

Plataforma de gestión IoT mediante técnicas de industria 4.0 para agricultura de precisión

Alí Pérez Gómez, Adriana Carolina Sánchez Cahuich,
Janeth Jiménez Gómez

Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos,
México

aperezg@itesco.edu.mx

Resumen. El desarrollo tecnológico y su implementación para la resolución de problemas concretos de la vida cotidiana ha ido creciendo de manera más acelerada en los últimos años. A pesar de ello, es evidente que este avance no ha sido gradual para todos los sectores, como por ejemplo en el caso del sector económico primario en donde existen muchas áreas de oportunidad que no se han atendido. Por lo anterior, a partir de una problemática analizada, se plantea la creación de un Sistema de Gestión inteligente por la implementación de machine learning a través de una celda que con el uso de TI permiten la automatización en el análisis de una muestra del proceso de cultivo, en este caso del cultivo del maíz en el sector primario que se ve afectado por los cambios climáticos y que debido a la pandemia por el COVID-19 ha descendido sus posibilidades de ventas por la falta de acceso a otras ciudades afectando de forma económica y social no solo a los que producen sino a los involucrados en la cadena de suministro. Por ello, se propone proveer de una herramienta a este sector para la mejora del proceso con la ayuda de recursos tecnológicos para manipular y gestionar la información utilizando técnicas de Industria 4.0 mediante un sistema IoT (Internet de las Cosas).

Palabras clave: Industria 4.0, Machine Learning, IoT.

IoT Management Platform using Industry 4.0 techniques for precision Agriculture

Abstract. Technological development and its implementation for solving specific problems of daily life has been growing more rapidly in recent years. Despite this, it is evident that this progress has not been gradual for all sectors, as for example in the case of the primary economic sector, where there are many areas of opportunity that have not been addressed. Therefore, based on an analyzed problem, the creation of an intelligent Management System is proposed by the implementation of machine learning through a cell that with the use of IT allows automation in the analysis of a sample. tra of the cultivation process, in this case the cultivation of corn in the primary sector that is affected by climatic

changes and that due to the COVID-19 pandemic has decreased its sales possibilities due to the lack of access to other cities affecting economically and socially not only those who produce but those involved in the supply chain. Therefore, it is proposed to provide a tool to this sector to improve the process with the help of technological resources to manipulate and manage information using Industry 4.0 techniques through an IoT (Internet of Things) system.

Keywords: Industry 4.0, Machine Learning, IoT.

1. Introducción

La escasez de alimentos es una problemática que ha permanecido a nivel mundial por distintas causas entre las que se encuentran pobreza extrema, inestabilidad laboral alrededor del mundo, desperdicio de alimentos, entre otras, que en momentos críticos como los que se viven hoy en día con la pandemia por el COVID-19, se hacen todavía más presentes y tienen mayores repercusiones.

A medida que los países avanzan en la adopción de medidas destinadas a detener la expansión de la pandemia del COVID-19, debe tenerse cuidado de reducir al mínimo las posibles repercusiones en el suministro de alimentos o las consecuencias imprevistas en el comercio mundial y la seguridad alimentaria. [1].

En la situación particular de México uno de los sectores con mayor impacto en la economía nacional y con más afectaciones a su vez es el sector primario que se refiere a las actividades como la agricultura, ganadería y pesca.

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), los sectores agrícola y pecuario son los más dinámicos del país, representando cerca del 10% del PIB. Por lo que en el presente artículo se plantea una propuesta del diseño una celda inteligente para la mejora del proceso de producción del sector agrícola como parte de la integración de este sector del país a los nuevos rubros como el término agricultura de precisión relacionado con la tecnología IoT a implementar en la celda. Cabe destacar que dentro de estos nuevos rubros existen limitantes que se van a considerar ya que, en la agricultura de precisión, el IoT está bien establecido, pero solo se están implementando soluciones patentadas, lo que genera problemas de compatibilidad y conexión entre diferentes dispositivos. [2] Sin embargo, en contraste con el problema actual de la creciente demanda de alimentos, tanto en cantidad como en calidad, ha planteado la necesidad de intensificar e industrializar el sector agrícola, sobre todo en estos momentos por motivos de la pandemia, motivo por el cual el "Internet de las cosas" (IoT) que es una familia de tecnologías muy prometedora, es capaz de ofrecer muchas soluciones para la modernización de la agricultura [3].

Como parte de la delimitación la investigación se centra en el sector dedicado en específico al cultivo del maíz, que se ve afectado por los cambios climáticos lo que afecta el abastecimiento a través de la cadena de suministro en conjunto con el problema de la pandemia que imposibilita y/o ha disminuido las oportunidades de comercio del producto hacia lugares más alejados de quienes lo producen afectándolos de forma económica.

Uno de los productos clave de la dieta de la población mexicana es el maíz grano, sin embargo, se ha analizado que, así como en el estado de Sinaloa, gracias a la infraestructura de riego y su avanzada capacidad tecnológica se le considera líder productor de este grano a nivel nacional, existen estados menos favorecidos no sólo por las condiciones de infraestructura sino también por las condiciones ambientales como es el caso del estado de Oaxaca, la problemática maicera adquiere mayor relevancia, tanto por las condiciones sociodemográficas prevalecientes como por el predominio de las actividades económicas orientadas a la agricultura de subsistencia. [4] Esta situación adquiere mayor relevancia al verse afectada aún más por la cuestión sanitaria actual, generando en primer instancia mayor, desfavorecimiento económico para la región y al mismo tiempo la imposibilidad de abastecimiento a zonas cercanas llega a contribuir a la escasez.

En la actualidad el término industria 4.0 figura cada vez con mayor aceptación en las investigaciones dentro de diversas áreas del conocimiento también cuando hablamos de desarrollo sostenible, se considera imprescindible describir las generaciones anteriores, sus objetivos, retos y desafíos dentro de la industria inteligente ya que las tecnologías han ido avanzando e integrándose a los objetivos que logran ese esperado desarrollo sostenible en cada uno de los procesos de la industria.

Las ciudades enfrentan grandes desafíos debido a la presión económica, ambiental y de urbanización. Las ciudades inteligentes usan el poder de las redes integradas, sensores inalámbricos y sistemas inteligentes de administración para resolver los desafíos.

Se investigó anteriormente la Integración de Tecnología Educativa para sensores ambientales, hacia ciudades inteligentes en zonas urbanas [5]. Sin embargo, para el caso de las zonas rurales los objetivos y esfuerzos son diferentes, aunque es claro que el uso de elementos como IoT puede mejorar cualquier proceso existente para su análisis.

Por lo anterior, es que para el proyecto propuesto se tomó la opción de integrar nuevas tecnologías en procesos que por su manera tradicional oponen resistencia, mostrando a través de la investigación y las pruebas los beneficios que puede generar al hacer uso de ellas para favorecer a un sector que es vital para la economía del país. Todo ello con apoyo del uso de tecnología IoT mostrada en un Dashboard para el análisis del proceso que se lleva a cabo desde el cultivo hasta el momento que se cosecha para llevarlo al siguiente sector, lo que genera datos importantes a partir de las pruebas que se pueden usar para la implementación del machine learning.

2. Metodología

2.1. Sector productivo de maíz en el estado de Oaxaca

Para hacer un análisis más específico sobre las afectaciones de condiciones ambientales al cultivo del maíz, se ha tomado como referente el estado de Oaxaca en donde hay mayor desfavorecimiento por la zona, además, se pretende hacer la propuesta con la finalidad de apoyar a los productores a la comercialización ya que la producción es principalmente para autoconsumo representando un importante acervo de maíz en México. Como antecedente se investigaron los procesos de crecimiento y las



Fig. 1. Representación de la subdivisión del crecimiento de la planta de maíz. Fuente: Propia.

Tabla 1. Etapas de crecimiento de la planta de maíz y sus características [6].

Etapa	DAS*	Características
VE	5	El coleoptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja.
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja.
Vn		Es visible el cuello de la hoja número "n". ("n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo.)
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panícula.
R0	57	Antesis o floración masculina. El polen se comienza a arrojar.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Etapa de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
R3	80	Etapa lechosa. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
R4	90	Etapa masosa. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.
R5	102	Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una "línea de leche" cuando se observa el grano desde el costado.
R6	112	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35%.

* **DAS:** número aproximado de días después de la siembra en tierras bajas tropicales, donde las temperaturas máxima y mínima pueden ser de 33°C y 22°C, respectivamente. En los ambientes más frío, se amplían estos tiempos.

condiciones ideales del ambiente que deben ser las idóneas. Posteriormente se muestra el sistema creado y el análisis como resultado de las pruebas.

2.2. Etapas del proceso de crecimiento

Con apoyo de herramientas Lean se planea la mejora de la metodología del proceso que se lleva a cabo para el cultivo del maíz, sin embargo, antes de entrar en lo propuesto acerca de las metodologías y los recursos técnicos se consideró necesario tener



Fig. 2. Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia. El tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 54 % el 21 de junio [10].



Fig. 3. Celda de monitoreo de adquisición de datos en tiempo real para el monitoreo de cosechas de maíz. Fuente: Propia.

conocimiento del proceso evolutivo estandarizado de este producto, para tener un panorama más amplio y obtener como resultado del análisis la etapa en la que mejor se adaptarían los procedimientos para implementarlas.

Los investigadores asumen que el cultivo alcanza una etapa específica cuando al menos el 50% de las plantas presentan las características correspondientes.

La normalización de las definiciones permite que los investigadores se refieran a los problemas de las etapas de crecimiento específicas. [6] De manera general, los investigadores establecieron dos clasificaciones que son Vegetativa (V) y Reproductiva (R), pero a partir de estas, se hicieron subdivisiones más específicas que son: Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1), Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3...Vn), Floración y la Fecundación (etapas VT, R0, y R1), Llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6), se muestra su representación en la Figura 1.

Las etapas descritas en las clasificaciones se refieren a las de la Tabla 1 que deriva de la información de las clasificaciones hechas por los investigadores mencionados, en la cual se muestran más detalles de los segmentos de crecimiento como su evolución de acuerdo a los días que pasan después de la siembra.



Fig. 4. Esquema de herramientas implementadas en el desarrollo de la celda. Fuente: Propia.

2.3. Condiciones climáticas

El seguimiento de los factores ambientales no es la solución completa para incrementar el rendimiento de los cultivos. La forma en que los agricultores de forma tradicional llevan este seguimiento es a través de anotaciones o simplemente por costumbre, lo que en la actualidad les trae consecuencias debido a los cambios climáticos que han surgido en los últimos años. Hay otros factores que disminuyen la productividad en mayor medida. Por lo tanto, la automatización debe implementarse en la agricultura para superar estos problemas [7].

Temperatura. El maíz es un cultivo que se desarrolla mejor en suelos ligeramente ácidos, con alta materia orgánica y buen drenaje. En relación al clima, el maíz se desarrolla mejor en regiones con temperaturas entre 25 y 30 °C. Dependiendo de la variedad y del clima [8]. En cuanto a la zona istmo según la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, la temperatura media anual en Oaxaca fluctúa entre 26°C y 45°C; en el mes más frío, la temperatura varía entre 3°C (en algunas microregiones) y 18°C [9].

Humedad y época. El maíz requiere de 500 a 800 mm de agua. Los períodos críticos de humedad son la germinación, las primeras tres semanas de desarrollo y dos semanas antes y después de la floración que corresponden a la formación de espiga, mazorca y llenado de grano [8]. En la siguiente grafica (Figura 2) se puede observar los meses en los cuales la zona istmo de Oaxaca tiene mayores probabilidades de lluvia son a mediados de mayo y mediados de octubre.

2.4. Tecnología implementada en la celda

El desarrollo de la celda consta de la fusión de un sistema de adquisición de datos (sensores), tecnología IoT (Internet de las cosas) que se refiere a la interconexión de

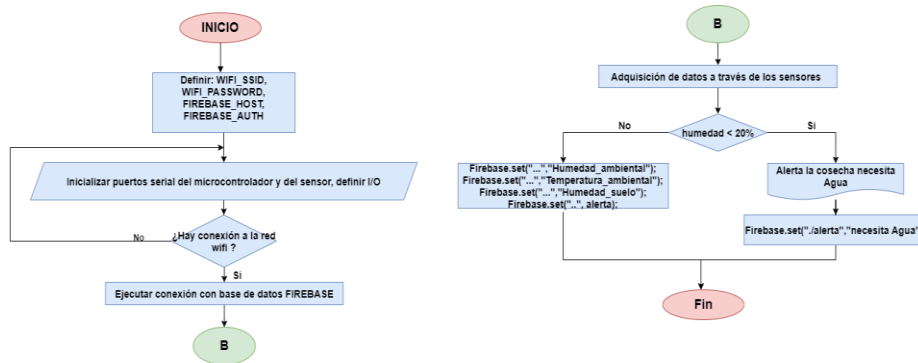


Fig. 5. Diagrama del funcionamiento de la lógica del sistema para la adquisición de datos. Fuente: Propia.

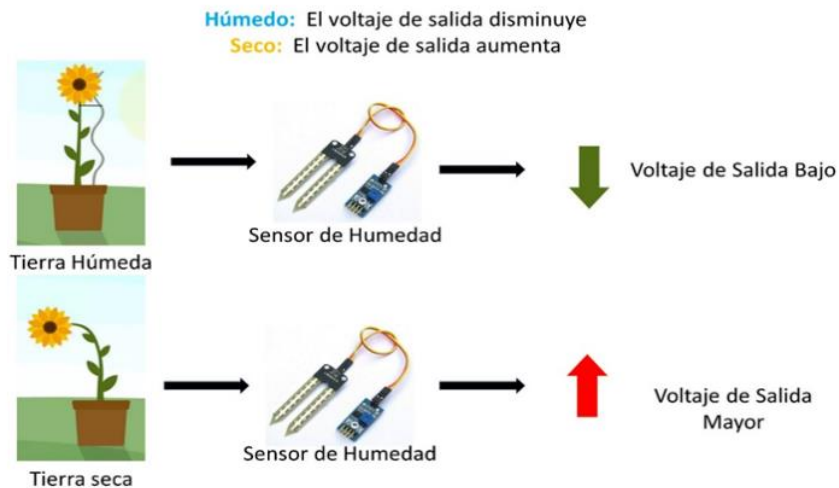


Fig. 6. Funcionamiento del sensor de humedad HL-69. Fuente: Propia.

dispositivos físicos, vehículos (también denominados dispositivos conectados y "dispositivos inteligentes"), edificios y otros elementos integrados con electrónica, software, sensores, actuadores, y conectividad de red que permite a los objetos recopilar e intercambiar datos [11].

Para este caso, se le da el uso al IoT como una herramienta para gestión de datos, pues por el rubro del sector agrícola para tomar decisiones rentables, los agricultores necesitan información durante todo el ciclo de cultivo.

La información requerida se encuentra dispersa en varios lugares que incluye información en tiempo real, como precios de mercado y estadísticas de nivel de producción actual, junto con el conocimiento disponible de cultivos primarios [12].

Y también, consta de un Dashboard que genera: el sistema integral de adquisición de datos para poder llegar al análisis. En la figura 4 se muestran todos los elementos empleados para el desarrollo del sistema integral de adquisición de datos.

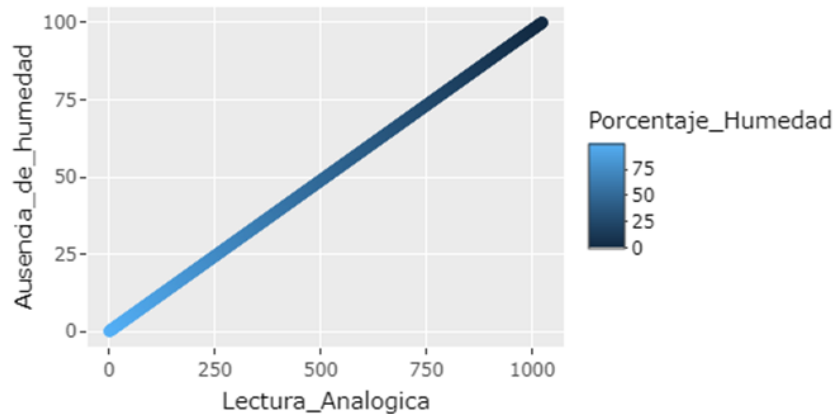


Fig. 7. Gráfica de la ausencia de humedad y el porcentaje de humedad con relación a la lectura analógica proporcionada por el sensor. Fuente: Propia.

Tabla 2. Relación lectura analógica con porcentajes de humedad obtenidas a través del sensor HL-69

Estado del suelo	AnalogRead	Porcentaje de Humedad
Húmedo	0	100%
	256	75%
	512	50%
Seco	768	25%
	1024	0%

2.5. Adquisición de datos

Al implementar tecnología IoT es necesario trabajar con un microcontrolador que cuente con wifi, en esta investigación se trabajó con la ESP8266 por su bajo costo, además de cumplir con las características necesarias para su implementación en la celda. Los sensores implementados son el DHT22 (temperatura y humedad ambiental) y HL-69 (humedad del suelo) los cuales son alimentados por el mismo microcontrolador con un voltaje de 3.3V. La ESP8266 fue programada en el IDE de Arduino, la programación funciona en base al siguiente diagrama (Figura 5).

El sistema de adquisición se desarrolla a través del microcontrolador este se encarga de activar I/O (input /Output) para obtener los datos de los sensores. El sensor DHT22 cuenta con una librería en el IDE de Arduino el cual permite obtener por medio de una función las lecturas de humedad y temperatura ambiental.

El sensor HL-69 requiere de una entrada del tipo analógica y un pequeño cálculo interno para mostrar el porcentaje de humedad. El sensor se rige bajo la siguiente lógica (Figura 6) esta toma en cuenta al suelo como “húmedo” cuando da un voltaje de salida menor y “seco” cuando arroja un voltaje mayor. Utilizando la función analogRead en



Fig. 8. Dashboard del sistema de adquisición de datos en tiempo real. Fuente: Propia.

el IDE de Arduino se obtienen valores que van de 0 ~ 1024 esto debido al conversor analógico digital (ADC) que posee el microcontrolador.

A través de una regla de tres se hizo un cálculo para obtener el porcentaje de ausencia de humedad que posee la tierra, se denomina ausencia de humedad debido a que al análisis de la Figura 6. Se generó una escala propia (Tabla 2) la lectura del sensor proporciona como tal los valores del suelo seco.

Se considera suelo seco a valores en donde la humedad tenga un porcentaje menor al 50% o sea lecturas analógicas mayores a 512 como indica la Tabla 2.

$$\frac{1024}{X} = \frac{100}{Y} \text{ regla de tres aplicada al análisis ,} \tag{1}$$

$$Y=100/1024 X.$$

Siendo “Y” el porcentaje de ausencia de humedad y “X” el valor obtenido por la entrada analógica del microcontrolador.

Para poder obtener el porcentaje de humedad, tendremos que restarle al 100 por ciento el valor de “Y” (ausencia de humedad). Dichos cálculos generan la gráfica siguiente (Figura 7).

Pasando (1) a código en el IDE de Arduino queda de la siguiente forma:

```
float humedad_tierra_analogico = analogRead(A0);
float humedad_analogica= ((0.09765625)*humedad_tierra_analogico);
if(humedad_tierra_analogico>=1023)
{
    porcentaje_humedad = 0;
}else{
    porcentaje_humedad = 100 - humedad_analogica;
}

```

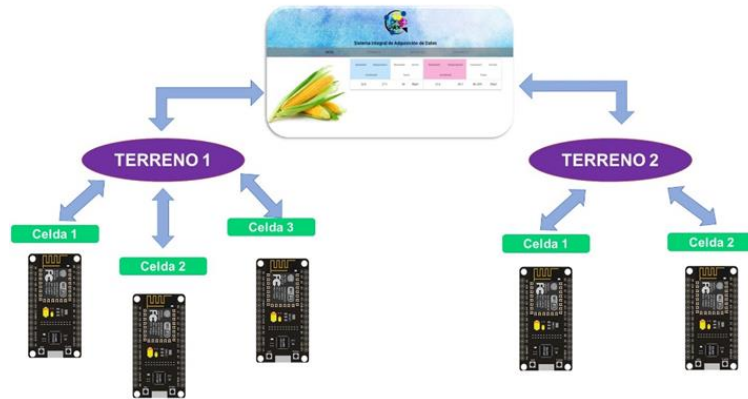


Fig. 9. Diagrama del funcionamiento de los microcontroladores con el Dashboard. Fuente: Propia.

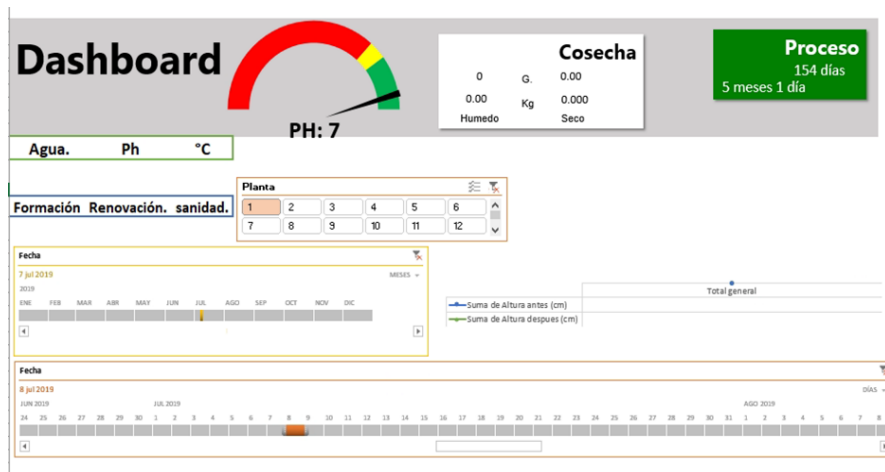


Fig. 10. Dashboard para la generación de una muestra de datos para una prueba t para medias de dos muestras emparejadas. Fuente: Propia.

Se optó por poner una condicional cuando la lectura analógica del sensor arroje datos mayores o iguales a 1023 ya que como indica la gráfica de la Figura 7 este tiende a tener un 100% de ausencia de humedad lo cual deja con 0% de humedad de la tierra, y así evitar errores en el análisis.

Para poder enviar los datos hacia el Dashboard se requiere de una base de datos del tipo no relacional, en esta investigación se trabajó con Firebase.

Firebase es una plataforma para el desarrollo de diversas aplicaciones web, cuenta una base de datos en tiempo real. Se requirió la librería de Firebase para poder enviar los datos obtenidos a través de los sensores hacia la base de datos. Para ello se utiliza la función `Firestore.set`.

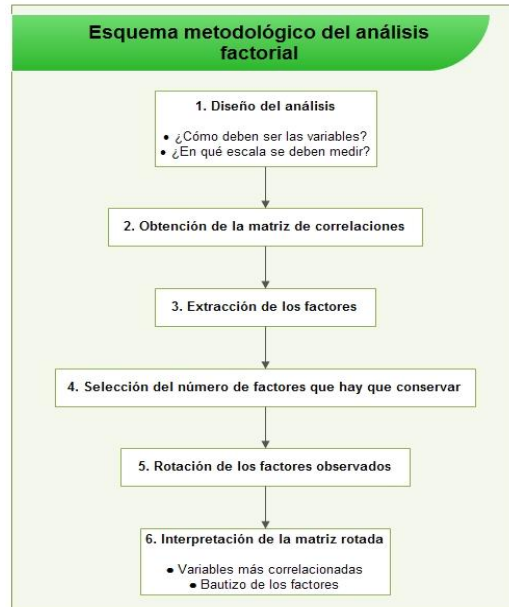


Fig. 11. Esquema metodológico del análisis factorial para la prueba t para medias de dos muestras emparejadas. Fuente: Propia.

Table 3. Prueba t para medias de dos muestras emparejadas.

	Altura antes (cm)	Altura después (cm)
Media	13.85	12.2625
Varianza	1.839130435	0.072880435
Observaciones	24	24
Coefficiente de correlación de Pearson	-0.988654763	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	4.790191986	
P(T<=t) una cola	3.92721E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1.713871528	
P(T<=t) dos colas	7.85443E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	2.06865761	

2.6. Dashboard

El desarrollo del Dashboard se llevó a cabo con un Frameworks que facilita el diseño del Dashboard en la parte del frontend modificando la parte estética y visual. El Frameworks implementado fue Material Desing Lite, al ejecutarse la función

Firestore.set en el código del microcontrolador a través de la red wifi envía los datos obtenidos de los sensores hacia el hosting utilizado en el Dashboard para poder reflejar los datos en tiempo real. Figura 8.

El Dashboard del sistema de adquisición tiene la capacidad de monitorear diversos terrenos a la vez cada uno con un máximo de tres celdas de investigación como se muestra en la Figura 9.

3. Resultados

La investigación sobre elementos y las condiciones ideales para el cultivo de la planta del maíz, así como el análisis para la creación del sistema de gestión a través de la Celda que lleva a cabo la recepción de datos por medio de los sensores conectados por IoT, permitió obtener como resultado la adquisición de datos en tiempo real sobre las condiciones ambientales con las que interactúa el cultivo muestra en la celda y gracias a esta recolección de datos es como se pudo generar el Dashboard en la Figura 8 que brindó información para el tratamiento de datos posterior en otro Dashboard para la interpretación de la información recolectada en tiempo real.

Para poder generar el tratamiento de los datos anteriores gestionados en el Dashboard, se siguió el esquema metodológico del análisis factorial Figura 11.

Siguiendo con el esquema metodológico se sacó una correlación entre las variables de distancia de las semillas, tomando como muestra un total de 30 semillas.

Los cálculos de las muestras dieron como resultado la media, la varianza y los grados de libertad mostrados en la Tabla 3. Que nos indica la variabilidad de las estimaciones y una distribución específica.

Esto da pauta a un mayor aprovechamiento para el sector primario, ya que la finalidad es optimizar el tiempo que requiere el conocimiento del estado de los cultivos que realizan por lo tanto la implementación del sistema les permitiría visualizar en tiempo real a través de las muestras colocadas en la celda, cómo se encuentra lo cultivado y qué factores podrían llegar a afectarlo de acuerdo a los parámetros establecidos y la semaforización que se puede implementar a través del uso de los datos para machine learning y el tratamiento de los datos por medio de muestras para permitir una toma de decisiones anticipada que prevenga las pérdidas de los cultivos.

4. Conclusiones

De acuerdo con el sistema realizado en primera instancia la modificación del proceso convencional para este sector significa un gran avance social ya que el hecho de permitir el análisis remoto a través de las muestras y cuantificación de variables en los cultivos para conocer en qué instancia para generar un Dataset y las condiciones que provocan afectaciones y pérdidas que significan un gran apoyo para el sector y una mejora en sus cosechas para posibles incorporaciones de algoritmos de entrenamiento de Machine Learning en la toma de decisiones del cambio climático.

Referencias

1. Dongyu, Q., et al.: Mitigar los efectos del Covid-19 en el comercio y los mercados de alimentos, Organización Mundial de la Salud (2020)
2. Ojha, T., Misra, S., Raghuwanshi, N.: Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges, *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, pp. 66–84 (2015)
3. Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Kittas, C.: Internet de las cosas en la agricultura, avances recientes y desafíos futuros. *Ingeniería de biosistemas*, 164, pp. 31–48 (2017)
4. Martínez, E.B.: El maíz en Oaxaca: la cosecha de contradicciones. *Estudios Agrarios*, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca (2006)
5. Maxwell, J.C.: *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 2, Oxford: Clarendon, pp. 68–73 (1892)
6. CIBIOGEM: Maíz, Conacyt.gob.mx (2019)
7. Suma, N., Samson, S.R., Saranya, S., Shanmugapriya, G., Subhashri, R.: Sistema de monitoreo de agricultura inteligente basado en IOT. *Revista internacional sobre tendencias recientes e innovadoras en informática y comunicación*, 5(2), pp. 177–181 (2017)
8. Jurado-Guerra, P., Lara-Macías, C.R., Saucedo-Terán, R.A.: Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua (2014)
9. Balamurugan, C., Satheesh, R.: Desarrollo de dispositivos de monitoreo y control basados en Raspberry pi y IoT para la agricultura. *Revista de Ciencias Sociales, Tecnológicas y Ambientales*, 6(2), pp. 207–15 (2017)
10. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática: El maíz en el estado de Oaxaca (1997)
11. WeatherSpark: El clima promedio en Santo Domingo Tehuantepec México. WeatherSpark (2020)
12. Mohanraj, I., Ashokumar, K., Naren, J.: Field monitoring and automation using IOT in agriculture domain. *Procedia Computer Science*, 93, pp. 931–939 (2016)