



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Zitácuaro

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ZITÁCUARO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

MAESTRÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

“IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

PRESENTA:

ANDRÉS MENDOZA MORENO

DIRECTOR DE TESIS

DR. NOEL ENRIQUE RODRÍGUEZ MAYA

HEROICA ZITÁCUARO, MICHOACAN. JUNIO DE 2023



H. Zitácuaro, Mich., **23/Junio/2023**

CARTA DE AUTORIZACIÓN

MTRO. SAMUEL EFRÉN VIÑAS ALVAREZ
COORDINADOR DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE

De acuerdo con los numerales 2.15.4 y 2.15.5 de los lineamientos para la operación de los estudios de posgrado en el Tecnológico Nacional de México (2019) en donde se establecen los requisitos para la obtención del grado de Maestría; el H. Comité Tutorial DEL C. ANDRÉS MENDOZA MORENO, estudiante del programa de Maestría en Sistemas Computacionales, con número de control: M19650001, después de haber realizado la revisión del contenido y formato de tesis "IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE" emite su consentimiento para continuar con el proceso de obtención de grado académico correspondiente.

Por ese motivo se solicita a usted Autorizar al C. ANDRÉS MENDOZA MORENO la impresión y reproducción de la tesis *in comento*.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Hagamos Tecnología Creativa, para ser útil a México" ®

H. Comité Tutorial

Director de tesis

Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya

Dr. Eduardo López Sandoval
Revisor



SECRETARIA DE
EDUCACION PUBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE ZITACUARO
DEPTO. DE DIVISION
DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION

Mtra. Carlise Callegos López
Revisor





H. Zitácuaro, Mich., **23/Junio/2023**

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

C. ANDRÉS MENDOZA MORENO
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
NO. DE CONTROL: M19650001
PRESENTE

Conforme a los numerales 2.15.4 y 2.15.15 de los lineamientos para la operación de los estudios de posgrado en el Tecnológico Nacional de México (2019) y por recomendación del H. Comité Tutorial, esta División le autoriza imprimir y reproducir la tesis: "IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE".

Ruego a Usted dar puntual seguimiento al formato en vigor que, para tal caso, indica las características de diseño que deberá contener tan importante documento.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica.
"Hagamos Tecnología Creativa, para ser útil a México" ®

MTR. SAMUEL EFREN VIÑAS ALVAREZ
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



SECRETARIA DE
EDUCACION PUBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE ZITACUARO
DEPTO. DE DIVISION
DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION





CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En H. Zitácuaro, Michoacán, a 23 de junio de 2023, el que suscribe, Andrés Mendoza Moreno, estudiante del programa de Maestría en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, con número de control: M19650001, manifiesto que soy autor intelectual de la presente tesis, la cual fue dirigida por el Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya y cedo íntegramente los derechos de trabajo de tesis titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE" al Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Zitácuaro para su uso con fines académicos y de investigación.

Los usuarios pueden consultar y reproducir el contenido para todos los usos que tengan finalidad académica siempre y cuando sea citada la fuente información.

ATENTAMENTE

Andrés Mendoza Moreno





DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

En H. Zitácuaro, Michoacán, a 23 de junio de 2023, el que suscribe, Andrés Mendoza Moreno, estudiante del programa de Maestría En Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Zitácuaro, con número de control: M19650001, manifiesto que soy autor intelectual de la presente tesis, la cual fue dirigida por Dr. Noel Enrique Rodríguez Maya con nombre: **“IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS IOT EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE”**.

Declaro que la tesis es una obra original, que es de mi autoría y que toda la información y materiales extraídos de otras fuentes han sido debidamente referenciados. Que a la obra no ha sido previamente publicada y que, en caso de violación de derechos de autor, me hago responsable y exonero de toda responsabilidad al Instituto Tecnológico de Zitácuaro.

ATENTAMENTE

Andrés Mendoza Moreno



Resumen

Hoy en día es difícil imaginar algo que no se haya inventado. Pese a ello, hay muchas cosas que no se han inventado o bien, no han alcanzado su mejor estado.

Se ha llegado lejos como especie, pero aún no hemos salido de casa. Hablando con precisión, al año en que se publica el presente documento (2022), la humanidad no es capaz de vivir en otros planetas por una amplia cantidad de obstáculos de distintas y muy variadas categorías. Son tantos los problemas que enfrenta la era espacial, sobre todo porque muchos corresponden a problemas locales que apenas empiezan a resolverse. La agricultura, por ejemplo, la base de toda civilización.

Palabras como terraformación o agricultura de precisión no son ajenas en la creciente Industria 4.0, son de hecho temas que cada día empiezan a coexistir en mayor medida con términos informáticos.

La industria 4.0 es la era de los inventores. Hoy más que nunca es posible adquirir materiales con bajo presupuesto y realizar dispositivos inteligentes para facilitar la vida al ser humano mediante la intercomunicación vía internet. A partir de ahí surge la pregunta de investigación: ¿Qué implica desarrollar dispositivos IoT (Internet of Things) en una actividad predominante en el estado de Michoacán?

Las respuestas a esta pregunta resultan curiosas, interesantes e intrigantes. Lo que parecía ser una pregunta que se respondería de forma directa resultó liberar un abanico de posibilidades aplicables desde entornos locales hasta la importancia que pudiesen llegar a tener en un asentamiento humano hipotético y autónomo fuera de la Tierra.

Con el objetivo de realizar un análisis profundo de la cantidad de dispositivos que existen o pudiesen proponerse, el presente trabajo expone el desarrollo de un dispositivo capaz de medir las condiciones geológicas en un entorno controlado, específicamente en la región de Zitácuaro en el estado de Michoacán, México, para así demostrar que la tecnología IoT puede ser viable en sitios con aparente nula relación a los medios informáticos.

Agradecimientos

Estimados lectores:

Me dirijo a ustedes para expresar mi más sincero agradecimiento por su tiempo y dedicación al leer mi tesis. Es un gran honor para mí presentar este trabajo, que ha sido el resultado de varios años de arduo trabajo y dedicación.

Agradezco su paciencia y disposición para revisar y evaluar mi trabajo de investigación. Sus comentarios y sugerencias han sido invaluable para el mejoramiento de este.

Quiero expresar mi gratitud a mis profesores y asesores, quienes me brindaron su valioso apoyo y orientación en la realización de este trabajo. De igual manera, a mis amigos y colegas del área de tecnologías de la información. Sus conocimientos y experiencias fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.

Especial agradecimiento a mis padres. A mi mamá, Mercedes Moreno, quien siempre ha creído que la tecnología es una ventana hacia un mundo ambientalmente más justo. A mi papá, Arturo Mendoza, quien nunca dejó de apoyar mi decisión de participar en este programa de posgrado, este viaje no hubiera sido posible sin él. No hay agradecimiento lo suficientemente grande por brindarme la oportunidad de estudiar. Me siento honrado de ser su hijo.

A mi hermano Sebastián por mostrarme varios ángulos políticos y sociales que me llevaron a considerar un mundo de implicaciones y responsabilidades con la tecnología que jamás había considerado. Gracias, hermano.

Por último, quiero destacar la importancia de su evaluación crítica y reflexiva, la cual es fundamental para el avance y el desarrollo de la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad.

De nuevo, muchas gracias por su tiempo y atención en la revisión de mi tesis.

– Andrés Mendoza Moreno

Índice	
Resumen	6
Agradecimientos.....	7
Índice de ilustraciones	12
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	14
I.1. Introducción	15
I.2. Antecedentes.....	16
I.3. Planteamiento.....	20
I.4. Justificación	21
I.5. Objetivo general	25
I.5.1. Objetivos específicos	25
I.5.2. Trabajo futuro.....	26
I.6. Hipótesis.....	27
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	28
II.1. Preámbulo	29
II.2. El aguacate como fruto local.....	29
II.2.1 Tipos de aguacate	30
II.2.2 Ciclo de vida	31
II.2.3 Preparación del suelo	32
II.2.4 Eliminación de malas hierbas	32
II.2.5 Poda	33
II.2.6 Propagación	33
II.3. Factores generales de cultivo del aguacate	34
II.3.1 Siembra	34
II.3.2 Poda de árbol de aguacate	35

II.3.3 Fertilización	35
III.3.4 Aplicación de riego	36
II.4 Agroquímicos.....	37
II.4.1 Causas y efectos	38
II.4.2 Enfermedades al ser humano	38
II.5 Agricultura de precisión	39
II.6 Software	40
II.6.1 Tecnologías web	40
II.6.2 Servicios web	45
II.6.2 Algoritmos de regresión	48
II.7 Hardware	57
II.7.1 Raspberry PI	57
II.7.2 Arduino UNO	58
II.7.3 Familia de tarjetas ESP8266	61
CAPÍTULO III. ESTADO DE LA TÉCNICA.....	62
III.1 Introducción	63
III.2 Agroware	64
III.3 SMART! Fertilizer Management.....	64
III.5 Agrivi NDVI	67
III.6 Riego inteligente	69
III.7 LIA.....	72
III.8 Estimación de costos utilizando técnicas de aprendizaje máquina	73
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	74
IV.1.1 Fase I. Comprensión del negocio	76
IV.1.2 Fase II. Estudio y comprensión de los datos	76

IV.1.3 Análisis de los datos y selección de características	76
IV.1.4 Fase IV. Modelado.....	77
IV.1.5 Fase V. Evaluación	77
IV.1.6 Fase VI. Despliegue (puesta en producción)	77
IV.2 Proyecto demostrativo utilizando tecnologías IoT.....	78
IV.3 Sensores.....	79
IV.4 Construcción de prototipo.....	81
IV.5 Diseños y maquetado.....	82
IV.6 Variables obtenidas.....	83
CAPÍTULO V. RESULTADOS	85
V.1 Introducción	86
V.2. Software.....	86
V.2.1 Estrategia de obtención y registro de datos inalámbricos	86
V.2.2 Topología y metodología de comunicaciones	87
V.2.3 Modelo de datos relacional	89
V.2.4 Modelo de aprendizaje.....	91
V.3 Hardware	94
V.3.1 Comparativa entre trabajo humano y medición digital.....	94
V.3.2 Artefacto propuesto	95
V.3.3 Diagramas de conexiones	97
V.3.4 Implementación de Hardware	99
V.4 Propuesta de modelo de formulación eficiente de fertilizantes de aguacate	102
V.4.1 Interpretación y posibles usos futuros de la API	107
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	110

VI.1 Generales	111
VI.2 Implicaciones en la implementación de un dispositivo IoT con enfoque agrícola	115
Bibliografía y referencias	118
ANEXOS.....	123

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN I. 1 GRÁFICO DE INCREMENTO DEMOGRÁFICO EN MÉXICO DURANTE LAS ÚLTIMAS DÉCADAS (FUENTE: HTTP://CUENTAME.INEGI.ORG.MX/)	17
ILUSTRACIÓN I. 2 DIAGRAMA DEL CICLO DE REPRODUCCIÓN Y CRECIMIENTO DEL AGUACATE NATIVO.	31
ILUSTRACIÓN I. 3 RECOMENDACIONES DE APLICACIÓN DE FERTILIZANTES. FUENTE: "EL CULTIVO DEL AGUACATE: MÓDULO EDUCATIVO PARA EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE LA COMUNIDAD RURAL."	36
ILUSTRACIÓN II. 1 FÓRMULA DESCRIPTIVA DE RELACIÓN ENTRE PROBABILIDAD DE EVENTOS.	51
ILUSTRACIÓN II. 2 APARIENCIA REAL DE LA RASPBERRY PI MODELO 3 B+. PLACA QUE FUE PROPUESTA PARA EN EL DISEÑO TEMPRANO DEL PROYECTO.	58
ILUSTRACIÓN II. 3 APARIENCIA FÍSICA DE LA PLACA PROGRAMABLE ARDUINO UNO.	59
ILUSTRACIÓN II. 4 PINOUT ARDUINO NANO (OBTENIDA DE HTTPS://ARDUINO.CL/ARDUINO-NANO)	60
ILUSTRACIÓN III. 1 MÓDULOS OFERTADOS EN EL SITIO OFICIAL HTTP://SISTEMAAGRICOLA.COM.MX/EL PRESENTE PROYECTOOFWARE/ (CONSULTADO EL 11 DE DICIEMBRE DE 2019)	64
ILUSTRACIÓN III. 2 TARIFA ANUAL PARA CEREALES, LEGUMBRES Y PASTOS.....	65
ILUSTRACIÓN III. 3 TARIFA ANUAL PARA HORTALIZAS, FRUTAS, FLORES Y HIERBAS	65
ILUSTRACIÓN III. 4 TARIFA ANUAL PARA ÁRBOLES Y ESPECIAS.....	66
ILUSTRACIÓN III. 5 SITIO WEB DE TRIMBLE MOSTRANDO MUCHAS DE SUS CARACTERÍSTICAS DISPONIBLES.....	67
ILUSTRACIÓN III. 6 VISTA DEL SOFTWARE EN EJECUCIÓN.....	68
ILUSTRACIÓN III. 7 PRESENTACIÓN GENERAL DEL PROYECTO LIA.....	72
ILUSTRACIÓN IV. 1 UNA API BIEN IMPLEMENTADA PUEDE LLEVAR AL DESARROLLO DE INTERFACES AMIGABLES Y ENTENDIBLES PARA TODOS LOS USUARIOS COMO SE EJEMPLIFICA. GARANTIZANDO LA COMPATIBILIDAD DEL PROTOCOLO HTTP, EL CUAL RESULTA UNIVERSAL PARA LA MAYORÍA DE LAS TECNOLOGÍAS VIGENTES HOY EN DÍA Y TENTATIVAMENTE, VIGENTES EN EL FUTURO A MEDIANO PLAZO.	78
ILUSTRACIÓN IV. 2 PRIMER DISEÑO GENERAL DE PROTOTIPO DE CÁPSULA DE MONITOREO.....	82
ILUSTRACIÓN IV. 3 ESTE TIPO DE MANGUERA SE PREPARABA PARA PROTEGER EL CABLEADO ENTRE LOS SENSORES Y SU PLACA CONCENTRADORA. MATERIAL NECESARIO PARA PROTEGER CABLEADO PERO OMITIDO EN FAVOR DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS (WIFI Y DATOS MÓVILES).....	83

ILUSTRACIÓN IV. 4 APARIENCIA FÍSICA DEL CABLE DE PAR TRENZADO CON RECUBRIMIENTO QUE EVITA INTERFERENCIAS NO DESEADAS.	83
ILUSTRACIÓN V. 1 POWER BANK DE 6000 MAH CON PUERTOS USB Y SALIDAS DE 5V. IDEAL PARA EXPERIMENTOS CON ENERGÍA AUTÓNOMA.....	88
ILUSTRACIÓN V. 2 DISEÑO DEMOSTRATIVO DEL DISPOSITIVO APROVECHANDO LA ENERGÍA SOLAR PARA SONDEAR UN ÁRBOL DE AGUACATE Y COMUNICÁNDOSE EN TIEMPO REAL.....	89
ILUSTRACIÓN V. 3 DIAGRAMA ENTIDAD-RELACIÓN QUE DESCRIBE LA CONSTRUCCIÓN DE UN DATASET CONSULTABLE.	89
ILUSTRACIÓN V. 4 LOS DATOS OBTENIDOS POR EL DATASET PUEDEN SER POTENCIADOS E INTERPRETADOS GRACIAS AL USO DE UNA HOJA DE CÁLCULO COMO LO ES MICROSOFT EXCEL.....	90
ILUSTRACIÓN V. 5 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA CÁPSULA EN UNA HIPOTÉTICA VERSIÓN FUTURISTA QUE PERMITE MANTENER LIMPIO EL SENSOR DE PH.	96
ILUSTRACIÓN V. 6 COMPARATIVA EN TAMAÑO ENTRE ARDUINO UNO(IZQUIERDA) Y ARDUINO NANO(DERECHA).....	97
ILUSTRACIÓN V. 7 DIAGRAMA ORIGINAL DE CONEXIONES.....	98
ILUSTRACIÓN V. 8 VISTA SUPERIOR DEL PROYECTO CON LOS SENSORES INCORPORADOS, SIN WIFI.....	100
ILUSTRACIÓN V. 9 PROYECTO CON MÓDULO ESP8266 PARA INCORPORAR UNA RED WIFI 2.4GHZ.	101
ILUSTRACIÓN V. 10 DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN CLIENTE-SERVIDOR ENTRE LAS CÁPSULAS IOT, EL SERVIDOR Y UN CLIENTE HTTP GENÉRICO.	105
TABLA 1 SENSORES Y ESPECIFICACIONES	79
TABLA 2 DESCRIPCIÓN DEL PAQUETE DE DATOS MÓVILES UTILIZADO POR EL SENSOR.....	87
TABLA 3 EVALUACIÓN FINAL ENTRE VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE REGRESIÓN LINEAL Y REGRESIÓN LOGÍSTICA PARA JUSTIFICAR LA DECISIÓN DEL USO DE ESTA ÚLTIMA.....	91
TABLA 4 TABLA COMPARATIVA ENTRE UN ESTUDIO PARA OBTENCIÓN DE HUMEDAD POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO Y EL USO COMBINADO DE UN SENSOR DHT11 COMUNICÁNDOSE DE MANERA INALÁMBRICA POR GSM.....	94
TABLA 5 COMPARATIVA DE IMPLICACIÓN EN COSTOS DE PRODUCCIÓN DE UN PROTOTIPO.	98

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

I.1. Introducción

En las últimas décadas, la tecnología de Internet de las cosas (IoT) se ha convertido en una de las áreas de investigación más innovadoras y prometedoras en el campo de la tecnología. La capacidad de conectar objetos cotidianos a través de Internet ha generado un enorme interés en su aplicación a diferentes áreas, entre ellas, la agricultura.

La agricultura es una de las principales industrias del mundo y es crucial para la alimentación y la economía global. Sin embargo, la producción agrícola enfrenta varios desafíos, incluyendo el cambio climático, la escasez de agua, la disminución de la tierra cultivable y la creciente demanda de alimentos. En este contexto, la tecnología IoT puede jugar un papel importante en la mejora de la producción agrícola.

El objetivo de esta tesis es analizar las implicaciones de aplicar tecnología IoT en la agricultura y su potencial para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola, al mismo tiempo que se reduce el impacto ambiental. En particular, se explorarán las diferentes formas en que la tecnología IoT puede ser utilizada para el monitoreo de cultivos, el control de plagas, la optimización de la producción y la reducción de costos concretamente en el estado de Michoacán y con un enfoque hacia uno de los frutos con mayor importancia gastronómica a nivel internacional: el aguacate.

En resumen, esta tesis busca demostrar cómo la tecnología IoT puede ser una herramienta valiosa para la agricultura moderna, permitiendo a los agricultores producir más alimentos de manera más eficiente, sostenible y rentable.

I.2. Antecedentes

El estado de Michoacán es uno de los treinta y un estados, que, junto con la Ciudad de México, forman la república mexicana. Está ubicado en la región centro occidente del país, destacando principalmente por actividades como la agricultura y el turismo. La economía michoacana está conformada principalmente por los sectores comercial, siderúrgico, agrícola y pesquero. Los sectores agropecuario y pesquero contribuyen en un 11% al PIB estatal, y ocupan al 37% de la Población Económicamente Activa (Explorando México, s.f.).

La principal actividad agrícola del municipio de Uruapan sin duda es el cultivo del aguacate, que ha sido llamado el oro verde de Michoacán. El gran auge de la producción de aguacate en el estado se dio a partir del año 1997, este fue el año donde se suspendió la prohibición de exportar aguacate mexicano a Estados Unidos decreto impuesto desde el año de 1913. A partir de 1997 el municipio ha exportado aguacate a los Estados Unidos siendo este el mayor consumidor de la producción Uruapense, alcanzando las 200 mil toneladas de un total de 300 mil toneladas exportadas al extranjero convirtiendo a Michoacán en el primer productor agrícola del país desde 2011 (Explorando México, s.f.).

Basándose en entrevistas a los productores locales de la región oriente de Michoacán, específicamente a los municipios de Zitácuaro y Benito Juárez, se determinó que el uso de tecnología se basa principalmente en herramientas tradicionales de cultivo, dejando muy de lado técnicas como la agricultura de precisión. Esto principalmente a razones socio-económicas, durante todo el tiempo que se ha producido aguacate en Benito Juárez se han mantenido las mismas técnicas casi como una tradición, debido al índice de eficiencia de estas últimas. En el caso de Zitácuaro, la situación es similar, el suelo resulta favorable y se aprovecha al máximo mediante técnicas agrícolas tradicionales que permiten abastecer una producción local lo suficiente grande para exportación.

La importancia gastronómica del aguacate ha no es para nada superficial, de hecho, es considerado una fruta con importancia gastronómica internacional debido a la complejidad de las condiciones ambientales necesarias para que este pueda crecer y desarrollarse (José Arturo, 1988).

Podría pensarse que las tecnologías básicas implementadas pueden ser suficientes para abastecer la gran demanda del aguacate hass alrededor de toda la república mexicana e incluso a nivel global (exportación). Pero este contexto depende de muchos otros factores, ejemplo de ello es la inseguridad, el incremento poblacional y sujeto a ello el incremento en la demanda (Soria Sánchez, 2014).

La población mexicana tiende a crecer un 1.4% anualmente (Soria Sánchez, 2014), de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por lo tanto, la producción de aguacate del día de hoy puede que resulte ser insuficiente para el día de mañana. Y es por la importancia gastronómica que tiene este fruto, denominado “oro verde” que el presente trabajo se da a la tarea de proveer a los productores una herramienta capaz de garantizar un mínimo de pérdidas para así impulsar al comercio local y satisfacer a la demanda global de aguacate.

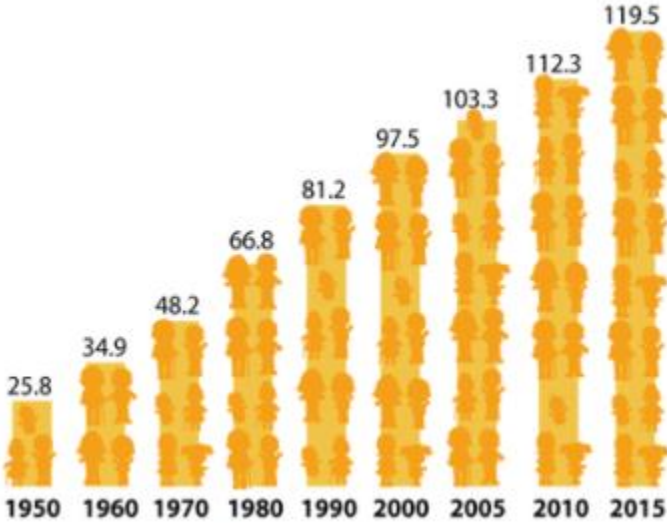


Ilustración I. 1 Gráfico de incremento demográfico en México durante las últimas décadas (Fuente: <http://cuentame.inegi.org.mx/>)

Basándonos en la ley de oferta y demanda podemos concluir que en la última década el precio del aguacate ha incrementado de forma considerable (Arias, 2018) y es, por lo tanto, un tiempo prudente para evaluar y considerar la integración de medidas para satisfacer la

creciente demanda, una de ellas es impulsar técnicas innovadoras que hagan uso de los medios digitales más recientes como son los teléfonos inteligentes, microcomputadores o el cómputo basado en la nube.

Al año en que la presente tesis está siendo escrita (2022), se pueden adquirir algunos objetos peculiares en tiendas convencionales de electrónica para realizar automatización en casa, apareciendo el término “hogar inteligente” como un referente común entre la media poblacional. Al conjunto de tecnologías que coexisten entre sí para garantizar la comunicación entre objetos y usuarios se le denomina Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). La adquisición de sensores programables también se ha vuelto una actividad relativamente accesible para los desarrolladores y fabricantes.

Las aplicaciones informáticas no son una novedad dentro del área de la agroindustria. En el mercado existe software y aplicaciones web que permiten a los productores gestionar de una manera óptima e inteligente los recursos implicados dentro del proceso productivo. La mayoría del software desarrollado al día de hoy tienden a ser aplicaciones costosas e inaccesibles para las empresas distribuidoras de agroquímicos y para los agricultores promedio de la región oriente de Michoacán. Como es sabido, la viabilidad del desarrollo de un software está en función de los usuarios dispuestos a utilizarlo. En ese sentido es donde surge un gran reto al que deben enfrentarse los proyectos de esta naturaleza: la evidente resistencia al cambio tecnológico y uso de tecnologías emergentes, principalmente en el sector agrícola, y de manera particular por los distribuidores y productores en la región oriente del estado de Michoacán, México.

En la actualidad existen algunas aplicaciones interesantes que permiten a sus usuarios llevar una administración general del cultivo de algunos frutos, incluyendo la dosificación de agroquímicos y otras cualidades interesantes tales como el contacto directo a proveedores, ventas y distribución. Una gran cantidad de estas aplicaciones requieren de una suscripción para poder utilizar algunos de sus módulos (SMART Fertilizer, 2022). Cabe resaltar que las aplicaciones consultadas son de índole principalmente administrativa y logística, es decir, se enfocan en el crecimiento empresarial de los productores y una amplia cantidad es de

hecho utilizada por los productores formales. Con la disponibilidad de las tecnologías de electrónica digital e Internet de las Cosas (sensores y placas electrónicas), además de la amplia aplicación de la Inteligencia Artificial (aprendizaje máquina), es posible plantear una solución avanzada y con un bajo costo relativo que impacte de manera directa en la producción del aguacate.

En tiempos modernos, siendo objetivos en el año de 2021 existen ya propuestas de software para optimizar la producción considerando cada rama involucrada en el proceso, desde la mano de obra, riego o poda hasta las cuestiones administrativas y de inventario que se requieren por hectárea de distintos frutos. Sin embargo, la mayoría de estas opciones consisten en software con un costo elevado y enfocado principalmente en huertos extranjeros. La situación económica y social hace que la adquisición de este tipo de herramientas digitales no sea viable y es por eso que surge la necesidad de crear una herramienta de bajo costo y alta utilidad.

A grandes rasgos, se puede concluir de todo lo anterior que el aguacate depende de un contexto ambiental excesivamente específico para que pueda rendir. ¿Qué sucedería entonces si un dispositivo pudiese estudiar el suelo a una velocidad tan eficiente que permitiera adelantarse a las condiciones específicas para que este fruto incremente sus posibilidades de crecer?

I.3. Planteamiento

La tecnología de Internet de las cosas (IoT) está cambiando rápidamente la forma en que se llevan a cabo las operaciones en muchas industrias, incluyendo la agricultura. La tecnología IoT se puede aplicar en la agricultura para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola, así como para reducir el impacto ambiental. Sin embargo, el uso de tecnologías IoT en la agricultura también plantea ciertas implicaciones que deben ser analizadas en profundidad.

El objetivo de esta tesis es analizar las implicaciones del uso de tecnologías IoT en la agricultura, con un enfoque particular en su impacto en la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola, la sostenibilidad ambiental, la seguridad de los datos y la privacidad.

En primer lugar, se examinará cómo la tecnología IoT puede mejorar la eficiencia de la producción agrícola, reducir los costos operativos y mejorar la productividad. También se explorará cómo la tecnología IoT puede ser utilizada para mejorar la gestión de los recursos naturales, incluyendo el agua y la energía, y reducir el impacto ambiental de la agricultura.

En segundo lugar, se analizará cómo el uso de tecnologías IoT en la agricultura puede plantear preocupaciones en términos de seguridad de datos y privacidad. Se examinará la vulnerabilidad de los sistemas IoT a los ciberataques y se discutirán las implicaciones de la recopilación y el almacenamiento de datos personales de los agricultores.

Uno de los parámetros que sería posible calcular y en gran medida predecir son todas las variables independientes de la geografía del sitio. Por ejemplo, el uso de agroquímicos depende totalmente de la acción y análisis humano, el cual en ocasiones es realizado de forma incorrecta desde el método empírico.

En resumen, esta tesis busca analizar las implicaciones del uso de tecnologías IoT en la agricultura, con el objetivo de entender mejor cómo la tecnología puede ser utilizada para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola, al mismo tiempo que se garantiza la sostenibilidad ambiental y la seguridad de los datos y la privacidad.

I.4. Justificación

El desarrollo de dispositivos inteligentes (IoT) conlleva más de lo que pudiera asumirse desde un principio, no basta adquirir sensores e interconectarlos. Hace falta una secuencia de fases que conlleven a la maduración del proyecto, así como un gran número de consideraciones dentro del proceso. En el caso de un proyecto que sea capaz de interactuar directamente con el suelo agrícola las implicaciones son bastantes pero las aplicaciones también. Un ejemplo de ello es la necesidad de agilizar y automatizar el proceso de aplicación de productos agroquímicos durante la producción de aguacate en la región oriente de Michoacán, específicamente para los municipios de Benito Juárez y Zitácuaro. Para lograr esto, se propone impulsar el uso responsable de software aplicado al campo.

Por lo tanto, es fundamental realizar una investigación detallada sobre las implicaciones del uso de tecnologías IoT en la agricultura. Este análisis permitirá entender mejor los beneficios y las preocupaciones relacionadas con la implementación de tecnologías IoT en la agricultura, así como también contribuirá a garantizar que se adopten medidas adecuadas para garantizar la seguridad de los datos y la privacidad.

Además, esta investigación puede ser útil para los agricultores y otros actores del sector agrícola, ya que les proporcionará información valiosa sobre cómo pueden utilizar la tecnología IoT para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la producción agrícola, al mismo tiempo que se garantiza la sostenibilidad ambiental y la seguridad de los datos.

Por lo tanto, esta tesis tiene como objetivo proporcionar un análisis detallado y exhaustivo de las implicaciones del uso de tecnologías IoT en la agricultura, con el fin de contribuir al desarrollo de una agricultura más eficiente, sostenible y segura para todos los actores involucrados.

El proyecto no pretende desarrollar un sistema computacional, sino realizar un análisis que llevará al desarrollo de un modelo predictivo operacional que permita al sector productivo generar frutos más saludables, permitiendo así, ver resultados reflejados principalmente en la salud de los mexicanos consumidores y en la exportación de fruta regional. Lo anterior

sustentado en la investigación que propone el presente trabajo en donde se establece que aunque existen organismos reguladores como COFEPRIS, no existe una relación real entre normativa y cumplimiento efectivo en la venta, distribución y administración de agroquímicos, trayendo por consecuente desde pérdidas económicas significativas al exportar hacia países con restricciones sanitarias más estrictas como lo es Japón, hasta efectos letales para la salud de los consumidores que van desde enfermedades como Anencefalia (defectos de nacimientos) hasta la aparición de cáncer y por consecuente la muerte (Valdés, 2017). Eso sin considerar las enormes pérdidas económicas que puede traer una producción mal regulada al momento de exportar de manera intercontinental. Es por este último par de razones que nace la idea de interconectar un bioma a la red global para tener acceso a información en tiempo real, tal y como lo hace un servicio meteorológico, pero en menor escala y personalizado de acuerdo a las carencias de diferentes ubicaciones geográficas, tomando como base de estudio la tierra de las regiones de Zitácuaro y Benito Juárez.

El uso de tecnologías de la información en cualquier rama de la ciencia y la tecnología ha demostrado siempre ser una ventaja competitiva para el ser humano. Países más desarrollados que México han conseguido una evolución progresiva y defendido su propia economía gracias al impulso a las actividades económicas primarias mediante técnicas avanzadas. En teoría, cualquier avance informático aplicado resulta positivo en términos generales. El desarrollo del dispositivo planteado en la presente tesis, permite un uso dinámico de la información recabada, desde un análisis de suelos portátil hasta un dispositivo capaz de generar predicciones cada vez con menor margen de error para diferentes variables. No hay duda de que las aplicaciones son ideas materializadas y esta no sería la excepción.

El mayor reto del presente proyecto es el seguimiento y la implementación de tecnologías en las áreas de agricultura, motivado principalmente por el poco interés de la población de la región oriente del Estado de Michoacán (en base a acercamientos y entrevistas menores). Teniendo esto contemplado, se puede concluir que la resistencia al cambio y el temor a la

brecha tecnológica será el principal obstáculo en el futuro desarrollo del proyecto. Es importante aclarar que la presente tesis plantea la creación de una herramienta adicional para los productores agrícolas. Desde el enfoque del autor, el proyecto denominado a partir de este punto como “AGROMENTUM”, busca definirse e incluirse como la primera de muchas herramientas agrícolas digitales de la nueva década; busca encontrar su lugar como en su momento lo encontraron herramientas como el arado, el tractor o la desgranadora.

El uso de productos agroquímicos en el proceso de cultivo de productos frutales en la región oriente del estado de Michoacán favorece ampliamente a mejorar la oferta disponible para exportación y comercio local. Sin embargo, para el uso de sustancias químicas en este proceso puede traer graves consecuencias si éstas no se emplean de manera adecuada. El mayor riesgo que se puede correr con el uso de agroquímicos no es otro más que la muerte por envenenamiento.

Se define como agroquímicos (Susana Isabel García, 2011), incluye a las sustancias que regulan el crecimiento de los cultivos, defolian, desecan, reducen la densidad de la fruta o evitan su caída prematura, y a aquellas que se usan antes o después de la cosecha para proteger al producto o al subproducto cosechado del deterioro durante su almacenamiento o transporte (Guillermo Villalobos, s.f.).

Países como Estados Unidos hacen uso constante de este tipo de tecnologías, dado que la tierra no cuenta con la fertilidad suficiente para abastecer de una cosecha pura¹. Sin embargo, a pesar de contar con tecnología e infraestructura superior a la de muchos países del mundo, Estados Unidos de América sigue dependiendo de la importación para poder satisfacer su demanda. Por lo anterior, países productores como México deben darse a la

¹ La fiebre del aguacate en Estados Unidos no baja, Rocío Aguilera (2019)

Siendo que el aguacate mexicano tiene gran parte del corazón de los mexicanos, de nuestra gastronomía, representa tanto de lo que es la personalidad de los mexicanos y de nuestra comida”, señala la chef mexicana Pati Jinich, quien se mudó a Estados Unidos hace 20 años. Fue alrededor de esa época, en 1997, que el aguacate mexicano comenzó a ser importado otra vez a ese país tras 83 años de haber sido vetado por un supuesto problema de plaga. Primero llegó a la costa Este estadounidense, y se fue expandiendo poco a poco hasta que en 2007 se logró la apertura total de ese mercado y llegó a todo el territorio.

tarea de aprovechar y satisfacer el mayor mercado extranjero posible, siendo países como Estados Unidos uno de los principales pilares de importación.

La propuesta de la presente tesis es aprovechar los medios informáticos como las nuevas herramientas dentro del campo de la agricultura. Si se analizara a detalle, la agricultura ofrece una gran cantidad de aplicaciones que se pueden derivar incluso de una sola aplicación. Sin embargo, para este caso en particular se pretende desarrollar un algoritmo que sea capaz de recomendar una dosis específica de agroquímicos y sugerencias de riego para árboles de aguacate en diferentes escenarios, definidos principalmente por las variables: clima, tipo de suelo, fecha y probabilidad de precipitaciones. Esto permitirá al usuario obtener una evaluación que incremente la producción mediante la predicción del comportamiento de cultivo. El no evaluar adecuadamente las necesidades de un árbol en producción puede traer consecuencias notables principalmente al momento de realizar exportación. Una mala administración de fertilizantes puede ser suficiente para que una producción no cumpla con ciertos estándares de exportación internacional, causando así pérdidas considerables a los productores locales e incrementando el precio para el consumidor local. Hasta este punto, la problemática hace referencia a las pérdidas en materia económica, pero es también importante destacar que la ingesta de agroquímicos a consecuencia de dosis excesivas o inadecuadas trae consecuencias graves a la salud del ser humano. Determinar la dosis adecuada para un cultivo no solo disminuye los riesgos económicos sino también ambientales y perjudiciales a la salud.

I.5. Objetivo general

El objetivo de este trabajo es proporcionar a los lectores y futuros desarrolladores un resumen detallado y completo de los aspectos técnicos y prácticos que se deben considerar al desarrollar un dispositivo IoT para la agricultura, incluyendo la selección de hardware y software, la implementación de sensores y actuadores, la integración con plataformas en la nube y la programación de aplicaciones móviles. Además, se busca analizar las ventajas y desventajas de diferentes tecnologías disponibles en el mercado y proporcionar recomendaciones para el diseño y desarrollo de dispositivos IoT eficientes y escalables para su uso en la agricultura.

I.5.1. Objetivos específicos

1. Realizar una investigación exhaustiva del estado del arte de las aplicaciones y técnicas utilizadas en la creación de dispositivos para Internet de las cosas con enfoque agrícola. Esta investigación incluirá un análisis crítico de las tecnologías y herramientas más relevantes en el campo.
2. Definir una estrategia viable de obtención y procesamiento de datos aprovechando las tecnologías vigentes con el menor costo posible.
3. Plantear un prototipo experimental que involucre un análisis detallado de las tecnologías compatibles con el mismo teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la investigación del estado del arte y la estrategia definida para la obtención y procesamiento de datos.
4. Presentar un ejemplo de interpretación básica de datos recabados por la cápsula.
5. Documentar de forma específica las acciones a llevar a cabo para comenzar con el diseño y desarrollo de dispositivos IoT enfocados al campo incluyendo una descripción detallada de los pasos necesarios para llevar a cabo cada uno de los objetivos anteriores, así como una lista completa de los recursos y consideraciones necesarios para su implementación.

1.5.2. Trabajo futuro

- Obtener información general de personas relacionadas con la rama agrícola (Entrevistas, encuestas, cuestionarios).
- Imprimir reportes de recomendaciones basados en el histórico del árbol analizado.
- Generar guías de cultivo por fruto y región que contengan los productos necesarios e instrucciones específicas de riego y aplicación de químicos.
- Modelar una base de datos relacional acorde a las necesidades comunes de diferentes árboles frutales michoacanos.
- Programar una función de evaluación agrónoma inteligente.
- Incorporar la tecnología desarrollada dentro de ecosistemas que aprovechen en su totalidad los datos recabados.

I.6. Hipótesis

La complejidad y las recomendaciones de un dispositivo IoT varían significativamente según el área de enfoque. Por lo tanto, las sugerencias y conclusiones obtenidas a través de la investigación y el prototipado experimental pueden guiar a futuras generaciones hacia la creación de modelos eficientes de análisis de datos y dispositivos IoT en un menor tiempo. Es importante tener en cuenta que la implementación exitosa de dispositivos IoT requiere una comprensión sólida de los requisitos específicos del área de aplicación, así como una evaluación cuidadosa de las limitaciones y desafíos técnicos. Además, es fundamental considerar los aspectos económicos y sociales relacionados con la implementación de dispositivos IoT, como la privacidad y la seguridad de los datos, así como el impacto ambiental y la sostenibilidad. Con lo anterior, la pregunta que deriva lo anterior es ¿qué debe considerarse antes de comenzar a desarrollar un proyecto IoT en la automatización de la producción de aguacate?

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

II.1. Preámbulo

El marco teórico que se desarrolla a continuación, permite conocer conceptos básicos necesarios para el entendimiento de las tecnologías IoT (Internet of Things) así como una selección técnica de tópicos que facilitarán la interpretación de ciertas etapas de desarrollo del proyecto propuesto. Asimismo, se incluye una descripción detallada del potencial objeto de estudio elegido: el árbol de aguacate Hass.

Primero se detallará un contexto enfocado al aguacate, sus requerimientos de cultivo, terminología de producción y conceptos relacionados al uso de pesticidas y otros nutrimentos químicos necesarios para su correcto desarrollo, resaltando por encima de cualquier otro fruto como objeto de estudio principal debido a la importancia gastronómica con la que cuenta a nivel internacional.

Las secciones 2, 3 y 4 del presente capítulo ofrecen el contexto para comprender la selección de materiales y componentes de hardware elegidos para llevar a cabo la construcción de un dispositivo capaz de convivir con el proceso productivo del aguacate, funcionando a la par como un análisis superficial que justifica la elección de las variables redactadas más adelante.

Posteriormente se describirá todo lo relacionado con la parte técnica del proyecto, esto incluye componentes lógicos y físicos utilizados para llevar a cabo una primera versión del proyecto.

II.2. El aguacate como fruto local

Como se mencionó anteriormente, el aguacate es un fruto que no crece en cualquier condición, o al menos, requiere de cuidados intensos y en ocasiones muy costosos para poder mantener una producción estable. El presente proyecto de tesis plantea un escenario en el que se aprovecha al máximo el clima de la región oriente de Michoacán en la producción de aguacate, garantizando una producción más sana y una

II.2.1 Tipos de aguacate

De acuerdo con el libro Cadena de valor del aguacate (Leticia León Melendez, 2015), los fenotipos más comunes de aguacate que pueden producirse en Michoacán son los siguientes:

Hass (el más popular): Cuando está maduro, su cascara adquiere un tono oscuro, casi negro. Su piel pasa de verde oscuro a verde purpurino. Tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año. El aguacate Hass proviene de injerto, mezcla de diferentes variedades de aguacate, desarrollado por Rudolph Hass.

Fuerte: Su cáscara es gruesa, comparada con otras especies y no se oscurece con la maduración. Su piel es ligeramente áspera, con muchos pequeños puntos amarillos. Lo podemos encontrar desde finales de otoño hasta primavera. Tienen la forma de una pera, de gran sabor y pulpa cremosa.

Criollo: Se caracteriza por tener una cascara muy delgada y suave, que se aferra a la masa, además, un hueso muy grande. El color de su cascara es oscura y su pulpa al madurar adopta un color amarillo-limón. Tiene entre sus principales características ser resistente al frío.

Bacón: Fruta disponible durante otoño hasta primavera. El fruto es de forma ovalada, pulpa amarilla verdosa que tiene un gran sabor con textura suave. Es fácil de pelar y contiene un hueso mediano a grande. Al madurar, la piel de este fruto toma un color más obscuro.

Pinkerton: Tiene cosecha temprana, redondo, con cuello en forma de pera, de tamaño medio. Se trata de una fruta de apariencia larga, pulpa cremosa con excelente sabor. Tiene una cáscara más gruesa que las diferentes clases de

aguacate, además es muy fácil de pelar. Lo encontramos de invierno hasta primavera.

Gwen: Lo encontramos desde principios de primavera hasta finales de verano. Es una fruta redonda, la piel es delgada y granulada de color verde. El sabor de la pulpa es suave y cremoso.

Reed: Disponible en verano e inicios de otoño. Su piel permanece gruesa y verde, tienen buen sabor, presenta una suave presión cuando está madura. Es fácil de pelar y contiene una semilla mediana.

II.2.2 Ciclo de vida

En la sección “Factores generales de cultivo del aguacate” se mencionó que antes de realizar cualquier cultivo, es necesario examinar el terreno y asegurarse de que tiene las condiciones adecuadas. De igual manera, es importante que, en caso de iniciar un proceso de cultivo, se comprometa al productor con los cuidados y riesgos que conlleva este tipo de árbol.

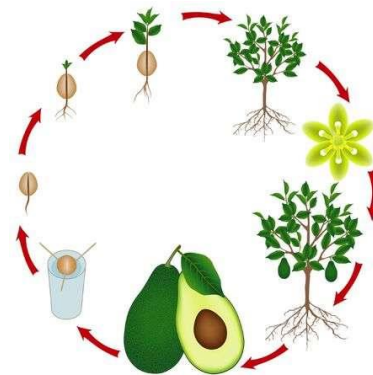


Ilustración 1. 2 Diagrama del ciclo de reproducción y crecimiento del aguacate nativo.

Lo que se describe a continuación son las generalidades a considerar en el proceso de cultivo de un árbol de aguacate.

II.2.3 Preparación del suelo

La preparación del terreno depende de la topografía y de la vegetación existente. Si el terreno es plano y ha sido cultivado previamente, no necesita preparación, sólo se marca y se hacen hoyos con 60 cm de diámetro y 50 a 60 cm de profundidad. Si es plano, pero tiene malas hierbas, debe aplicar previamente algún herbicida y posteriormente arar y rastrear. Posteriormente se hace el marcaje que puede ser un cuadro real, tresbolillo y otros.

Es conveniente construir zanjas siguiendo las curvas de nivel para la protección del suelo. También se puede hacer el marcaje para siembra en curvas de nivel para aprovechar las líneas como obras de conservación de suelos (Agricultura. El cultivo del aguacate. 1ra. Parte, s.f.).

II.2.4 Eliminación de malas hierbas

Cuando se realiza el control de malas hierbas, debe evitarse el empleo de herramientas cortantes cerca de la base de los árboles, para no provocar heridas que pueden ser la entrada para el hongo (*Phytophthora cinnamomi*) causante de la marchitez del aguacate.

No es recomendable mantener el suelo desnudo, ya que en estas condiciones está sujeto a la erosión; es mejor tener un cultivo de cobertura de plantas leguminosas entre los árboles, que por su aporte de nitrógeno resultan las mejores, en muchos casos se utilizan cubiertas de gramíneas de fácil manejo y poco crecimiento.

El manejo del acolchado de gramíneas puede hacerse con cortadora rotativa antes que las malas hierbas de la cobertura entren en floración. Cuando la cobertura de gramíneas se infesta de malas hierbas es conveniente usar herbicidas en aplicaciones localizadas hacia éstas.

Lo más recomendable es usar los herbicidas cuando las malas hierbas rebrotan después de acolchar. Si tiene lugar la aparición de malas hierbas es conveniente aplicar un buen herbicida como el Terbutizalina, dirigido a la maleza.

Para especies de hoja ancha y ciperáceas se puede usar 2-4 D en su formulación de sal, en dosis de 0,5 kg.Ha-1. Para malezas de difícil erradicación, se utiliza glifosato. (Ojewole, 2006)

Cuando el acochado es de leguminosas y está infestada de gramíneas, se puede utilizar el herbicida fluazifop-butil (0,5 kg.Ha-1).

II.2.5 Poda

El árbol de aguacate no requiere poda de formación. En los primeros tres años de desarrollo, los árboles de aguacate requieren poca atención en cuando a poda, pero luego se debe procurar mantenerlo bien formado, de manera que las labores culturales y la cosecha se faciliten.

Se deben podar las ramas de crecimiento vertical con altura excesiva, las ramas bajas o pegadas al suelo y los tallos débiles y enfermos.

II.2.6 Propagación

El aguacate se puede propagar por semilla o por injerto. La propagación por semilla no es recomendable para plantaciones comerciales debido a la gran variabilidad que ocurre en producción y calidad de fruto. La propagación por injerto es el método más apropiado para reproducir las variedades seleccionadas para cultivo comercial, ya que los árboles injertados son uniformes en cuanto a la calidad, forma y tamaño de la fruta.

Las semillas deben provenir de frutas sanas, de buen tamaño, cosechadas directamente del árbol. Su viabilidad dura hasta tres semanas después de extraída de la fruta. Es recomendable cortar la parte angosta de la semilla, en un tramo de una cuarta parte del largo total, para ayudar así a la salida del brote y para hacer una primera selección, ya que el corte permite eliminar las semillas que no presenten el color natural blanco amarillento, debido a podredumbre, lesiones o cualquier otro daño. Inmediatamente después de cortadas, se siembran en el semillero previamente preparado colocándolas sobre el extremo ancho y plano de modo que la parte cortada quede hacia arriba. Las semillas empiezan a brotar aproximadamente treinta días después de sembradas. Generalmente las plantas están listas para ser trasplantadas al vivero, a los treinta días después de la germinación.

II.3. Factores generales de cultivo del aguacate

El cultivo de aguacate depende de siete factores principales para garantizar una producción exitosa. De manera ordenada estas fases son: siembra, podas, fertilización, aplicación de riego, control de malezas, control de plagas y control de enfermedades. Las primeras cuatro fases serán abordadas en la presente sección. Las subsecuentes serán tratadas de manera individual en capítulos posteriores, ya que, en gran medida, la razón de ser del presente proyecto consiste en la aplicación eficiente de fertilizantes y agroquímicos. Cada una de ellas tiene ciertas consideraciones que deben aplicarse estrictamente si es que se quiere alcanzar un cultivo exitoso.

II.3.1 Siembra

El primer factor a considerar durante la primera fase de siembra es el terreno de la futura plantación, la cual en terrenos planos puede ser mecanizada, mientras que en ladera la preparación del lote es manual. En ambos casos el agricultor debe tener presente que el requisito más importante para establecer un cultivo de aguacate, es un suelo suelto, bien drenado y sin mayor pendiente (Ferro, 2001).

Se recomienda en suelos fértiles y de alta humedad tener entre 160 y 180 árboles por hectárea, y en terrenos de baja fertilidad o climas secos, una población de 200 árboles.

Los hoyos donde serán colocadas las plantas deben tener una profundidad de al menos 60 centímetros de profundidad y 60 centímetros de boca. Es recomendable que los hoyos se preparen con una semana de anticipación con uno o dos kilos de composta libre de patógenos (Ferro, 2001). El injerto debe quedar, como mínimo, a 10 cms por encima del nivel del suelo. De no cumplir con las condiciones antes descritas, el riesgo ambiental puede en un futuro comprometer el cultivo y por lo tanto es mejor descartar desde el principio el cultivo. El injerto debe quedar, como mínimo, a 10 cms por encima del nivel del suelo. De no cumplir con las condiciones antes descritas, el riesgo ambiental puede en un futuro comprometer el cultivo y por lo tanto es mejor descartar desde el principio el cultivo.

II.3.2 Poda de árbol de aguacate

La poda depende de la edad, vigor, tendencia de crecimiento del árbol y de las condiciones del clima y el suelo. En este caso, el artículo “El Cultivo de Aguacate: Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural” (Ferro, 2001) recomienda hacer uso de las siguientes medidas de poda:

- Evitar el desequilibrio entre el follaje y la fructificación.
- Los rendimientos dependen de la cantidad de ramas que producen frutos, si estas son podadas, se estimulará sólo al crecimiento de las hojas.
- La poda general debe quitar el menor número posible de ramas y hojas, desinfectando cortes y herramientas.
- En la formación de árboles jóvenes, se debe evitar el desarrollo de troncos o tallos múltiples.
- En los árboles adultos las podas pueden limitarse a eliminar las ramas bajas cuando dificultan labores.

II.3.3 Fertilización

La fertilización tiene por objeto elevar la producción en cantidad y calidad de acuerdo a criterios agronómicos y económicos. Esta práctica se basa en la nutrición específica de la planta, según sus requerimientos puntuales de elementos nutritivos, clasificados comúnmente como elementos mayores y elementos menores.

“El análisis de suelos y hojas permite determinar las dosis óptimas que se deben emplear por hectárea, las cuales dependen básicamente de los resultados obtenidos en la zona y de factores particulares como la densidad de la siembra y edad del cultivo” (Ferro, 2001). Lo anterior como se puede apreciar en la Ilustración I.3.

El párrafo anterior, es, además, es una de las razones de ser del presente proyecto de tesis. Se busca encontrar esta optimización de dosis en tiempo récord mediante el análisis estadístico inferencial de las condiciones actuales de una planta de aguacate, disminuyendo

así en gran medida el trabajo de campo y encontrando una ventana de oportunidades para los productores del estado de Michoacán.

Cuadro No. 3 Niveles de fertilización por árbol y hectárea

Etapa	Años Edad	No. aplic.	gramos/árbol/año			Producto Comercial Kg/Há		
			N	P	K	Urea	DAP	Sulfato k.
Crecimiento	1	4	100	100	60	45	45	25
	2	3	200	200	100	90	100	40
	3	2	400	200	250	175	100	100
Producción	4	2	600	250	650	260	120	250
	5	2	800	300	850	350	130	350
	6	2	1000	350	1050	450	150	400
	7	2	1200	400	1250	500	180	500
	8	2	1400	450	1450	600	200	600

Ilustración 1. 3 Recomendaciones de aplicación de fertilizantes. Fuente: "El Cultivo del Aguacate: Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural."

De acuerdo con el mismo artículo, la fertilización se lleva a cabo mediante riego o aplicación directa al suelo debido a la capacidad baja de absorción foliar. Sin embargo, una de las formas de establecer los niveles de fertilización es el análisis foliar.

III.3.4 Aplicación de riego

Es importante que un cultivo de aguacate se establezca en una zona con precipitaciones regulares. Es decir, no es recomendable cultivar en zonas secas, debido principalmente al costo de riego que eso conlleva. Por el contrario, tampoco es recomendable cultivar en zonas con alto índice de precipitaciones, de ahí uno de los grandes atractivos de la zona oriente de Michoacán, en donde las condiciones climatológicas facilitan en gran medida la producción de aguacate (Ferro, 2001).

II.4 Agroquímicos

A medida que crece la población mundial aumenta también la necesidad de mantener la capacidad de producción del suelo. La obtención de la cantidad adecuada de alimentos requiere el uso de plaguicidas para alcanzar y mantener un equilibrio entre las especies vegetales deseadas y sus competidores. Sin embargo, estos compuestos químicos utilizados en agricultura llegan en general al suelo, ya sea directa o indirectamente, y originan problemas de polución y contaminación.

Como consecuencia, algunos investigadores del medio ambiente opinan que el uso de plaguicidas en agricultura debe ser reducido o prohibido, a causa del riesgo de la retención de estos compuestos por las cosechas y suelos y de su posterior incorporación a la cadena de alimentos. Por otro lado, investigadores en agricultura argumentan que el uso continuado de grandes cantidades de plaguicidas es esencial para alcanzar rendimientos máximos (P. Guzmán-Plazola, 2016).

Los plaguicidas son compuestos químicos que sirven para combatir los parásitos de los cultivos, del ganado, de los animales domésticos y del hombre y su ambiente.

De acuerdo con su actividad biológica pueden clasificarse en insecticidas, fungicidas, herbicidas y rodenticidas según que su toxicidad sea para insectos, hongos, malas hierbas o roedores. También existen los atrayentes, repelentes y esterilizantes de insectos que coadyuvan a su destrucción por medio de estas acciones. Según su naturaleza química, en principio, pueden clasificarse en inorgánicos y orgánicos. Los primeros no plantean, en general, una problemática importante desde el punto de vista de su toxicidad y evolución en el suelo. Por el contrario, en lo que se refiere a los orgánicos, se ha ido desarrollando una amplia gama de productos que plantea problemas de evolución en el complejo sistema del suelo (M. J. Sánchez Martín, 1985).

II.4.1 Causas y efectos

El uso de estos productos es una práctica común en las labores agrícolas, el uso excesivo los ha convertido en una problemática mundial dada su toxicidad para aquellas personas que los manejan, por encontrarse expuestos continuamente al componente o ingrediente activo de dichas sustancias, llegando a causar intoxicaciones que generan signos y síntomas puntuales, hasta dar lugar a secuelas o efectos crónicos (Y. Alvarado, 1998).

Basado en la Organización de las Naciones Unidas (Y. Montoro, 2009) se establece que las causas principales de estas intoxicaciones son la reglamentación, la educación, la comunicación sobre riesgos y la falta de participación en la adopción de decisiones, así como con problemas de disposición de los envases y en el almacenamiento de los agroquímicos.

II.4.2 Enfermedades al ser humano

Los efectos causados en los trabajadores agrícolas representan un problema de salud, la determinación de la actividad de la colinesterasa² en la sangre es un valioso indicador de exposición a agroquímicos organofosforados. Con base en lo anterior, se explora la posibilidad de intoxicaciones agudas grado 1 y se determinan los valores de acetilcolinesterasa en 25 personas que laboran en actividades agrícolas y en 5 como muestra control. De la población estudiada, 86% presentó valores normales de la actividad de la colinesterasa. No obstante, los resultados sirven como indicadores biológicos de intoxicación y son importantes para el seguimiento y detección de los efectos tóxicos producidos (Ibarra, 2018).

A nivel mundial el uso de agroquímicos, ha ocasionado diversos daños o alteraciones en el ambiente y en el organismo humano. En el caso de este último, estudios epidemiológicos

² La actividad de la enzima pseudocolinesterasa (PChE) en la sangre es un marcador apropiado para ciertos contextos clínicos, como:

- a.) Exposición a plaguicidas
- b) Apnea postanestésica debido a la herencia de variantes de PChE
- c.) Enfermedades hepáticas agudas y crónicas (hepatitis, cirrosis o metástasis)

revelan diversos daños y enfermedades como la hepatitis, mal formaciones congénitas, discapacidad mental, órganos dañados por ejemplo el riñón, diversos tipos de cáncer como leucemia, cáncer de piel, cáncer de pecho y tumores cerebrales, así como un elevado riesgo de sarcoma de tejidos blandos (Y. Montoro, 2009).

Adicional a ello, de acuerdo con el artículo “Exposición prenatal a los plaguicidas organoclorados y criptorquidia” (L. P. B. Montes, 2010) se mencionan desórdenes reproductivos en el hombre y algunos padecimientos tales como la disminución en el número de espermatozoides, cáncer testicular y otros defectos relacionados directamente con la esterilidad.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) los plaguicidas en países en desarrollo, causan un millón de casos de intoxicación y cerca de 20,000 muertes anualmente. Esta cifra es alarmante y claramente evitable. Pero mientras no exista la información adecuada o bien, se modifiquen las técnicas de cultivo, este problema continuará por un buen tiempo.

II.5 Agricultura de precisión

La revolución tecnológica que trajo Internet tiene mucho por aportar para mejorar la productividad del campo. No sólo por las mejoras en los equipos, sino también por la velocidad de procesamiento de los datos y el uso que se le puede dar a esa información.

Empresas agropecuarias en diferentes países están ingresando a la llamada Web 2.0, que coloca al usuario de Internet como creador de contenidos más que como mero receptor. En ese aspecto, el uso de tecnologías de la información junto a diferentes filosofías políticas, económicas y sociales hacen que se dote a la agricultura convencional de una serie de aditamentos enfocados en la optimización de la producción. Se define entonces a la agricultura de precisión como una estrategia de gestión que recoge, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otras informaciones para respaldar las decisiones de manejo de acuerdo con la variabilidad estimada, y así mejorar la eficiencia

en el uso de recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola (Home | International Society of Precision Agriculture, 2020).

Con lo anterior, el presente trabajo, es parte fundamentalmente de un proyecto con enfoque a agricultura de precisión por lo que es importante señalar que parte de esta estrategia incluye el diseño de un proceso óptimo de análisis, la selección de componentes de hardware adecuados para el monitoreo y el diseño lógico de todos los programas complemento que trabajarán con la información recabada (bases de datos, programas, técnicas de comunicación remota, protocolos de intercambio de información, entre otros).

II.6 Software

De acuerdo con la Real Academia Española, **software** es una palabra que proviene del idioma inglés, pero que, gracias a la masificación de uso, ha sido aceptada por la Real Academia Española. Según la RAE, el software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora (Diccionario de la lengua española, 2022).

Se considera que el software es el equipamiento lógico e intangible de un ordenador. En otras palabras, el concepto de software abarca a todas las aplicaciones informáticas, como los procesadores de textos, las planillas de cálculo, los editores de imágenes, los reproductores de audio y los videojuegos, entre otras muchas. Con lo anterior, se definen algunos conceptos relevantes para el presente proyecto.

II.6.1 Tecnologías web

Las tecnologías Web sirven para acceder a los recursos de conocimiento disponibles en Internet o en las intranets utilizando un navegador. Están muy extendidas por muchas razones: facilitan el desarrollo de sistemas GC (Gestión del Conocimiento), su flexibilidad en términos de escalabilidad, es decir, a la hora de expandir el sistema; su sencillez de uso y que imitan la forma de relacionarse de las personas, al poner a disposición de todos los conocimientos de los demás, por encima de jerarquías, barreras formales u otras cuestiones. Estas tecnologías pueden llegar a proporcionar recursos estratégicos, pero,

evidentemente, no por la tecnología en sí misma, que está disponible ampliamente, sino por lo fácil que es personalizarla y construir con ella sistemas de GC propietarios de la empresa. (Tecnología Web | Marketing Digital, 2015)

Internet, Intranet o extranet permiten a los usuarios el acceso a una gran cantidad de información: leer publicaciones periódicas, buscar referencias en bibliotecas, realizar paseos virtuales por museos, compras electrónicas y otras muchas funciones. Gracias a la forma en que está organizada la World Wide Web (WWW), los usuarios pueden saltar de un recurso a otro con facilidad. (Tecnología Web | Marketing Digital, 2015)

Dentro de este grupo de tecnologías Web, podemos incluir los agentes inteligentes, el chat, los motores de búsqueda, los navegadores y las tecnologías push. (Tecnología Web | Marketing Digital, 2015)

Agentes inteligentes

Son programas que realizan tareas específicas, repetitivas y predecibles para un usuario particular, para un proceso de negocio o para una aplicación software. Son programados para buscar y encontrar información relevante para el usuario basándose en sus preferencias. Por ejemplo, borrar el correo basura, fijar citas o buscar los precios más baratos de un libro. Estos agentes están presentes en casi todas las aplicaciones actuales, como, por ejemplo, el Asistente de Office que permanentemente está a la espera de que el usuario escriba los caracteres "Estimado:" para ayudarlo en la escritura de una carta. También hay agentes inteligentes cuya misión es la de avisar al usuario acerca de productos que para él pueden ser de interés, como el sistema Eyes de la librería Amazon.com. (Capdevila, s.f.)

Las interfaces basadas en agentes son generalmente los medios principales a través de los cuales las personas y las computadoras se comunicarán en el futuro, y estos agentes conocerán nuestras preferencias, deseos y necesidades. Es posible que no estén dotados de una gran cantidad de inteligencia, pero sí de una importante cantidad de conocimiento acerca de su propietario. (Capdevila, s.f.)

Resumiendo, los agentes inteligentes son aplicaciones que localizan, en Internet y en cualquier otra fuente posible, información relevante para nosotros, mostrándonosla en un formato que nos facilita su utilización directa e inmediatamente. (Capdevila, s.f.)

No obstante, estos agentes artificiales tienen algunos problemas internos, intrínsecos a su construcción, y otros externos, debidos al entorno en el cual trabajan los mismos.

La constante aparición de nuevas tecnologías desconocidas para los agentes como las tecnologías flash o los nuevos lenguajes de programación.

La falta de habilidades, debido a que, a pesar de ser automáticos, han sido programados por personas y estas no disponen de todo el conocimiento necesario. Por ejemplo, las tecnologías propietarias dificultan especialmente la construcción de agentes verdaderamente poderosos, al ser su estructura interna desconocida para el público en general. (Capdevila, s.f.)

El nivel de especialización del agente, en el sentido que un exceso puede provocar que cualquier mínimo cambio en las tecnologías con las que trabaja los haga quedar obsoletos. Por el contrario, un defecto de especialización puede hacer que el agente no sea capaz de explorar exhaustivamente la red y extraer toda la información posible. (Capdevila, s.f.)

El chat es una tecnología que permite que dos o más usuarios que están simultáneamente conectados a Internet mantengan conversaciones en tiempo real. Las conversaciones se establecen en grupos o canales, cada uno de los cuales tiene un tema, suscribiéndose cada usuario al canal que más le interesa. Habitualmente, el chat se desarrolla de forma textual, tecleando lo que queremos decir y leyendo lo que otros escriben, aunque ya están disponibles tecnologías que permiten hacer estas operaciones con audio y video en tiempo real. (Capdevila, s.f.)

El correo electrónico se utiliza para el intercambio de mensajes entre personas por medio de computadoras y es una de las herramientas más importantes que existen para la comunicación y el trabajo colaborativo. Es muy interesante para la GC por su difusión y uso en todas las organizaciones. En realidad, y un poco discrepando de la opinión de estos

autores, los mensajes se intercambian entre los usuarios de esas computadoras. (Capdevila, s.f.)

Actualmente, ya funcionan sistemas de correo por voz, que consisten en que se digitaliza un mensaje de voz, se trasmite por la red y se guarda para su posterior reproducción por parte del usuario destino. Es decir, se desempeña justamente igual que los sistemas de correo electrónico tradicionales con la ventaja de que, en vez de transmitir texto, se transmite voz. También existen, sistemas que, a partir de un correo electrónico con un texto, generan un mensaje de voz que permite que el mismo sea escuchado por el destinatario, por ejemplo, en su teléfono móvil. (Capdevila, s.f.)

Motores de búsqueda

Los motores de búsqueda están formados por un paquete de programas que permite localizar, dentro de un gran conjunto, aquellos documentos que cumplen una serie de requisitos específicos. Estas búsquedas pueden ser desde muy sencillas hasta muy complejas. Los motores actualmente disponibles para ser utilizados por el público en general a través de Internet son capaces de indexar cifras que rondan los dos mil millones de páginas y localizar los resultados en las mismas en menos de un segundo. Los programas que forman el motor son los siguientes:

- Un programa que navega por todos los documentos extrayendo de los mismos los conceptos que pueden resultar relevantes (palabras clave, ideas, títulos, entre otros) para posteriores búsquedas.
- Un programa que crea un índice con los resultados de la navegación realizada por el anterior.
- Un programa que recibe las peticiones del usuario busca en el índice generado y muestra los resultados al usuario. (Capdevila, s.f.)

Debido a su facilidad de indexación, existe desde hace tiempo el planteamiento de utilizar estos motores como apoyo a la GC en las organizaciones a través de un proceso consistente en que todos los usuarios de la organización hagan explícito el máximo posible de su

conocimiento para así introducirlo en documentos, los cuales recogerán las mejores prácticas, casos resueltos, e incluso ideas. Posteriormente, estos documentos se añadirán al motor de búsqueda, quedando a disposición de todos los usuarios de la organización. A pesar de que este enfoque puede parecer interesante, los resultados que se obtienen no suelen ser los deseados, principalmente debido a que la respuesta que genera el motor de búsqueda es un número tan amplio de documentos que encontrar aquellos que sean significativos para el usuario se convierte en una tarea muy compleja y que requiere de tiempo. (Capdevila, s.f.)

También para evitar esta falacia consistente en pretender indexar todo y los problemas que la misma genera, es necesario desarrollar un vocabulario común de forma que las palabras como producto, cliente, proceso, y otras signifiquen lo mismo para todos los componentes de la organización, mejorando así la calidad del resultado de las búsquedas. De nuevo se demuestra que la existencia de un vocabulario común en las organizaciones es un requisito para la puesta en marcha de las tecnologías para la GC. (Capdevila, s.f.)

Navegadores Web

Los navegadores son programas preparados para mostrar las páginas Web y para el acceso a Internet, a través de una interfaz gráfica que permite representar texto, gráficos, audio y vídeo e incluso, en los últimos tiempos, olores. (Capdevila, s.f.)

Al ser una tecnología básica, los navegadores, por sí mismos, no suponen una auténtica ayuda a la GC, sino más bien son una técnica habilitadora sobre la cual se construyen otras tecnologías, como las intranets, el correo electrónico o el chat. (Capdevila, s.f.)

Tecnología Push

Esta tecnología consiste en entregar al usuario la información que necesita evitándole así tener que buscarla en la Web. El usuario indica qué tipo de información desea y es el software quien se encarga de localizarla, avisándole mediante una señal, que la misma está a su disposición. Es decir, pasamos de un usuario proactivo, que busca información en la red, a un sistema de fuentes proactivas, que suministran al usuario la información que necesita. (Capdevila, s.f.)

Existen tres aplicaciones principales de los sistemas push. Difusión selectiva de información, en la cual es el usuario el que define su perfil y la información que desea recibir. Canales a los que el usuario se suscribe recibiendo así la información de los mismos, sin que esta se personalice. La principal ventaja del uso de los canales es que cuando queramos acceder a dicha información no tenemos que esperar por su descarga. Publicación por afinidad de perfil transparente, que consiste en utilizar el rastro que el usuario va dejando en su navegación por la red para suministrarle ofertas de productos que le puedan interesar. El principal problema del uso de esta tecnología es la componente ética de la misma, puesto que para llevarla a cabo es fundamental contar con la aceptación explícita del usuario, cuestión que se suele obviar. (Capdevila, s.f.)

II.6.2 Servicios web

Es una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos en redes de ordenadores como Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos. Las organizaciones OASIS y W3C son los comités responsables de la arquitectura y reglamentación de los servicios Web. (Capdevila, s.f.)

La mayor ventaja de un servicio web es que no requiere de hardware específico para funcionar y es, por lo tanto, la opción más adecuada para llevar a cabo el tratamiento de un algoritmo demandante mediante una computadora de bajo presupuesto. (Capdevila, s.f.)

Si bien se pueden desarrollar interfaces desde diferentes tecnologías, existen compañías que concentran toda su infraestructura en garantizar el consumo de servicios en los mejores tiempos. Un buen ejemplo es la galería de servicios que ofrece Amazon Web Services (AWS) de entre los cuales destacan S3 (almacenamiento), EC2 (Servidor Privado Virtual) y RDS (Servidor de Bases de Datos Relacionales). (Capdevila, s.f.)

Arquitectura cliente-servidor

Para que un servicio pueda ser utilizado es necesario contar con dos elementos cruciales: un cliente capaz de consumir los servicios y un servidor capaz de proporcionarlos. Haciendo un símil a la vida real, un cliente en informática es aquel software encargado de solicitar servicios. Estos normalmente son invocados por medio de un enlace DNS que hace referencia al servidor en donde se encuentran alojado el prestador de servicios. El servidor es quien procesa las peticiones y tiene la función básica de responder al cliente, incluso si la petición es denegada, el servidor tiene la función de informar al cliente por medio de diferentes códigos de error que se interpretan por las aplicaciones cliente. Por ejemplo, “Respuesta: El servidor no pudo procesar la información”, “Respuesta: parámetros incorrectos”, “Respuesta: 500 – Error del servidor”, “Respuesta: 404 – Recurso no encontrado”. (Capdevila, s.f.)

Con lo anterior, la arquitectura cliente-servidor es la clave para el consumo de servicios web ya que esta filosofía se basa principalmente en el hecho de realizar peticiones y obtener respuestas. (Capdevila, s.f.)

HTTP

HTTP es un protocolo de acceso para las páginas web a través de Internet. HTTP son las siglas para Hypertext Transfer Protocol que se traduce al español como el “protocolo de transferencia de hipertextos” (HTTP, 2022).

El HTTP es una de las 3 tecnologías básicas desarrolladas para la creación de la web en el año 1990 por Tim Berners Lee. La web como sistema de gestión de información para la transmisión de datos a través de Internet necesita para su funcionamiento de 3 elementos básicos: el HTTP, el URL y el HTML.

Es gracias a este protocolo y a sus distintos verbos de comunicación (GET, POST, PUT, DELETE, UPDATE) que es posible comunicarse de manera universal entre aplicaciones mediante internet. Si se tuviese que hacer una analogía, podría decirse que HTTP es a las aplicaciones web lo que el idioma inglés a los seres humanos, un lenguaje universal.

API

Muy ligado a las peticiones HTTP se encuentra el concepto de una API, cuyo término API es una abreviatura de Application Programming Interfaces, que en español significa interfaz de programación de aplicaciones. Se trata de un conjunto de definiciones y protocolos que se utiliza para desarrollar e integrar el software de las aplicaciones, permitiendo la comunicación entre dos aplicaciones de software a través de un conjunto de reglas.

Así pues, podemos hablar de una API como una especificación formal que establece cómo un módulo de un software se comunica o interactúa con otro para cumplir una o muchas funciones. Todo dependiendo de las aplicaciones que las vayan a utilizar, y de los permisos que les dé el propietario de la API a los desarrolladores de terceros.

En palabras más simples. Crear una API representa el principio de una aplicación multiplataforma y, por consiguiente, un ecosistema unificado para usuarios de Windows, Mac OS, IOS, Android y navegadores webs convencionales.

Aprendizaje Máquina

El Aprendizaje Máquina (Machine Learning) lo componen diferentes estrategias y algoritmos de creación de modelos de predicción, tienen la finalidad de aproximarse a un dato futuro. Existen tres tipos de algoritmos de aprendizaje automático: supervisado, no supervisado y por refuerzo.

Aprendizaje Supervisado

En el Aprendizaje Supervisado, la máquina se enseña con el ejemplo. De este modo, el operador proporciona al algoritmo de aprendizaje automático un conjunto de datos conocidos que incluye las entradas y salidas deseadas, y el algoritmo debe encontrar un método para determinar cómo llegar a esas entradas y salidas. (Francisco Javier, 2021)

Mientras el operador conoce las respuestas correctas al problema, el algoritmo identifica patrones en los datos, aprende de las observaciones y hace predicciones. El algoritmo realiza predicciones y es corregido por el operador, y este proceso sigue hasta que el algoritmo alcanza un alto nivel de precisión y rendimiento. (Francisco Javier, 2021)

Aprendizaje sin supervisión

Aquí, el algoritmo de aprendizaje automático estudia los datos para identificar patrones. No hay una clave de respuesta o un operador humano para proporcionar instrucción. En cambio, la máquina determina las correlaciones y las relaciones mediante el análisis de los datos disponibles. (Gómez & Sánchez, 2020)

En un proceso de aprendizaje no supervisado, se deja que el algoritmo de aprendizaje automático interprete grandes conjuntos de datos y dirija esos datos en consecuencia. Así, el algoritmo intenta organizar esos datos de alguna manera para describir su estructura. Esto podría significar la necesidad de agrupar los datos en grupos u organizarlos de manera que se vean más organizados. (Gómez & Sánchez, 2020)

A medida que evalúa más datos, su capacidad para tomar decisiones sobre los mismos mejora gradualmente y se vuelve más refinada.

Aprendizaje por refuerzo

El aprendizaje por refuerzo se centra en los procesos de aprendizajes reglamentados, en los que se proporcionan algoritmos de aprendizaje automáticos con un conjunto de acciones, parámetros y valores finales. (Gómez & Sánchez, 2020)

Al definir las reglas, el algoritmo de aprendizaje automático intenta explorar diferentes opciones y posibilidades, monitorizando y evaluando cada resultado para determinar cuál es el óptimo. (Gómez & Sánchez, 2020)

En consecuencia, este sistema enseña la máquina a través del proceso de ensayo y error. Aprende de experiencias pasadas y comienza a adaptar su enfoque en respuesta a la situación para lograr el mejor resultado posible.

II.6.2 Algoritmos de regresión

En las tareas de regresión, el programa de aprendizaje automático debe estimar y comprender las relaciones entre las variables. El análisis de regresión se enfoca en una variable dependiente y una serie de otras variables cambiantes, lo que lo hace

particularmente útil para la predicción y el pronóstico. (Pérez, Bustillos, Mora, & Botto-Tobar, 2020)

La regresión lineal es un algoritmo de aprendizaje supervisado que se utiliza en Machine Learning y en estadística. En su versión más sencilla, lo que haremos es “dibujar una recta” que nos indicará la tendencia de un conjunto de datos continuos (si fueran discretos, utilizaríamos Regresión Logística).

En estadística, regresión lineal es una aproximación para modelar la relación entre una variable escalar dependiente “y” y una o más variables explicativas nombradas con “X”.

El análisis de regresión es un método estadístico común utilizado en finanzas e inversiones. La regresión lineal es una de las técnicas más comunes de análisis de regresión. La regresión múltiple es una clase más amplia de regresiones que abarca regresiones lineales y no lineales con múltiples variables explicativas.

La regresión como herramienta ayuda a agrupar los datos para ayudar a las personas y las empresas a tomar decisiones informadas. Hay diferentes variables en juego en la regresión, incluida una variable dependiente, la variable principal que está tratando de entender, y una variable independiente, factores que pueden tener un impacto en la variable dependiente.

Hay varias razones principales por las que las personas usan el análisis de regresión:

1. Para predecir futuras condiciones económicas, tendencias o valores
2. Para determinar la relación entre dos o más variables
3. Para entender cómo cambia una variable cuando otra cambia

Hay muchos tipos diferentes de análisis de regresión. Destacando la regresión lineal y regresión múltiple.

Regresión lineal

También se llama regresión lineal simple. Establece la relación entre dos variables usando una línea recta. La regresión lineal intenta dibujar una línea que se acerque más a los datos al encontrar la pendiente y la intersección que definen la línea y minimizan los errores de regresión.

Si dos o más variables explicativas tienen una relación lineal con la variable dependiente, la regresión se denomina regresión lineal múltiple.

Muchas relaciones de datos no siguen una línea recta, por lo que los estadísticos utilizan la regresión no lineal. Los dos son similares en que ambos rastrean gráficamente una respuesta particular de un conjunto de variables. Pero los modelos no lineales son más complicados que los modelos lineales porque la función se crea a través de una serie de supuestos que pueden derivarse de prueba y error.

Regresión múltiple

Es raro que una variable dependiente se explique por una sola variable. En este caso, un analista usa regresión múltiple, que intenta explicar una variable dependiente usando más de una variable independiente. Las regresiones múltiples pueden ser lineales y no lineales.

Las regresiones múltiples se basan en el supuesto de que existe una relación lineal entre las variables dependientes e independientes. Tampoco supone una correlación importante entre las variables independientes.

Como se mencionó anteriormente, existen varias ventajas diferentes al usar el análisis de regresión. Estos modelos pueden ser utilizados por empresas y economistas para ayudar a tomar decisiones prácticas.

Una empresa no solo puede usar el análisis de regresión para comprender ciertas situaciones, como por qué las llamadas de servicio al cliente están disminuyendo, sino también para hacer predicciones a futuro, como cifras de ventas en el futuro, y tomar decisiones importantes como ventas especiales y promociones.

Algoritmos bayesianos

Este tipo de algoritmos por clasificación están basados en el teorema de Bayes y clasifican cada valor como independiente de cualquier otro. Lo que permite predecir una clase o categoría en función de un conjunto dado de características, utilizando la probabilidad.

A pesar de su simplicidad, el clasificador funciona sorprendentemente bien y se usa a menudo porque supera a los métodos de clasificación más sofisticados.

En un sentido amplio, los modelos de Naive Bayes son una clase especial de algoritmos de clasificación de Aprendizaje Automático, o Machine Learning, tal y como nos referiremos de ahora en adelante. Se basan en una técnica de clasificación estadística llamada “teorema de Bayes”.

Estos modelos son llamados algoritmos “Naive”, o “Inocentes” en español. En ellos se asume que las variables predictoras son independientes entre sí. En otras palabras, que la presencia de una cierta característica en un conjunto de datos no está en absoluto relacionada con la presencia de cualquier otra característica.

Proporcionan una manera fácil de construir modelos con un comportamiento muy bueno debido a su simplicidad.

Lo consiguen proporcionando una forma de calcular la probabilidad ‘posterior’ de que ocurra un cierto evento A, dadas algunas probabilidades de eventos ‘anteriores’.

$P(A R) = \frac{P(R A)P(A)}{P(R)}$	$\left\{ \begin{array}{l} P(A): \text{Probabilidad de A} \\ P(R A): \text{Probabilidad de que se de R dado A} \\ P(R): \text{Probabilidad de R} \\ P(A R): \text{Probabilidad posterior de que se de A dado R} \end{array} \right.$
------------------------------------	---

Ilustración II. 1 Fórmula descriptiva de relación entre probabilidad de eventos.

Algoritmo Naive Bayes Supervisado

A continuación, se listan los pasos que hay que realizar para poder utilizar el algoritmo Naive Bayes en problemas de clasificación como el mostrado en el apartado anterior.

Convertir el conjunto de datos en una tabla de frecuencias.

Crear una tabla de probabilidad calculando las correspondientes a que ocurran los diversos eventos.

La ecuación Naive Bayes se usa para calcular la probabilidad posterior de cada clase.

La clase con la probabilidad posterior más alta es el resultado de la predicción.

Los puntos fuertes principales son:

- Un manera fácil y rápida de predecir clases, para problemas de clasificación binarios y multiclase.
- En los casos en que sea apropiada una presunción de independencia, el algoritmo se comporta mejor que otros modelos de clasificación, incluso con menos datos de entrenamiento.
- El desacoplamiento de las distribuciones de características condicionales de clase significa que cada distribución puede ser estimada independientemente como si tuviera una sola dimensión. Esto ayuda con problemas derivados de la dimensionalidad y mejora el rendimiento.

Los puntos débiles principales son:

- Aunque son unos clasificadores bastante buenos, los algoritmos Naive Bayes son conocidos por ser pobres estimadores. Por ello, no se deben tomar muy en serio las probabilidades que se obtienen.
- La presunción de independencia Naive muy probablemente no reflejará cómo son los datos en el mundo real.
- Cuando el conjunto de datos de prueba tiene una característica que no ha sido observada en el conjunto de entrenamiento, el modelo le asignará una probabilidad

de cero y será inútil realizar predicciones. Uno de los principales métodos para evitar esto, es la técnica de suavizado, siendo la estimación de Laplace una de las más populares.

Algoritmos de agrupación

La agrupación es un poderoso método de aprendizaje de máquinas que implica la agrupación de puntos de datos. Con un conjunto de varios puntos de datos, los científicos de datos pueden utilizar un algoritmo de agrupación para categorizar o clasificar cada punto de datos en un grupo particular. Teóricamente, los puntos de datos presentes en el mismo grupo contienen características o propiedades similares. Por otra parte, los puntos de datos en grupos separados contienen características o propiedades muy singulares. (Datascience.eu, 2020)

La agrupación es un método de aprendizaje no supervisado y es una técnica popular entre los científicos de datos para obtener análisis estadísticos de datos en diversos campos. La gente utiliza el análisis de agrupación en la ciencia de los datos para obtener conocimientos críticos. Analizan los grupos en los que cada punto de datos cae al aplicar los algoritmos de agrupación. ¿Es usted nuevo en los algoritmos de agrupación y quiere aprender sus entresijos? Continúe leyendo este artículo ya que trata todo lo que debe saber sobre los fundamentos de los algoritmos de agrupación. (Datascience.eu, 2020)

Importancia de la agrupación

Los algoritmos de agrupación son esenciales para que los científicos de datos descubran agrupaciones innatas entre conjuntos de datos no etiquetados y etiquetados. Sorprendentemente, no hay criterios particulares para destacar una buena agrupación. Se trata de preferencias individuales, requisitos y lo que un científico de datos utiliza para satisfacer sus necesidades. (Datascience.eu, 2020)

Digamos, por ejemplo, que uno podría estar interesado en descubrir representantes de grupos homogéneos (reducción de datos), en clusters naturales y definir sus propiedades desconocidas. Algunas personas también desean encontrar objetos de datos no ordinarios y otras agrupaciones adecuadas. En cualquier caso, este algoritmo hace varias suposiciones

que constituyen similitudes entre varios puntos. Lo que, es más, cada suposición hace nuevos, pero igualmente bien fundados cúmulos. (Datascience.eu, 2020)

Métodos de agrupación

Métodos basados en la jerarquía

Los grupos creados en este procedimiento crean una estructura de árbol que representa la jerarquía. Los nuevos cúmulos que aparecen en el árbol provienen de cúmulos previamente formados. Los expertos los dividieron en las siguientes categorías:

Aglomerado

Enfoque ascendente – Cada punto de datos es un solo grupo y se fusionan continuamente (se aglomeran) hasta que todos se han fusionado progresivamente en un solo grupo. Este proceso también se conoce como HAC. (Datascience.eu, 2020)

Divisivo

Enfoque descendente – Empezando con todos los datos contenidos en un solo cúmulo, que se dividen progresivamente hasta que todos los puntos de datos están separados. (Datascience.eu, 2020)

Métodos basados en la densidad

Los métodos basados en la densidad conciben las agrupaciones como regiones más densas con algunas similitudes y diferencias en comparación con las regiones de menor densidad. Métodos como estos ofrecen una excelente precisión y pueden combinar dos cúmulos con facilidad. (Datascience.eu, 2020)

Métodos basados en la cuadrícula

Los métodos basados en cuadrículas formulan el espacio de datos en un número limitado de células que forman una estructura parecida a una cuadrícula regular. Cada operación de agrupamiento que ocurre en estas cuadrículas es independiente y rápida. (Datascience.eu, 2020)

Métodos de partición

Las técnicas de partición dividen los objetos, transformándolos en cúmulos k. Cada partición crea un cúmulo. Los científicos de datos a menudo utilizan este método para optimizar las funciones de similitud imparcial, particularmente cuando la distancia es un parámetro significativo. (Datascience.eu, 2020)

Algoritmos de árbol de decisión

Un árbol de decisión es una estructura de árbol similar a un diagrama de flujo que utiliza un método de bifurcación para ilustrar cada resultado posible de una decisión. Cada nodo dentro del árbol representa una prueba en una variable específica, y cada rama es el resultado de esa prueba. (Datascience.eu, 2020)

Algoritmos de Redes Neuronales Artificiales

Una **Red Neuronal Artificial (RNA)** comprende unidades dispuestas en una serie de capas, cada una de las cuales se conecta a las capas anexas. Las RNA se inspiran en los sistemas biológicos, como el cerebro, y en cómo procesan la información.

Por lo tanto, son esencialmente un gran número de elementos de procesamiento interconectados, que trabajan al unísono para resolver problemas específicos.

También aprenden con el ejemplo y la experiencia, y son extremadamente útiles para modelar relaciones no lineales en datos de alta dimensión, o donde la relación entre las variables de entrada es difícil de entender.

Algoritmos de reducción de dimensión

La reducción de dimensión reduce el número de variables que se consideran para encontrar la información exacta requerida.

Algoritmos de Aprendizaje Profundo

Los algoritmos de aprendizaje profundo ejecutan datos a través de varias capas de algoritmos de redes neuronales (Bengio, Courville, & Vincent, 2013).

La mayoría funciona bien en conjuntos de datos que tienen hasta unos cientos de características o columnas. Sin embargo, un conjunto de datos no estructurado, como el de una imagen, tiene una cantidad tan grande de características que este proceso se vuelve **engorroso** o completamente inviable.

Conjunto de datos (Dataset)

La llegada de tecnologías con enfoque de Inteligencia Artificial, se sustentan principalmente en la obtención de datos masiva (Berlanga, 2016). Es a este conjunto de datos a los que se le denomina Dataset o conjunto de datos. El término hace referencia a una única base de datos de origen la cual se puede relacionar con otras, cada columna del Dataset representa una variable y cada fila corresponde una observación que se requiera tratar.

Existen diferentes tipos de dataset cada uno utilizado de acuerdo a las necesidades del modelo a trabajar

- **Archivo:** es un fichero independiente en el que se almacena toda la información con la que se va a trabajar. Tiene como ventajas, la seguridad y rapidez para el trabajo con los datos, ya que siempre se explotan y se visualizan de manera local, sin embargo, la escalabilidad y conexión con otros Datasets que no están almacenados en la misma máquina se dificulta.
- **Folder:** es la suma de diferentes Datasets almacenados en una misma carpeta, los cuales están conectados entre ellos. Estos archivos deben compartir un mismo formato como puede ser .csv, .mif o dxf.
- **Bases de datos:** este tipo de Dataset puede llegarse a confundir con el archivo, pero se diferencia por su nivel de especialidad, es decir, son bases de datos con formatos específicos diseñadas para programas puntuales. Por ejemplo, las bases de datos de Oracle, las cuales solo funcionan para sus desarrollos.
- **Web:** es la compilación de datos que se almacenan dentro de un sitio web. El nombre que se le asigna por defecto a este Dataset es el correspondiente a la URL.

II.7 Hardware

II.7.1 Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una serie de ordenadores de placa reducida, ordenadores de placa única u ordenadores de placa simple (SBC) de bajo coste desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de poner en manos de las personas de todo el mundo el poder de la informática y la creación digital. Si bien el modelo original buscaba la promoción de la enseñanza de informática en las escuelas, este acabó siendo más popular de lo que se esperaba, hasta incluso vendiéndose fuera del mercado objetivo para usos como robótica. No incluye periféricos (como teclado y ratón) o carcasa.

De igual manera, algunos accesorios han sido incluidos en bastantes paquetes oficiales y no oficiales.

Aunque no se indica expresamente si es hardware libre o con derechos de marca, en su web oficial explican que disponen de contratos de distribución y venta con dos empresas, pero al mismo tiempo cualquiera puede convertirse en revendedor o redistribuidor de las tarjetas Raspberry Pi, por lo que da a entender que es un producto con propiedad registrada, manteniendo el control de la plataforma, pero permitiendo su uso libre tanto a nivel educativo como particular.

En cambio, el software sí es de código abierto, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspberry Pi OS, aunque permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10. En todas sus versiones, incluye un procesador Broadcom, memoria RAM, GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet (el primer modelo no lo tenía), 40 pines GPIO (desde la Raspberry Pi 2) y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, siendo esta en su primera versión una tarjeta SD y en ediciones posteriores una tarjeta MicroSD (Raspberrypi.org, s.f.).



Ilustración II. 2 Apariencia real de la Raspberry PI modelo 3 B+. Placa que fue propuesta para en el diseño temprano del proyecto.

Es por tanto esta serie de microcomputadores la opción ideal y discreta para fungir como puente entre la conectividad a internet y el conjunto de dispositivos electrónicos que se implementarán. La placa en su versión 3 B+ cuenta con conectividad wifi que puede facilitar ampliamente el uso de plataformas basadas en la nube. La decisión de utilizar raspberry por encima de otra placa similar es por la disponibilidad que esta tiene y la cantidad de periféricos adaptables a la misma.

II.7.2 Arduino UNO

El Arduino Uno es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino.cc. La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. La placa tiene 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B.3 Puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios. También es similar al Arduino Nano y Leonardo. El diseño de referencia de hardware se distribuye bajo una licencia Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 y está disponible en el sitio web de Arduino. Los archivos de diseño y producción para algunas versiones del hardware también están disponibles (Arduino, s.f.).

La palabra "uno" significa italiano lo mismo que en español, y se eligió para marcar el lanzamiento inicial del software Arduino. La placa Uno es la primera de una serie de placas Arduino basadas en USB, y la versión 1.0 del Arduino IDE fueron las versiones de referencia de Arduino, ahora evolucionadas a nuevas versiones. El ATmega328 en la placa viene preprogramado con un cargador de arranque que le permite cargar un nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo.

Esta placa es perfecta para realizar la conexión de sensores que permitan monitorear las diferentes condiciones ambientales de un árbol de aguacate. Otra de sus ventajas, al igual que Raspberry, es su reducido tamaño (aproximadamente 2 pulgadas de ancho por 1 de alto). Esto lo convierte en el componente electrónico ideal para incorporar dentro de recipientes capaces de proteger su integridad y facilita la comunicación con un ordenador, para el caso de este proyecto el papel de ordenador principal lo cumplirá la Raspberry Pi, previamente mencionada (Arduino, s.f. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

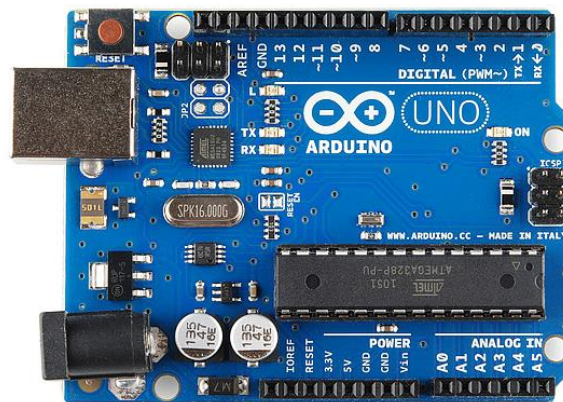


Ilustración II. 3 apariencia física de la placa programable Arduino UNO.

Arduino NANO

Arduino Nano es una placa de desarrollo de tamaño compacto, completa y compatible con protoboards, basada en el microcontrolador ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada/salida digital (de los cuales 6 pueden ser usando con PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de 16Mhz, conexión Mini-USB, terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo (Arduino, s.f.).

Posee las mismas capacidades que un Arduino UNO, tanto en potencia del microcontrolador como en conectividad, solo se ve recortado en su conector USB, conector jack de alimentación y los pines cambia un formato de pines header (Arduino, s.f.).

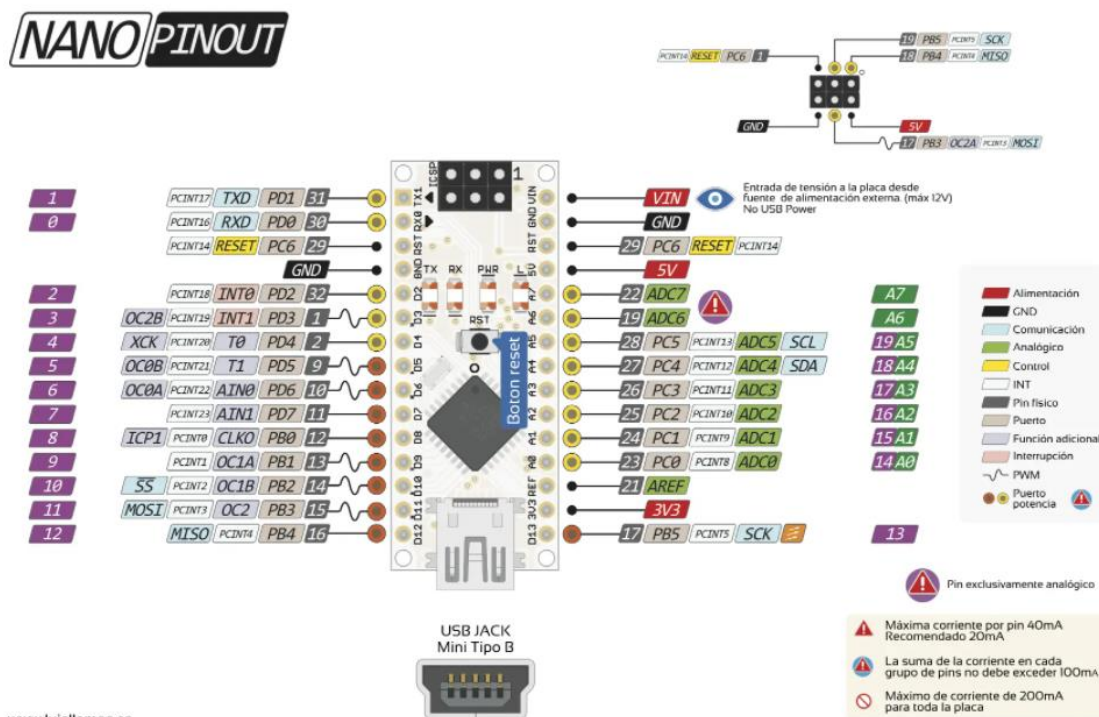


Ilustración II. 4 Pinout Arduino Nano (obtenida de <https://arduino.cl/arduino-nano>)

Como es seguro que pueda observarse en el presente trabajo, el diseño original del dispositivo incluía un Arduino UNO debido a que era el dispositivo con el que se disponía al momento de realizar los primeros diseños. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto se optó por cambiar el electrónico a su versión más reducida. Decisión justificada meramente por el claro ahorro económico, dimensiones reducidas y recursos suficientes para llevar a cabo la labor propuesta.

II.7.3 Familia de tarjetas ESP8266

Las tarjetas ESP8266 son ampliamente utilizadas en el ámbito de la Internet de las cosas (IoT) debido a su conectividad Wi-Fi integrada y su capacidad de procesamiento. Estas tarjetas ofrecen una amplia gama de opciones para la comunicación inalámbrica y son compatibles con diversas librerías y plataformas de desarrollo. (Linux y hardware de código abierto para IoT, 2016).

En comparación con otras tarjetas como Arduino, las tarjetas ESP8266 tienen una mayor capacidad de procesamiento y memoria, lo que las hace ideales para proyectos más complejos. Además, estas tarjetas son muy económicas y fáciles de encontrar en línea o en tiendas especializadas.

La mayoría de las placas de desarrollo IoT se pueden programar utilizando lenguajes de programación como C++, Python y Java. Además, se pueden utilizar herramientas de desarrollo como Arduino IDE, Eclipse y Visual Studio Code.

En cuanto a los sensores que se pueden conectar a una placa de desarrollo IoT, la elección depende del tipo de proyecto que se esté desarrollando. Algunos ejemplos de sensores comunes incluyen sensores de temperatura, humedad, luz y movimiento. También hay sensores más avanzados disponibles para proyectos más complejos, como sensores de gas y sensores de calidad del aire.

CAPÍTULO III. ESTADO DE LA TÉCNICA

III.1 Introducción

En la actualidad existen algunas aplicaciones interesantes que permiten a sus usuarios llevar una administración general del cultivo de algunos productos, incluyendo la dosificación de agroquímicos y otras cualidades interesantes tales como el contacto directo a proveedores, ventas y distribución. Sin embargo, una gran cantidad de estas aplicaciones requieren de una suscripción para poder utilizar algunos de sus módulos. También cabe resaltar que las aplicaciones consultadas son de índole principalmente administrativa y logística, es decir, se enfocan en el crecimiento empresarial de los productores. La diferencia entre las aplicaciones que se mencionarán a continuación y el presente proyecto es principalmente el enfoque, mientras que el software existente se enfoca más en el sector de mercadotecnia y logística, el presente proyecto busca impactar directamente en la salud de los consumidores y a su vez en la calidad del producto. El presente proyecto en esta etapa no tiene por objetivo crear un sistema logístico o un ERP enfocado a productos agrícolas, sino una herramienta que facilite a los usuarios un uso responsable de agroquímicos o pesticidas.

En esta etapa inicial, el presente proyecto establece una estrategia de implementación y esta no es otra que realizar un conjunto de herramientas universales para consultar desde diferentes tipos de tecnologías que soporten la comunicación HTTP. El objetivo principal es demostrar de forma aplicada todas las implicaciones que conlleva realizar este tipo de dispositivos tratando de llegar a su aplicación máxima: el desarrollo de un algoritmo inteligente capaz de predecir el comportamiento de los cultivos en tiempo real para así proporcionar al usuario información que permita tomar decisiones de manera efectiva. Se pretende que, una vez finalizada la fase de desarrollo, se obtenga el patrocinio de alguna institución de gobierno para facilitar la herramienta a la clase productora de Michoacán, preferentemente sin costo alguno, aunque este es un tema que se abordará de acuerdo a los resultados futuros del desarrollo y se considera muy pronto para dejar por establecido al momento de redactar este documento.

A continuación, se citan algunas de las principales en el mercado para visualizar las diferencias con el proyecto que plantea la presente tesis.

III.2 Agroware

Agroware integra la información administrativa y de gestión con las actividades productivas propias del campo, mejorando los controles operativos a nivel de producción y ayudando a la empresa a crecer con mayor productividad.

Este es un sistema bastante interesante, ya que cuenta con una amplia cantidad de módulos y tiene un estado de desarrollo bastante avanzado. Da la impresión de ser una herramienta bastante completa, pero al obtener solamente una demostración es evidente que el software cuenta con un costo para acceder a todas sus características. Este software cuenta además con diferentes módulos de enfoque ERP (Sistemas de planificación de recursos empresariales. Ilustración III.1).



Ilustración III. 1 Módulos ofertados en el sitio oficial <http://sistemaagricola.com.mx/el presente proyectoofware/> (Consultado el 11 de diciembre de 2019)

III.3 SMART! Fertilizer Management

SMART! es una herramienta de software que permite a cualquier agricultor dominar el manejo de la fertilización a un nivel profesional, aumentar los rendimientos de sus cultivos y ahorrar dinero.

Esta herramienta tiene un plan de suscripción anual y a su vez cada plan aplica para diferentes tipos de cultivo. A continuación, se citan los planes de suscripción anual aplicados para diferentes categorías, los costos son relativamente competitivos y muy accesibles para

el mercado actual. Las capturas de pantalla que se muestran a continuación fueron obtenidas directamente del sitio oficial. (Ilustración III.2 e Ilustración III.3)

SMART PARA CEREALES, LEGUMBRES Y PASTOS

Cuando calcule el coste de su licencia, SMART Fertilizer valora dos factores: la suscripción anual y el número de hectareas/ acres de su lote.
Al pasar de una licencia PLUS a MULTI, PREMIUM o ENTERPRISE, usted disfrutará de una larga lista de cultivos, mayor nivel de soporte y menos precio por hectaria/acre.

Una tarifa fija anual, sin hectareas, sin sorpresas

<p>PLUS</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$299</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$5 por ha (\$2 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>	<p>MULTI</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$399</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$4 por ha (\$1.6 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>	<p>PREMIUM</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$699</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$2.8 por ha (\$1.1 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>	<p>ENTERPRISE</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$1599</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$2.2 por ha (\$0.9 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>
---	--	--	--

Ilustración III. 2 Tarifa anual para cereales, legumbres y pastos.

Una tarifa fija anual, sin hectareas, sin sorpresas

<p>PLUS</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$499</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$23 por ha (\$9.3 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>	<p>MULTI</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$599</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$20 por ha (\$8 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>	<p>ENTERPRISE</p> <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; color: #4CAF50;">\$799</p> <p>Pago anual</p> <p style="font-size: small;">+\$11 por ha (\$4.4 por acre) + \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p style="background-color: #f4a460; color: white; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Empezar</p>
--	---	--

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hasta 5 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico (email) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hasta 10 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico (online) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Más de 10 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico y agrónomo ✓ Dedicado a gerentes de cuentas
---	---	--

Ilustración III. 3 Tarifa anual para Hortalizas, frutas, flores y hierbas

Una tarifa fija anual, sin hectareas, sin sorpresas

PLUS	MULTI	ENTERPRISE
<p>\$299</p> <p>Pago anual</p> <p>+ \$6.5 por ha (\$2.6 por acre)</p> <p>+ \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p>Empieza</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hasta 5 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico (email) 	<p>\$349</p> <p>Pago anual</p> <p>+ \$5.5 por ha (\$2.2 por acre)</p> <p>+ \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p>Empieza</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Hasta 10 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico (online) 	<p>\$649</p> <p>Pago anual</p> <p>+ \$3.5 por ha (\$1.4 por acre)</p> <p>+ \$0 por ha (\$0 por acre)</p> <p>Empieza</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Más de 10 opciones de cultivos ✓ Licencia anual ✓ Soporte técnico y agrónomo ✓ Dedicado a gerentes de cuentas

Ilustración III. 4 Tarifa anual para árboles y especias.

III.4 Trimble Agriculture

Se trata de un conjunto de soluciones innovadoras fáciles de utilizar que ayudan a los agricultores a conectar todos los aspectos de sus tareas agrarias para poder tomar decisiones basadas en los datos obtenidos en tiempo real y fomentar la productividad, rentabilidad y sostenibilidad.

Este software tiene un enfoque cien por ciento aplicable a agricultura de precisión y cuenta con un desarrollo avanzado que incluye diferentes tipos de gadgets para garantizar el estado óptimo de diferentes tipos de cultivo. La premisa que persigue Trimble Agriculture es la misma del presente proyecto, con la diferencia sustancial de que Agromentum busca disminuir los costos en la mayor medida posible aprovechando la tecnología IoT, sensores y las bondades de un teléfono inteligente.

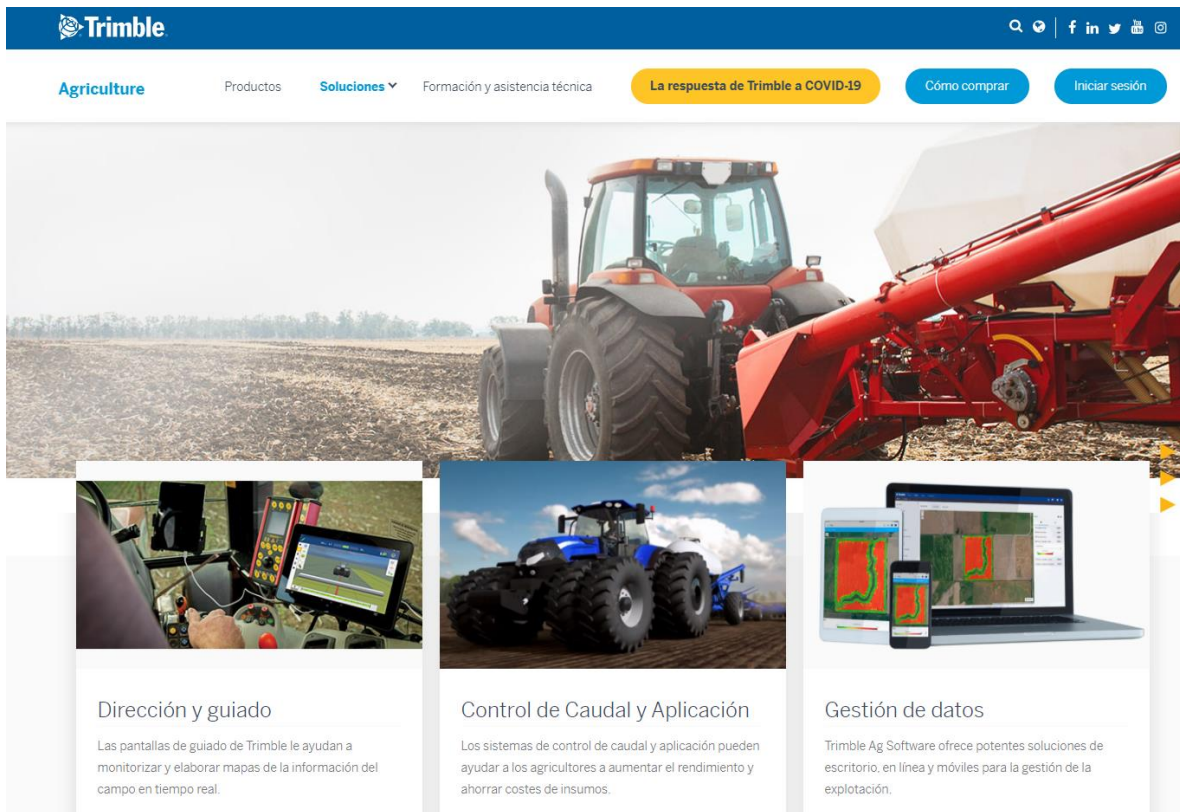


Ilustración III. 5 Sitio web de Trimble mostrando muchas de sus características disponibles.

Trimble es una opción bastante viable a nivel técnico, el factor que juega en contra es que las soluciones son en gran medida costosas y difícilmente viables para el productor promedio de la zona oriente de Michoacán. Como puede apreciarse (Ilustración III.5), el nivel de infraestructura que ofrecer Trimble va desde aplicaciones para smartphone hasta tractores avanzados.

III.5 Agrivi NDVI

La función principal de NDVI es ayudar a los agricultores a buscar anomalías en sus campos que de otro modo serían imposibles de detectar a simple vista. Utilizado principalmente en la producción de cultivos en hilera debido a la alta densidad de biomasa, el NDVI ayuda a identificar los cambios en el crecimiento de la biomasa en los campos de los agricultores. Este proyecto destaca de entre los demás por su innovación y atrevimiento al ofrecer

software de cartografía aplicable a agricultura de precisión utilizando un campo visual superior similar a la vista de cualquier aplicación de mapas.

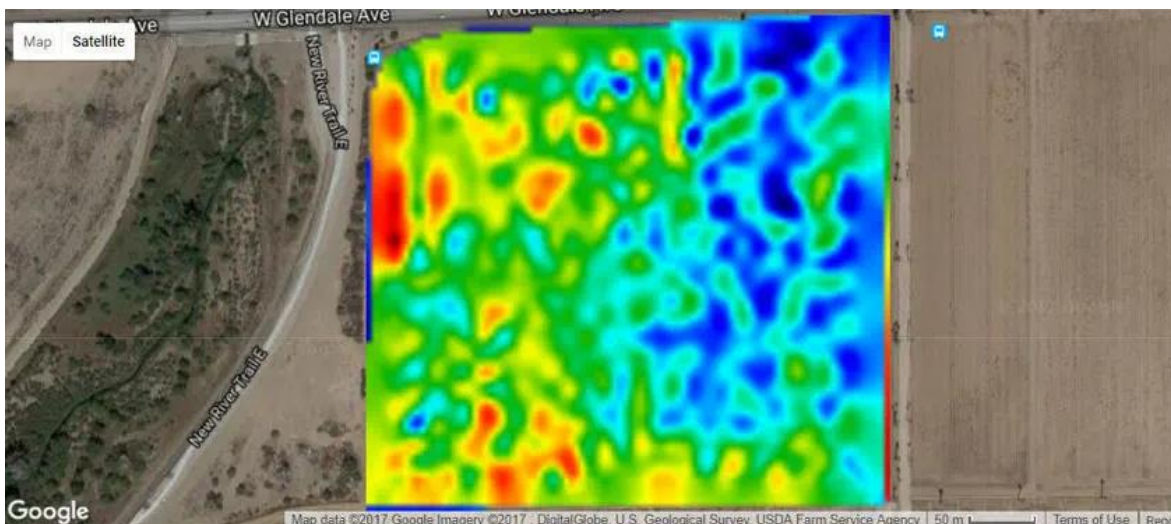


Ilustración III. 6 Vista del software en ejecución.

En la Ilustración III.6, se puede observar el software en funcionamiento, el cual se basa en la vista aérea. En el sitio del proveedor no se especifica si aprovecha la tecnología de Google Maps (como puede verse claramente en la imagen) o alguna tecnología de análisis de imagen utilizando drones. La principal función de NDVI es identificar anomalías en el cultivo como cambios en la coloración, crecimiento de biomasa, disminución en la densidad foliar, entre otras. Agrivi ofrece una versión de prueba y está disponible para todos los dispositivos, siendo la versión de Android la que pudo revisarse. La interfaz es llamativa y está disponible en todos los idiomas. Es esta idea la que en cierta forma inspira a la creación de una aplicación móvil para el presente proyecto. De todas las alternativas, podría considerarse a Agrivi como la opción más similar y factible al proyecto actual por la dinámica de combinar agricultura de precisión con tecnología accesible. La principal diferencia radica en el enfoque de cada proyecto, mientras que Agrivi apuesta más al análisis foliar desde un análisis de terreno visto desde el espacio, Agromentum centraliza sus esfuerzos en el análisis de suelos en tiempo real.

Entre las principales funciones de Agrivi se encuentran las siguientes, recabadas desde su sitio web oficial (<https://www.agrivi.com/es>).

- CRM
- Contabilidad integrada
- Gestión de contratos
- Gestión de cultivos/ganado
- Gestión de inventarios
- Gestión de precios
- Gestión de proveedores
- Gestión del trabajo
- Procesamiento de pedidos
- Trazabilidad

III.6 Riego inteligente

El riego inteligente consiste en utilizar las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para gestionar de un modo óptimo esta labor. El objetivo es hacer un uso más eficiente de los recursos de producción (agua, energía y fertilizantes). Y además de ahorrar en estos recursos, que aumente la producción. Se logra producir más con menos. (Agroline, s.f.)

La toma de decisión en el riego inteligente se apoya en la monitorización y adquisición de diferentes datos, el procesamiento de estos y la representación de esta información. (Agroline, s.f.)

Las TIC ayudan a aumentar la eficiencia hídrica, pues permite programar el riego de un modo óptimo para aprovechar el agua al máximo. Para ello se debe establecer: (Agroline, s.f.)

- El momento concreto en el que se debe regar.
- La frecuencia.
- El tiempo de riego necesario.

Para definir estos parámetros, se deben conocer las características del cultivo, la configuración de la red de riego, el clima y el suelo de las parcelas. Con estos datos ya puedes establecer el agua que necesita la planta en cada momento. (Agroline, s.f.)

La programación del riego inteligente se basa tanto en el control del funcionamiento del sistema de riego como en la distribución de la humedad en el suelo. Para esto se necesita:

- Colocar las unidades de riego de un modo homogéneo.
- Regular la presión en cabezas, unidades y laterales de riego para lograr condiciones idóneas.
- Utilizar contadores inteligentes. Estos dispositivos permiten conocer la frecuencia y el volumen de agua aplicado en cada riego.
- Instalar sondas de humedad que permitan controlar la humedad en el perfil del suelo, y sondas de succión para medir los nutrientes.
- La variable clave en el manejo del riego es el tiempo. Para controlarlo se automatiza con un programador electrónico y unas electroválvulas que mejoran la gestión y el ahorro de los costes operativos.

Instrumentos de medida de las TIC

En el riego inteligente, las TIC tienen un papel protagonista. Gracias a ellas se logra una programación óptima del riego. Las más importantes son:

- Estaciones climáticas: gracias a ellas se calculan las necesidades teóricas de la plantación.
- Sensores de humedad del suelo: permiten monitorizar los niveles de humedad del suelo.
- Caudalímetros: se monitoriza el caudal y volumen de riego.
- Logger: se trata de un sistema de recolección de información al que se conectan los equipos para enviar a la nube sus datos y consultar otros en tiempo real con cualquier dispositivo conectado a Internet. Se utiliza la tecnología GPRS.
- Software de gestión de riego: integra todos los equipos de riego y los gestiona de un modo eficiente.
- Sensores de temperatura: miden la temperatura del aire.
- Sondos de succión: miden la solución nutritiva del suelo.
- Drones: evalúan el estado del campo y sirven para tomar decisiones de riego.

El riego solar

Un ejemplo de incorporación de las TIC para aumentar la eficiencia energética es el riego con energía solar. Esta forma de aportar agua al cultivo permite disminuir los costes energéticos del riego y es una buena solución para aquellas zonas en las que no hay conexión a la red eléctrica. (Calvo, 2019)

Aunque se pueden utilizar otros tipos de energía renovable para generar la fuerza que bombee el agua hacia las unidades de riego, la energía solar es la que ofrece mayores beneficios. (Calvo, 2019)

En los proyectos de riego inteligente solar, las TIC se encargan de sincronizar la disponibilidad energética con las necesidades de riego. Es decir, los tiempos de riego se adaptan a las necesidades de cada sector en función de la irradiación disponible. Si esto se combina con los equipos de monitorización del riego, se obtiene una gestión óptima del agua y la energía. (Calvo, 2019)

La finalidad del riego inteligente es incrementar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas a la vez que se minimiza el impacto ambiental, tanto la huella hídrica como la huella de carbono. Con sistemas de riego inteligente, como el riego solar, se garantiza la sostenibilidad de la agricultura de regadío. (Calvo, 2019)

Para concluir, se debe tener en cuenta que la tendencia de riego actual apunta hacia los sistemas de riego autónomos controlados por dispositivos informáticos que tienen en cuenta una gran cantidad de datos con los que interpretar condiciones y aplicar el riego óptimo. Con ellos se logra producir más empleando menos agua, energía y tiempo. (Calvo, 2019)

III.7 LIA



Ilustración III. 7 Presentación general del proyecto LIA.

Un proyecto con similitudes al planteado en el presente trabajo fue expuesto por Rolando Moisés Hinojosa Meza, estudiante de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería en Mecatrónica del TecNM Campus Pabellón de Arteaga en un artículo científico realizado por la Sociedad Mexicana de Inteligencia Artificial (SMIA) en su Conferencia Internacional Mexicana sobre Inteligencia Artificial (MICA) Central. (Tecnológico Nacional de México, 2021) Se destaca a este proyecto dada la naturaleza que comparte con el presente. Siendo los principios electrónicos de IoT una particularidad que se tiene en común. Con ello vienen diferencias notables entre ambos proyectos a pesar de tener un enfoque similar, por ejemplo, el planteado en este trabajo se enfoca en el estudio de suelos y el análisis de información en tiempo real para múltiples usos a futuro mientras que el otro realiza una compensación de Ph basado en la temperatura (Tecnológico Nacional de México, 2021).

III.8 Estimación de costos utilizando técnicas de aprendizaje máquina

El uso de técnicas avanzadas enfocadas al ámbito de inteligencia artificial en contexto agrícola no es nuevo ni se plantea como un primer acercamiento en este trabajo. Existen autores que plantean el uso de machine learning para estimar el costo de aguacate. El autor Juan Rincón Patino redactó en su artículo "*Estimating Avocado Sales Using Machine Learning Algorithms and Weather Data*" publicado en 2018 "Se presenta un enfoque de aprendizaje automático para estimar la cantidad de unidades vendidas mensualmente y las ventas totales de aguacates Hass en varias ciudades de los Estados Unidos, utilizando datos meteorológicos y registros históricos de ventas. Para ello se evaluaron cuatro algoritmos: Regresión Lineal, Perceptrón Multicapa, Máquina de Vectores Soporte para Regresión y Modelo de Predicción de Regresión Multivariada. Los dos últimos mostraron la mejor precisión, con un coeficiente de correlación de 0,995 y 0,996, y un Error Absoluto Relativo de 7,971 y 7,812, respectivamente. Utilizando el Modelo de Predicción de Regresión Multivariante, se creó una aplicación que permite a los productores y vendedores de aguacate planificar las ventas a través de la estimación de las ganancias en dólares y la cantidad de aguacates que se podrían vender en Estados Unidos" (Patino, 2018).

Con ello, queda establecido que la propuesta de analizar las variables ambientales para estimar o predecir diferentes aspectos relacionados con el aguacate hass es un concepto que ya ha sido explorado. Por la fecha de publicación del artículo antes citado se concluye además que el concepto es relativamente reciente y el impacto que pueden llegar a tener técnicas como lo es machine learning irá en aumento en próximos años.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

Antes de entrar en profundidad en la parte metodológica en que se basa la presente tesis, es necesario presentar brevemente las partes que conforman al proyecto de integración de tecnologías IoT que se utilizará como objeto de estudio.

En primer lugar, se presenta el desarrollo físico, consistiendo en cápsulas dotadas de sensores en sus diferentes versiones (maduración del proyecto). A continuación, se incluyen los diseños, organización, distribución y conexiones de las mismas detallando la justificación y uso proporcionado para cada uno de los mismos. La tercera etapa consiste en la abstracción e interpretación de los datos para desarrollar el punto fuerte del proyecto: el modelo predictivo.

Durante la primera parte del proyecto se llevó a cabo una investigación cualitativa para determinar conceptualmente el funcionamiento del mismo. Es aquí donde se hizo el análisis de opciones y se llegó a la conclusión del uso de cápsulas plásticas de tamaño reducido que permitan a los sensores realizar su trabajo bajo tierra y soportando intemperie. Esta primera fase consistió en la revisión de opciones y alternativas en el mercado actual para cumplir con los mismos objetivos. Si bien existen dispositivos similares, la mayoría funcionan de una manera similar a un termómetro convencional, es decir, se puede realizar la medición de manera digital y proporcionar los datos, pero esto se debe hacer cada vez que se desee conocer el dato. El objetivo principal de esta etapa fue desarrollar un dispositivo capaz de generar entradas (datos) de manera automática, dependiendo en la menor medida posible de la intervención humana.

Aunque existen públicamente algunos Dataset para entrenar algoritmos como el que se plantea, se requiere estudiar en tiempo real la situación de los árboles de aguacate aplicando primeramente al alcance del proyecto, es decir, a los productores locales. Por ello la importancia de tener las cápsulas de monitoreo habilitadas y censando constantemente información tomando como objeto primordial de estudio a un solo árbol.

La segunda etapa describe de manera formal el uso del dispositivo mediante diagramas, planos y escenarios posibles. En esta etapa se describe el uso de materiales y técnicas para la distribución integra de los componentes electrónicos en un escenario no controlado. Es

aquí también donde se especifica el hardware necesario para utilizar a modo de interfaz entre los sensores (cápsula) y un servidor montado vía remota.

Finalmente, la última etapa del proyecto define todos los componentes digitales (software). Las etapas anteriores se detenían a analizar y definir el mejor hardware para el proyecto, en esta etapa se deja todo lo anterior de lado con la esperanza de que se alcance el objetivo basándose en la selección de componentes.

El desarrollo del software se plantea haciendo uso del modelo CRISP-DM, el cual proporciona una descripción normalizada del ciclo de vida de un proyecto estándar de análisis de datos, de forma análoga a como se hace en la ingeniería del software con los modelos de ciclo de vida de desarrollo de software. (Mayor, 2022)

El modelo en cuestión consta de las siguientes fases:

IV.1.1 Fase I. Comprensión del negocio

Durante esta fase se hace el análisis del mercado que se quiere abarcar, en este caso es comprender lo que se desea predecir en específico y con qué objetivo particular. Es importante definir las preguntas que desean responderse durante esta etapa.

IV.1.2 Fase II. Estudio y comprensión de los datos

La fase de entendimiento de datos comienza con la colección de datos inicial y continúa con las actividades que permiten familiarizarse con los datos, identificar los problemas de calidad, descubrir conocimiento preliminar sobre los datos, y/o descubrir subconjuntos interesantes para formar hipótesis en cuanto a la información oculta.

IV.1.3 Análisis de los datos y selección de características

La fase de preparación de datos cubre todas las actividades necesarias para construir el conjunto final de datos (los datos que se utilizarán en las herramientas de modelado) a partir de los datos en bruto iniciales. Las tareas incluyen la selección de tablas, registros y atributos, así como la transformación y la limpieza de datos para las herramientas que modelan.

IV.1.4 Fase IV. Modelado

En esta fase, se seleccionan y aplican las técnicas de modelado que sean pertinentes al problema y se calibran sus parámetros a valores óptimos. Típicamente hay varias técnicas para el mismo tipo de problema de minería de datos. Algunas técnicas tienen requerimientos específicos sobre la forma de los datos. Por lo tanto, casi siempre en cualquier proyecto se acaba volviendo a la fase de preparación de datos.

IV.1.5 Fase V. Evaluación

En esta etapa en el proyecto, se han construido uno o varios modelos que parecen alcanzar calidad suficiente desde la una perspectiva de análisis de datos.

Antes de proceder al despliegue final del modelo, es importante evaluarlo a fondo y revisar los pasos ejecutados para crearlo, comparar el modelo obtenido con los objetivos de negocio. Un objetivo clave es determinar si hay alguna cuestión importante de negocio que no haya sido considerada suficientemente. Al final de esta fase, se debería obtener una decisión sobre la aplicación de los resultados del proceso de análisis de datos.

IV.1.6 Fase VI. Despliegue (puesta en producción)

Generalmente, la creación del modelo no es el final del proyecto. Incluso si el objetivo del modelo es de aumentar el conocimiento de los datos, el conocimiento obtenido tendrá que organizarse y presentarse para que el cliente pueda usarlo. Dependiendo de los requisitos, la fase de desarrollo puede ser tan simple como la generación de un informe o tan compleja como la realización periódica y quizás automatizada de un proceso de análisis de datos en la organización. Es durante esta etapa que se aborda el objetivo de una entrega más formal de la información, esto se logra mediante una API que se comunica entre diferentes dispositivos mediante el protocolo HTTP, siendo la base una versión web para el navegador.

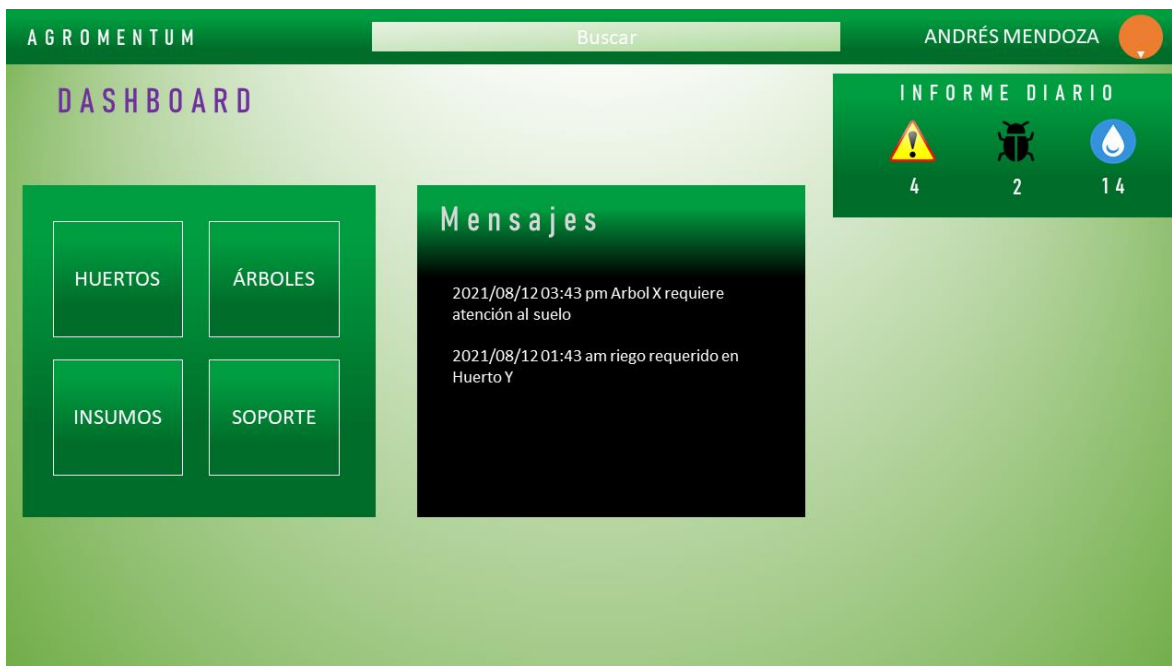


Ilustración IV. 1 Una API bien implementada puede llevar al desarrollo de interfaces amigables y entendibles para todos los usuarios como se ejemplifica. Garantizando la compatibilidad del protocolo HTTP, el cual resulta universal para la mayoría de las tecnologías vigentes hoy en día y tentativamente, vigentes en el futuro a mediano plazo.

Como puede observarse en la Ilustración IV.1 el objetivo final de implementación es ofrecer un producto altamente intuitivo, fácil de entender y acceder. Si se analiza de cerca la interfaz resulta en un sitio con pocos botones, íconos claros y un log de mensajes en tiempo real que proporciona información clara a un usuario poco experimentado con sistemas computacionales para que este sea capaz de llevar a cabo una toma de decisiones basadas en datos certeros.

IV.2 Proyecto demostrativo utilizando tecnologías IoT

El estudio de suelos resulta indispensable para determinar una “comunicación” directa a las necesidades de cualquier planta. Por tanto, la propuesta ha sido construir un prototipo que consiste en una cápsula lo más hermética posible dotada de una amplia cantidad de sensores para analizar en tiempo real el estatus actual del suelo.

Entre los factores destacados para analizar están:


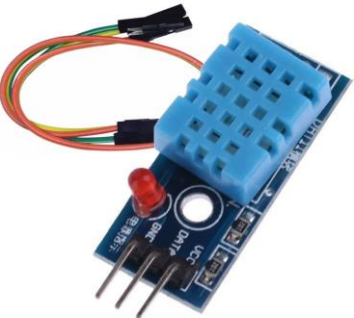
- Temperatura exterior
- Nivel de acidez del suelo (Ph)
- Humedad
- Luminosidad

El objetivo principal del diseño en formato de cápsula es justamente emular el comportamiento de una computadora de escritorio armada, es decir, un dispositivo que permita la modificación en un futuro para agregar nuevos sensores o conexiones.

IV.3 Sensores

Para cumplir con los parámetros establecidos se presenta la siguiente tabla (Tabla 1) de sensores y la justificación de su uso:

Tabla 1 Sensores y especificaciones

Sensor	Justificación
 <p>Sensor de PH E201-BNC + Modulo Controlador PH-4502C</p>	<p>La acidez del suelo es un factor importante que influye directamente en el rendimiento de una planta (en este caso, árbol de aguacate). Es por tanto importante monitorear el nivel de acidez en la tierra para así determinar y sugerir la aplicación de sustancias para incrementar o decrementar el nivel del mismo.</p>
	<p>La temperatura y humedad del aire son dos factores clave que determinan el correcto crecimiento de una planta. Es por eso que no en cualquier lugar se puede iniciar un cultivo y esperar que este llegue a su máximo rendimiento dado que las características climatológicas varían de ubicación a ubicación. Con este sensor se</p>

<p>Sensor de temperatura y humedad DHT11</p>	<p>puede determinar la temperatura y analizar si está cumpliendo con la media establecida para cierto tipo de árbol.</p>
 <p>Módulo sensor de humedad de tierra (Higrómetro) YL-69</p>	<p>Con la finalidad de obtener información mucho más precisa, este módulo permite a la cápsula conocer en tiempo real el estatus de la humedad del suelo. Como puede hacerse notar, este dispositivo consiste en dos terminales puntiagudas las cuales se insertan en el espacio muestral para determinar la humedad del sitio.</p>
 <p>Módulo sensor de intensidad luminosa Gy-302</p>	<p>Con este sensor es posible verificar que la iluminación que se recibe es adecuada. Probablemente no sea demasiado útil en un árbol maduro, pero ayudará a sensar y determinar la influencia de la luz en el correcto desempeño de un árbol productor</p>
 <p>Módulo GSM sim800 con antena</p>	<p>La conectividad ha sido uno de los mayores desafíos a los que este proyecto se ha enfrentado. Originalmente se pretendía transmitir las señales por cableado subterráneo hasta una computadora central. Sin embargo, gracias a las tecnologías inalámbricas, por cuestiones de costo y factibilidad, un módulo de red GSM puede resultar más viable. Aún está en fases de experimentación.</p>

IV.4 Construcción de prototipo

El prototipo consiste en un conjunto de sensores preparados y organizados mediante una carcasa de plástico casera. El primer prototipo, carece completamente de una carcasa y consiste solamente en la conexión de los distintos sensores a una protoboard que a su vez interactúa con un Arduino UNO conectado a un equipo de cómputo. Para este primer ejercicio se utiliza un equipo de cómputo convencional principalmente debido a comodidad en el montaje y ajuste. El plan es a futuro conectarlo todo a una computadora de bajas dimensiones como la Raspberry PI modelo 3B+ o la Orange PI Zero, ambas computadoras con todo lo que se necesita para transmitir señales vía internet.

El segundo prototipo consiste en un conjunto de recipientes simulando la carcasa cónica del mismo y distribuyendo los sensores para efectuar su capacidad de estar bajo tierra y analizar las condiciones ambientales de la planta. Esta segunda versión del prototipo es la utilizada principalmente para realizar pruebas en ambiente controlado. Por cuestiones de presupuesto, no es totalmente hermética y el objetivo de la carcasa no es otro más que ordenar los componentes y presentar el sistema funcional para determinar su comportamiento.

Una tercera versión está planeada mediante impresión 3D y el uso de herramientas especializadas y asesoradas por especialistas para determinar la forma definitiva de la cápsula y dotarla de la resistencia a la intemperie necesaria para que pueda permanecer semienterrada con el mínimo riesgo de avería o fallos por condiciones ambientales poco favorables. Esta tercera versión, a modo de prototipo resulta cara de fabricar ya que requiere de un diseño industrial bastante específico y pensado en una posible comercialización a futuro. Es, por tanto, necesario que este proyecto se lleve a cabo de la mejor manera posible y se fabrique con los materiales adecuados y/o recomendados por expertos en la materia.

IV.5 Diseños y maquetado

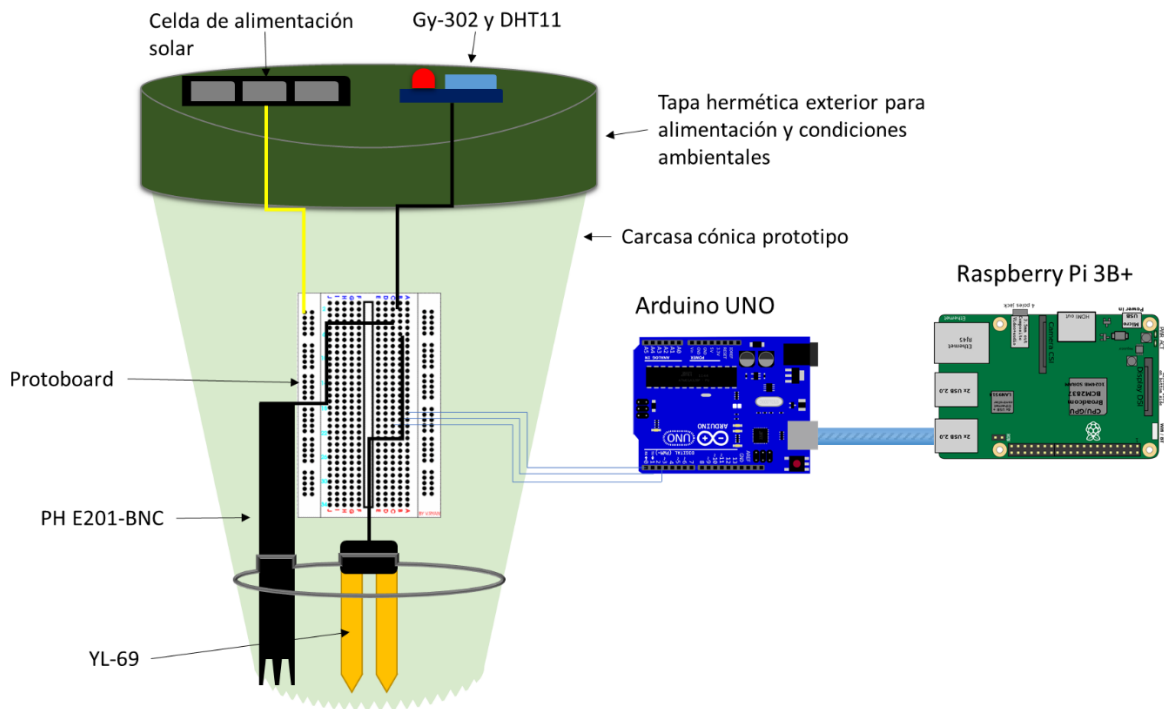


Ilustración IV. 2 Primer diseño general de prototipo de cápsula de monitoreo.

El diseño básico consiste en una carcasa cónica fabricada de plástico con unos pequeños dientes tipo sierra en la parte inferior para poder incrustarse en la tierra dejando expuesta la tapa superior y nivelando el nivel de tierra adecuado para su análisis por el higrómetro y el medidor de PH E201-BNC. La tapa es hermética y tiene el objetivo de incluir en si todos los sensores externos. Es decir: sensor de temperatura y humedad (DHT11), módulo sensor de intensidad luminosa Gy-302 y una pequeña celda solar que tiene el objetivo de energizar a todos los sensores para así aligerar un poco la carga del Arduino UNO (Ilustración IV.2).

La tapa cuenta con un empaque y recubrimiento plástico para alargar la vida útil de los sensores protegiendo el cableado y las terminales con una capa de silicona adicional.



Ilustración IV. 3 Este tipo de manguera se preparaba para proteger el cableado entre los sensores y su placa concentradora. Material necesario para proteger cableado pero omitido en favor de las tecnologías inalámbricas (Wifi y datos móviles)

El cableado está siendo protegido mediante manguera eléctrica para intemperie, haciendo así que los cables puedan viajar con mayor seguridad (Ilustración IV.3). Se recomienda que el cableado no exceda los 30 metros de longitud entre las capsulas y la terminal por cuestiones de rendimiento en trasmisión de datos.

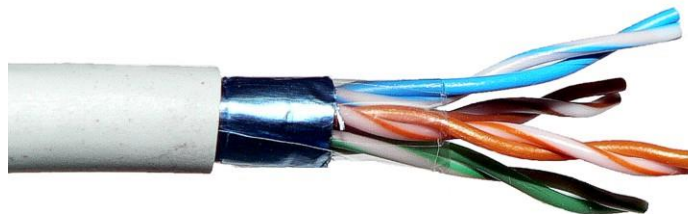


Ilustración IV. 4 Apariencia física del cable de par trenzado con recubrimiento que evita interferencias no deseadas.

Para interconectar los diferentes componentes se utiliza cable de par trenzado blindado, el cual además de contar con una pantalla protectora en cada par tiene una lámina externa de aluminio diseñada para la absorción de ruido eléctrico (Ilustración IV.4).

IV.6 Variables obtenidas

Como se ha comentado previamente, los datos a analizar no se obtienen directamente de la planta sino más bien de su entorno. Es decir, se busca descubrir el comportamiento en base al contexto en el que se ha plantado, esto incluye: niveles de acidez en el suelo, temperatura, humedad e iluminación.

Cada una de las propiedades antes mencionadas está estrechamente relacionada a cada uno de los sensores comentados al principio de este capítulo.

Las variables consideradas se obtienen de dos fuentes distintas; las primeras son directamente censadas en tiempo real junto con el encapsulado; las segundas se obtienen mediante información global externa de diferentes fuentes y se utilizan para fortalecer los datos obtenidos mediante la capsula, para hacer uso de ellas es necesario implementar ciertas API, algunas gratuitas otras requieren de un pago. A continuación, se listan las variables locales y externas consideradas para un primer prototipo.

VARIABLES LOCALES

- Temperatura
- Humedad
- Índice de acidez
- Iluminación

VARIABLES EXTERNAS

- Tiempo
- Probabilidad de precipitación
- Altura del suelo con respecto al nivel del mar
- Predicción futura del tiempo

CAPÍTULO V. RESULTADOS

V.1 Introducción

El uso de tecnologías IoT en cualquier ámbito cotidiano facilitará ampliamente cualquier proceso. En el caso de la agricultura y específicamente en el área del cultivo de aguacate, pueden encontrarse una cantidad inmensa de beneficios. En este trabajo se plantea un dispositivo capaz de realizar y registrar mediciones básicas con un enfoque totalmente autosustentable, dependiendo completamente del sol para funcionar y una red de cobertura amplia 3G ahondado a eso, hay una pregunta con la que se facilita la discusión respecto a la propuesta original presentada: ¿Se ha elegido la mejor tecnología en la cápsula?

La respuesta a la anterior pregunta es muy sencilla: no.

Sin duda alguna, un proyecto de este tipo merece recibir componentes de primer nivel para poder llevar a cabo pruebas de campo en condiciones extremas en un sentido comercial. En un sentido de prototipo, la demostración es clara y aunque los distintos sensores pudiesen parecer insuficientes para llevar a cabo un estudio de suelos avanzados, la realidad es que proporcionan la suficiente información para justificar el título del trabajo.

V.2. Software

V.2.1 Estrategia de obtención y registro de datos inalámbricos

Mediante el uso del módulo GSM y utilizando un chip GSM de la compañía Telcel, se comprobó que es altamente eficiente el envío de datos vía satelital. Este módulo originalmente no se planteó para el proyecto, como se ha comentado en capítulos anteriores, la primera propuesta era aprovechar un dispositivo Raspberry Pi con Wifi, de ahí la idea evolucionó a un Arduino con módulo Wifi y finalmente se optó por el chip GSM.

En este punto, hay que considerar que dependiendo del país pueden aplicar diferentes tarifas por acceso a la red de internet móvil. En el caso de México, se listan algunas de las características que fueron necesarias para facilitar la comunicación (Tabla 2):

Tabla 2 Descripción del paquete de datos móviles utilizado por el sensor

Característica	Valor
Protocolo de conexión	3G
Plan de datos adquirido	Internet Amigo 150
Duración	26 días
Límite de datos móviles incluidos	2.5 GB
Disponibilidad	México/E.U.A./Canadá

Este paquete resultó ser más que suficiente para facilitar la comunicación. La cantidad de datos incluidos facilitó que se pudiesen enviar mediciones en lapsos de tiempo de hasta 5 segundos. Una vez creado el puente, el único reto fue obtener las mediciones de los sensores y establecer un tiempo considerable para poder realizar el análisis de los datos. Estos a su vez, eran enviados a un servidor HTTP mediante peticiones GET. Las cuales podrían aparentar vulnerabilidad, pero al ser un dispositivo semi-embebido, por decirlo de alguna manera, la comunicación queda totalmente dentro de la tarjeta Arduino.

La estrategia funciona y es clave para la evolución de este proyecto, sin embargo, es requerido someter a un estudio profundo la factibilidad en cuanto al tiempo de registro y ubicación de la cápsula una vez que esta sea fabricada para su uso en exteriores.

V.2.2 Topología y metodología de comunicaciones

La propuesta original incluía una configuración considerable de cableado, la cual debía buscarse el modo de optimizar y proteger al entrar en contacto con un entorno exterior mucho más agresivo que el entorno de pruebas. El reto no era ya siquiera la protección del cableado sino el alcance efectivo del mismo y la optimización en las conexiones ya que cada cápsula del prototipo original requería de su propio cableado para conectarla a la raspberry o al dispositivo concentrador que se terminara utilizando. Gracias al uso de Arduino NANO y del módulo de conexión inalámbrica ya no es necesario si quiera conectar las cápsulas, ya

que ahora se alimentan mediante una batería de 2500 mAh, la cual le da una autonomía suficiente al Arduino NANO para estar monitoreando todo el día y noche. (Ilustración V.1)



Ilustración V. 1 Power Bank de 6000 mAh con puertos USB y salidas de 5V. Ideal para experimentos con energía autónoma.

Esta batería puede ser recargada mediante corriente alterna con un cable Micro USB o bien puede alimentarse de una pequeña celda solar. Estos últimos componentes no se han probado completamente en ambientes exteriores, pero se espera que sea uno de los aspectos funcionales más sobresalientes del dispositivo: su capacidad de autonomía. (Ilustración V. 2)



Ilustración V. 2 Diseño demostrativo del dispositivo aprovechando la energía solar para sondear un árbol de aguacate y comunicándose en tiempo real.

V.2.3 Modelo de datos relacional

En este caso, se hace uso de una base de datos que utiliza el gestor MariaDB y el motor InnoDB para almacenar todo el conjunto de variables obtenidas mediante los sensores.

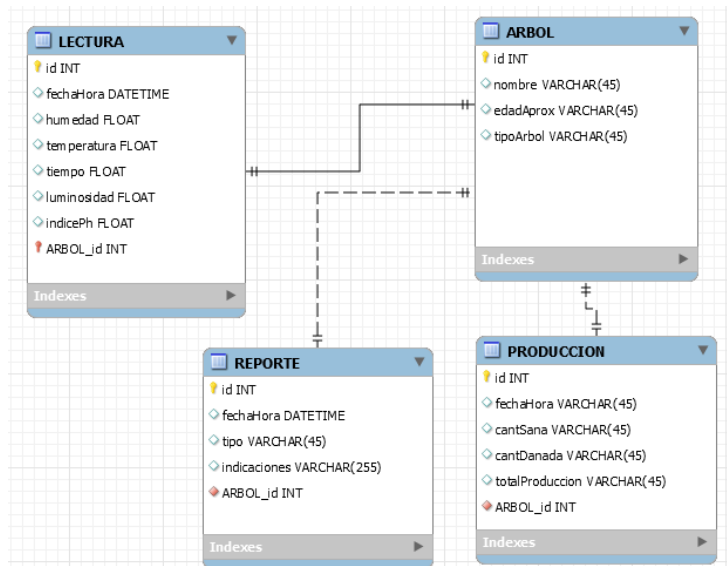


Ilustración V. 3 Diagrama Entidad-Relación que describe la construcción de un Dataset consultable.

Como se muestra en el Diagrama Entidad-Relación (Ilustración V.3), el modelo consume una pequeña base de datos, siendo los reportes totalmente discriminados para realizar predicciones. Por otra parte, los datos de producción y ambientales registrados por los sensores son considerados como variables predictivas del modelo predictivo.

Los registros se almacenan en un formato tipo Excel. El tiempo planteado para recolección de datos se establece cada cinco minutos para así tener registros más realistas y acordes a una variación considerable que si bien, en un principio pudiera parecer pequeña de dejar el dispositivo en funcionamiento por meses acumularía una cantidad de información tan grande que más temprano que tarde requerirá una migración de servidores locales a servidores especializados como bien pudiesen ser los de Amazon Web Services o Microsoft Azure. El único detalle con este tipo de dataset es el hecho de que trabaja en función del tiempo operativo. Es decir, para poder llevar a cabo predicciones más estables es necesario que el modelo se encuentre operativo por al menos dos años (La Huertina De Toni. 3 test caseros para conocer la salud del suelo en tu huerto, 2021). Solo así pudiese obtenerse una cantidad de datos considerablemente grande para obtener resultados más certeros.

Al tratarse de un modelo generado a partir de un algoritmo de aprendizaje máquina, mientras más información se esté registrando en el dataset (Ilustración V.4), en principio, se deberá tener resultados de predicción más precisos.

Fecha	Hora	Estación del año	Tiempo meteorológico	Temperatura de la tierra	Acidez	Humedad	Luminosidad
28/05/2021	07:00 a.m.	Primavera	Nublado	18	5.8	0.35	0.76
28/05/2021	02:00 p.m.	Primavera	Nublado	17	5.2	0.36	0.75
28/05/2021	09:00 p.m.	Primavera	Poco nublado	18	5.3	0.25	0.82
29/05/2021	07:00 a.m.	Primavera	Soleado	18	5.8	0.12	0.95
29/05/2021	02:00 p.m.	Primavera	Soleado	16	6	0.12	0.96
29/05/2021	09:00 p.m.	Primavera	Lluvioso	16	5.1	0.79	0.3
30/05/2021	07:00 a.m.	Primavera	Soleado	16	4.2	0.23	0.96
30/05/2021	02:00 p.m.	Primavera	Soleado	17	4.9	0.12	0.99
30/05/2021	09:00 p.m.	Primavera	Soleado	17	5.2	0.09	0.96
31/05/2021	07:00 a.m.	Primavera	Nublado	16	5.2	0.29	0.8
31/05/2021	02:00 p.m.	Primavera	Poco nublado	17	5.3	0.2	0.89
31/05/2021	02:00 p.m.	Primavera	Poco nublado	17	5.3	0.2	0.89

Ilustración V. 4 Los datos obtenidos por el dataset pueden ser potenciados e interpretados gracias al uso de una hoja de cálculo como lo es Microsoft Excel.

V.2.4 Modelo de aprendizaje

El modelo predictivo utiliza el algoritmo de regresión logística centrándose de momento en predecir los niveles de acidez del suelo para así permitir al usuario anticiparse y adquirir los nutrientes que hagan falta para devolver su fertilidad.

La regresión logística es un modelo estadístico que se utiliza para analizar la relación entre una variable dependiente binaria y una o más variables independientes. En el caso del análisis de suelo y árboles de aguacate en Michoacán, México, la regresión logística podría ser una buena opción si se desea predecir la probabilidad de que un árbol de aguacate crezca en un tipo específico de suelo. La regresión logística también puede ayudar a identificar las variables independientes que tienen el mayor impacto en la probabilidad de crecimiento del árbol.

Tabla 3 Evaluación final entre ventajas de las técnicas de Regresión Lineal y Regresión Logística para justificar la decisión del uso de esta última.

Técnicas propuestas	Ventajas
Regresión lineal	<ul style="list-style-type: none">- Es fácil de entender y explicar- Es útil para predecir valores futuros- Identifica la relación entre las variables independientes y la variable dependiente
Regresión logística	<ul style="list-style-type: none">- Es útil para predecir la probabilidad de que ocurra un evento- Identifica la relación entre las variables independientes y la variable dependiente

La decisión del uso de modelos de regresión y específicamente del uso de un modelo de regresión logística se sustenta directamente en el enfoque que ofrece cada técnica (Tabla 3). Particularmente en el hecho de calcular posibles eventos, por ejemplo: determinar la mejor hora del día para optimizar el riego.

Los ejemplos que se enlistan a continuación son extractos obtenidos del código que utiliza regresión lineal correspondiendo a los datos obtenidos del dataset generado a través del monitoreo de las variables capturadas por los sensores. (Anexo 1).

Por lo que se puede inferir en el código del anexo 1, al parecer los ejemplos de la matriz de confusión corresponden a los datos obtenidos del dataset generado a partir del 'sensado' de las variables capturadas por los sensores

Ejemplo 1

[[20 5]

[3 22]]

Precisión del modelo: 0.8666666666666667

En este ejemplo, la matriz de confusión muestra que el modelo predijo correctamente 20 casos negativos y 22 casos positivos, pero se equivocó en 5 casos negativos y 3 casos positivos. La precisión del modelo es del 86.67%.

Ejemplo 2

[[23 2]

[6 19]]

Precisión del modelo: 0.8333333333333334

En este segundo ejemplo, la matriz de confusión muestra que el modelo predijo correctamente 23 casos negativos y 19 casos positivos, pero se equivocó en 2 casos negativos y 6 casos positivos. La precisión del modelo es del 83.33%.

La precisión del modelo indica qué tan bien el modelo puede predecir la variable dependiente (en este caso, la cantidad de riego necesaria para un árbol de aguacate) en función de las variables independientes (Humedad del aire, Humedad del suelo,

Temperatura del suelo, Temperatura del aire, Índice de Ph del suelo, Luminosidad, Hora del día y Clima del día).

En términos simples, una precisión del 100% significaría que el modelo puede predecir con precisión la cantidad de riego necesaria para un árbol de aguacate en función de las variables independientes. Sin embargo, esto es poco probable en la práctica debido a la variabilidad natural en los datos y debe ser entrenado con condiciones ambientales y tiempos totalmente diversos e incluso adversos a los óptimos, por ejemplo, en regiones fuera de Michoacán donde la relativa facilidad para producir aguacate puede resultar mucho menor.

En este caso, una precisión del 86.67% significa que el modelo puede predecir con precisión la cantidad de riego necesaria para un árbol de aguacate en función de las variables independientes aproximadamente el 87% del tiempo. Esto es una buena indicación de que el modelo es útil para predecir la cantidad de riego necesaria para un árbol de aguacate en función de las variables independientes.

Hace falta un proceso de pruebas a largo plazo para poder interpretar de manera más adecuada los datos obtenidos. Como nota, es necesario y conveniente incluir un sensor de nitrógeno que no fue considerado en las fases iniciales del proyecto, el nitrógeno puede resultar esencial para su posterior análisis. De momento se obtienen y registran lecturas en base de datos de manera remota mediante el prototipo en una única cápsula construida con un Arduino UNO.

Las lecturas se obtienen de una forma mucho más eficiente gracias a el uso de una red inalámbrica, haciendo que además se abaraten considerablemente los costos de producción y mantenimiento al ignorar por completo los sistemas cableados.

V.3 Hardware

V.3.1 Comparativa entre trabajo humano y medición digital

El método gravimétrico es un método directo para medir la humedad del suelo. Este método consiste en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad.

Por otro lado, el sensor DHT11 es un sensor digital que se utiliza para medir la temperatura y la humedad del aire. Una de las ventajas que nos ofrece el DHT11 es que es digital. A diferencia de sensores como el LM35, este sensor utiliza un pin digital para enviar la información y, por lo tanto, está más protegido frente al ruido.

La diferencia fundamental entre un estudio gravimétrico y el uso de un sensor (DHT11 para el caso del proyecto que se ejemplifica) es la misma que aplica para cualquier otro rubro que implementa tecnología informática: una capacidad de cálculo superior. Es decir, los tiempos de obtención de un solo dato por métodos humanos son ampliamente superados por el uso de sensores. Y para comprobar, solo se han tomado en cuenta las mediciones de uno solo de los elementos que conforman el proyecto (ver Tabla 4).

Tabla 4 Tabla comparativa entre un estudio para obtención de humedad por método gravimétrico y el uso combinado de un sensor DHT11 comunicándose de manera inalámbrica por GSM.

	Obtención humana (Método gravimétrico)	DHT11 + Sensor GSM
Toma de muestra (perfil m³)	3 horas	Sin tiempo, el dispositivo convive directamente con la tierra
Registro de peso antes de desecado	10 minutos	No es necesario
Registro de peso después de desecado	10 minutos	No es necesario

Evaluación e impresión de resultados	2 horas	0.2 segundo
RESULTADO COMPARATIVA DE	<p>El uso de sensores combinados es un 360,000% más rápido que cualquier método humano, además de presentar grandes ventajas como el monitoreo constante sin necesidad de retirar la tierra.</p> <p>Siendo imparciales, también hay desventajas como el riesgo de una exposición de la circuitería directamente a la humedad, la caducidad de los componentes, la disponibilidad de la red satelital.</p>	

V.3.2 Artefacto propuesto

La cápsula reportada como tal carece de una carcasa cónica y es por lo tanto susceptible a la intemperie y otras amenazas comunes del exterior. Sin embargo, es útil para recopilar datos en un entorno controlado y con el avance del proyecto se concluyó que el diseño del dispositivo final es todo un reto en cuanto a diseño industrial se refiere y posiblemente pueda derivar en un subproyecto independiente.

Uno de los inconvenientes detectados se relaciona con el sensor de pH, el cual requiere ser limpiado constantemente con agua destilada para proporcionar resultados óptimos de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Esto implica cambios considerables en el diseño final e incluso se sugiere la implementación de un compartimento para agua destilada que sea capaz de limpiar el sensor (Ilustración V.5). Ignorando este detalle, en ambiente controlado los datos obtenidos por todos los sensores son confiables, esto se pudo comprobar con sensores individuales que realizan la misma función.

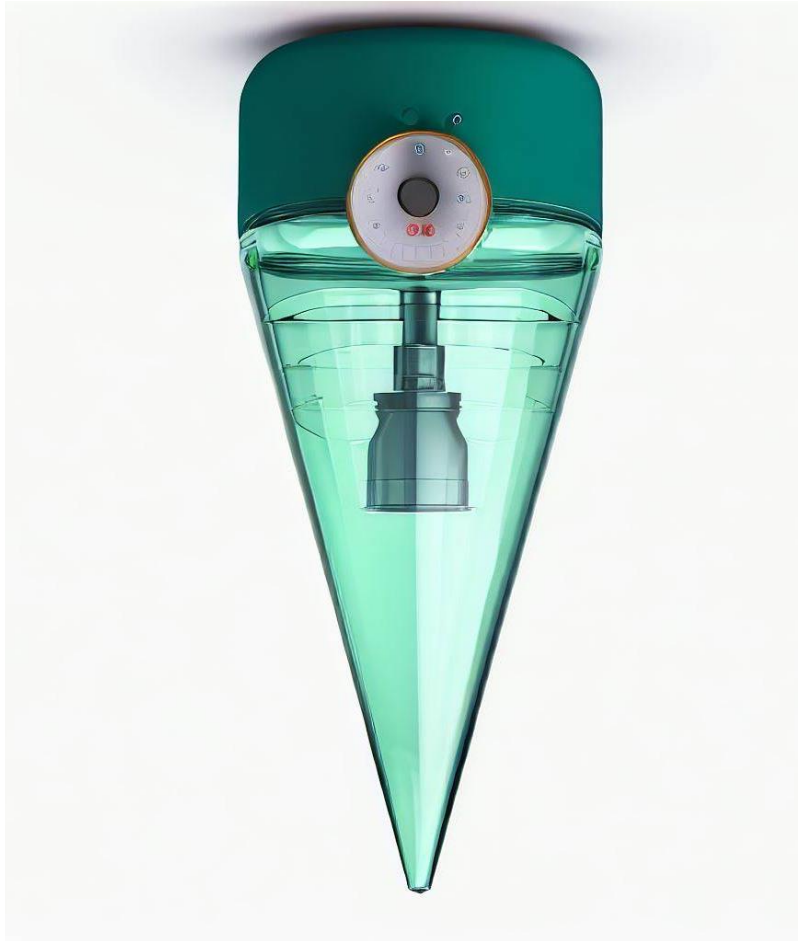


Ilustración V. 5 Diseño conceptual de la cápsula en una hipotética versión futurista que permite mantener limpio el sensor de pH.

El mayor cambio con respecto a la propuesta original es el uso de un Arduino NANO en lugar de un Arduino UNO como microcontrolador, este último es casi 3 veces más económico y mucho más pequeño, haciendo posible que pueda ir embebido en el circuito principal sin necesidad de conexiones cableadas. (Ilustración V.6).

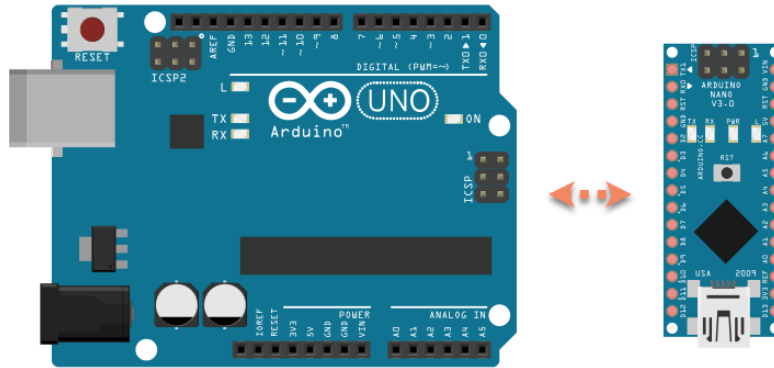


Ilustración V. 6 Comparativa en tamaño entre Arduino UNO(Izquierda) y Arduino NANO(Derecha)

Se suprimió por completo el uso de un microordenador para procesar los datos, cuya función era realizada originalmente por una Raspberry Pi 3 B+. Esta decisión fue tomada en base a que, en un contexto realista, una Raspberry carece de poder para fungir como servidor en condiciones óptimas en una huerta completa, por ejemplo. En su lugar se optó por la incorporación de una interfaz de conexión inalámbrica basada en una red satelital global (GSM) y un servidor corriendo con Ubuntu Server como sistema operativo y características para el tratamiento de datos de alta velocidad gracias a la instalación del Sistema Gestor De Base de Datos (SGBD) en una unidad de estado sólido dedicada.

V.3.3 Diagramas de conexiones

En los diagramas presentados a continuación se demuestra la idea original del proyecto propuesto mediante tecnologías IoT. Durante el desarrollo se fue modificando y readaptando hacia tecnologías más viables o alternativas. Originalmente, se utilizaba Arduino UNO y una Raspberry PI 3B+ como hardware de análisis. Sin embargo, la decisión de reemplazar la Raspberry PI por cómputo directamente procesado en la nube recaerá ante todas las ventajas que esta ofrece (Ilustración V.7).

Diagrama de conexiones

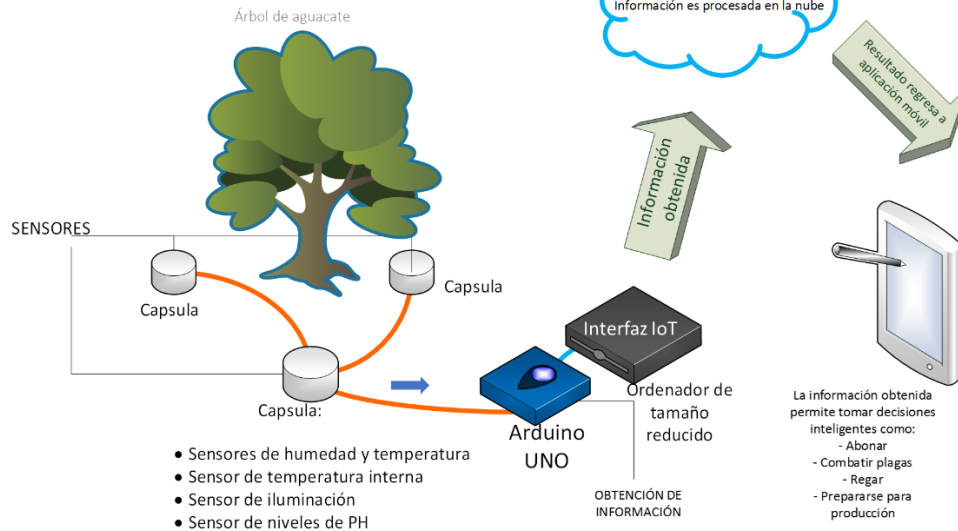


Ilustración V. 7 Diagrama original de conexiones.

No solo es una reducción considerable en espacio y logística de datos, sino que resta por completo la dependencia de proteger una pieza de hardware. Realizando un breve ejercicio demostrativo, el uso de una Raspberry PI implícito en una cápsula supondría un riesgo adicional puesto que este deberá ser protegido de daños a la intemperie, garantizar que la energía será suficiente para alimentarle y sobre todo, disminuye considerablemente el costo de producción, siendo la reducción más considerable en cuanto a implicaciones de costo.

A continuación, una tabla comparativa entre el costo en pesos mexicanos de la propuesta original y el rediseño (Tabla 5):

Tabla 5 Comparativa de implicación en costos de producción de un prototipo.

	Original	Revisión
Arduino	Modelo UNO (\$500)	Modelo NANO (\$200)
Raspberry PI	Modelo 3B+ (\$1,100)	Se omite (\$0.00)
DTH11	\$63	\$63
Banco de energía solar	No incluido	\$300
Sensor de Ph con Electrodo	\$700	\$700

Sensor de humedad de tierra	\$70	\$70
LED's, cables, soldadura	\$50	\$10
Fabricación de carcasa (costo unitario)	\$2,000	\$700
Modulo SIM900	No incluido	\$800
TOTAL	\$4,483 MXN	\$2,843 MXN

Analizando los totales, la mejora es muy considerable solo por cambiar uno solo de los componentes. Inclusive, el ahorro permitió dotar al prototipo de nuevos sensores y componentes experimentales, entre ellos la inclusión de un módulo SIM900 que omite la necesidad de contar con una red wifi en una zona rural con acceso limitado a compañías de telecomunicaciones.

V.3.4 Implementación de Hardware

La incorporación del conjunto de sensores se llevó a cabo en una placa prototipo conectada de manera simple para facilitar las pruebas, reconexiones y modificaciones en caso de ser necesario.

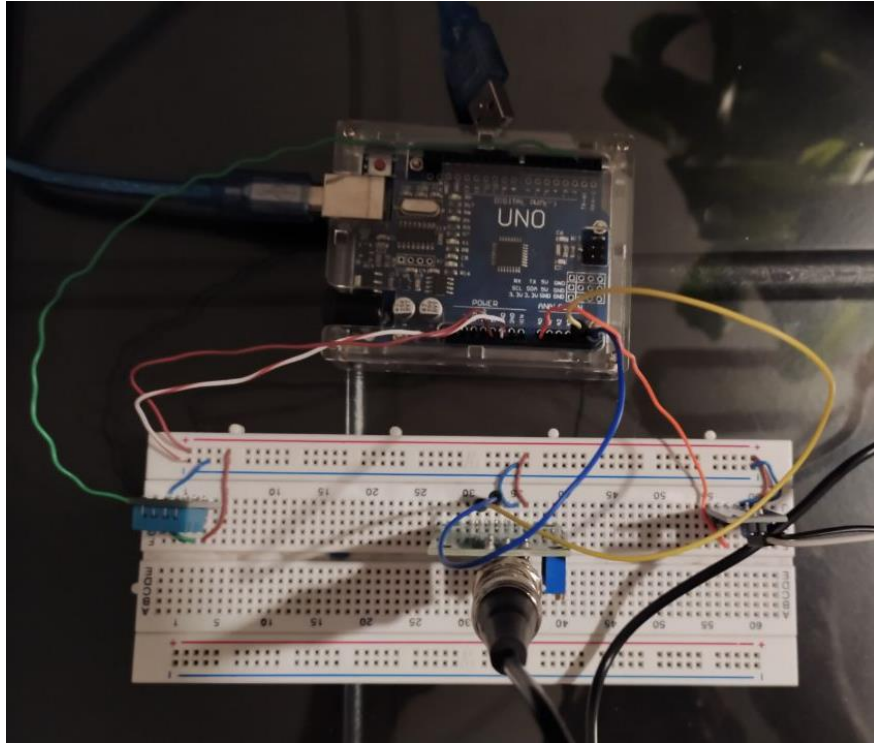


Ilustración V. 8 Vista superior del proyecto con los sensores incorporados, sin wifi.

En la Ilustración V.8 se puede observar ver la conexión de los sensores. Esta conexión fue optimizada para requerir del menor número de cables posibles y hacer más comprensible y fácil de replicar el proyecto. Para mayor claridad, en la Ilustración V.9 no se incluye el módulo de wifi ni la fuente de carga solar.

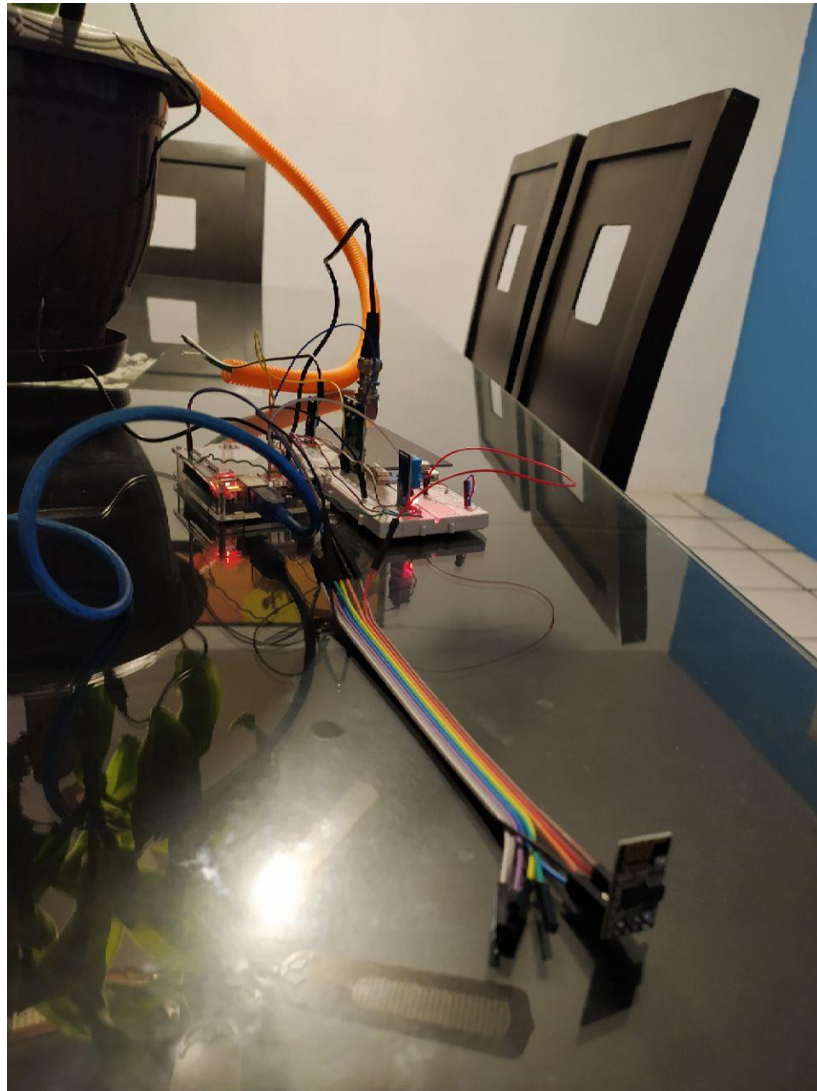


Ilustración V. 9 Proyecto con módulo ESP8266 para incorporar una red wifi 2.4Ghz.

Probablemente, a este punto de la lectura más de uno se haya preguntado por qué se menciona una conexión wifi que no fue reportada en la sección de componentes. Esto es debido a que el módulo wifi ESP8266 está destinado específicamente a la fase de prototipo por cuestiones logísticas. Es decir, ya que el proyecto está conectado todo el tiempo en interiores no requiere de una conexión satelital GSM. Finalmente, los módulos GSM o Wifi no son otra cosa más que el medio de conexión para acceder a un servidor. Este servidor cuenta con una base de datos montada a la cual se registran tuplas por variación temporal cada 5 minutos o bien, cada que aparece una variación considerable en el estatus de los sensores.

El servidor en cuestión es accedido de manera remota, ya que este se encuentra en Estados Unidos de América y cuenta con características suficientes para un procesamiento eficiente. Este tiene montados los servicios web destinados al proyecto, los cuales pueden ser consultados directamente desde cualquier dispositivo capaz de albergar a un cliente HTTP facilitando enormemente el futuro desarrollo de una interfaz gráfica de usuario que consuma los datos recolectados.

V.4 Propuesta de modelo de formulación eficiente de fertilizantes de aguacate

La optimización del hardware es uno de los mayores retos del proyecto. El otro gran reto es el diseño de un modelo de formulación eficiente que de sentido al título del presente trabajo.

En general hay dos enfoques de modelos de predicción: modelos de clasificación y de regresión (Heras, 2020).

Los modelos de clasificación permiten predecir la pertenencia a una clase. Por ejemplo, si se trata de clasificar entre los clientes más propensos al abandono. Los resultados del modelo son binarios, o un sí o un no (en forma de 0 y 1) con su grado de probabilidad. Es decir, se puede decir que un cliente abandonará con el 89% de probabilidad.

Los modelos de regresión en cambio permiten predecir un valor. Por ejemplo, cuál es el beneficio estimado que se otendrá de un determinado cliente (o segmento) en los próximos meses o ayudan a estimar el estimado de ventas.

En estadística, la regresión logística es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir el resultado de una variable categórica (una variable que puede adoptar un número limitado de categorías) en función de las variables independientes o predictoras. Es útil para modelar la probabilidad de un evento ocurriendo en función de otros factores. El análisis de regresión logística se enmarca en el conjunto de Modelos Lineales Generalizados (GLM por sus siglas en inglés) que usa como función de enlace la función logit. Las probabilidades que describen el posible resultado de un único ensayo se modelan como una función de variables explicativas, utilizando una función logística.

La regresión logística es usada extensamente en las ciencias médicas y sociales. Otros nombres para regresión logística usados en varias áreas de aplicación incluyen modelo logístico, modelo logit, y clasificador de máxima entropía.

Para predecir las necesidades de una planta, hay varios parámetros importantes a tener en cuenta, como:

Tipo de planta: Cada planta tiene necesidades específicas en términos de agua, luz, nutrientes, temperatura y humedad. Por lo tanto, es importante conocer el tipo de planta que se está cultivando para poder satisfacer sus necesidades específicas.

Clima: Las necesidades de una planta pueden variar dependiendo del clima y la temporada. Por ejemplo, las plantas pueden necesitar más agua durante el verano y menos durante el invierno.

Tipo de suelo: El tipo de suelo puede afectar las necesidades de agua y nutrientes de una planta. Es importante conocer el tipo de suelo en el que se está cultivando la planta para poder proporcionar los nutrientes necesarios.

Nivel de luz: Las plantas necesitan una cantidad adecuada de luz para crecer y prosperar. La cantidad de luz necesaria puede variar según el tipo de planta.

Nivel de agua: Las plantas necesitan agua para sobrevivir y crecer, pero cada planta tiene diferentes necesidades de agua. Demasiada agua puede ahogar las raíces de la planta, mientras que muy poca agua puede hacer que se seque.

Nivel de nutrientes: Las plantas necesitan nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio para crecer y desarrollarse. El tipo y la cantidad de nutrientes que una planta necesita pueden variar según el tipo de planta. En este caso, el nivel de Ph es lo único que se consigue censar.

Teniendo en cuenta estos parámetros, es posible utilizar herramientas y técnicas de análisis de datos y aprendizaje automático para predecir las necesidades de la planta, como la cantidad adecuada de agua, nutrientes y luz, para asegurar su crecimiento saludable.

En este caso, la fertilización del suelo depende de muchos factores los cuales pueden considerarse e incorporarse en la cápsula a futuro, pero el objetivo del proyecto no es simplemente dar una respuesta rápida a las necesidades de la planta sino hacer un análisis de datos que permita descubrir el comportamiento del suelo a través del tiempo para determinar y predecir el estatus a futuro del mismo y con ello permitir al productor tomar acciones a futuro con respecto al cuidado de la planta y del propio suelo.

Para hacer este análisis se toman en cuenta las lecturas montadas al servidor, las cuales pueden consultarse de manera genérica en cualquier dispositivo gracias a la tecnología RESTFUL. Por conveniencia, estos datos se analizarán en un equipo de cómputo con características convencionales y un sistema operativo Windows 10 mediante el lenguaje de programación Python en su versión 3.7.

La ventaja del uso de un servicio de tipo REST es la posibilidad de trasladar los datos a cualquier plataforma sin necesidad de re TRABAJAR los módulos, es por esto que debido a que la cantidad de acciones son pocas se optó por este estilo de programación basado en la

nube. Teniendo una aplicación trabajada en Python esta puede ser transportada al servidor central sin mayor complicación (Ilustración V.10).

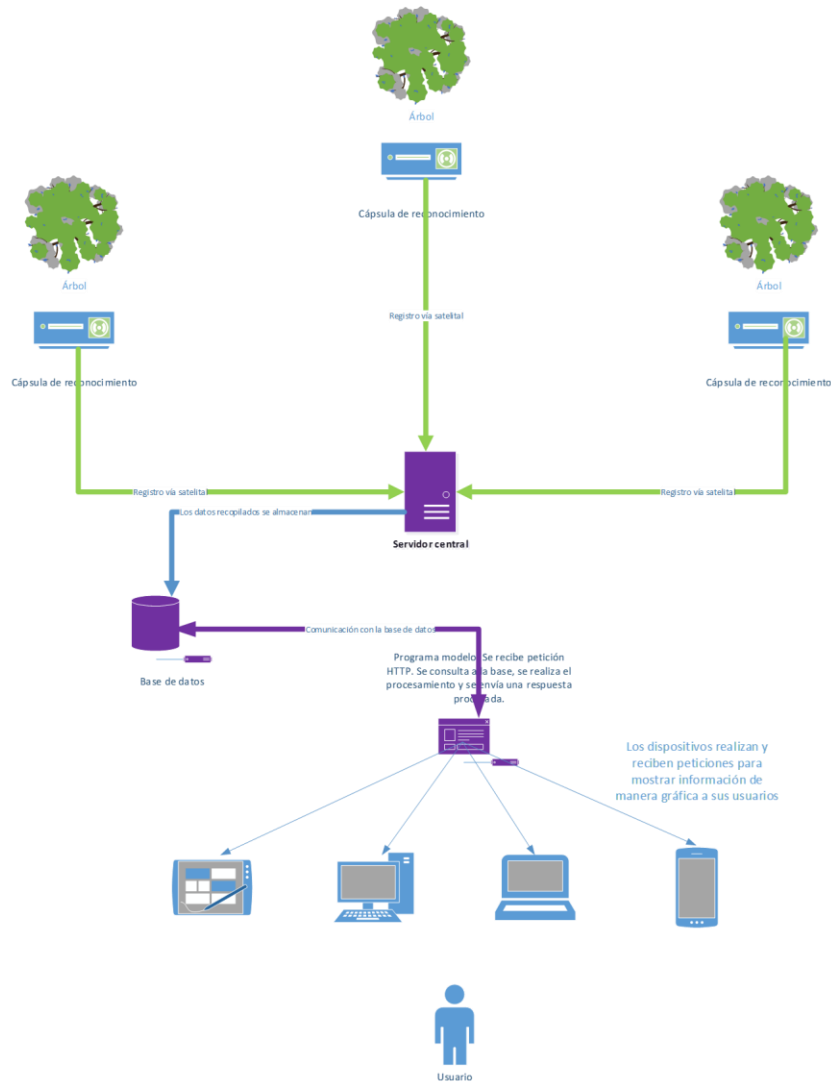


Ilustración V. 10 Diagrama de comunicación cliente-servidor entre las cápsulas IoT, el servidor y un cliente HTTP genérico.

A nivel aplicación, se realiza una petición HTTP para obtener el dataset actualizado en formato JSON. Para ello, cabe recalcar que hace falta la instalación de una librería para realizar solicitudes HTTP mediante Python, la librería en cuestión se instala mediante el gestor de paquetes pip:

pip install requests

Adicionalmente se requiere instalar las librerías para trabajar con aprendizaje máquina como son **pandas**, **numpy** y **sklearn**. (Anexo 1)

Pandas es una librería de Python que se utiliza para el análisis y la manipulación de datos. Se utiliza ampliamente en el análisis de datos y la ciencia de datos, y es muy popular en el mundo empresarial y académico.

Con Pandas, es posible trabajar con datos estructurados y no estructurados, y realizar tareas como la carga de datos desde diferentes fuentes, la limpieza y transformación de datos, la manipulación de datos, el análisis de datos y la visualización de datos.

Las principales estructuras de datos de Pandas son los "DataFrames" y las "Series". Los DataFrames son una estructura de datos tabular que permite organizar y manipular datos en filas y columnas, mientras que las Series son una estructura de datos unidimensional que permite trabajar con datos de una sola columna.

Pandas también incluye muchas funciones y métodos útiles para la manipulación y el análisis de datos, como la selección de filas y columnas, el filtrado de datos, la agregación de datos, la fusión y combinación de datos, entre otros.

Por su parte NumPy es una biblioteca de Python utilizada principalmente para el procesamiento numérico y científico de datos. Su nombre proviene de "Numerical Python".

NumPy proporciona una poderosa estructura de matriz que permite realizar operaciones matemáticas y estadísticas en grandes conjuntos de datos de manera eficiente y rápida. Además, proporciona funciones para la generación de números aleatorios, la manipulación de datos y la integración con otras bibliotecas de Python.

Scikit-learn (también conocido como sklearn) es una biblioteca de Python para el aprendizaje automático (machine learning) que se utiliza para resolver problemas de clasificación, regresión, clustering y reducción de dimensionalidad, entre otros.

Scikit-learn proporciona una amplia variedad de herramientas para la construcción de modelos de aprendizaje automático, incluyendo algoritmos de clasificación como k-vecinos más cercanos, árboles de decisión y SVM; algoritmos de regresión como la regresión lineal y la regresión logística; y algoritmos de clustering como k-means y agrupamiento jerárquico. Además, incluye herramientas para la evaluación del rendimiento del modelo, la selección de características y la selección de modelos.

Scikit-learn se integra bien con otras bibliotecas populares de Python, como NumPy, Pandas y Matplotlib, y proporciona una sintaxis simple y coherente para el desarrollo de modelos de aprendizaje automático.

V.4.1 Interpretación y posibles usos futuros de la API

Una de las entradas más simples y fáciles de analizar es aquella relacionada con el control de la humedad. Como bien es sabido, la humedad y temperatura relativas son fáciles de cuantificar y evaluar gracias al DHT11. El sensor realiza una medición aproximada, pero suficiente para determinar decisiones e incluso es utilizado en sistemas de riego inteligente ya disponibles en el mercado. En este caso, el DHT11 cumple con exactamente la misma función que realiza en cualquier proyecto básico de Arduino, con la gran diferencia de que en este caso los datos son registrados en una base de datos y accesibles mediante codificación universal (El protocolo HTTP). Con este último se genera una colección de servicios accesibles de manera privada, los cuales permiten a determinados usuarios autorizados hacer uso de la información para su posterior uso aplicado, creando entonces un dataset que se enriquece diariamente y que puede llevar a la creación de proyectos interesantes que involucren las lecturas generadas por la capsula.

En este caso, las mediciones realizadas permanecen en una base de datos relacional montada en una instancia privada del servicio RDS de Amazon, el cual puede ser consultado para generar información nueva dependiendo del objetivo y contexto del proyecto que se plantee. Es posible realizar un análisis descriptivo para visualizar el comportamiento de la humedad a través de un transcurso de tiempo y analizar tendencias, un análisis inferencial para comparar y evaluar la humedad en dos contextos diferentes como puede ser la región.

También es posible realizar un análisis predictivo para predecir valores futuros y totalmente desconocidos utilizando técnicas de regresión como es el caso del modelo planteado. En este caso, la mayor ventaja de una API Restful es que estos datos pueden ser consultados e insertados a través de diferentes plataformas y lenguajes de programación.

Todo ello, a través de una colección de servicios que proporcionan al usuario la información requerida en el formato universalizado JSON (Javascript Object Notation), este último es compatible con la mayoría de las tecnologías modernas, en teoría, todo lo que implemente un navegador web puede obtener información mediante JSON. Es decir, es totalmente posible consultar la base de datos mediante Android y generar una app que estudie el comportamiento específico de un árbol o bien, utilizar un lenguaje más robusto como Python o Java y realizar modelos que proporcionen información relevante en tiempo real a toda una agroindustria. El caso más sorprendente y al mismo tiempo poco explorado, es lo que puede llegar a hacer una Inteligencia Artificial como ChatGPT-4 combinada con un asistente virtual como Copilot o Alexa con un volumen de información masivo y accesible. Para comenzar, toda la información puede ser procesada en pocos segundos y obtener respuestas de tipo lenguaje natural, llevando a que la “comunicación” se vuelva más humana que nunca.

Trabajando juntos, ChatGPT-4, Amazon Alexa y una base de datos llena de lecturas sobre el comportamiento de la tierra en un huerto de aguacate podrían crear una solución innovadora para mejorar la producción de aguacates. ChatGPT-4 podría utilizar su capacidad de procesamiento del lenguaje natural para analizar los datos y generar informes y recomendaciones en lenguaje humano. Amazon Alexa podría proporcionar una interfaz de voz para interactuar con el sistema y obtener información en tiempo real sobre el huerto. La base de datos proporcionaría información valiosa sobre el comportamiento de la tierra y las condiciones del huerto para ayudar a tomar decisiones informadas sobre el cultivo de aguacates.

Además, ChatGPT-4 viene con capacidades avanzadas de descripción de imágenes que pueden ser particularmente útiles en el campo de la agricultura. Con su capacidad para describir imágenes en lenguaje natural, ChatGPT-4 puede ser una herramienta poderosa para analizar la salud de los cultivos, identificar plagas y analizar imágenes detalladas de cultivos y campos (How OpenAI and Chat GPT4 can be used in Agriculture. Agtecher., 2022).

Concluyendo, la combinación de ChatGPT-4, Amazon Alexa y una base de datos llena de lecturas sobre el comportamiento de la tierra en un huerto de aguacate podría proporcionar una solución integral para mejorar la producción de aguacates mediante el análisis avanzado de datos y la interacción en tiempo real con el sistema a través de una interfaz de voz.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

VI.1 Generales

El desarrollo de este proyecto representó un reto tecnológico en todos los aspectos posibles. Plantear la situación fue un total acierto en cuanto a innovación tecnológica ya que la agricultura representa la base de cualquier civilización y ciertamente es una actividad económica que peligró dados otros factores ambientales y en la que, en opinión de un servidor, vale la pena invertir.

Lo que en un principio representaba un proyecto que tenía todas las papeletas para expandirse y convertirse en algo más grande, resultó ser increíblemente más ambicioso y rico en contenido de investigación. Si algo positivo puede demostrarse con el proyecto es que el conocimiento técnico por parte de un servidor está completo y es más que suficiente para indagar ante cualquier panorama que requiera el uso de cosas inteligentes (Smart Things). Por el contrario, un aspecto negativo es que la agricultura como cualquier otra disciplina, requiere experiencia y conocimiento de campo que probablemente la mayoría de la literatura pudiese no proporcionar tan fácilmente y es justo por este motivo que en caso tentativo de continuar con la evolución del proyecto, ciertamente requerirá cooperación interdisciplinaria para poder alcanzar objetivos más ambiciosos y de los que probablemente se desprendan ramificaciones ampliamente relacionadas a una familia de dispositivos inteligentes con enfoque agrícola.

En un inicio, cuando se eligió el tema de tesis hace ya un par de años, parecía un tema simple y que podría abordarse de manera rápida e incluso con tiempo más que adecuado. La realidad es que el desarrollo del proyecto distó completamente de lo planeado debido a la cantidad de conocimientos necesarios para llevarlo a cabo.

Redes de computadoras, sistemas operativos Linux, arquitectura cliente-servidor, programación de microcontroladores, operación de servidores basados en la nube, programación de API Restful, diseño de circuitos e incluso principios de impresión 3D fueron conocimientos que en un principio se ignoraba fueran a ser necesarios y a estar tan presentes en el desarrollo del proyecto. Cada disciplina fue asimilada y comprendida en muy poco tiempo, permitiendo así continuar con la parte técnica del proyecto. Sin embargo,

la parte contextual referente a agricultura, cuidados y crecimiento de árboles de aguacate para hacer un diseño eficiente representó uno de los mayores problemas del proyecto. Pues en específico, es el árbol de aguacate hass uno de los que representan mayor dificultad para su reproducción óptima fuera del área michoacana y de manera paralela, esa dificultad fue transportada directamente al mundo digital, representando un fuerte obstáculo a superar que no se hubiera logrado sin el apoyo y consultoría de terceros expertos en temas relacionados como exportación, tipos de suelos o cultivo particular de aguacate. El proyecto sobre el cual hablamos en el presente trabajo, en definitiva, no hubiese podido lograrse sin el consejo de terceros y es por este motivo que en caso de continuar se tiene el fuerte deseo de colaborar con otras instituciones e incluso otras disciplinas para poder llevarlo a sus últimas consecuencias. No se descarta incluso la participación de colaboradores internacionales.

Finalizar es una palabra que no puede utilizarse para describir el tipo de proyecto en el que este trabajo se ha convertido. A diferencia de los proyectos desarrollados anteriormente, en donde se tiene definidos los entregables, este proyecto tiene más comportamiento de servicio que de producto. Es decir, no es finalmente un plan con un inicio y un final definidos, sino que todo ha quedado sujeto a la mejora y adaptabilidad de nuevas tecnologías de hardware/software.

Con lo anterior, se han resuelto tantas preguntas como nuevas han surgido, entre las nuevas preguntas puedo destacar perfectamente “¿Cómo puede determinarse la vigencia de un proyecto en tiempos en los que la tecnología informática avanza tan rápido?” y “¿Hasta qué punto es viable desarrollar un proyecto IoT sin requerir de financiamiento?”. Las preguntas resueltas, en particular la pregunta planteada en la hipótesis ya tiene respuesta:

¿Qué debe considerarse antes de comenzar a desarrollar un proyecto IoT en la automatización de procesos agrícolas?

La respuesta directa es: Es necesario desglosar una serie de implicaciones económicas, ambientales, políticas, sociales, tecnológicas e industriales. La creatividad es solo el primer paso, y cada dispositivo merece un análisis profundo de factibilidad basándose no solo en

la opinión de expertos en el área de agricultura para el caso planteado en este trabajo, sino incluso se necesita lo que puede en muchas maneras interpretarse como una contradicción: pedir la opinión de profesionales que no sean expertos en el área de interés.

Consciente de lo polémico que puede ser el párrafo anterior, se detallan razones a continuación: Durante las fases iniciales y la investigación empírica, se comentó el alcance y los objetivos de este trabajo con personas de diferentes áreas, algunas que parecieran totalmente ajenas a las tecnologías de la información, destacando: un médico cirujano, un contador público y un profesor de educación primaria.

Fue tan grata la sorpresa de averiguar cuantas dudas surgieron desde cada punto de vista. Por parte del médico, hizo una analogía frente a la necesidad de analizar los niveles de azúcar en la sangre y la cantidad de insulina que produce el cuerpo. En caso de un dispositivo IoT en un contexto médico, las implicaciones son significativamente mayores. El tiempo de respuesta del dispositivo es un factor vital, por ejemplo, en el caso del proyecto planteado en este documento, el tiempo de respuesta es importante pero no hay complicación alguna si la información no llega en cuestión de milisegundos. Por lo que se descartó definitivamente la idea de utilizar un sistema embebido y cableado con comunicación inmediata, optando por tecnologías inalámbricas mediante el módulo GSM900.

En cuanto al contador público, su opinión es que un dispositivo de este tipo sería factible y bastante interesante. Sin embargo, los gastos de mantenimiento y la evaluación de depreciación sería un tema no considerado hasta el momento. El establece que todo equipo se deprecia en factor al tiempo y por lo tanto es necesario evaluar, en caso de producir masivamente, cada cuanto se tendría que ofrecer un cambio de componentes o un reemplazo total del equipo. De aquí surge un tema para una nueva investigación en el ámbito informático y contable, probablemente: "Evaluación de depreciación de dispositivos IoT desarrollados como proyectos independientes".

El aspecto social, es otra consideración que debe tomarse muy en cuenta al desarrollar cualquier proyecto. Probablemente, es un rubro ignorado por la mayoría de las personas

encargadas del desarrollo de proyectos tecnológicos. Sin embargo, comentando los objetivos específicos, puntualmente el primero con un profesor de educación primaria. Hizo énfasis en factores de riesgo que no se habían contemplado: robo de activos, evaluación de riesgos ante infantes, medidas preventivas para el buen uso de los dispositivos y capacitación a usuarios ajenos a la tecnología. Desde este punto se establecen las consideraciones necesarias para evitar que los proyectos sean vulnerados por medios sociales y con ello llevar a cabo estrategias de protección, seguridad y capacitaciones.

De acuerdo con un artículo de Cisco (empresa enfocada en redes computacionales), la información se traduce en evolución, tal es el caso en la obtención de datos sobre la tierra, índice de acidez, humedad y demás factores clave al crecimiento de un árbol de aguacate sin duda alguna agilizarán el análisis de suelos. Si bien este proyecto logra censar y transmitir información para hacer un pequeño análisis, la obtención de nuevas variables es clave para determinar un nuevo tipo de agricultura con enfoque futurista.

No solo es posible. Se ha logrado e incluso durante el desarrollo han decrementado tanto los costos de producción del proyecto planteado que resulta más que viable pensar que a mediano plazo será solo cuestión de esfuerzo para que algún productor implemente una serie completa de dispositivos en un huerto. Un primer experimento con cápsulas subterráneas revisadas y fabricadas con los materiales adecuados y muy seguramente reversionado a un prototipo enriquecido en sensores y materiales traerá consigo confianza ante proyectos de esta índole.

Es difícil afirmar si la producción ha incrementado con el proyecto en marcha, ya que al tiempo de la redacción no se ha llevado a cabo un experimento a gran escala, pero el plan de continuar el desarrollo de este y llevarlo a sus últimas consecuencias continúa presente.

En términos sociales y empresariales, se ha notado cierta desconfianza en este tipo de proyectos. En un principio, los costos del primer prototipo pudieron ser la razón principal de este rechazo. La segunda iteración del mismo disminuyó su costo al menos un 60% pese a la crisis de semiconductores que se vive durante la pandemia de Covid-19 (momento en el que se redacta esta sección). A pesar del costo disminuido, es de notar que el dispositivo

sin su carcasa y componentes montados no resulta precisamente atractivo para personas no familiarizadas con sistemas computacionales y electrónicos, por lo que se concluye necesario e indispensable presentar un prototipo de manera formal, así como consultar y solicitar el pronto apoyo de diseñadores industriales para poder llevar a cabo la materialización del mismo.

VI.2 Implicaciones en la implementación de un dispositivo IoT con enfoque agrícola

Entonces, ¿cuáles son las implicaciones en la implementación de las tecnologías IoT en los procesos de automatización de la producción de aguacate?

Se enlistan a continuación:

1. La tecnología de Internet de las cosas (IoT) tiene un impacto global en todas las áreas existentes y está sujeta directamente a la imaginación. Sin embargo, antes de lanzar un dispositivo IoT a pruebas de campo, es importante tener en cuenta las condiciones ambientales impredecibles, como terremotos, tormentas, huracanes, cambios estacionales, fauna local e incluso la delincuencia.
2. Aunque el costo de los componentes se abarata cada día más debido a la Ley de Moore, no solo es importante evaluar los costos individuales ni los costos de un prototipo, sino el costo real de una producción en masa necesaria para evaluar un caso de uso que implique más de una instancia del dispositivo.
3. El uso del protocolo de conexión inalámbrica WiFi no es recomendable para dispositivos que conviven directamente con la intemperie. En su lugar, los medios de acceso a Internet ofrecidos por compañías telefónicas mediante UMTS (Servicio universal de telecomunicaciones móviles) resultan una opción mucho más económica y facilitan una nueva entrada no considerada en el presente trabajo: geolocalización GPS.
4. Es ampliamente recomendable el asesoramiento directo con un experto en materiales para determinar la durabilidad y viabilidad del proyecto, así como considerar la resistencia al agua.

5. Debido a que la mayoría de sensores y placas electrónicas se alimentan únicamente de las salidas proporcionadas por Arduino, una batería de litio con fuente de recarga fotovoltaica es una buena opción.
6. Obtener apoyo de áreas especializadas. Si bien el objetivo de esta tesis es hacer un recorrido profundo y demostrar todas las implicaciones del desarrollo de un dispositivo IoT, la mayor implicación es esta, no se puede llevar a cabo la construcción, programación e implementación de un dispositivo IoT sin tener el conocimiento suficiente del área de estudios y aunque en algunos casos es posible documentarse en base a bibliografía disponible en internet, en otros casos es preferible consultar a expertos en la materia para así llegar a la última conclusión: la fabricación de la cosa inteligente (Smart Thing) más funcional posible.
7. Es vital mantenerse al día de los futuros proyectos de compañías relacionadas al mundo de la automatización para poder evaluar si vale la pena esperar al lanzamiento de nuevos y mejores componentes. Como investigadores en el campo de tecnologías de la información, no es ajeno el hecho de que la tecnología evoluciona a ritmos constantes y exponenciales, el uso de Inteligencia Artificial, por ejemplo, supone un cambio drástico en la forma de obtener y analizar conocimiento y debe ser minuciosamente analizada como implicación para futuros trabajos. Es importante que antes de plantear una patente o la construcción de un prototipo, se evalúe que este pueda permitir vigencia de por lo menos 5 años después de su lanzamiento para que pueda considerarse como un proyecto viable comercialmente.
8. Vale la pena apoyar startups de renombre, pero no siempre son la mejor opción. Al menos como recomendación, realizar un proyecto IoT implica un gasto considerable ya que los experimentos no resultan a la primera e incluso, si fuera el caso, siempre se puede mejorar o correr riesgo de estropear algún componente por lo que se sugiere ampliamente utilizar componentes de bajo costo a nivel prototipo para aprovechar mejor los recursos económicos disponibles. A modo de experiencia del autor, una práctica recomendada, sería adquirir componentes genéricos y una vez

el proyecto sea llevado a demostración, optar por los componentes licenciados bajo ciertas marcas como Arduino o Raspberry PI con la finalidad de apoyar a los facilitadores de esta tecnología e incentivarles a seguir innovando y al mismo tiempo, ahorrar en componentes que probablemente puedan fallar o quedar inhabilitados durante los experimentos.

9. Es necesario llevar a cabo una evaluación de efectos adversos en el entorno con el que los prototipos van a interactuar. Por ejemplo, en el caso de la cápsula propuesta, el ahorro de agua o el control de plagas son dos ventajas posibles y que vuelven atractivo a un producto de esta índole, pero cabe resaltar que el cultivo en exceso de aguacate para la región oriente del estado de Michoacán puede resultar contraproducente y crear un impacto ambiental altamente negativo, ya sea en el consumo de agua o en la supervivencia de otro tipo de flora.

Bibliografía y referencias

- (s.f.). Obtenido de <https://www.explorandomexico.com.mx/state/15/Michoacan/economy>
- Linux y hardware de código abierto para IoT.* (28 de Septiembre de 2016). Obtenido de linux.com: <https://www.linux.com/news/linux-and-open-source-hardware-iot/>
- Agricultura. El cultivo del aguacate. 1ra. Parte.* (s.f.). Obtenido de https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm
- Agroline.* (s.f.). Obtenido de Riego inteligente: ¿La revolución del futuro?: <http://www.agronline.pe/noticias/riego-inteligente-la-revolucion-del-futuro/>
- Arduino.* (s.f.). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arias, F. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 22-35.
- Bengio, Y., Courville, A., & Vincent, P. (2013). Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Trans. PAMI, special issue Learning Deep Architectures.*
- Berlanga, A. (2016). El camino desde la inteligencia artificial al Big Data. *Revista Índice.*
- Calvo, A. (Diciembre de 2019). *Agroptima Blog.* Obtenido de Riego inteligente: ¿La revolución del futuro?: <https://www.agroptima.com/es/blog/riego-inteligente/>
- Capdevila, J. P. (s.f.). *Las Tecnologías Web para la Gestión del Conocimiento.* Obtenido de Sociedad de la Información.: https://www.sociedadelainformacion.com/revista/revista_5/articulos/articulo_5_4.pdf
- Datascience.eu.* (02 de 08 de 2020). Obtenido de Algoritmos de agrupación y su importancia en el aprendizaje de las máquinas:

<https://datascience.eu/es/aprendizaje-automatizado/algoritmos-de-agrupacion-y-su-importancia-en-el-aprendizaje-de-las-maquinas/>

Diccionario de la lengua española. (24 de 01 de 2022). Obtenido de REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: <https://dle.rae.es>

Evans, D. (2011). "Internet de las cosas." Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo. *Cisco Internet Business Solutions Group-IBSG 11.1*, 4-11.

Explorando México. (s.f.). Obtenido de <http://explorandomexico.com.mx/state/15/Michoacan/economy/>

Ferro, I. A. (2001). El Cultivo de Aguacate Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. *Prohaciendo*, 1, 48.

Francisco Javier, O. Y. (2021). *Detección temprana de titulación tardía en estudiantes de postgrados aplicando machine learning*. Santiago de Chile: Universidad Andrés Bello.

Gómez, J. A., & Sánchez, E. Y. (2020). Exploración de datos y sistema de recomendación de libros. *ILUMINATE*, 35-46.

Guillermo Villalobos. (s.f.). *¿Qué son los agroquímicos?* Obtenido de Fundación Solón: <https://fundacionsolon.org/2021/03/17/que-son-los-agroquimicos/>

Heras, J. M. (29 de 09 de 2020). *¿Clasificación o Regresión?* Obtenido de <https://www.iartificial.net/clasificacion-o-regresion/>

Home | International Society of Precision Agriculture. (09 de 04 de 2020). Obtenido de <https://www.ispag.org/>

How OpenAI and Chat GPT4 can be used in Agriculture. Agtecher. (10 de Diciembre de 2022). Obtenido de <https://agtecher.com/how-openai-and-chatgpt-can-be-used-in-agriculture/>

HTTP. (25 de 01 de 2022). Obtenido de <https://www.significados.com/http/>

- Ibarra, J. A. (2018). Agroquímicos organofosforados y su potencial daño en la salud de trabajadores agrícolas del campo sonorenses. *Ciencia ergo-sum*.
- Ignacio Amórtegui Ferro, E. C. (2001). El cultivo de aguacate. Módulo educativo para el desarrollo tecnológico de la comunidad rural. *Corporación para la Promoción del Desarrollo Rural y Agroindustrial de Tolima - PROHACIENDO*.
- José Arturo, L. V. (1988). *Aguacate michoacano: su cultivo, importancia económica y exportación*.
- L. P. B. Montes, S. W.-V.-A. (2010). Exposición prenatal a los plaguicidas organoclorados y criptorquidia. *Cienc. Saúde Coletiva Vol. 15*, 1169-1174.
- La Huertina De Toni. 3 test caseros para conocer la salud del suelo en tu huerto*. (7 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://www.lahuertinadetoni.es/tests-salud-del-suelo/>
- Leticia León Melendez, M. A. (2015). *Cadena de valor del Aguacate*. Toluca.
- M. J. Sánchez Martín, M. S. (1985). *Los plaguicidas. Adsorción y evolución*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Mayor, A. F. (2022). Datamart para el análisis de los hábitos transaccionales de los clientes de una entidad bancaria con el uso del producto tarjeta débito. *Activa. Revista científica de la facultad de ingeniería*.
- Ojewole, J. A. (2006). Anticonvulsant effect of *Persea americana* Mill (Lauraceae)(Avocado) leaf aqueous extract in mice. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 696-700.
- P. Guzmán-Plazola, R. D.-G.-L.-V. (2016). Perspectiva campesina, intoxicaciones por plaguicidas y uso de agroquímicos. 69-80.
- Patino, J. R. (2018). Estimating Avocado Sales Using Machine Learning Algorithms and Weather Data. *Sustainability*.

- Pérez, D. P., Bustillos, R. S., Mora, C. M., & Botto-Tobar, M. (2020). Prediction of Covid19 with the use of Random Forests Algorithm and Artificial Neural Networks. *Ecuadorian Science Journal*.
- Raspberrypi.org. (s.f.). Obtenido de <https://www.raspberrypi.org/about/>
- SMART Fertilizer. (18 de 01 de 2022). *smart-fertilizer.com*. Obtenido de Smart Fertilizer, suscripción anual: <https://www.smart-fertilizer.com/purchase/premium/year/>
- Soria Sánchez, G. (2014). *El Escenario Actual de la Alimentación en México*. Texcoco, México: Textos & Contextos (Porto Alegre).
- Susana Isabel García, J. L. (2011). *Guía de Uso Responsable de Agroquímico*. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación.
- Tecnología Web | Marketing Digital*. (16 de 07 de 2015). Obtenido de <http://elmerescobedom.blogspot.com/2015/07/tecnologia-web.html>
- Tecnológico Nacional de México*. (11 de 01 de 2021). Obtenido de <https://www.tecnm.mx/?vista=noticia&id=2119>
- Tecnológico Nacional de México*. (11 de Enero de 2021). Obtenido de Gana investigador del TecNM segundo lugar en concurso de inteligencia artificial: <https://www.tecnm.mx/?vista=noticia&id=2119>
- Valdés, R. E. (2017). Análisis temporal del riesgo por malformaciones congénitas atribuibles al uso de plaguicidas en el corredor florícola del Estado de México. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva* , 244-252.
- Y. Alvarado, C. P. (1998). El uso de Biocidas: un problema ambiental. *Interciencia*, vol.23, 20-25.
- Y. Bengio, A. C. (2013). Representation Learning: A Review and New Perspectives. *IEEE Trans. PAMI, special issue Learning Deep Architectures*.

Y. Montoro, R. M. (2009). Características de uso de plaguicidas. *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Pública*, vol. 26, 466-472.

ANEXOS

Anexo 1. Código para crear un modelo predictivo haciendo uso de regresión logística mediante Python 3:

```
# Importar librerías necesarias
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.model_selection import train_test_split

# Leer archivo CSV con los datos de las variables
data = pd.read_csv('datos_aguacate.csv')

# Seleccionar las variables independientes y la variable dependiente
X = data[['Humedad del aire', 'Humedad del suelo', 'Temperatura del
suelo', 'Temperatura del aire', 'Índice de Ph del suelo',
'Luminosidad', 'Hora del día', 'Clima del día']]
y = data['Riego']

# Dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y,
test_size=0.3, random_state=0)

# Crear el modelo de regresión logística y ajustarlo a los datos de
entrenamiento
logreg = LogisticRegression()
logreg.fit(X_train, y_train)

# Realizar predicciones en los datos de prueba
y_pred = logreg.predict(X_test)

# Evaluar el rendimiento del modelo utilizando la matriz de confusión
from sklearn.metrics import confusion_matrix
confusion_matrix = confusion_matrix(y_test, y_pred)
print(confusion_matrix)

# Calcular la precisión del modelo
from sklearn.metrics import accuracy_score
print('Precisión del modelo:', accuracy_score(y_test, y_pred))
```