y significativamente en muchos aspectos de la región, esto es algo importante ya que en estas zonas hay pocas oportunidades de empleo para mejorar su calidad de vida, entonces mediante la innovación y desarrollo de la cadena de valor agrícola puede significar un cambio beneficioso para las personas. La agenda 2030 tiene el objetivo de alcanzar varias metas para una mejor calidad de vida en el mundo por lo que analizar la cadena de valor agrícola impacta en distintos objetivos que plantea la agenda 2030 entre ellas:

Debido a que la cadena de valor agrícola genera empleos y es una fuente de ingresos importante para los habitantes, debido a que los agricultores y trabajadores del campo venden sus productos a consumidores minoristas así como participar en la exportación mayorista de los cultivos, lo cual es un buen aporte económico para todos los participantes de las actividades de la cadena de valor, generando un fomento de desarrollo económico para la región, es por eso que se abarca varios objetivos presentados por la agenda 2030. El objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo (ONU, 2015), así como el objetivo No.8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos (ONU, 2015).

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Revisión de literatura.

Cadena de valor

Existen distintas definiciones sobre la cadena de valor según Porter (1985) en su libro "La ventaja competitiva" la cadena de valor es una herramienta que facilita el análisis de las diversas actividades de una empresa y su aporte de valor al cliente, una organización se compone de una serie de etapas que incrementan el valor para sus clientes y otros grupos de interés. La cadena de valor se emplea para examinar las actividades que generan valor en una empresa. Por otra parte, Kaplinsky y Morris (2002) Explican que una cadena de valor incluye una amplia gama de actividades necesarias para llevar un producto o servicio desde su concepción hasta su entrega final a los consumidores y su eliminación, conocidas como "eslabones" en la cadena de valor, que permiten que las actividades se representen sistemáticamente. ya sea una empresa independiente o subsidiaria, de cualquier organización.

Relación entre actores de la cadena de valor

Porter (2006) Explica que las actividades relacionadas con valores son esenciales para lograr una ventaja competitiva, pero la cadena de valor no consiste en actividades aisladas, sino en un sistema de actividades interdependientes que se relacionan mediante nexos.

Actividades primarias

Las actividades principales son las relacionadas con el procesamiento de materias primas en productos terminados, así como la distribución y el servicio postventa. Para realizar estas funciones se ha propuesto un modelo con cinco actividades principales. La logística de entrada es la principal responsable de recibir, almacenar y manipular las materias primas, los suministros y los consumibles necesarios. Segundo, los procesos transforman estas materias primas en productos terminados. Tercero, la logística subcontratada es responsable de almacenar y transportar los productos terminados a los consumidores. La cuarta actividad principal es el marketing y las ventas, que incluye actividades técnicas destinadas a promover y publicitar productos en el mercado. Finalmente, las actividades de posventa brindan mantenimiento, garantía y servicio para los bienes y servicios adquiridos por los clientes (Velasco, 2017).

Actividades secundarias

Velasco (2017) Define las actividades de soporte o secundarias complementan y respaldan a las actividades primarias al proporcionar los recursos necesarios para su correcto funcionamiento. El modelo de la cadena de valor identifica cuatro actividades clave:

1. Infraestructura de la empresa, que incluye actividades como planificación, contabilidad, finanzas y gestión de inversiones.
2. Gestión de recursos humanos, que abarca la selección, contratación y motivación del personal.
3. Desarrollo tecnológico, que se enfoca en el conocimiento, la tecnología y el desarrollo de nuevos productos y procesos.
4. Compras y abastecimiento, que se refiere a la adquisición de insumos, materiales y materias primas utilizados en nuestra cadena de valor

Beneficios de la cadena de valor

El mercado alimentario está evolucionando hacia productos diferenciados que satisfacen las necesidades de diferentes consumidores, incluyendo características intangibles como seguridad alimentaria y bienestar animal. Existe la necesidad de una mayor colaboración en la cadena agroalimentaria para satisfacer estas necesidades. La participación de los productores reduce la incertidumbre y los

costos de transacción, y los acuerdos estables benefician a todos los miembros de la cadena. Los minoristas también pueden aumentar la lealtad del consumidor y la cuota de mercado al garantizar atributos de calidad y disponibilidad del producto (Trejo, 2011).

Agricultura

La agricultura, por definición, implica la adaptación de los ecosistemas naturales para transformarlos en agroecosistemas: un tipo especial de ecosistema con características intermedias entre los dos sistemas los cuales son naturales e industriales (Odum, 1984), otra definición por la SEDEMA (Secretaría de medio ambiente) (2023) define que la agricultura es una actividad fundamental del sector primario en cualquier país, ya que proporciona los recursos necesarios para la supervivencia humana y la producción de bienes industriales. La agricultura incluye la producción de cultivos en el suelo, la cosecha, la explotación de bosques y selvas y la cría de ganado. La agricultura moderna utiliza técnicas avanzadas como la selección de semillas, fertilizantes químicos y sistemas de riego, protección contra plagas y mecanización, lo que aumenta constantemente el rendimiento de la tierra.

Agricultura de riego

En la actualidad, existen distintos tipos de sistemas de riego que son recomendados en función de la región y/o cultivo. Entre ellos se encuentran el riego por goteo, el riego por aspersión, el riego por bombeo y el riego por gravedad, entre otros. El riego por goteo se caracteriza por ser una forma eficiente de ahorrar agua, ya que se suministra la cantidad necesaria de agua a cada planta mediante un sistema de válvulas, tuberías y mangueras con emisores. El riego por aspersión, por su parte, consiste en humedecer el terreno mediante pulverizadores llamados aspersores, que distribuyen el agua a través de tuberías. El riego por bombeo se utiliza para asegurar la cantidad necesaria de agua cuando las lluvias son irregulares o insuficientes, o para tener la posibilidad de riego durante todo el año. El riego por gravedad consiste en distribuir el agua a través de canales o surcos colocados a lo largo del área sembrada (SIAP, 2018).

Agricultura de temporal

La SADER (2016) La agricultura temporal sucede cuando la producción de los cultivos depende del comportamiento de las lluvias y de la capacidad del suelo para captar el agua. Al respecto, tienen la ventaja de que los costos en la producción son menores al no tener que invertir en sistemas de riego. Algunos ejemplos son el maíz de temporal, el limón y el sorgo. Según INEGI (2009) la agricultura de temporal es la cual depende únicamente de las lluvias y esto logra que se pueda sembrar una vez al año,

Ciclos de la agricultura

La SADER (2018) presentó que la amplia variedad de climas y territorios que existen en México permite que ciertas frutas y verduras estén disponibles todo el año, dependiendo de la temporada en la que se encuentren. La producción agrícola mexicana se divide en dos temporadas: primavera-verano y otoño-invierno. La temporada de primavera-verano comienza el 1 de marzo y termina el 30 de septiembre, mientras que la temporada de otoño-invierno inicia el 1 de octubre y finaliza el 28 de febrero. La SEMARNAT (2019) define un año agrícola como un periodo continuo de 12 meses que se ha tomado con intención de programación agrícola e hidrométrica en México, iniciando el 1° de octubre de un año hasta el 30 de septiembre del siguiente año, también define el ciclo agrícola como la división del año agrícola en periodos de tiempo, que tienen características de clima que favorecen propicia el desarrollo de diferentes cultivos. Durante el año agrícola se definen cuatro ciclos agrícolas: otoño-invierno, primavera-verano, perennes y segundos cultivos.

Cultivos perennes

La SEMARAT (2019) mención que a los cultivos perennes también se les conoce como cultivos de larga duración. Su fase vegetativa se extiende más allá de un año y, generalmente, después de establecer la plantación, se pueden obtener varias cosechas. Estas cosechas pueden ser continuas o cíclicas, dependiendo del tipo de cultivo. De acuerdo con el SIAP (2018), un cultivo perenne es aquel que tiene un

ciclo vegetativo que dura más de un año y produce varias cosechas durante su vida. Aunque el periodo de cosecha puede comenzar en cualquier mes del año, el seguimiento estadístico de estos cultivos se realiza considerando el período desde enero hasta diciembre. Algunos ejemplos de cultivos perennes son el durazno, la copra, la naranja, los nopalitos, la uva, la rosa, el agave, el mango, la frambuesa, entre muchos otros.

Cadena de valor agrícola

Hobbs (2000) menciona que la cadena agroalimentaria abarca todas las actividades verticales, independientemente de cómo se establezca o dirija la cadena, desde la producción a nivel de finca hasta el procesamiento y la distribución al por mayor y al por menor, o todos los pasos que conducen desde la producción hasta la llegada del producto a la mesa. De acuerdo con Peña, Díaz y Andrea (2008), las cadenas de valor son esenciales en el sector agroalimentario, ya que permiten a las empresas tomar decisiones para reducir el riesgo y aumentar los beneficios. Esta perspectiva conduce a una planificación más efectiva y a una contribución en cuanto a información, comercialización y estructura de costos, que se comparten para lograr la mayor rentabilidad y competitividad de la cadena. Trejo (2011) Menciona que, en la actualidad, el mercado alimentario se caracteriza cada vez más por la presencia de productos que cuentan con características diferenciadas para satisfacer o adaptarse a diferentes segmentos de consumidores. Además de los atributos tangibles como el sabor, la textura, el contenido de grasas, el valor nutricional y el precio, las cualidades intangibles como la seguridad alimentaria y el impacto medioambiental están cobrando cada vez más importancia para los consumidores. Es necesario que la cadena agroalimentaria participe y se articule para que la industria agroalimentaria pueda responder de manera competitiva a estas diversas necesidades de los consumidores. Según Heyden & Camacho (2006), la cadena productiva implica la participación de varios actores que llevan un producto hasta los consumidores mediante actividades y relaciones entre ellos. Algunos de estos actores están directamente relacionados con la producción, transformación y venta del producto, mientras que otros brindan servicios de apoyo.

Los actores directos son aquellos que están involucrados en los diferentes eslabones de la cadena y actúan e interactúan dentro de ella, y en algún momento son propietarios del bien en cuestión. Los actores indirectos, en cambio, brindan servicios de apoyo a los actores directos, como proveedores de insumos o servicios, incluyendo asistencia técnica, investigación, crédito, transporte y comunicaciones. La cadena de valor agrícola es un tema de gran importancia para la región de los Llanos, ya que esta región es conocida por ser una importante productora de cultivos agrícolas. La cadena de valor agrícola se refiere al proceso productivo que se lleva a cabo desde la producción de los insumos hasta la distribución del producto final al consumidor.

La investigación de la cadena de valor agrícola en la región de los Llanos pertenece al área de conocimiento de las Ciencias Sociales, ya que implica el estudio del comportamiento humano en relación con la producción, distribución y consumo de bienes y servicios agrícolas. Además, se requiere del conocimiento de las condiciones socioeconómicas de la región, así como del contexto político y legal en el que se desenvuelve la actividad agrícola.

En cuanto al campo de estudio, la investigación de la cadena de valor agrícola en la región de los Llanos pertenece al área de Administración y Negocios, ya que implica la gestión de los procesos productivos y la toma de decisiones estratégicas para mejorar la eficiencia y competitividad de los negocios agrícolas.

La disciplina que aborda este tema es la Administración y Gestión, ya que implica la planificación, organización, dirección y control de los procesos productivos, así como la gestión de los recursos.

La subdisciplina que se abarca la investigación de la cadena de valor agrícola en la región de los Llanos es la Administración en los campos de Agronomía, ya que se especifica el enfoque hacia las actividades agrícolas.

El lugar de estudio se ubica en una zona conformada por los municipios de Cuencamé y Guadalupe Victoria, en la región de los Llanos en Durango. Esta área es conocida por ser una de las zonas agrícolas más productivas del Estado en la siguiente figura se muestra un mapa del área para una mayor apreciación.

Las localidades rurales que se estudiarán se encuentran en la región de los Llanos de México. En particular, estas localidades incluyen Guadalupe Victoria, CD Guadalupe Victoria, General Álvaro Obregón, Ignacio Ramírez, General Calixto Contreras, José María Pino Suárez, Felipe Carrillo Puerto, Antonio Amaro, Dos de Abril, Cuauhtémoc, Cinco de Mayo, San José de Nazareno, Emiliano Zapata e Ignacio Allende, Madero, Juan Aldama, Luis Moya, Peñón Blanco, Agustín Castro. Estas localidades tienen una integración socioeconómica y agrícola, ya que comparten relaciones comerciales y de producción en la región. En estas áreas, la agricultura es una de las principales actividades económicas. Además, estas localidades cuentan con una importante presencia de unidades productivas de distintos tamaños y características.

RESULTADOS

Contexto nacional

En los últimos tres años, México ha mantenido un nivel constante de hectáreas sembradas, con un aumento muy pequeño en el 2020. En términos de tipo de agricultura, se ha mantenido la tendencia de una mayor proporción de agricultura temporal en comparación con la agricultura de riego, con un ligero aumento en la proporción de la agricultura de riego en el 2019 al 2020 y un ligero descenso en el 2021.

En cuanto a los ciclos de siembra, se ha mantenido una proporción estable en los cultivos perennes, mientras que los ciclos de siembra de Primavera-Verano se han mantenido en alrededor del 50%. En los últimos tres años, la proporción de siembra del ciclo de Otoño-Invierno ha variado entre el 17% y el 18%.

En términos de los principales productores, Jalisco y Veracruz se han mantenido como los dos principales productores, aunque ha habido algunos cambios en el tercer puesto. En 2019 y 2021 Chiapas fue el tercer mayor productor, mientras que en 2021 Tamaulipas ocupó ese lugar. En cuanto a los menores productores, la tendencia se ha mantenido bastante constante, con Quintana Roo, Baja California Sur y la Ciudad de México en la parte inferior de la lista (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Mayores productores agrícolas Nacionales

2019		2020		2021	
	He		He		He
Jalisco	1,649,784.90	Jalisco	1,744,595.37	Jalisco	1,690,614.47
Veracruz	1,514,802.50	Veracruz	1,535,096.90	Veracruz	1,559,875.33
Chiapas	1,360,320.39	Chiapas	1,394,023.47	Tamaulipas	1,498,801.28
Menores productores					
Quintana Roo	117,653.19	Quintana Roo	119,796.86	Quintana Roo	119,863.54
Baja Cal. Sur	40,884.10	Baja Cal. Sur	40,466.06	Baja Cal. Sur	42,534.15
CDMX	15,693.38	CDMX	15,574.94	CDMX	15,435.56

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP

En cuanto al rendimiento de la siembra, se observa una tendencia decreciente en los últimos dos años. En el 2019, el rendimiento fue de 34 toneladas por hectárea, mientras que en el 2020 y 2021 disminuyó a 26.58 toneladas por hectárea y 25.99 toneladas por hectárea, respectivamente. Esta disminución en el rendimiento podría ser atribuida a factores como cambios climáticos o problemas en la producción. En miles de pesos En 2019, se registró un rendimiento promedio de 32.84 miles de pesos por hectárea debido a condiciones climáticas favorables. En 2020, hubo una disminución en el rendimiento agrícola a 31.30 miles de pesos por hectárea debido a factores climáticos adversos como sequías y altas temperaturas. En 2021, hubo una recuperación con un rendimiento promedio de 34.91 miles de pesos por hectárea debido a una mejora en las condiciones climáticas.

Los principales cultivos en México son el maíz grano blanco, el frijol, el maíz grano amarillo, el sorgo grano, el trigo grano, la soya, el chile, la calabaza, la cebolla, el jitomate (tomate rojo), el arroz y el amaranto. Estos cultivos son de gran importancia para la agricultura mexicana y contribuyen significativamente a la producción de alimentos en el país. El maíz, en particular, es considerado un cultivo emblemático en México debido a su valor cultural, histórico y alimenticio. En la figura 1 se puede observar la cantidad de hectáreas sembradas de los 10 principales cultivos en el año 2019.

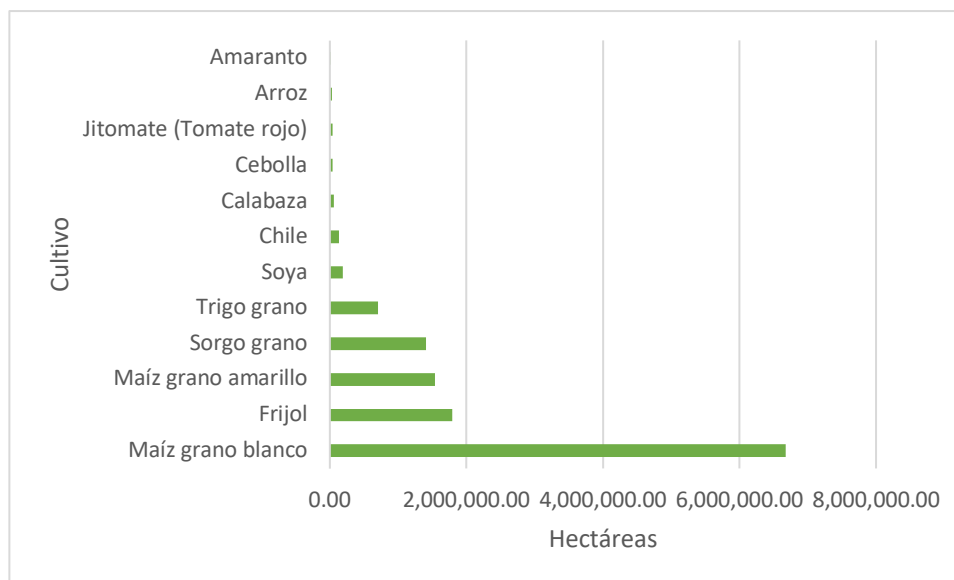


Figura 1. Principales cultivos en México

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

En general, México ha mantenido una constante cantidad de hectáreas sembradas en los últimos tres años, con una tendencia estable en los ciclos de siembra y los principales productores. Existe una disminución en el rendimiento de la siembra en los últimos dos años.

Contexto estatal

Durango ocupó el lugar 15 nacional en superficie sembrada en el año 2019 con 576,412.77 hectáreas, el lugar 14 en el año 2020 con 718,635.51 hectáreas y nuevamente el lugar 14 en el año 2021 con 662,466.71 hectáreas. Esto indica que la superficie sembrada en Durango se ha mantenido relativamente estable en los últimos tres años.

El tipo de agricultura predominante en Durango es la temporal, que representó el 69.47% de las hectáreas sembradas en los tres años analizados, mientras que la agricultura de riego varió ligeramente, representando el 30.53% en 2019, el 25.49% en 2020 y el 27.51% en 2021. En cuanto a los ciclos de siembra, la mayoría de las siembras se realizaron en el ciclo Primavera-verano, que representó entre el 84.87% y el 86.52% de las hectáreas sembradas en los tres años.

Los mayores productores en Durango en los tres años analizados fueron Guadalupe Victoria, Cuencamé y Durango, con variaciones en las hectáreas sembradas. Los menores productores incluyeron municipios como San Luis del Cordero, San Juan de Guadalupe, San Pedro del Gallo, Otáez y Topia, con diferencias en las hectáreas sembradas en cada año. La tabla 2 muestra el nivel de productividad de los municipios en hectáreas sembradas.

Tabla 2. Mayores productores agrícolas Estatales

2019		2020		2021	
	He		He		He
Guadalupe V.	56,288.7	Cuencamé	66,323.7	Cuencamé	62,562.95
Cuencamé	53,816.9	Guadalupe V.	66,034.7	Guadalupe V.	56,807.70
Durango	49,684.2	Durango	59,182.0	Durango	54,702.18
Menores productores					
San Luis del C.	1,727.10	Ootáez	2,540.25	Ootáez	2,465.25
San Juan de G	1,650.00	San Pedro del Gallo	2,350.00	Topia	1,971.61
San Pedro del Gallo	827.70	San Luis del C.	1,427.00	San Juan deG.	1,637.50

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP

El rendimiento promedio en Durango fue de 13.31 toneladas por hectárea en 2019, 11.02 toneladas por hectárea en 2020, y aumentó a 14.40 toneladas por hectárea en 2021. Esto indica que el rendimiento promedio por hectárea ha variado en los últimos tres años, con un aumento en 2021.

El rendimiento agrícola en miles de pesos por hectárea mostró variaciones durante los años 2019, 2020 y 2021. En 2019, el rendimiento fue de 16.0 miles de pesos por hectárea, lo que indica un nivel relativamente alto. En 2020, el rendimiento disminuyó significativamente a 11.81 miles de pesos por hectárea, lo que podría indicar condiciones adversas en ese año. En 2021, el rendimiento aumentó nuevamente a 18.13 miles de pesos por hectárea, lo que sugiere una recuperación en la producción agrícola en comparación con el año anterior

Durango ha mantenido una superficie sembrada relativamente estable en los últimos tres años, con predominancia de la agricultura temporal y una ligera variación en la agricultura de riego. Los mayores y menores productores han experimentado cambios en las hectáreas sembradas en cada año. Además, se observa una variación en el rendimiento promedio por hectárea, con un aumento en 2021. Estos datos proporcionan una visión general de la situación agrícola en Durango en los últimos tres años.

En el estado de Durango, en el norte de México, los principales cultivos incluyen el frijol, maíz forrajero verde, alfalfa, maíz grano, avena forrajera en verde, nuez, sorgo forrajero, chile verde, melón, cebada grano, algodón hueso, manzana, sandía, trigo grano y avena grano. Estos cultivos son de gran importancia para la economía agrícola de la región, contribuyendo a la producción local de alimentos, la generación de empleo y el desarrollo económico en el estado. En la tabla 3 se observa el listado de los principales cultivos y el lugar que ocupa a nivel nacional.

Tabla 3. Principales cultivos del Estado de Durango

Cultivo	Producción	Valor de la producción	Lugar nacional
	Toneladas	Miles de pesos	
Frijol	123,300	1,964,951	3
Maíz forrajero verde	2,854,244	1,854,335	2
Alfalfa	2,790,734	1,834,037	4
Maíz grano	306,002	1,669,575	18
Avena forrajera verde	1,944,583	1,057,489	2
Nuez	9,007	709,275	4
Sorgo forrajero	796,940	564,756	2
Chile verde	31,605	335,034	14
Melón	52,813	298,340	5
Cebada grano	38,658	206,617	7
Algodón hueso	7,417	129,789	6
Manzana	28,604	125,435	4
Sandía	19,006	42,392	14
Trigo grano	8,976	41,226	14
Avena grano	1,518	8,233	8

Fuente: Plan De Desarrollo Estatal Durango 2022

Contexto municipal (región de los Llanos)

Los municipios de Pánuco de Guadalupe Victoria, Cuencamé, Pánuco de Coronado y Peñón Blanco son los cuatro municipios que conforman la región de los Llanos en el estado de Durango, en México. Esta región es conocida por su paisaje de llanuras, extensos campos de cultivo y su clima semiárido. En la figura 2 se observa el área que corresponde a la región de los Llanos.



Figura 2. Delimitación de la región de los Llanos.

Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI.

Año 2019

En el año 2019 los mayores productores fueron Cuencamé y Guadalupe V. con 53819.92 y 56288 hectáreas predomina el tipo de agricultora de temporal y se mantiene un rendimiento aproximado de 6 a 11 por ciento en miles de pesos generados por hectárea, los principales cultivos son (Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco). En la tabla 4 se muestra una síntesis de los datos anteriormente mencionados.

Tabla 4. Resumen de características agrícolas en el año 2019 en la región de los Llanos.

Municipio	He sembradas	Tipo agricultura (% siembra)		Rendimiento (miles de pesos/he)	Principales cultivos	Ciclo dominante
Cuencamé	53,816.92	Riego	4.9	6.44	Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco	Primavera-verano
		Temporal	95.1			
Guadalupe V.	56,288.75	Riego	9.4	6.36		
		Temporal	90.6			
Peñón blanco	15,061.69	Riego	9.5	10.40		
		Temporal	90.5			
Pánuco de Coronado	22,088.17	Riego	7.8	5.94		
		Temporal	92.2			

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP

Año 2020

En el año 2020 los mayores productores fueron Cuencamé y Guadalupe V. con 66323.76 y 66034.7 hectáreas respectivamente presentando un aumento ante el año 2019 predomina el tipo de agricultora de temporal y se mantiene un rendimiento aproximado de 6 a 7 por ciento en miles de pesos generados por hectárea, los principales cultivos son (Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco) En la tabla 5 se presenta el resumen de los datos agrícolas para el año 2020.

Tabla 5. Resumen de características agrícolas en el año 2020 en la región de los Llanos.

Municipio	He sembradas	Tipo agricultura (% siembra)		Rendimiento (miles de pesos/he)	Principales cultivos	Ciclo dominante
Cuencamé	66,323.76	Riego	5.7	6.06	Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco	Primavera-verano
		Temporal	0.9			
Guadalupe V.	66,034.70	Riego	13.0	6.37		
		Temporal	87.0			
Peñón blanco	20,285.18	Riego	6.6	6.20		
		Temporal	93.4			
Pánuco de Coronado	30,106.50	Riego	16.7	7.39		
		Temporal	83.3			

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP

Año 2021

En el año 2021 los mayores productores fueron Cuencamé y Guadalupe V. con 65562.95 y 56807.70 hectáreas respectivamente predomina el tipo de agricultora de temporal y se mantiene un rendimiento aproximado de 10 a 11 por ciento en miles de pesos generados por hectárea lo cual resulta en un aumento positivo ante los años pasados, los principales cultivos son (Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco) (Ver tabla 6).

Tabla 6. Resumen de características agrícolas en el año 2021 en la región de los Llanos.

Municipio	He sembradas	Tipo agricultura (% siembra)		Rendimiento (miles de pesos /he)	Principales cultivos	Ciclo dominante
		Riego	Temporal			
Cuencamé	62,562.95	Riego	7.2	11.33	Avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco	Primavera-verano
		Temporal	92.8			
Guadalupe V.	56,807.70	Riego	11.2	10.40		
		Temporal	88.8			
Peñón blanco	15,553.90	Riego	8.0	10.97		
		Temporal	92.0			
Pánuco de Coronado	24,093.50	Riego	13.3	11.55		
		Temporal	86.7			

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Durango ha mantenido una superficie sembrada similar y estable en los últimos tres años, ocupando el lugar 14 y 15 en nivel de superficie sembrada agrícola en los años 2019,2020 y 2021. La agricultura temporal es la predominante, representando el 69 y 72 % comparada con la agricultura de riego. El rendimiento promedio por hectárea ha variado en los últimos tres años, con un aumento en 2021 de 16 a 18%., los principales cultivos incluyen el frijol, maíz forrajero verde, alfalfa, maíz grano, avena forrajera en verde, nuez, sorgo forrajero, chile verde, melón, cebada grano,

algodón hueso, manzana, sandía, trigo grano y avena grano. En la región de los Llanos, se observa un aumento en la superficie sembrada de los mayores productores, Cuencamé y Guadalupe Victoria, en el año 2020 en comparación con el año anterior, el tipo de agricultura una agricultura temporal predominante y un rendimiento aproximado de \$6000 a \$10000 Pesos/He en 2019 pero aumento de \$10000 a \$11000 pesos/He en 2021 Los cultivos principales de la región de los Llanos son avena forrajera en verde, frijol pinto, frijol negro, maíz grano blanco. En cuanto agricultura predominantes es mayo la agricultura de temporal, el municipio Pánuco de coronado tiene mayor porcentaje de agricultura de riego comparado a los otros municipios por lo cual tiene un mayor rendimiento de aproximadamente \$12,000 pesos/He

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Fisher, D., González, I., Hernández, J., & Martínez, J. (2022). Análisis sociodemográfico de las unidades productivas agropecuarias de la sierra de Durango. *Revista del centro de graduados e investigación. Instituto tecnológico de Mérida*, 71-75.
- Gaudin, Y., & Padilla, R. (2020). Los intermediarios en cadenas de valor agropecuarias. CEPAL. bit.ly/42oxFr7
- Hernández, J., González, I., & Gálvan, M. (2022). Productivity in the agricultural districts of Durango, México. *Revista de Investigación Académica sin Frontera*.
- Heyden, D., & Camacho, P. (2006). Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas. RURALTER. <https://bit.ly/3VRUj95>
- Hobbs, J., Cooney, A. (2000). Value Chains in the Agri-Food Sector. Department of Agricultural Economics. University of Saskatchewan. Canada. 32 pp.
- INEGI. (2009). Temas de agricultura. Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://bit.ly/3BeQyRA>
- Kaplinsky, R., & Mike, M. (2009). Un manual para investigación de cadenas de valor. <https://bit.ly/41igKFv>
- Odum, E. (1984). The Mesocosm. *BioScience*, 558-562. <https://bit.ly/42LMiol>
- PED. (2023). Plan Estatal De Desarrollo. <https://bit.ly/3nK8ccO>
- Peña, Y. (2008). Cadena de valor: Un enfoque para las agrocadenas. *Equidad y desarrollo*, 77-85. <https://bit.ly/3VN5ShG>
- Porter, M. (1985). *La ventaja competitiva*. México: Editorial Patria.
- Porter, M. (2006). *Estrategia y ventaja competitiva*. España: Deusto y Planeta De Agostini.
- SADER. (2016). Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/3BcfybZ>
- SADER. (2020). *Agricultura protegida, otra manera de cultivar*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://bit.ly/44GQJCJ>
- SEDEMA. (2023). *Secretaria del medio ambiente*. <https://bit.ly/3NZHxTQ>
- SEMARNAT. (2018). *Glosario: Actividades agrícolas*. SEMARNAT. <https://bit.ly/3HZ0mCW>

SIAP. (2018). Cultivos perennes: garantía de alimentación agrícola y humana. SIAP. <https://bit.ly/3BddOPD>

SIAP. (2018). En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://bit.ly/41IQSsb>

Trejo, B. (2011). Modelo de la cadena de valor para el desarrollo: El caso del sector ovino en México y España. Universidad Politécnica de Madrid. <https://bit.ly/3nKbdd3>

Velasco, T. (2017). La cadena de valor como herramienta de gestión empresarial en el sector de consumo masivo en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato. <https://bit.ly/3LQXyZB>

SISTEMA ELÉCTRICO ESTIMULADO POR VIBRACIÓN PARA ESTUDIO FISIOLÓGICO DE ÁRBOL DE MANZANO

MARCO ANTONIO DE LA CRUZ GONZÁLEZ¹, JOSUE ORTÍZ MEDINA², FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA³

RESUMEN

Debido a las propiedades mecánicas y electromecánicas de los nanotubos de carbono (CNT), han sido considerados para su aplicación en sistemas residenciales, comerciales, industriales y agrícolas, especialmente para estudio científico y de manejo de riegos, uso de agua y tasa de transpiración en plantas.

A través de la integración de CNT en el desarrollo de microsistemas en incremento, los sistemas nano electromecánicos (NEMS) han logrado crear sensores y desarrollar métodos y dispositivos para mediciones directas y confiables con las propiedades de los CNT (Hierold et al., 2007).

Se presenta un reporte como resultado de la implementación de un sistema de instrumentación, que permite analizar la respuesta que presentan los CNT ante un estímulo generado por ondas vibratorias en respuesta al valor de flujo de savia. Para lograrlo, fueron preparadas diferentes muestras de CNT sintetizadas con nanopartículas de plata (Ag-NP'S) con distintas concentraciones y dispersadas en un FILM con dimensiones de 10x10cm. Las muestras acondicionadas como membrana presentaron cambios en el valor de su resistencia eléctrica conforme su deformación mecánica y que está relacionada con el cambio del flujo de savia.

Los resultados muestran que existe una relación entre la concentración de los SWCNT-AgNP y el valor resistivo del FILM, haciéndolo susceptible a la estimulación por ondas vibratorias, con resultados de cambio a razón del 300%.

Palabras clave: nanotubos de carbono, nanopartículas de plata, nanosensor, sistema de instrumentación, medición de flujo de savia, xilema, floema

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. 14040906@itdurango.edu.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. j.ortiz@itdurango.edu.mx

³ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Durango. fgodinez@itdurango.edu.mx

ABSTRACT

Due to the electrical mechanical and electromechanical properties of carbon nanotubes (CNT), they have been achieved a special attention to be integrated and applied in residential, commercial, industrial, and agricultural systems, especially for scientific study and irrigation management, water use and plant transpiration.

By integrating nanotube growth into batch fabricated microsystems, nano electromechanical systems (NEMS) are achieved to create sensors and to develop methods and devices for direct and reliable measurements of nanotube transducer properties. (Hierold et al., 2007).

A report is presented as a result of the implementation of instrumentation control system, which is capable of analyze the response of the CNT fore a stimulate generated by vibratory waves in function of the sap flow rate. To achieve it, there were prepared different samples of CNT synthetized by silver nanoparticles (Ag-NP's) with different concentrations and deposited in a FILM with 10x10cm dimensions. The samples were conditioned as a membrane and show changes in their electrical resistance rate concerning their mechanical deformation, whereby the estimation sap flow rate can be measured.

The Results shows the relation between the concentration of the CNT/-Ag-NP'S and the FILM's electrical resistance rate, which make susceptible to vibratory waves stimulation, exhibiting a rate of change of 300%.

Keywords: carbon nanotubes, silver nanoparticles, nanosensor, instrumentation control system, sap flow measurement, xylem, phloem

INTRODUCCIÓN

Actualmente el desarrollo y crecimiento de los mercados han propiciado un crecimiento en la competitividad entre los países exportadores, donde la demanda de productos y procesos altamente eficientes está a la orden del día. El desarrollo de las tecnologías agrícolas y pecuarias no son la excepción, ya que, en la necesidad de obtener productos de mayor calidad maximizando el rendimiento de los recursos necesarios para su producción, se han implementado cada vez más el uso de herramientas y dispositivos que facilitan el monitoreo, análisis y control

de las variables implicadas en su desarrollo.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), en las estadísticas correspondientes a la Producción Anual Agrícola indicó que el estado de Durango tuvo un total de 5,635.09 hectáreas cosechadas para la modalidad de riego y temporal a cielo abierto de cultivo de manzanas, siendo el tercer estado que obtuvo un mayor valor de producción por hectárea, solo después de Chihuahua y Puebla, siendo por lo tanto, uno de los estados que más ingresos recaudó por concepto de la producción de este fruto en México, ante esta premisa, se busca impulsar el desarrollo de esta actividad mediante el estudio, análisis, desarrollo y aplicación de técnicas y prácticas aplicables en los procesos agroindustriales que la integran.

El desarrollo del sector agrícola precisa examinar el comportamiento de las propiedades dinámicas internas del árbol, así como la relación e influencia de los factores que intervienen en su desarrollo, esto es posible mediante la aplicación de ensayos o pruebas y se les conoce como estudios fisiológicos. Los estudios fisiológicos abarcan todo tipo de observaciones con propósitos de investigación (Fernández & Gyenge, 2010), van desde las relacionadas con la activación de genes y cambios metabólicos a nivel celular frente al estrés, pasando por el comportamiento de las hojas en respuesta al aumento de la temperatura durante el día, los justes fisiológicos estacionales, los cambios anatómicos y morfológicos de individuos genéticamente similares creciendo en sitios con distinta oferta de recursos.

FLUJO DE SAVIA

El transporte hídrico en las plantas ocurre principalmente a través de la xilema. Cuando el potencial hídrico entre dos sitios difiere, dejará de existir un equilibrio y un movimiento de agua de la región de mayor potencial hídrico hacia la región de menor potencial hídrico ocurrirá (Nobel, 2005). La xilema aporta una trayectoria directa y de baja resistencia para el transporte del de savia a través de ella, la planta dispone del recurso hídrico tomándolo del suelo (Fig. 1), el cual a su vez pasa a

través de la planta hasta completar el ciclo terminando en la atmósfera expulsado mediante la transpiración.

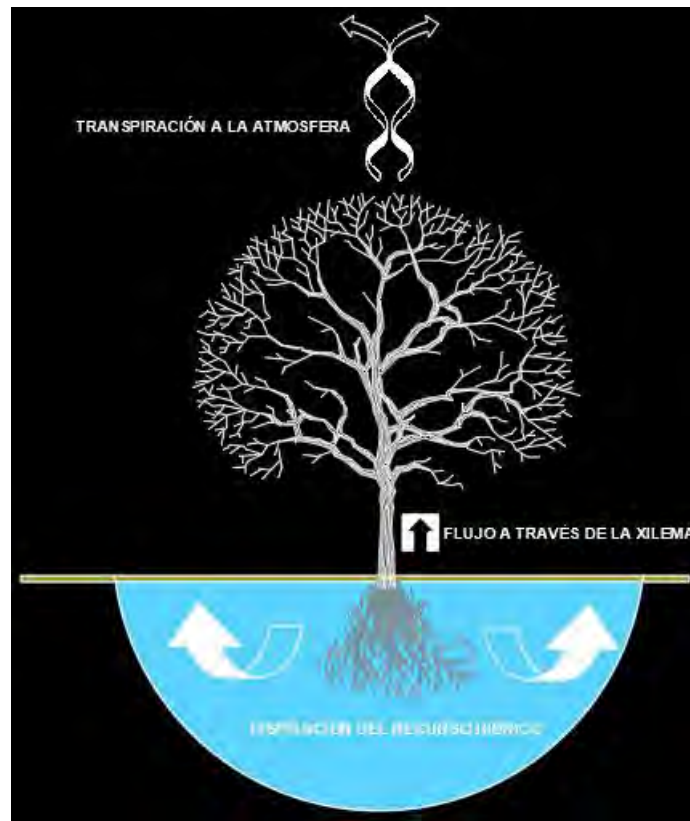


Figura 1. Uso de agua en plantas.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD

Para el estudio científico y el manejo práctico de los recursos en un riego, es necesario determinar la tasa de transpiración de plantas y la tasa de agua requerida por las plantas (Dragoni & Piccioni 2005), existen varias técnicas para determinar la cantidad de agua demandada por las plantas, entre ellas se encuentra la estimación por flujo de savia.

La savia es el fluido que conduce el agua y nutrientes a través de la planta. La densidad de flujo de savia se relaciona directamente con la cantidad de agua y la transpiración de la planta, dividida por la sección transversal conductora, esta medida puede usarse en el análisis de la relación Planta-Agua y las dinámicas de flujo de agua dentro y fuera de la planta. Esta información es ampliamente usada por científicos para estimar el uso y la demanda hídrica en plantas (Morton et al., 2016). A partir de la obtención y medición de éste parámetro, se busca observar su relación con el desarrollo y crecimiento del árbol, teniendo como referencia el

diámetro troncal y el área foliar, ya que el flujo de savia es un indicador cuantificable para la programación de un sistema de riego en los huertos (Ren et al, 2012), es un indicador que exhibe la relación directa del flujo de savia con la variación estacional del diámetro del tronco y el índice de área foliar, que a su vez está relacionada directamente con la radiación solar. Actualmente existen distintos tipos de métodos para la estimación del flujo de savia, la mayoría utilizan el principio del método del pulso de calor.

MÉTODOS PARA ESTIMACIÓN DE FLUJO DE SAVIA

Los métodos actuales se basan principalmente en la técnica conocida como método de disipación, el cual utiliza como estimulante un impulso térmico. Los sensores de flujo de savia basados en el pulso de calor son ampliamente usados en el estudio de la relación Planta- Agua, permite el estudio de la dinámica del flujo de agua en la planta y de los requerimientos hídricos necesarios para un crecimiento óptimo (Morton et al., 2016).

Las distintas formas de abordar el Método del Impulso de Calor se muestran en la Figura 2.



Figura 2. Técnicas de medición en el Método de Impulso de Calor.

Fuente: Elaboración Propia. www.pixlr.com/x

Para el desarrollo de los estudios fisiológicos mencionados en la Figura 2 se realiza la inserción de sondas metálicas (termocuplas) directamente en la xilema, las cuales generan un gradiente de potencial eléctrico en función a la temperatura que perciben sus terminales, la señal de salida genera un valor en el orden de los milivolts. Es importante que todo el sensor quede inmerso dentro de tejido activo, ya que el error de medición se incrementa con la proporción de xilema no activo en

contacto con el sensor (Fernández & Gyenge, 2010). Esta diferencia de potencial eléctrico permite realizar la estimación del flujo de savia, mediante una tasa de disipación de calor producida por el transporte de agua en el caso del método de disipación, para el método del pulso de calor la estimación es determinada por el tiempo de traslado (velocidad) que le toma a un pulso térmico ser detectada desde su punto de origen hasta el de medición (Fig. 3). El método del balance de calor toma como principio un sistema ideal en donde no existen pérdidas térmicas, por lo que existe una relación entre el calor disipado por un flujo de agua y la cantidad calor aplicada.

Durante la realización de la prueba se deben tomar ciertas consideraciones, en aras de obtener una representación con la mayor semejanza posible a la señal original. Una alineación errónea en las sondas provoca errores relativamente grandes tanto en la medición de la capacidad térmica como en la medición de la densidad de flujo de savia (Ren et al., 2017).

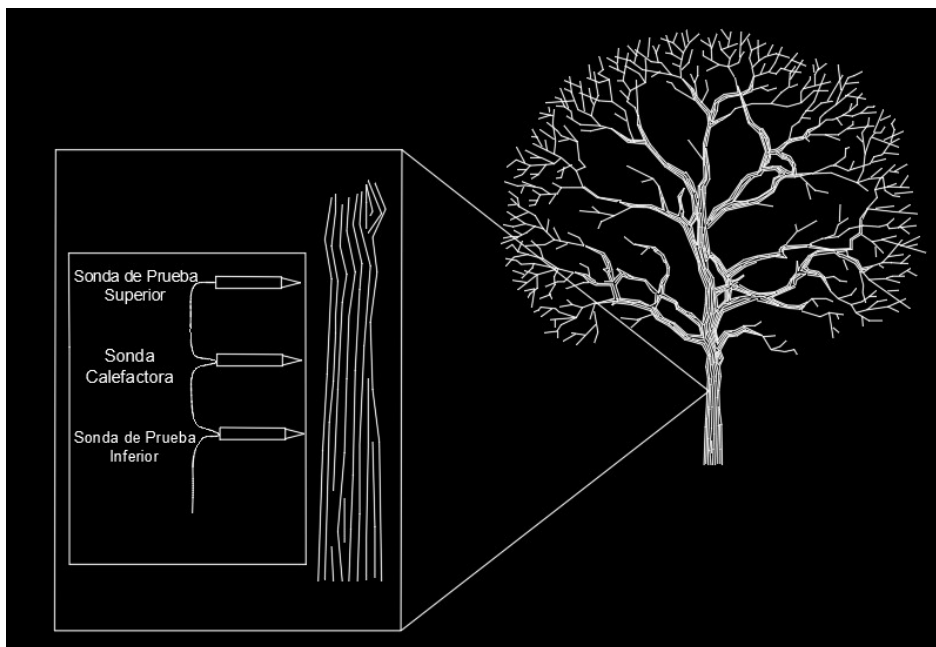


Figura 3. Método del Pulso de Calor.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD

El propósito de un estudio para desarrollar un nuevo método surge precisamente de la incertidumbre en su desempeño, especialmente en la precisión, exactitud y repetibilidad de las lecturas, además de los posibles factores ambientales, técnicos y humanos que interfieren en la prueba.

Para el desarrollo de este método, se planteó el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de instrumentación para el monitoreo de flujo de savia en árboles de manzano, este método, no invasivo, parte del desarrollo de un sistema eléctrico estimulado por vibración, capaz de percibir los cambios que presentan las propiedades dinámicas internas del árbol. Para esto se hizo uso de las propiedades que ofrecen los sistemas nano electromecánicos (NEMS), los cuales han recibido gran interés en los últimos años, debido principalmente a su notable potencial para el desarrollo de dispositivos de bajo consumo y altamente sensibles (Hierold et al., 2007).

Los materiales a base de carbono, tal como los nanotubos de carbono (CNT) unidimensionales y el grafeno bidimensional han recibido gran atención en la preparación de materiales avanzados debido a su estructura y propiedades únicas; tal como alta conductividad eléctrica y térmica (Javaid et al., 2021). Incluso cuando los CNT presentan excelentes propiedades mecánicas y electromecánicas, dadas las magnitudes en que se transporta el flujo de savia, se precisa de un procedimiento que brinde un resultado confiable en repetibilidad, exactitud, precisión y especialmente que sea altamente sensible.

Las nanopartículas son un vínculo eficaz entre las estructuras moleculares y los materiales a gran escala (Hu et al., 2022), Las nanopartículas de plata (Ag-NP's) son capaces de modificar la superficie de los CNT y reducir la resistencia entre las caras, potenciando las propiedades mecánicas, químicas y eléctricas (Chettri et al., 2022).

MATERIALES Y METODOS.

Los sensores son componentes clave para las abundantes aplicaciones industriales y de consumo (Davis et al., 2012). El dispositivo clave en el desarrollo del sistema es el elemento sensor, su principio de operación es una analogía a los principios piezorresistivos, esto es; que existe un cambio de valor de resistencia eléctrica en respuesta a su deformación mecánica, que a su vez está relacionada con el flujo de savia.

El sistema desarrollado permite analizar la respuesta presentada por los CNT a un estímulo generado por ondas de vibración. Para ello, se prepararon dos muestras de CNT dispersadas con Ag-NP's, en concentraciones de 10ml y de 15ml. Posteriormente fueron dispersadas en un FILM con dimensiones de 10x10cm. Estos FILM, se depositan vía aerógrafo en un material en forma de paralelogramo con propiedades similares al papel encerado de dimensiones 10x10cm.

Dispersiones

Para poder desarrollar un elemento sensor lo suficientemente sensible como para percibir los cambios en el flujo de savia, fue necesario dopar los CNT con nanopartículas de nitrato de plata, los que potenciaron sus propiedades mecánicas y electromecánicas.

La síntesis comenzó depositando y 67mg de nitrato de plata $AgNO_3$ en un vaso de precipitado en conjunto con 200ml de agua destilada. Estas sustancias estuvieron sometidas a agitación constante durante 30 minutos en un homogeneizador a 3000rpm (Fig. 4). Posteriormente, 10mg de CNT se integraron al homogeneizador por 30 minutos más (Fig. 5). Al no presentar dispersión fue necesario agregar Tritón X-100 (solución surfactante al 1%).

Luego de añadir el surfactante, se agregó también 10ml citrato de sodio al 1% $Na_3C_6H_5O_7$, que previamente fue mezclado con 10ml de agua destilada y 100mg de citrato de sodio durante una hora vía placa agitadora.



Figura 5. Dispersión en homogeneizador.

Fuente: Elaboración Propia.

Luego de haberse realizado la mezcla, se extra el sobrenadante de la mezcla, restando 40ml aproximadamente. Posteriormente se vuelve a añadir el surfactante al 1% al soluto de la mezcla durante 90 minutos para lograr una mezcla homogeneizada.

La solución obtenida durante el proceso se deposita vía aerógrafo a concentraciones de 10ml y 15ml. El aerógrafo permite realizar depósitos de hasta 5ml, por lo que se depositaron 2 y 3 cargas en cada FILM.

PRUEBAS DE RESPUESTA

Una vez habiendo depositado la solución de CNT/Ag-NP'S en los FILM, se realizaron pruebas de respuesta en donde se acondicionaron como membranas presentando una respuesta en función de cambios en su deformación mecánica que, a su vez, está relacionada con el flujo de savia.

Las pruebas que se realizaron fueron acondicionadas de tal manera que se pudiera obtener un cambio en el valor de la resistencia eléctrica, cuando se le estimula con ondas de vibración del rango de los 50Hz hasta los 500KHz, estas provocan deformaciones mecánicas en los FILM.

Para poder realizar la medición de la resistencia eléctrica, se montaron los FILM sobre altavoces (Fig. 6) y se fijaron de tal manera que el FILM quedara totalmente extendido sin llegar a tensarlo, esto le brinda la capacidad de poder realizar los desplazamientos mecánicos. estas se encargaron de emitir las ondas vibratorias, para lo cual, se le excitó directamente con un generador ondas, la representación esquemática se muestra en la Figura 7.

La manera en que las pruebas se acondicionaron fue mediante un circuito eléctrico de cd simple, en donde la FEM es la fuente de alimentación regulable, la carga es el FILM mismo, que tiene un valor de resistencia eléctrica inicial en estado de reposo que limita la corriente del circuito.

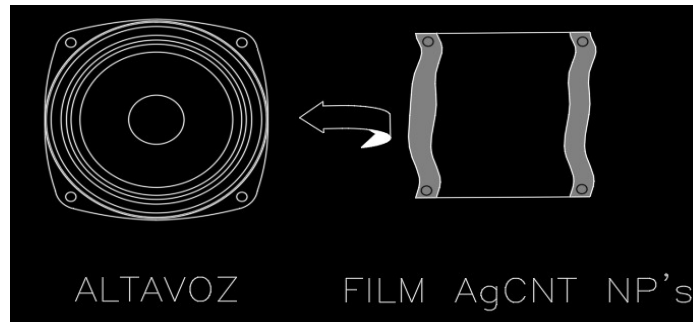


Figura 6. Representación de montaje de FILM en altavoz.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD.

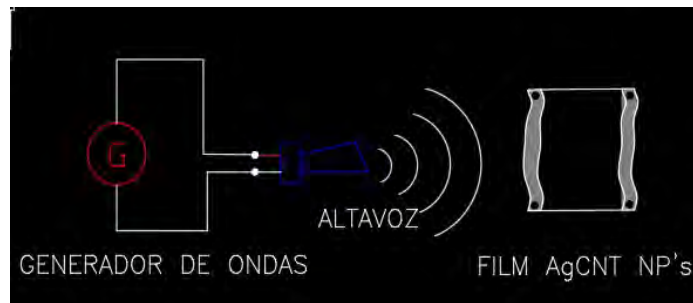


Figura 7. Representación de estímulo del altavoz al FILM.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD.

Las variables implicadas en el cálculo de la resistencia eléctrica son básicamente las implicadas en la Ley de Ohm. Tenemos un valor de diferencia de potencial aplicado, que a su vez está generando el flujo de corriente eléctrica, para la monitorear estos datos, los equipos de medición utilizados fueron un voltímetro, conectado en paralelo a la fuente de alimentación, y un amperímetro conectado en serie entre la fuente de alimentación y la carga. El circuito eléctrico correspondiente a la prueba se muestra en la Figura 8.

Una vez armado el circuito con la fuente de alimentación y con el FILM montado y acondicionado correctamente sobre el altavoz, se procedió con las pruebas de reacción.

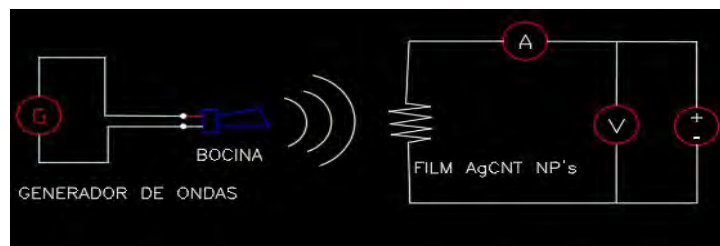


Figura 8. Circuito eléctrico para lectura de resistencia eléctrica en FILM.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD

Para poder registrar los valores reales del generador de ondas y poder tener la certeza de la frecuencia a la que se estaba trabajando realmente, se realizó la conexión de la sonda de prueba del osciloscopio directo al generador de ondas, en donde la frecuencia de salida se confirmaba a través de este (Fig. 9).

RESULTADOS.

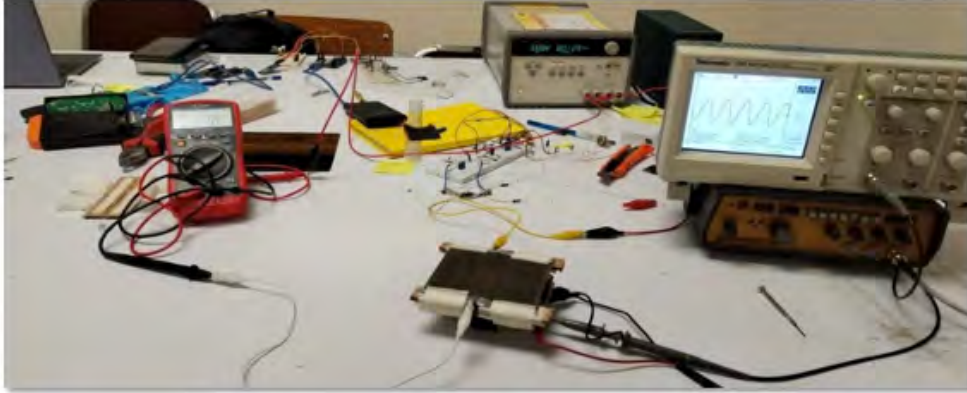


Figura 9. Prueba de respuesta de resistencia eléctrica a FILM CNT/Ag-NP'S.

Fuente: Elaboración Propia. AutoCAD.

Los resultados de las pruebas de cambios en la resistencia eléctrica a los cambios en las deformaciones mecánicas presentadas por estimulación de ondas de vibración se registraron y se representaron gráficamente. La primera prueba realizada, se realizó buscando un barrido general del espectro de frecuencias, por tal motivo, las escalas fueron en función logarítmica, en un rango de espectro que abarcan los 50Hz hasta los 500kHz, con saltos logarítmicos entre mediciones.

La primera medición se realizó en contacto directo con el altavoz, siendo este el Nivel. 1. Posteriormente, se retiró el FILM y se colocó un aislante acústico que básicamente funciona como separador, dicho aislante tiene propiedades físicas similares al cartón corrugado, esto se hizo con la finalidad de determinar la influencia de la distancia entre el altavoz y el FILM, este sería el nivel 2. Así se replicó este principio un par de veces más obteniendo los niveles 3 y 4, que no son más que la respuesta de cambios en la resistencia con aislantes superpuestos y colocados entre el FILM y el altavoz. Esta prueba se realizó para ambas muestras (10ml y 15ml de CNT/Ag-NP'S). Los resultados obtenidos para cada muestra a distintos Niveles se muestran en la Figura 10.

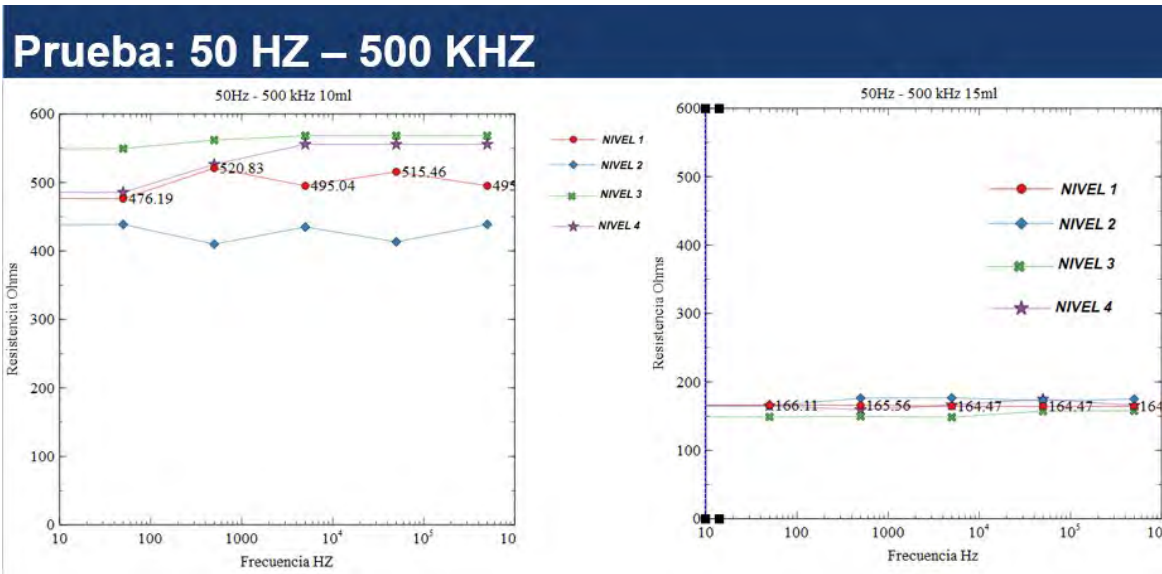


Figura 10. Resultados prueba 50Hz – 500 kHz.

Fuente: Elaboración Propia. Veusz

Se puede observar que en ambas gráficas se encuentran representadas en el mismo rango de escala para ambas pruebas. A primera instancia es evidente que los valores obtenidos en la prueba al FILM 10ml, presentan un valor de resistencia eléctrica para cada rango de frecuencia mucho mayor que el FILM 15ml. Para poder apreciar de forma clara las fluctuaciones en los cambios de frecuencia aplicados, la Figura 11 muestra la misma prueba pero con la escala ajustada y centrada para mejor apreciación.

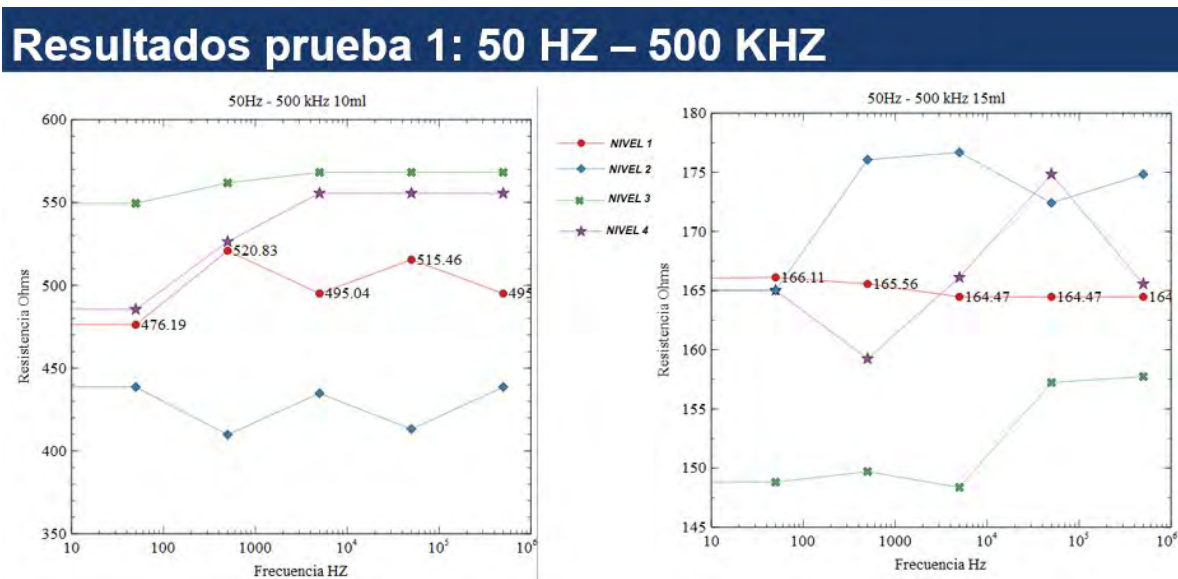


Figura 11. Resultados ampliados prueba 50Hz – 500 kHz.

Fuente: Elaboración Propia. Veusz

Al hacer un acercamiento a las gráficas, es notorio los cambios presentados a lo largo del espectro de frecuencias. Únicamente se indicaron los valores del Nivel 1 con motivos de demostración. En el primer escalón, se puede observar que el FILM 10ml presenta una resistencia eléctrica con un valor de más del doble del valor de la presentada en el FILM 15ml y esto se replica en cada escalón de la prueba, realizando cambios abruptos en el rango superior a los 1000 Hz y continuando especialmente hasta el rango antes de la mitad de los 100kHz.

Al indagar en la interpretación de las gráficas, se pudo observar que en el escalón de los 5kHz, sin distinción de concentración ni de nivel, se presentaron cambios abruptos de resistencia eléctrica con tendencia de pendiente positiva en su mayoría. Es por eso que se decidió la confirmación de estos valores mediante un acercamiento al rango de frecuencias en donde se presenta el fenómeno, entendiéndose el escalón correspondiente a 5kHz. Para ello, se realizó una segunda prueba específicamente en ese punto, tomándolo como punto de referencia y con datos de prueba de ± 5 kHz. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 12.

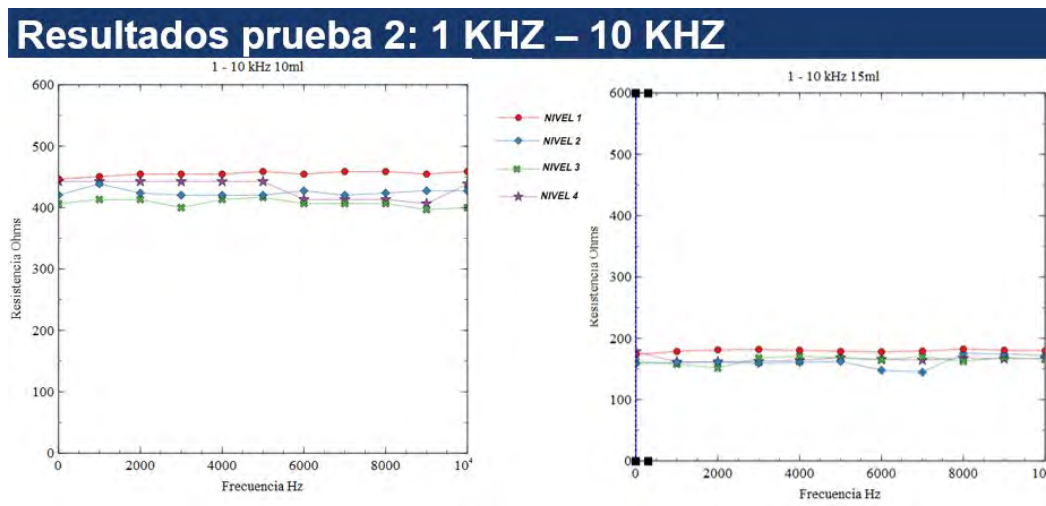


Figura 12. Resultados prueba 1KHz – 10kHz.

Fuente: Elaboración Propia. Veusz.

Se observa que se repite y se mantiene durante todo el rango de muestreo la diferencia evidente de valor resistencia eléctrica para las distintas concentraciones de material aplicado. También se puede apreciar que, en el escalón de los 5kHz, se produjeron particularmente descensos de resistencia eléctrica y en todas las muestras fue el único escalón en donde todos los datos cambiaron.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Ante los resultados presentados en las pruebas, si se hace una deducción de la posible causa del comportamiento en lo que a la resistencia eléctrica refiere, se tendría que cambiar el punto de enfoque, y considerar que esos descensos en la resistencia eléctrica, en realidad obedecen a un incremento en la corriente eléctrica medida (se deduce de la Ley de Ohm). Al estar la fuente de alimentación configurada para suministrar una corriente constante, el único factor restante es el valor mismo del FILM analizado, que únicamente responde a cambios en su deformación mecánica, entonces, es evidente que en el espectro del escalón de 5kHz se presentó una deformación mecánica más intensa que se reflejó en un cambio de resistencia eléctrica con cambios abruptos y con cambios para la totalidad de las pruebas.

A partir de los resultados obtenidos, se toma como frecuencia de resonancia el valor de 5kHz. Este dato, es el que da la pauta para el desarrollo del sistema de instrumentación, tomándolo como valor de referencia para su aplicación, el cual, responde a los estímulos de vibración presentando variaciones con tasas de cambio a razón del 300%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chettri, P., Tripathi, A., & Tiwari, A. (2022). Effect of silver nanoparticles on electrical and magnetic properties of reduced graphene oxide. *Materials Research Bulletin*, 150, 111752. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2022.111752>
- Davis, T. W., Kuo, C.-M., Liang, X., & Yu, P.-S. (2012). Sap Flow Sensors: Construction, Quality Control and Comparison. *Sensors*, 12(1), 954–971. <https://doi.org/10.3390/s120100954>
- Dragoni, D., Lakso, A. N., & Piccioni, R. M. (2005). Transpiration of apple trees in a humid climate using heat pulse sap flow gauges calibrated with whole-canopy gas exchange chambers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130(1–2), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.02.003>
- Fernández, M. E., & Gyenge, J. E. (2010). Técnicas en medición en ecofisiología vegetal : conceptos y procedimientos. INTA.
- Green, S., Clothier, B., & Jardine, B. (2003). Theory and Practical Application of Heat Pulse to Measure Sap Flow. *Agronomy Journal*, 95(6), 1371–1379. [Hierold, C., Jungen, A., Stampfer, C., & Helbling,](https://doi.org/10.2134/agronj2003.1371)
- T. (2007). Nano electromechanical sensors based on carbon nanotubes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 136(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2007.02.007>
- Hierold, C., Jungen, A., Stampfer, C., & Helbling, T. (2007). Nano electromechanical sensors based on carbon nanotubes. *Sensors and Actuators A: Physical*, 136(1), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2007.02.007>
- Hu, C., Liu, T., Neate, N., Fay, M., Hou, X., Grant, D., & Xu, F. (2022). Enhanced thermal and electrical properties by Ag nanoparticles decorated GO-CNT nanostructures in PEEK composites. *Composites Science and Technology*, 218, 109201. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.109201>
- Jarvis, P. G. (1976). The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 273(927), 593–610. <https://doi.org/10.1098/rstb.1976.0035>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Rab, S., & Suman, R. (2021). Exploring the potential of nanosensors: A brief overview. *Sensors International*, 2, 100130. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2021.100130>

- Morton, D., Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S. C., & Green, S. (2016). Sensors and instrumentation to measure Sap flow in small stem plants. 2016 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2016-July, 1–6. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2016.7520519>
- Nobel, P.S., 2005. Physicochemical and Environmental Plant Physiology. Elsevier Academic Press, Burlington, Massachusetts, USA 540.
- Ren, R., von der Crone, J., Horton, R., Liu, G., & Steppe, K. (2020). An improved single probe method for sap flow measurements using finite heating duration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107788. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2019.107788> Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Anuario Estadístico de La Producción Agrícola.
- Ren, R., Liu, G., Wen, M., Horton, R., Li, B., & Si, B. (2017). The effects of probe misalignment on sap flux density measurements and in situ probe spacing correction methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.009>
- Zhang, S., Zhang, H., Yao, G., Liao, F., Gao, M., Huang, Z., Li, K., & Lin, Y. (2015). Highly stretchable, sensitive, and flexible strain sensors based on silver nanoparticles/carbon nanotubes composites. *Journal of Alloys and Compounds*, 652, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.08.187>.

OBTENCIÓN DE CELULOSA EN PORCENTAJE ACEPTADO PARA LA GENERACIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO A BASE DE NOPAL DE CASTILLA (OPUNTIA FICUS-INDICA).

MAURICIO BOTELLO ORTIZ¹, RAÚL MORALES RODRÍGUEZ², JESÚS ALONSO GÁNDARA MIRELES³

RESUMEN

El uso convencional de papel higiénico siempre ha sido primordial considerado dentro de los hábitos de salubridad en las personas, y mencionar que post pandemia de COVID-19, en todas las instituciones el uso de estos productos es básico y es fundamental, para la limpieza de áreas de trabajo, y uso personal posterior en la desinfección de extremidades.

El proyecto tiene como finalidad lograr desarrollar un producto que logre satisfacer las necesidades del cliente. El desarrollar papel higiénico u otro tipo de papel, utilizando materia prima que se encuentra a disposición.

La aplicación de las técnicas necesarias para la deslignificación de la celulosa, utilizando diferentes productos, como el nopal, el bagazo derivado del frijol y el maíz, así mismo las técnicas presentadas

De acuerdo a la obtención de celulosa, mediante las técnicas propuestas, dentro el porcentaje adecuado, de bagazo de frijol y maíz, porcentaje de nopal y activo de sosa caustica, se realiza un diseño experimental para obtener le mejor concentración para obtener el porcentaje adecuado, la utilización correcta de moldes, tiempo de secado y pruebas físicas del papel.

Posterior a la obtención es importante el proceso para realizar, de acuerdo a los métodos más adecuados, realizar el embobinado adecuado y práctico.

Palabras clave: Deslignificación, nopal, bagazo, técnicas, papel

¹ Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. mauricio.bo@regionllanos.tecnm.mx

² Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de la Región de los Llanos. raul.mr@regionllanos.tecnm.mx

³ Instituto Politécnico Nacional CIIDIR. jgandaram1800@alumno.ipn.mx

ABSTRACT

The conventional use of toilet paper has always been a fundamental part of people's health habits, and it is important to mention that after the COVID-19 pandemic, in all institutions the use of these products is basic and fundamental for the cleaning of work areas, and later personal use in the disinfection of extremities.

The purpose of the project is to develop a product that satisfies the client's needs. The development of toilet paper or another type of paper, using raw material that is available.

The application of the necessary techniques for the delignification of cellulose, using different products, such as nopal, bagasse derived from beans and corn, as well as the techniques presented in the project.

According to the obtaining of cellulose, by means of the proposed techniques, within the adequate percentage of bean and corn bagasse, percentage of nopal and active caustic soda, an experimental design is carried out to obtain the best concentration to obtain the adequate percentage, the correct use of molds, drying time and physical tests of the paper.

After obtaining the paper, it is important the process to perform, according to the most appropriate methods, the adequate and practical winding.

Keywords: delignification, cactus, bagasse, techniques, paper

INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales más grandes de nuestra sociedad son enfocados en la cantidad de basura que se emiten en gran medida. La población y el consumo per cápita crece, y por ende la basura; pero el espacio no y además su tratamiento no es el adecuado.

Uno de los principales insumos para la producción de papel es la pulpa de madera. Según RISI, un consultor independiente en Bedford, Mass., la pulpa de un árbol de eucalipto produce alrededor de 1,000 rollos de papel higiénico. Se calcula que aproximadamente 27,000 árboles por día, o 10 millones por año, se cortan para satisfacer la demanda global de papel higiénico. Este proceso de deforestación es

uno de los principales causantes del recalentamiento global y del peligro de extinción de flora y fauna que habitan en estos bosques. (Díaz, 2004)

El agua es otro insumo importante en la producción de papel. Expertos calculan que sólo en Estados Unidos la producción de papel higiénico consume más de 473 mil millones de galones de agua por año.

El papel higiénico requiere de energía eléctrica como para su producción. Según EIA (siglas en inglés de la Administración de Información Energética de Estados Unidos), la industria papelera es la tercera consumidora de energía en el país.

Analizando las dificultades a las que se presenta la humanidad, el impacto del hombre en el planeta es de una gran magnitud, pero para la mayoría de la población, esos problemas quedan demasiado lejos como para sentirse obligados a hacer algo al respecto.

Nuestra inteligencia, creatividad y todas nuestras actividades, son la clave de todos los problemas globales a los que nos enfrentamos día con día. Grandes cantidades de basura se generan a nivel mundial, produciendo más de 2.100 millones de toneladas de desechos por año, lo que podría llenar más de 800.000 piscinas olímpicas, lo dio a conocer Verisk Maplecroft, firma global de investigación especializada en el análisis de riesgos políticos, económicos, sociales y ambientales.

Por esta razón, es necesario poner en marcha un plan de reducción de residuos, debido a la “creciente crisis” por la basura causada.

De acuerdo con, *Ramos 2018*. Uno de los principales contaminantes, es el uso diario de papel higiénico, el hogar promedio de 2 a 3 personas usa aproximadamente 409 rollos regulares por año. La deforestación, el volumen de agua, la energía requerida y los efectos adversos de los químicos usados en la producción de papel, son algunos de los costos ambientales más importantes que generan la demanda de dicho producto.

Por lo tanto, he decidido crear un plan de acción, mediante la elaboración de papel higiénico a base de nopal, debido a la abundancia de esta planta cactácea con múltiples beneficios y a su vez aprovechar los recursos naturales que tenemos en el municipio de Guadalupe Victoria, Dgo.

Se efectuará mediante un proceso de prueba y error, realizando una extensa investigación para obtener el máximo aprovechamiento del nopal, teniendo como principal objetivo la creación de un papel higiénico amigable con el medio ambiente, mediante la biodegradación, los costos y procesos de producción, así como los múltiples beneficios que nos puede ofrecer esta planta.

CONTENIDO, MATERIAL Y MÉTODOS

Muestreo: Se cortó nopal (*Opuntia Ficus-Indica*) se deshidrato de manera natural y con la utilización de un horno de secado de laboratorio.

Para esto se cortaron las espinas y se hizo un corte de manera transversal para facilitar el secado.

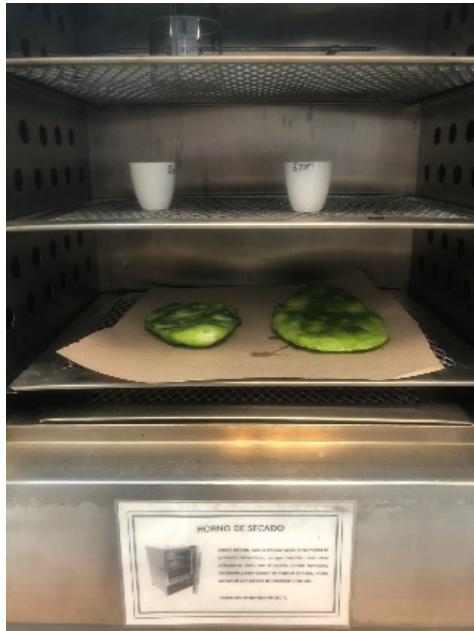


Fig. 1. Deshidratado por corte transversal



Fig. 2. Nopal deshidratado

Se recolectó paja (gabazo de frijol) y rastrojo (gabazo de maíz), se realizó una molienda con molino convencional y alguno con licuadora



Fig. 3. Bagazo de frijol y maíz

Debido a que la molienda realizada con el molino convencional no queda en las condiciones necesarias, se utiliza una licuadora tal como se muestra a continuación con el objetivo de obtener una mejor finesa en el producto.



Fig. 5. Molienda con licuadora



Fig. 6. Bagazo en recipiente

Proceso de obtención de pulpa de celulosa:

La materia prima, pasó por una serie de procesos para la extracción de la celulosa, las cuales fueron las siguientes etapas; cortado, secado, molienda, mezclado, deslignificación y lavado/secado, las cuales serán descritas a continuación:

1. Acondicionamiento: Proceso desde que es recolectada en el campo hasta su lavado.
2. Cortado 1: Se corta el nopal (Opuntia Ficus-Indica), se quitan las espinas, se hace un corte de manera transversal.
3. Secado: Se deshidrató el nopal (Opuntia Ficus-Indica) de manera convencional. La paja y tazole (bagazo de maíz), se recolectó ya seco.
4. Molienda: Se realizó una molienda a la paja (gabazo de frijol) y rastrojo o tazole (gabazo de maíz) en molino convencional.
5. Mezclado: se mezcla el molido de paja y tazole con el nopal deshidratado.
6. Deslignificado: La mezcla del nopal deshidratado se mezclaron la paja y rastrojo molido con un porcentaje de 40% de nopal y un 60% de molido. A esto se le añadió la solución de sosa caustica (Na(OH)) en un 5%, 10% y 15% en cada diferente prueba. Se ingresaron a la estufa a temperatura de 150°C y se controlaron los diferentes tiempos ya determinados.
7. Lavado: La muestra se lavó con agua destilada para quitarle la solución usada y los compuestos no deseados.
8. Secado: en moldes prefabricados se vertió una película delgada de 0.2 cm de alto y aprox. 40cm de largo y 10cm de ancho y otro molde con las medidas de 40cm L* 35cm A* 0.2cm A. se dejó secar al aire libre solo colocando 5k aprox. para que se comprima la película hecha con la mezcla anterior.



Fig. 7. Mezclado



Fig. 8. Cocción de mezcla y solución



Fig. 9. Mezcla depositada en molde



Fig. 10. Película obtenida en molde después de secado

RESULTADOS

Como ya se mostró posterior a verter la mezcla en el molde pasa a un tiempo de secado obteniendo la película como se muestra en la fig. 11.



Fig. 11. Película obtenida

De momento las pruebas realizadas Procedimiento:

- Tener una muestra de papel higiénico procesado con cada una de las 3 materias primas.
- Realizar pruebas de tensión de manera longitudinal (a lo largo).
Donde se utiliza el tensil o tensiómetro para medir la tensión aplicada determinándolo con la fórmula $NML = \text{Tensión total (N)} / \text{ancho de la banda de papel (m)}$.
- Se registran los datos.
- Se utiliza para cada muestra de papel de cada tipo de nopal.
- Los resultados se reporta el promedio de la fuerza necesaria para romperlo, estando el papel seco.

Resistencia en húmedo:

- Muestra de papel fabricado con nopal (*Opuntia ficus-indica*).
- Muestra de papel fabricado con nopal (*Opuntia leucotricha*).
- Muestra de papel fabricado con nopal (*Opuntia gosseliniana*).
- 3 recipientes.
- Probeta graduada.
- Gotero.

Procedimiento:

- Colocar cada muestra de papel en un recipiente.
- Con ayuda de la probeta y el gotero poner la misma cantidad de agua en cada hoja de papel higiénico.
- Medir la cantidad de agua que puede absorber el centro del cuerpo antes de que perfore la hoja.
- Realizar el registro de cada dato que se obtiene.

De acuerdo a las pruebas realizadas al momento, permiten determinar la resistencia que tiene el producto obtenido, las características y composición que requiera de mejora.

Se obtiene una película o capa, a continuación, se muestran unas figuras que muestran superficies superior e inferior.



Fig. 12. Lado inferior primera fase



Fig. 13. Ambos lados última fase

Se han aplicado las pruebas que se mencionaron, para poder determinar la resistencia que tiene el producto obtenido, y poder determinar si está en condiciones de pruebas de decoloración, blanqueamiento, y proceso de embobinado.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una de los primeros productos obtenidos, como se muestra en la fig. 14, aún se tenía una oxidación muy pronunciada con algunas partes con el término esperado, se puede atribuir la oxidación a un porcentaje mayor en la utilización de nopal, y el tiempo de cocción bajo para la deslignificación.



Fig. 14. Primeras fases

Las zonas que están enmarcadas en los círculos de color verde indican el producto que se fue obteniendo de mejor calidad, dando paso al cambio en la metodología, la cual es la que se ha presentado anteriormente, así también el método de secado es primordial.

Una vez que se aplicó el método descrito en el apartado anterior, se pudo determinar los porcentajes óptimos para obtener un acabado lo más acercado a lo deseado. Utilizando 40% de nopal y un 60% de molido. A esto se le añadió la solución de sosa cáustica (Na(OH)) en un 5%, 10% y 15% en cada diferente prueba, de las que se realizaron.

Se ha observado hasta esta fase que el producto sí es resistente y tiene un espesor de 2.3mm, similar a la pasta de libreta o cartón de ese calibre, al igual muy funcional, y compacto, que realizando un mejor prensado y uniforme se puede generar un producto más estable., por tal motivo, la investigación y las pruebas están permitiendo demostrar la obtención de subproductos, no sólo papel higiénico, si no también otros productos de uso cotidiano que se buscará de alguna manera la generación de papel, que es en esencia lo que se está buscando, o bien producto de limpieza, como del estilo de “Servi toalla”, para limpieza de superficies, que sin duda su uso es práctico.

En este momento se está trabajando en fase de análisis de laboratorio para determinar resistencia y flexibilidad, como se muestra a continuación:

Materiales:

1. Microscopio binocular
2. Cámara para microscopio
3. Lámina porta objeto
4. Goteros

Reactivos:

1. Agua destilada 70.
2. Ácido acético al 1%.
3. Alcohol etílico al 50%.
4. Colorante fucsina básica 0.01%.
5. Colorante Fast Green.

Procedimiento

1. En una lámina portaobjeto colocar una gota de agua destilada.

2. Se coloca un pedazo de hoja de caña de azúcar de aproximadamente 0.5 por 0.5 cm. y se introduce en un pedazo de zanahoria, esta sirve de soporte para poder hacer cortes muy finos de hoja.
3. Se le añade 1 gota de lejía a la lámina con la muestra y dejar 2 a 3 minutos para que actúe.
4. Retirar la lejía al 5% (lejía comercial) de la muestra y lavar con agua.
5. Se añaden 2 a 3 gotas de ácido acético 0.1%.
6. Secar la muestra y luego agregar 2 gotas de alcohol etílico al 50% para terminar de lavar la muestra.
7. Añadir 3 gotas de fucsina básica 0.01% por 2 minutos.
8. Después adicionar 2 gotas de colorante fast Green durante 2 minutos más.
9. Lavar la muestra con etanol al 50% y agua hasta eliminar el exceso de colorante.
10. Realizar el montaje en glicerina.
11. Medir en el microscopio binocular.

Es por ello que se continua con las pruebas, ahora con la intención de la obtención de papel de mayor calibre o cartón para la utilización en material escolar o subproductos higiénicos de limpieza, por la calidad que provee el material que se ha obtenido y es completamente natural y biodegradable.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Díaz Robledo, Jualian (2004). DESCUBRE LOS FRUTOS EXOTICOS. España: CAPITEL EDICIONES. p. 106. ISBN 9788484510161. Consultado el febrero de 2017.

Ramos, María (2018) «¿Quién inventó el rollo de papel higiénico?». Archivado desde el original el 14 de noviembre de 2018. Consultado el 13 de noviembre de 2018.

Fernández-López, J. A.; Almeda, L.; Obón, J. M. and Castellar, R. 2010. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Food Hum. Nutr.* 65:253-259

Aguilar, C. N.; Rodríguez, H. R.; Saucedo, P. S. y Jasso, C. D. 2008. Fitoquímicos Sobresalientes del Semidesierto Mexicano: de la planta a los químicos naturales y a la biotecnología. Ed. Path Design Saltillo, Coahuila, México. 579 p.

EDITA: RED IBEROAMERICANA DE ACADEMIAS DE INVESTIGACIÓN A.C
DUBLÍN 34, FRACCIONAMIENTO MONTE MAGNO
C.P. 91190. XALAPA, VERACRUZ, MÉXICO.
CEL 2282386072
www.redibai.org
redibai@hotmail.com

Sello editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación, A.C. (978-607-59655)

Primera Edición, Xalapa, Veracruz, México.

No. de ejemplares: 2

Presentación en medio electrónico digital

formato PDF 15 MB

Fecha de aparición 05/06/2023

ISBN 978-607-59655-4-3

Derechos Reservados © Prohibida la reproducción total o parcial de este libro en cualquier forma o medio sin permiso escrito de la editorial.