



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de
Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

**Álvaro Antonio Oquelis Guerrero
Diana Carolina Landa Vega**

Asesor(es):

**Dr. Ing. Erick Alexander Miñán Ubillús; Dr. Ing. Justo Ernesto Oquelis
Cabredo**

Piura, setiembre de 2020



Resumen Analítico-Informativo

Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico

Oquelis Guerrero, Álvaro Antonio; Landa Vega, Diana Carolina

Asesor(es): Dr. Ing Erick Alexander Miñan Ubillus, Dr. Ing. Justo Ernesto Oquelis Cabredo

Tesis.

Título Profesional de Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, septiembre de 2020

Palabras claves: Agricultura de precisión/ LoRaWAN/ Banano y mango orgánico/ Controlador/ Tecnología.

Introducción: Hoy en día, se ha incrementado la competencia de precios en las frutas y hortalizas entre los países vecinos debido a su mejora continua en todas las etapas de producción de las mismas, lo cual ha significado disminuir el margen de ganancia para los agricultores locales debido a su retraso en el uso de recursos tecnológicos que funcionan en las grandes empresas y países más desarrollados. Este trabajo se enfoca en utilizar Internet of Things (IoT) en el campo de la Agricultura de Precisión (AP) aplicado a cultivos importantes que generan innumerables empleos y reconocimientos en la región Piura como lo son el mango y el banano orgánico, con el fin de incrementar rendimientos y reducir costos que permitan mantener y mejorar el posicionamiento de estos cultivos en el mercado extranjero

Metodología: El documento tiene un enfoque mixto, es decir, tanto cualitativo como cuantitativo. La metodología a utilizar en el "Marco teórico" es de tipo cualitativa, pues se trabaja sobre una serie de datos e información recolectada en diferentes fuentes y sitios web que permitió conocer el marco global del estudio para poder llegar al desarrollo central del tema. De igual manera, el capítulo "Diseño del prototipo" tiene enfoque cualitativo pero esta vez es de tipo experimental pues aquí se describen los requerimientos y pasos para elaborar un controlador agrícola, mostrando los resultados reales en imágenes que lo corroboran. Finalmente, en el tercer capítulo "Diseño del proyecto" se emplea la combinación del enfoque cualitativo y cuantitativo. Siendo el primero el que abarca la investigación previa y el modelo final. Mientras que el segundo enfoque está dirigido al estudio de costos, presentando resultados medibles y objetivos para su posterior análisis.

Resultados: La tesis cuenta con un capítulo denominado "Diseño del prototipo" en donde se mencionan los procedimientos que permiten dejar como resultado la obtención del modelo final del controlador agrícola capaz de mostrar en un panel de información algunos parámetros como la humedad y la temperatura del suelo en un terreno. Así mismo, en el tercer capítulo, se muestra un estudio de costos, el cual quiere dar a conocer la rentabilidad de diferentes escenarios en el que se puede ejecutar el desarrollo del controlador agrícola.

Conclusiones: Se pudo concluir que en la actualidad es de vital importancia implementar sistemas de control que permitan mejorar la gestión de los campos, lo cual permite ser competitivos en los exigentes mercados extranjeros. De lo expuesto anteriormente, quedó demostrado que LoRaWAN es la mejor tecnología para desarrollar un controlador agrícola, no solo por sus grandes beneficios, sino porque no se requiere de especialización técnica y además es de código abierto.

Fecha de elaboración del resumen: 20 de Julio de 2020

Analytical-Informative Summary

Desarrollo de un controlador agrícola para Agricultura de Precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico

Oquelis Guerrero, Álvaro Antonio; Landa Vega, Diana Carolina

Asesor(es): Dr. Ing Erick Alexander Miñán Ubillús, Dr. Ing. Justo Ernesto Oquelis Cabredo

Tesis.

Título Profesional de Ingeniero Industrial y de Sistemas

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, septiembre de 2020

Keywords: Precision agriculture/ LoRaWAN/ Organic banana and mango

Introduction:

Nowadays, competition price in fruit and vegetables has been increased among neighbor countries due to its continuous improvement in all stages of their production, which has meant reducing the profit of local farmers due to its delay in the use of technological resources that work in big companies and developed countries.

This work focuses on using Internet of Things (IoT) in the field of Precision Agriculture (PA) applied to important agricultural crops that generates countless jobs and recognition in Piura's region, such as mango and organic bananas, in order to increase yields and reduce costs to maintain and improve the positioning of these crops in the foreign market.

Methodology:

The document has a mixed approach, that means, qualitative and quantitative. The methodology to be used in the "Theoretical Framework" is qualitative, as it works with a series of data and information collected from different sources and websites that allow knowing the overall frame work of the study in order to reach the development of the topic. Similarly, the "Prototype Design" chapter has a qualitative approach, but this time it is an experimental type because the requirements and steps for developing an agricultural controller are described here, showing the results in images that corroborate it. Finally, in the third chapter "Project Design" is used the combination of the qualitative and quantitative approach. Being the first one that covers the previous investigation and the final model. Meanwhile the second approach is aimed at the study of costs, presenting measurable and objective results for its further analysis.

Results:

The thesis has a chapter called "Prototype Design" where the procedures are mentioned that allow obtaining as a result the final model of the agricultural controller, capable of displaying some parameters such as humidity and ground temperature in an information panel. Also, in the third chapter is shown a costs study, which wants to announce the profitability of different scenes in which the development of the agricultural controller can be execute

Conclusions:

It was concluded that currently it is of vital importance to implement control systems that allow improving the management of the fields, which allows to the farmers to be competitive in demanding of foreign markets. From the above, it was proved that LoRaWAN is the technology to develop an agricultural controller, not only because due to its benefits, but because it doesn't require technical specialization and is open source.

Summary date: July 20th, 2020

Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1	3
Marco teórico	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Agricultura en Perú.....	3
1.1.2 Agricultura en Piura.....	5
1.2 Situación actual.....	11
1.2.1 Banano orgánico.....	11
1.2.2 Mango orgánico.....	15
1.3 Agricultura de precisión.....	18
1.3.1 Tipos de variabilidad.....	18
1.3.2 Barreras para la utilización de agricultura de precisión en pequeños agricultores ..	20
1.3.3 Beneficios de la utilización de AP.....	21
1.3.4 Herramientas y tecnologías.....	21
1.4 Internet of Things.....	29
1.4.1 Usos IoT	30
1.4.2 Tecnologías de comunicación de IoT	34
1.4.3 Selección de tecnología de comunicación IoT (LoRaWAN).....	37
Capítulo 2	39
Diseño del prototipo	39
2.1 Requerimientos.....	39
2.1.1 Hardware.....	39
2.1.2 Software	42
2.2 Procedimiento.....	44
2.3 Resultados.....	45
Capítulo 3	49

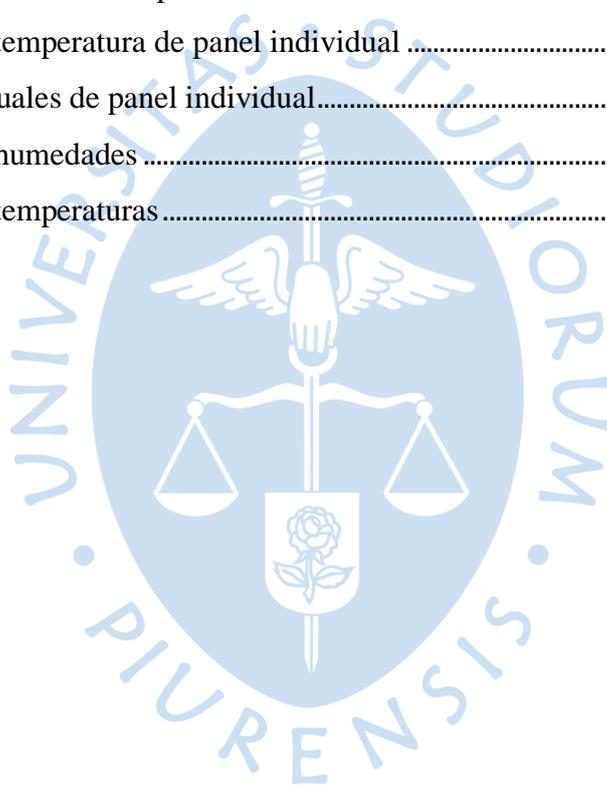
Diseño del proyecto.....	49
3.1 Investigación previa.....	49
3.1.1 Factores medibles importantes	49
3.1.2 Partes y dispositivos	54
3.2 Estudio de costos.....	57
3.3 Modelo final.....	64
Conclusiones	70
Referencias bibliográficas	73



Lista de figuras

Figura 1: Hongo Fusarium oxysporum raza 4.....	13
Figura 2: Exportación de banano por mercado	15
Figura 3: Exportación de mango por mercado.....	17
Figura 4: Variabilidad especial en algunas propiedades del suelo	19
Figura 5: Variabilidad temporal.....	20
Figura 6: GPS agrícola.....	22
Figura 7: Ejemplos de trazos en sistema vectorial y matricial.....	26
Figura 8: Elementos SIG.....	27
Figura 9: Mapa de rendimiento.....	28
Figura 10: Diagrama funcional IoT.....	30
Figura 11: Hogar con IoT.....	31
Figura 12: Hospital con IoT y RFID.....	32
Figura 13: Planta de manufactura con IoT	33
Figura 14: Agricultura con IoT.....	34
Figura 15: Comparación Data vs Rango de tecnologías de comunicación	34
Figura 16: Sensor de humedad.....	40
Figura 17: Nodo final.....	40
Figura 18: Raspberry Pi	41
Figura 19: Concentrador LoRa.....	41
Figura 20: Nodo intermedio.....	42
Figura 21: Diagrama de funcionamiento Chirpstack y Thingsboard.....	43
Figura 22: Diseño del prototipo.....	44
Figura 23: Panel del prototipo.....	46
Figura 24: Clima del prototipo.....	46
Figura 25: Gráfica de humedad del prototipo.....	47
Figura 26: Valores históricos de humedad del prototipo	48

Figura 27: Contenido de agua vs textura del suelo.....	50
Figura 28: Sensor DL-5TM de humedad	54
Figura 29: Nodo intermedio con conexión móvil	55
Figura 30: Diagrama de área abarcada.....	55
Figura 31: Raspberry Pi modelo 4	57
Figura 32: Panel del Proyecto.....	65
Figura 33: Mapa del campo.....	65
Figura 34: Lista de dispositivos	66
Figura 35: Panel individual de dispositivo	66
Figura 36: Gráfica de humedad de panel individual	67
Figura 37: Gráfica de temperatura de panel individual	68
Figura 38: Valores actuales de panel individual.....	68
Figura 39: Gráfica de humedades	69
Figura 40: Gráfica de temperaturas.....	70



Lista de Tablas

Tabla 1: PBI 2019 por actividad agrícola.....	3
Tabla 2: Eficiencia de riego.....	9
Tabla 3: Exportación de banano.....	14
Tabla 4: Exportación de mango.....	16
Tabla 5: Comparación técnica de las tecnologías LPWAN.....	37
Tabla 6: Costos de las distintas tecnologías LPWAN.....	38
Tabla 7: Interpretación de conductividad eléctrica en el suelo.....	53
Tabla 8: Costo de hardware del caso 1.....	58
Tabla 9: Costos finales del caso 1.....	59
Tabla 10: Costo de hardware del caso 2.....	59
Tabla 11: Costos finales del caso 2.....	60
Tabla 12: Costo de hardware del caso 3.....	61
Tabla 13: Costos finales del caso 3.....	61
Tabla 14: Costo de hardware del caso 4.....	62
Tabla 15: Costos finales del caso 4.....	62
Tabla 16: Costo de hardware del caso 5.....	63
Tabla 17: Costos finales del caso 5.....	64



Introducción

La agricultura es uno de los sectores productivos más importantes del país, lo cual se ve reflejado en los números y en los diversos reconocimientos internacionales que se han ido obteniendo año tras año debido a la alta calidad de los cultivos.

Hoy en día, el uso de diversas tecnologías por países vecinos, les han permitido convertirse en competidores directos del Perú. Dichas tecnologías están relacionadas bajo el concepto de Agricultura de Precisión (AP) que significa la utilización de herramientas tecnológicas que ayudan a mejorar la gestión de los terrenos agrícolas.

En los últimos años se ha venido desarrollando en Europa la tecnología LoRaWAN, la cual permite un intercambio de data entre dispositivos separados grandes distancias por medio de ondas de radio.

En esta tesis se ha plasmado la tecnología LoRaWAN® en el marco de la agricultura de precisión de manera que se ha elaborado un controlador agrícola que permite como su nombre lo dice llevar un control más exacto de lo que sucede en los terrenos de cultivo.

Este prototipo tiene como objetivo dar a conocer uno de los alcances de esta tecnología, la cual relacionada con otras herramientas de la agricultura de precisión como el riego tecnificado o los mapas de rendimiento permitirían un incremento significativo de la productividad, trayendo consigo una mejora en torno a la calidad de los cultivos, los costos y un óptimo manejo de recursos.



Capítulo 1

Marco teórico

En este capítulo se dará a conocer los aspectos teóricos referenciales que justifiquen la investigación planteada para poder abordar el tema central de esta tesis.

A continuación, se procederá a detallar cada uno de los puntos importantes para el posterior desarrollo del diseño del prototipo y el diseño del proyecto del tema propuesto.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Agricultura en Perú

El Perú es un país privilegiado por sus tierras fértiles y la variedad de alimentos que se pueden sembrar en ellas.

El sector agrícola es sin duda, una de las principales actividades económicas que sostienen al país debido al gran desarrollo que ha generado en las exportaciones y con ello el incremento de empleos formales, los cuales, según el Minagri, emplean al 26% de la PEA Nacional y al 65.5% de la PEA del área rural.

En el Perú predomina la pequeña agricultura o agricultura familiar los cuales producen el 70% de los alimentos que consumen los peruanos (Lampadia, 2015).

Tabla 1: PBI 2019 por actividad agrícola

Actividad	2018/2017					2019/2018				
	I Trim.	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Año	I Trim.	II Trim.	III Trim.	IV Trim.	Año
Agricultura, ganadería, caza y silvicultura	7,2	10,5	6,3	5,1	7,6	4,9	1,9	1,3	5,3	3,2
Agrícola	10,7	12,1	7,9	5,0	9,3	4,7	0,9	-0,4	6,9	2,6
Pecuaría	2,8	7,5	4,4	5,5	5,1	5,2	4,2	3,6	3,3	4,1

Fuente: INEI (INEI, 2020)

En la Tabla 1 se puede observar que las cifras del INEI demuestran que, en el 2019, el PBI de la actividad agrícola incrementó en un 3,2% respecto al 2018.

Alberto Rodríguez, el entonces director del Banco Mundial para Bolivia, Chile, Ecuador Perú y Venezuela en el año 2018, afirmó que el sector había venido creciendo 3.3% anual en la última década lo cual evidencia el crecimiento económico del país y que por ello viene en aumento (Mundial, 2018). Además, la agricultura ayuda a diversificar la economía y reducir la independencia de las industrias extractivas no renovables, las cuales son en su mayoría de capital extranjero.

Un punto importante que debe considerarse dentro de la agricultura peruana es que este sector sigue en desarrollo, lo cual significa que la población depende de importaciones de alimentos y que para no poner en riesgo la seguridad alimentaria nacional debe seguir el ritmo del crecimiento poblacional.

Es por ello por lo que es muy importante el apoyo del Gobierno peruano en este sector, el cual viene demostrando su gran potencial. Además, aprovechando los avances tecnológicos en la agricultura se podrían lograr mejores resultados, tanto en el mercado nacional como en el internacional con las exportaciones de frutas y hortalizas.

El Perú cuenta con tres regiones, en las cuales existen diversos tipos de cultivos según su tipo de clima y suelo, aunque en varios casos un mismo tipo de cultivo puede desarrollarse en más de una región (Info, 2014).

- En la Costa se encuentran muchos de los alimentos que abastecen el mercado de las exportaciones, los más importantes son: espárragos, uvas, paprika, banano orgánico, mangos, alcachofas, arándanos, cacao orgánico, paltas, entre otros.
- En la Sierra predomina la quinua, trigo, cebada, maíz, etc.
- En la Selva, los frutos más sembrados son el café, el banano y el cacao.

Siendo la palta, los arándanos, espárragos, uvas y café los de mayor demanda a nivel mundial (Andina, 2018).

Según el Minagri, algunos de los problemas con la agricultura peruana son (MINAGRI, 2011):

- Un inadecuado manejo de los recursos naturales que traen en consecuencia: pérdida de tierras agrícolas, problemas de desertificación, deforestación, toxicidad de la vegetación, agotamiento de las fuentes de agua, etc. Es por esta razón que debe existir control con los pequeños productores pues su desinformación causa evidentes problemas como los ya mencionados.
- La gran dispersión de los pequeños fundos eleva los costos de transporte.
- Precios elevados debido al desorden en la producción. La cadena de intermediarios es significativamente larga por ello se pierde rentabilidad.
- Existe muy poco conocimiento de innovación tecnológica en la producción agrícola.
- Falta de acceso a créditos agrarios.
- Pocas organizaciones de productores.
- Falta de conciencia en los consumidores peruanos en cuanto a los hábitos alimenticios.
- Se necesita contar con un mejor sistema de sanidad alimentaria y fitosanitaria para tener mayor acceso al mercado extranjero.

1.1.2 Agricultura en Piura

La economía agraria piurana gira entorno a la producción de cultivos tradicionales como el arroz, el cacao, algodón y maíz; y los no tradicionales como el banano orgánico, café, limón, mango, uvas, ajíes, etc.

En términos monetarios con respecto al 2018, la palta (243 millones de dólares y con un crecimiento de 23,8%), el mango (por 142.9 millones de dólares con un decrecimiento de 10,8%) y el banano orgánico (83.8 millones de dólares y un decrecimiento de 6,8%), fueron los productos más exportados hasta el primer semestre del 2019 (Cutivalú, 2019).

Al hablar de un producto orgánico dentro de los de mayor exportación, se hablará de agricultura ecológica en la región Piura, pues evidentemente es necesario incentivar el desarrollo y capacitación agrícola para mejorar y mantener los terrenos sanos, incrementar su productividad y abrir nuevas ventanas en el mercado exterior.

La Asociación Nacional de Productores Ecológicos (ANPE) aseguró que Piura es una de las regiones con mayor producción de cultivos orgánicos con más de 11800 hectáreas y pese a ello, los campesinos sienten que aún no se les da la suficiente importancia y respaldo por parte del Estado.

Lo que se espera con la agricultura ecológica es afianzar una agricultura responsable, sostenible y que no vulnere el ecosistema. Actualmente se cuenta con 10 comisiones regionales de productores orgánicos con el fin de continuar incentivando el desarrollo de estos productos, y unir fuerzas para que su trabajo sea reconocido (ANPE-PERU, 2016).

En Piura se siembran distintos cultivos como: algodón pima, arroz, café, banano y mango orgánicos, entre otros, pero esta investigación se centrará exclusivamente en los dos últimos mencionados:

Banano orgánico

El banano orgánico (*Musa Paradisiaca*) es un fruto de origen tropical de forma oblonga que posee un color amarillo verdoso o amarillo. Perteneció a la familia Musaceae. El árbol puede alcanzar un promedio de 2.1m de altura y un diámetro en su base de 20cm y contiene de 5 a 20 manos cada una con 2 a 20 frutos (MinisterioDeAgricultura). A diferencia del banano convencional, a este fruto no se le aplican pesticidas o químicos en ninguna etapa de su producción.

El banano orgánico es un fruto con un alto valor energético y una significativa fuente de vitaminas B y C, además de sales minerales como hierro, fósforo, calcio y potasio. Permite neutralizar el exceso de acidez gástrica y calma los ardores de estómago, se recomienda su ingesta en tratamientos de procesos reumáticos, artritis y gota, también previene la retención de líquidos y la formación de edemas (unisima, 2016). Finalmente, existen cerca de veinte variedades de banano en Perú, entre ellos están (Correo, 2015):

- Ordinario
- Bellaco
- Manzanito
- Seda
- Isla
- Cavendish

Siendo el Cavendish el banano de mayor exportación por ser la variedad con mayores hectáreas con certificación orgánica.

Mango orgánico

El mango (*Mangífera indica* L.) tuvo origen en la frontera entre Birmania e India y se dice que ha sido cultivada desde hace más de 4000 años. El *Mangífera indica* L. se ha extendido por la mayoría de las áreas con un clima tropical, pues es el clima favorable para su correcto crecimiento (Media). Este es un fruto tropical de forma similar a la de un riñón, ovalada y alargada, su cáscara tiene un matiz de colores verde, rojo y amarillo según su tipo. Pertenece a la familia de las Anacardiaceae. El árbol puede llegar a tener 30m de altura y el diámetro de su tronco oscila entre los 75 y 100 cm (CeI-RD, 2018). El mango orgánico, como su nombre lo dice, no recibe ninguna clase de pesticida o químico para su desarrollo, se cultiva de manera natural. El mango orgánico tiene vitaminas y nutrientes beneficiosos para la salud de las que podemos mencionar son (HablemosDeAlimentos, 2018):

- El complejo B (B1, B2, B3, B6): regula la utilización de energía del cuerpo.
- Ácido fólico: ayuda con el crecimiento de los tejidos y el trabajo celular.
- Vitamina A y vitamina C: que ayudan con el cuidado de la piel, la visión, el cabello y a prevenir resfriados.
- Hierro: que incrementa los niveles de hemoglobina y colágeno.
- Agua y fibra: actúan como un laxante y previene el estreñimiento.
- Poder antioxidante

En el Perú se cultivan dos tipos de mangos ambos tienen sus variedades y son exportados en todas sus formas (Superfood, 2018).

- Destinados a jugos concentrados y producción de pulpa
 - Criollo de Chulucanas
 - Chato de Ica
 - Rosado de Ica
- Destinados a consumir directamente en estado fresco

- Kent
- Tommy Atkins
- Keitt
- Haden
- Ataulfo
- Edward

Luego de ser definidos los cultivos, se debe hablar de dos factores muy importantes que permiten una mejora en los costos de siembra y calidad de los frutos, estos son: el tipo de riego y los insumos agregados. A continuación, se hablará acerca de estos (Consortio Asecal, s.f.):

Tipos de riego

Los tipos de riego más utilizados son 5, según señala la FAO *Food and Agriculture Organization* (FAO), estos son:

- Riego por gravedad

El riego por gravedad consiste en surtir a las plantaciones de agua por medio de una red de canales o de surcos como cualquier otro sistema de distribución. Al avanzar el agua, se produce su distribución sobre la parcela. Este tipo de riego puede verse afectado por salinidad. Al igual que por inundación, se pueden provocar pérdidas de nutrientes por lixiviación¹ y erosión del suelo. El costo de la mano de obra suele ser alto.

- Riego por inundación

El riego por inundación es uno de los sistemas de riego más antiguos y poco sofisticados. Este tipo de irrigación consiste en distribuir el agua superficialmente en el terreno inundándolo totalmente, se adapta mejor en los sembraderos planos o semiplanos. Este tipo de riego debe ser evitado, ya que las cantidades excesivas de agua contribuyen a lixiviar los nutrientes más solubles y a erosionar el suelo. Otro punto es que una plantación enferma puede contaminar a una sana a través del agua que inunda el

¹ Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante acción de un disolvente líquido.

terreno, además el costo de la mano de obra para el mantenimiento y construcción de los canales es alto.

- Riego por goteo

El riego por goteo es más eficiente, pues el agua es distribuida de manera localizada a través de goteros instalados en mangueras de goteo distribuidos de manera estratégica en la zona de absorción de la planta. En este caso, no hay peligro de erosión del suelo ni lixiviación de los nutrientes. Los costos de mano de obra son significativos solo en la instalación del sistema.

- Riego por aspersión

Se utilizan aspersores que generan gotas de diferentes tamaños que imitan a la lluvia. Se adapta a cultivos que poseen un espaciamiento pequeño y son poco altos y frondosos. De preferencia son utilizados en terrenos planos y semiplanos. Utiliza una mayor cantidad de agua que los sistemas de riego por goteo. En este caso, las gotas sí podrían causar una leve erosión en el suelo. Los costos de la mano de obra van dirigidos a la instalación del sistema.

- Riego por microaspersión

Se hace uso de micro aspersores, es un riego a menor distancia que el de aspersión común. Se adapta fácilmente, sobre todo a aquellos cultivos de alto espaciamiento, se adaptan bien ante cualquier pendiente. Utilizan una menor cantidad de agua que los aspersores normales, se puede tener un buen control de la cantidad de agua aplicada. Difícilmente se lixivian los nutrientes y tampoco se produce erosión en el suelo. Los costos de la mano de obra van dirigidos a la instalación del sistema.

En la Tabla 2 se mostrará la eficiencia de riego de cada uno de los tipos

Tabla 2: Eficiencia de riego

Tipo de riego	Eficiencia
Por gravedad	40-60%
Por inundación	40-65%
Por goteo	90-95%
Por aspersión	80-85%

Por microaspersión	85-90%
--------------------	--------

Fuente: Elaboración propia

Si se habla del tipo de riego de banano orgánico, se puede afirmar que estos dependen del tipo de empresa que lo siembre, los recursos que tenga y su tamaño.

En el caso de los pequeños agricultores utilizan el riego por inundación, según Edgar Bocanegra, gerente de operaciones de Orgánicos Río Verde (empresa piurana dedicada al cultivo de frutas y hortalizas), se usa un volumen de 22,000 m³/ha/año (Redagrícola, Se viene el boom del banano orgánico, 2017).

Este tipo de riego como se ha mencionado en la sección anterior es poco beneficioso para la salud ambiental, ya que, los excesos de agua, con el paso de los años traerá consecuencias que puedan dejar al terreno infértil.

En el caso del mango orgánico, actualmente se utiliza el riego por gravedad, sin embargo, como ya se ha mencionado este tiene una baja eficiencia y deficiente uniformidad con que se aplica, lo cual es un problema que deben afrontar los pequeños agricultores. El consumo de agua de este fruto es de 13000 a 15000 m³/ha/año, sin embargo, el volumen puede variar dadas las necesidades de la planta, según afirma Carlos Vega, administrador del fundo “La Calera” en Tambogrande.

Insumos naturales para banano y mango orgánico

Hoy en día el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas es muy común en la industria agrícola, muy pocos son los empresarios que se preocupan por la salud ambiental y la de sus consumidores. En este punto se va a explicar de manera abreviada cuales son los insumos naturales que se usan en terrenos con sembríos orgánicos. Estos son:

- Guano de las islas

El guano de las islas es un fertilizante natural que ayuda a elevar la productividad de los terrenos. Este proviene de las deyecciones de las aves guaneras que habitan en las islas y puntas del litoral peruano. Este producto mejora la producción orgánica el cual, contribuye con el buen crecimiento y desarrollo de las plantas

(Ministerio Agricultura y Riego, 2017). Sus principales propiedades son (Ministerio de Agricultura y Riego, s.f.):

- Es un fertilizante natural y completo.
 - No contamina al medio ambiente.
 - Es biodegradable.
 - Mejora las condiciones físicoquímicas y microbiológicas del suelo.
 - Es soluble en agua.
- Fertilizantes

Existen una gran variedad de fertilizantes orgánicos aprobados para su uso en la agricultura orgánica. Estos contienen nutrientes como nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), entre otros. Estos productos son naturales e incrementan el rendimiento de las parcelas de los agricultores. Entre los fertilizantes naturales y en vigencia más conocidos se tienen (Controlunion, 2020):

- Nitrate Balancer.
- Quelatos this micromix.
- Allganic Potassium.
- Allganic Nitrogen.
- Apu bio.

1.2 Situación actual

Una vez dada una idea global de la agricultura en Perú y Piura, incluidos los antecedentes del mango y banano orgánico, además de haber hablado de los distintos tipos de riego e insumos utilizados en sus plantaciones, se explicará finalmente la situación actual de estos frutos en la región.

1.2.1 Banano orgánico

El Perú cuenta con más de 160 mil ha de banano convencional y solo 10,500 ha de banano orgánico destinados a exportación, siendo Piura, Loreto, Huánuco y San Martín las

principales regiones productoras de este fruto (Gestión, Perú tiene 170,000 ha de plátano y banano orgánico en riesgo por plaga Fusarium, 2019).

En el pasado 2019 se esperaba que la tendencia del crecimiento de exportaciones del banano orgánico creciera entre un 2 y 5%, según Carlos Posada, director ejecutivo del Instituto de Investigación y Desarrollo de la Cámara de Comercio de Lima. Sin embargo, por diversos factores tanto internos como externos no se pudo lograr. (PQS, 2019)

Los factores antes mencionados fueron en su mayoría motivos climáticos, pues no se había pronosticado las bajas temperaturas que se presentarían durante el invierno (por debajo de los 12 grados), lo cual se vio reflejado en la baja productividad de las fincas en la región de Piura, reduciendo un 40% la producción de la fruta, ya que se propició una cosecha de banano delgado por lo que se necesitarían más unidades para llenar una sola caja. Dando como resultado 450 mil cajas en vez de las 500 mil que se habían planificado (Redagrícola, Banano y mango, con altas expectativas, 2019).

Es por ello por lo que el Ministerio de Agricultura y Riego proyectó que el 2019 cerraría con US\$155 millones en el total de exportaciones de banano orgánico.

Ahora, si se enfoca la caída de precios, el principal factor fue que los pequeños agricultores aún no están afianzados con el tema orgánico, por ello cuando el cliente realiza análisis y encuentra productos químicos, castiga con precio y pedidos (Redagrícola, Banano y mango, con altas expectativas, 2019).

Además, países vecinos como Ecuador y Colombia vienen incrementando su producción siendo más competitivos por tener una logística más barata.

Actualmente los cultivos de banano orgánico en los países vecinos (principalmente Colombia) han sido afectados por el hongo *Fusarium oxysporum* Raza 4 Tropical (TR4), como se puede apreciar en la Figura 1, por lo que se está luchando por evitar el ingreso de esta enfermedad que pueda poner en riesgo la salud del terreno y cultivos especialmente los terrenos piuranos de banano de tipo Cavendish que es la más exportada en el mundo. Por el momento hay riesgo de diseminación, porque está pegado en los zapatos de visitantes, herramientas, maquinarias, etc., sin embargo, se está haciendo un buen trabajo de contención en Colombia. La fruta no contagia el Fusarium por lo que el volumen de exportaciones no se verá afectado pero este hongo podría matar plantaciones enteras en 2 o 3 años (Redagrícola, Banano y mango, con altas expectativas, 2019).



Figura 1: Hongo *Fusarium oxysporum* raza 4

Fuente: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria de México (*Sistema Integral de Comunicación, 2018*)

La única manera de evitar la propagación de la enfermedad es prevenir su ingreso, por ello las autoridades sanitarias peruanas están impulsando la creación de un plan regional que evite su ingreso y dispersión. Existen protocolos ya establecidos que recomiendan algunas medidas como restringir el número de entradas de vehículos y personas a las fincas; colocar cercos perimétricos para evitar la entrada de gente extraña al campo; colocar pediluvios y rodiluvios al campo y plantas empacadoras.

Finalmente, si se habla de exportaciones, podemos afirmar que los productos orgánicos son bien valorados en el extranjero más que en el propio Perú y por esta razón los agricultores se esfuerzan por cumplir los estándares claves para tener un mercado asegurado fuera del país, que esté dispuesto a comprar por calidad y comercio justo.

Ahora, si se observa la Tabla 3 de exportaciones 2019-2020 del portal agrodataberu se puede notar que la campana dura todo el año, las cifras son millonarias y si bien hubo una contracción en el crecimiento del 4% por factores climatológicos como lo fueron las bajas temperaturas del invierno la rentabilidad sigue siendo alta (Koo, Agrodataberu, 2020).

Tabla 3: Exportación de banano

Mes	2020			2019		
	FOB (\$)	KILOS	PRECIO PROMEDIO (\$)	FOB	KILOS	PRECIO PROMEDIO (\$)
ENERO	12 950 538	18 849 646	0.69	14 378 977	20 587 977	0.7
FEBRERO				11 970 783	17 467 855	0.69
MARZO				16 695 834	24 221 520	0.69
ABRIL				14 696 757	21 388 805	0.69
MAYO				12 440 823	18 093 606	0.69
JUNIO				13 667 858	19 964 768	0.69
JULIO				11 695 114	17 039 567	0.69
AGOSTO				10 091 473	14 581 196	0.69
SETIEMBRE				11 750 085	16 958 563	0.69
OCTUBRE				11 423 166	16 403 279	0.69
NOVIEMBRE				10 114 658	14 572 927	0.69
DICIEMBRE				12 858 458	18 564 455	0.69
TOTALES	12 950 538	18 849 646	0.69	151 793 206	219 843 578	0.69
PROM	12 950 538	18 849 646		12 649 434	18 320 298	
% CRECIMIENTO ANUAL	2%	3%	0%	-9%	-5%	-4%

Fuente: Agrodata Perú (*Koo, Agrodata, 2020*)

El mercado al que se dirige este fruto está dividido entre Europa, América y Asia, tal como se muestra en la Figura 2:

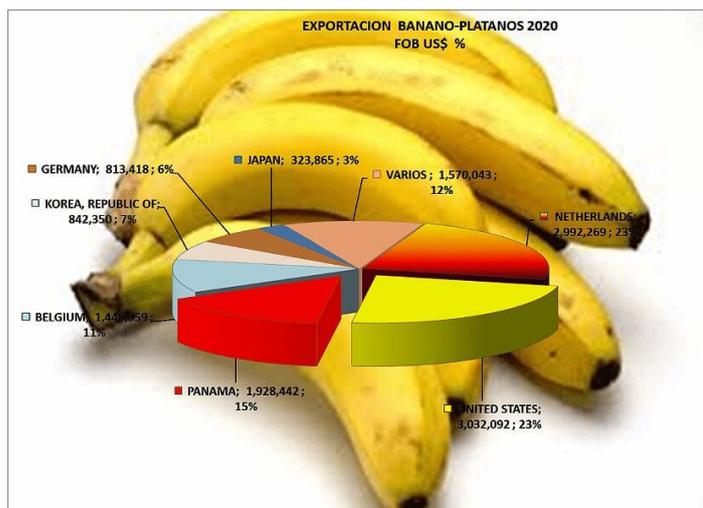


Figura 2: Exportación de banano por mercado

Fuente: Agrodata Perú (Koo, Agrodata, 2020)

Con estas cifras se puede concluir que el banano orgánico es un producto con alta demanda y un amplio mercado por abastecer, por ello esta investigación consiste en trabajar en métodos eficaces para su mejora de rendimiento.

1.2.2 Mango orgánico

Cada vez la demanda de los productos orgánicos crece con mayor rapidez y este es el caso del mango, cuyas exportaciones no son la excepción. Mercados internacionales como Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido, Francia e Italia son los principales importadores del mango peruano.

Perú exporta sus distintas variedades de mango como fruta fresca, en pulpa, congelado y como jugo (Gestión, APEM, 2018).

Las principales regiones productoras de mango son Piura, Lambayeque y Casma. Y los productores mexicanos y brasileños representan la competencia más importante para el Perú.

En esta última campaña (2019-2020) se ha trabajado de la mano del Servicio Nacional de Sanidad Agraria- Senasa, quienes brindaron capacitaciones sobre el manejo integrado de moscas de la fruta en los valles del Alto Piura y San Lorenzo, en coordinación con pequeños productores, gremios de exportadores, organizaciones de uso de agua y municipalidades con el fin de mantener las agroexportaciones de mango con total normalidad (SENASA).

Además, en el 2019 más de 700 ha piuranas de banano y mango fueron certificadas como orgánicas de las cuales 417.5 ha son de mango. Esto se logró con el apoyo del Gobierno

Regional de Piura que viene fomentando la exportación de productos orgánicos con Programas Presupuestales N 0121 relacionado al acceso a los mercados y el N 0041 asociado a la mejora de la inocuidad agroalimentaria. Estas tierras fueron certificadas mediante cofinanciamiento del 50% (Córdova, 2019).

La industria ha planteado que la campaña 2019-2020 romperá récords de exportación con un pronóstico de 220,000 toneladas entre las diferentes variedades de mango convencional y el mango orgánico, esto quiere decir que hay mercado suficiente para incrementar la producción de este último que además generaría mayor margen de utilidad para el productor, ya que es un fruto altamente valorado y los clientes pagarían lo justo por adquirirlo (Redagícola, Banano y mango, con altas expectativas, 2019).

Finalmente, si se habla de exportaciones, al igual que el banano, el mango tiene una fuerte demanda extranjera. Si bien es cierto, la gran mayoría de hectáreas sembradas de este fruto no son orgánicas, se viene trabajando de la mano de órganos públicos para certificar más parcelas y se le dé más valor al este cultivo.

A continuación, se mostrará la Tabla 4 de las exportaciones del mango, una vez más recalcando que la mayoría de éstas son de mango convencional, no orgánico:

Tabla 4: Exportación de mango

Mes	2020			2019		
	FOB (\$)	KILOS	PRECIO PROMEDIO (\$)	FOB	KILOS	PRECIO PROMEDIO (\$)
ENERO	87 522 749	80 731 130	1.08	80 298 167	72 061 691	1.11
FEBRERO				43 568 352	32 539 021	1.34
MARZO				46 451 312	28 301 614	1.64
ABRIL				7 471 999	2 593 439	2.88
MAYO				512 677	96 892	5.29
JUNIO				257 825	35 575	7.25
JULIO				1 248 520	964 347	1.29
AGOSTO				1 011 263	1 038 033	0.97
SETIEMBRE				254 993	82 060	3.22
OCTUBRE				1 966 099	1 508 702	1.3
NOVIEMBRE				13 580 405	8 128 229	1.67
DICIEMBRE				62 182 015	53 474 549	1.16
TOTALES	87 522 749	80 731 130	1.08	258 803 627	200 824 152	1.29
PROM	87 522 749	80 731 130		21 566 969	16 735 346	

% CRECIMIENTO O ANUAL						
	306%	3%	-16%	1%	-4%	5%

Fuente: Agrodata Perú (*Koo, Agrodata, 2020*)

De acuerdo con esta fuente, en el 2019 hubo un crecimiento en las exportaciones del 5% respecto al año anterior, lo que una vez más significa el potencial crecimiento de mango y en un futuro sea la mayor parte mango orgánico (*Koo, Agrodata, 2020*).

De la misma manera que con el banano orgánico, el mango tiene clientes distribuidos en todo Asia, Europa y América, tal como se aprecia en la Figura 3:

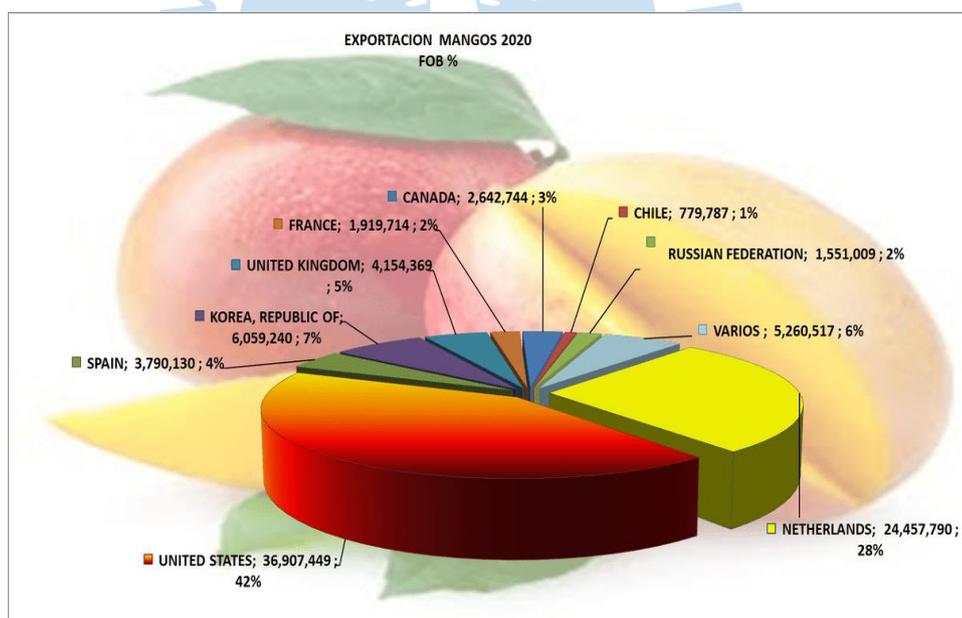


Figura 3: Exportación de mango por mercado

Fuente: Agrodata Perú (*Koo, Agrodata, 2020*)

Satisfacer mercados como estos no es nada sencillo, sus estándares de calidad son muy altos y con el pasar del tiempo serán aún más rigurosos.

1.3 Agricultura de precisión

La demanda agrícola crece cada vez más rápido debido al incremento poblacional mundial, por esta razón, la agricultura se viene enfrentando con el desafío de aumentar su producción. Con el pasar de los años los terrenos para cultivos han ido aumentando y también se ha buscado métodos y tecnologías para incrementar su rendimiento.

La agricultura de precisión es un conjunto de tecnologías que permite optimizar la gestión de campos agrícolas cuyo objetivo es incrementar la productividad de los cultivos pues como se sabe, las características del suelo varían en el espacio y tiempo. Dichas tecnologías permiten tomar decisiones acertadas en todas las fases del proceso de producción con herramientas disponibles para un buen análisis de la información en tiempo real.

La agricultura de precisión demanda el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y Sistemas de Información Geográfico (SIG), dispositivos satelitales, sensores e imágenes aéreas para compilar suficiente información que permita evaluar y entender las variaciones que presenten los terrenos, lo cual permitirá predecir con mayor exactitud la producción de los cultivos, estimar el uso correcto del agua e insumos necesarios para su producción haciendo uso de sistemas de riego tecnificado (Marote, 2010).

Todo lo mencionado anteriormente posibilitará a los agricultores a reducir sus costos y mejorar su rentabilidad.

La aplicación de la Agricultura de Precisión suele relacionarse a la Agricultura Sostenible o Sustentable, ya que, al tener un conocimiento más preciso de las necesidades y características del terreno y cultivos, no se utilizan dosis exageradas de los insumos que demanden lo cual genera una disminución del impacto ambiental al planeta.

1.3.1 Tipos de variabilidad

Como se mencionó al inicio de la definición de la Agricultura de Precisión, cada terreno tiene sus propias particularidades, las que pueden tener variaciones en el espacio y tiempo. Por ello, se puede decir también, que la definición de la Agricultura de Precisión es el manejo de la variabilidad tanto espacial como temporal asociada a todos los aspectos de la producción agrícola.

A continuación, se pasará a explicar cuáles son los tipos de variabilidades.

- Variabilidad espacial

Se entiende por variabilidad espacial a los cambios que se presentan en un mismo terreno de cultivo, es decir, un mismo lote puede tener diferentes rendimientos.

Para conocer la variabilidad espacial se generan mapas de rendimiento como los que se pueden apreciar en la Figura 7, estos ayudan a delimitar áreas de manejo homogéneas. Para encontrar estas posiciones (latitud y longitud) se utilizan Sistemas DGPS (*Differential Global Positioning System*) cuya precisión es mayor (exactitud en cm) que un GPS, lo cual permitirá recopilar datos como la calidad del suelo, densidad de cultivo, cantidad de agua, etc., estos parámetros deben ser relevantes para el agricultor para poder tomar decisiones acertadas en los momentos adecuados (Ezcarra y Borda).

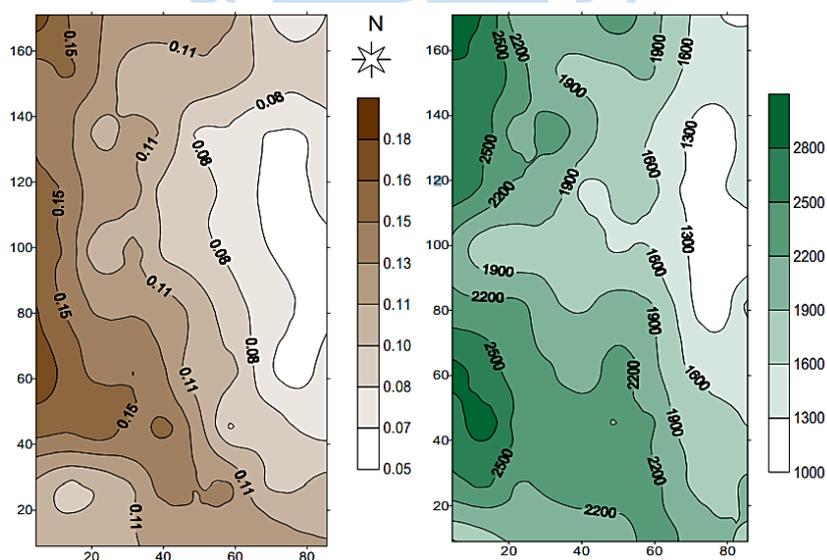


Figura 4: Variabilidad espacial en algunas propiedades del suelo

Fuente: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (Melchiori, Echevarría, & García, 2015)

- Variabilidad temporal

La variabilidad temporal consiste en la comparación de mapas de rendimiento de un mismo terreno a lo largo de los años tal como se muestra en la Figura 5. Esto sirve para encontrar tendencias de las diferentes características del suelo, y para poder predecir los cambios que seguirán dándose (Ezcarra y Borda).

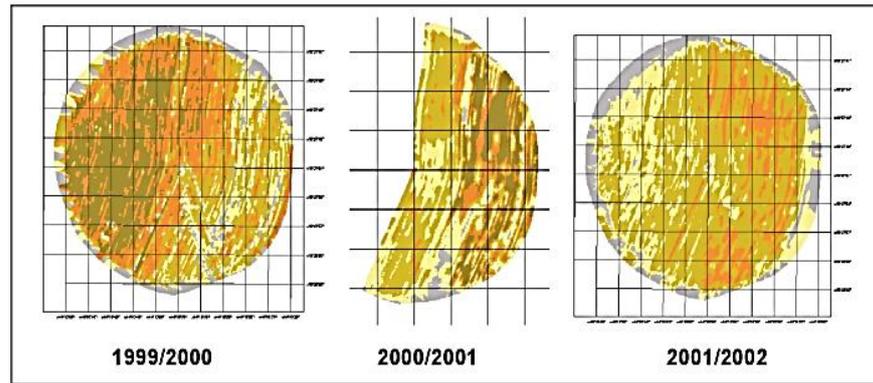


Figura 5: Variabilidad temporal

Fuente: Estación Experimental Maíz y Sorgo, Sete Lagos (Chartuni, de Assis de Carvalho, Marçal, & Ruz, 2007)

- Variabilidad predictiva

La variabilidad predictiva hace referencia a los valores esperados (de costos, volúmenes, insumos utilizados, mano de obra, entre otros parámetros) frente a los reales que determinan los precios de venta a los clientes. Este tipo de variabilidad puede ser cuantificada con la diferencia entre lo teórico y lo real (Ezcara y Borda).

1.3.2 Barreras para la utilización de agricultura de precisión en pequeños agricultores

En el Perú un poco más del 10% de las empresas agrícolas utilizan AP y esta se debe a su gran escala de producción; mientras que el resto se ha limitado a utilizar técnicas y métodos convencionales por distintas razones, entre ellas (ElPeruano):

- Bajo presupuesto de inversión en optimización de recursos.
- Las tecnologías y equipos siguen viéndose como muy costosos sin analizar los futuros beneficios.
- Poca disponibilidad de personal capacitado en sistemas informáticos para la AP.
- Resistencia a pagar por información.
- Falta de recursos monetarios por parte del Estado para su capacitación.

1.3.3 Beneficios de la utilización de AP

- Mayor eficiencia productiva.
- Optimización de recursos.
- Evita el despilfarro de recursos naturales, por ello contribuye con el cuidado del medioambiente.
- Mejora de la administración de las parcelas.
- Mayor conocimiento del terreno.
- Ahorro de costos.
- Reducción de la fatiga en los operarios.

1.3.4 Herramientas y tecnologías

En esta sección se hablará del enfoque y funcionamiento de las herramientas más útiles y comunes para el diagnóstico de las áreas de producción agrícola con el propósito de mejorar la productividad del cultivo, así como de la calidad ambiental (Chartuni M. , 2014).

Sistema de posicionamiento global

Los sistemas globales de navegación por satélites o GNSS (*Global Navigation Satellite System*) vienen ganando gran popularidad en el mercado, siendo el GPS (*Global Positioning System*) el de uso mayoritario en el campo de la agricultura de precisión.

Inicialmente los GPS fueron desarrollados para el uso militar. Sin embargo, la disposición de su uso para la comunidad civil revolucionó la manera de gestionar los campos, georreferenciando los problemas y soluciones para la agricultura.

El uso de los GPS en la agricultura contribuye con la optimización de los procesos productivos, disminuyendo de esta manera, el tiempo de trabajo que utilizaba convencionalmente un agricultor realizando sus tareas, de esta forma con la data reunida de los sensores de los que se hablará posteriormente, y conociendo los parámetros y su geolocalización se podrá conocer el lugar exacto del problema como se muestra en la Figura 6.



Figura 6: GPS agrícola

Fuente: Agroptima (*Interempresas, 2015*)

Actualmente, existen diferentes sistemas de navegación por satélites además del ya mencionado GPS (sistema americano), como GLONASS (sistema ruso), GALILEO (sistema europeo), COMPASS (sistema chino), entre otros.

A continuación, según el *Manual de Agricultura de Precisión*, se describirán los conceptos básicos para comprender el funcionamiento del GPS.

- Segmentos de los GPS
 - Segmento espacial: está constituido de por lo menos 24 satélites.
 - Segmento de control: monitorea los mensajes de navegación de los satélites y envía los ajustes que sean necesarios.
 - Segmento de usuarios: Este segmento está compuesto por los receptores.
- Funcionamiento del sistema de posicionamiento global
 - Posicionamiento: con la posición y distancias conocidas entre los satélites, el receptor GPS puede calcular una posición precisa, para lograrlo el sistema utiliza el concepto de triangulación y la información de la velocidad de propagación de la señal.

Se necesita al menos conocer la distancia entre 4 satélites y la distancia del receptor a dichos satélites. Estos últimos tienen sus propios códigos emitidos por dos ondas portadoras².

El posicionamiento con GPS se puede realizar con base en el código o en las ondas, siendo el más utilizado por los receptores con base en el código por ser más barato.

- Medición de distancias: se calculan conociendo la velocidad de desplazamiento de la señal mediante la siguiente ecuación:

$$d(m) = v(m/s) * t(s)$$

Siendo:

d : distancia (metros)

v : velocidad de la luz (metros por segundo)

t : tiempo (segundos)

Para medir el tiempo, el receptor debe comparar la diferencia entre la señal enviada por el satélite y la generada por el mismo receptor. Esta actividad se realiza con un código de ruido pseudoaleatorio único que se le designa a un satélite y al receptor al mismo tiempo luego de una sincronización de relojes.

- Relojes precisos: los receptores utilizan relojes convencionales mientras que los satélites utilizan unos más precisos de orden en nanosegundos; por ello es necesario la intervención de un cuarto satélite para descartar errores de reloj.
 - Triangulación: para determinar la posición de un cuerpo se mide la distancia de este objeto a tres puntos de coordenadas conocidas (coordenadas de los satélites), para ello se realizan cuatro mediciones, aunque esta última se utiliza para minimizar errores.
- Tipos de receptores utilizados en la agricultura

² Ondas que tienen la finalidad de transmitir información

- Precisión del sistema
 - Tipo de receptor:
 - Navegación: precisión entre 5 y 10 m.
 - Topográfico: precisión submétrica.
 - Geodésicos: precisión en centímetros.
 - Tiempo de relevamiento de una posición geográfica: a mayor número de lecturas, mayor precisión.
 - Posición relativa de los satélites: se consigue cuando el cielo está más despejado.
 - Configuración del receptor: dependerá del nivel de tolerancia que haya sido establecido.
- Métodos de posicionamiento
 - Autónomo: no tiene corrección; es más barato. Pueden ocurrir errores de hasta 10m.
 - Diferencial: se pueden corregir utilizando con un receptor de posición conocida con datos de un satélite.
 - Autónomo con corrección por algoritmo: el uso de algoritmos internos permite obtener errores por debajo de 1m; sin embargo, son más caros.
 - Posicionamiento según la fase de la portadora: se realiza una corrección diferencial con procesamiento de la fase, su precisión es de hasta 10cm.
- Fuentes de error
 - Retardo atmosférico: sucede cuando las señales del sistema de posicionamiento atraviesan parte de la atmósfera por lo que la señal necesitará más tiempo para llegar al receptor causando desviaciones en la posición calculada.

- Multitrayectoria: sucede cuando la señal del GPS se desvía en un objeto antes de llegar a su receptor. Esto depende de diversos parámetros atmosféricos de manera repentina.
- Ruido del receptor: la gran mayoría de aparatos tecnológicos electrónicos generan ruidos, y el receptor no es la excepción; por ello puede interferir causando error.

Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográficas (SIG) son softwares dedicados a la gestión de datos (que están vinculados a una referencia espacial), es decir, su almacenamiento y procesamiento, para su posterior análisis y monitoreo, estos datos se pueden visualizar en forma de gráficos, mapas o figuras.

Una ventaja característica de los SIG es que se pueden integrar datos de diferentes áreas, lo cual permite obtener información completa e importante en un mismo lugar. El único requisito es que toda la información esté organizada en capas.

Los mapas son representaciones cartográficas y aquellos que muestran datos de un determinado tema son mapas temáticos, estos últimos estarán representados vectorial o matricialmente (Sarría).

Según el *Manual de Agricultura de Precisión*, los formatos son:

- Formato vectorial:

Los formatos vectoriales, según funcionan de la siguiente manera; la localización geográfica es almacenada y representada por vértices que se definen por un punto, una línea o un polígono.

El punto se define con un par de coordenadas únicas, la línea por varios pares de coordenadas geográficas y un polígono por varios pares de coordenadas geográficas si el último par es coincidente con el primer par.

Los archivos de formato vectorial son más sencillos de manejar por el procesador de las computadoras debido a que no necesitan mucho espacio en el disco duro y además, ocupan poco espacio cuando se realizan cálculos.

- Formato matricial:

El formato matricial, es aquel cuya área geográfica es representada por una matriz, con i columnas y j líneas. Estas columnas y líneas definen ya sea celdas regulares, cuadradas o rectangulares.

Los archivos matriciales requieren mayor procesamiento pues la información que representan viene ligada a una matriz que puede ser cuadrada, regular o rectangular de píxeles y por ello ocupan una cantidad significativa de memoria y exigen espacio en el disco duro. Se puede apreciar una comparación en la Figura 7:

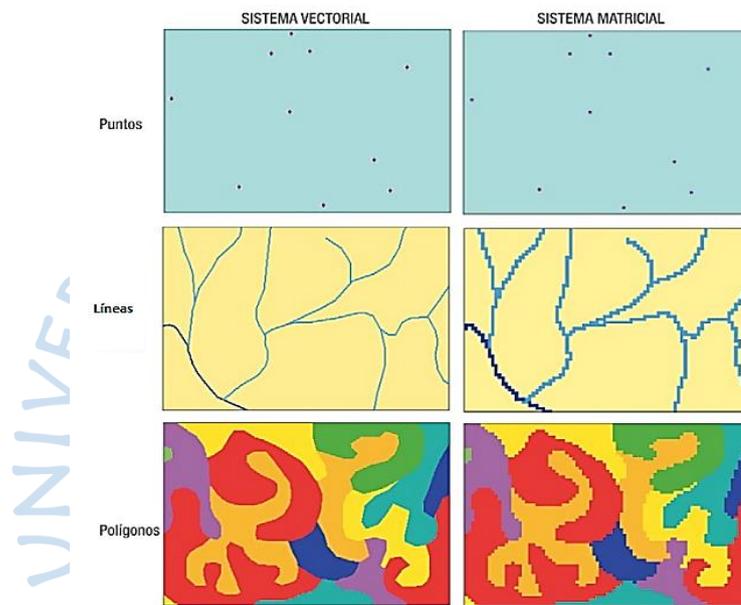


Figura 7: Ejemplos de trazos en sistema vectorial y matricial

Fuente: Manual de Agricultura de Precisión (*Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2014*)

Los elementos básicos de un SIG (Olaya, 2014), son:

- Datos: es el combustible para poder trabajar en un SIG, son la información geográfica esencial para el funcionamiento del sistema.
- Métodos: metodologías que se pueden aplicar a los datos.
- Software: tecnología necesaria para trabajar con la data.
- Hardware: dispositivos para ejecutar el software.
- Personas: quienes se encargan de diseñar y trabajar el software.

Estos elementos se pueden representar mejor con la Figura 8:

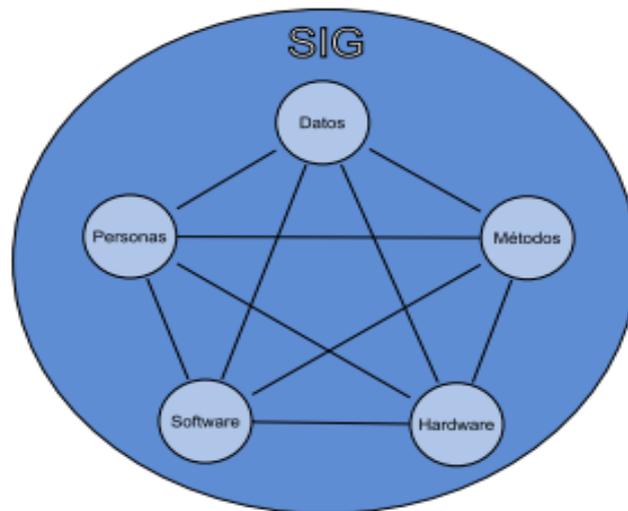


Figura 8: Elementos SIG

Fuente: Sistemas de Información Geográficas.

Mapas de rendimiento

Un mapa de rendimiento es una representación espacial de datos de rendimiento registrados durante la cosecha de un cultivo (Chartuni M. , 2014) su representación espacial suele darse con un formato vectorial de puntos y coordenadas (x, y, z) asociadas a un sistema de proyección (latitud, longitud y altura).

Para poder realizar un mapa de rendimiento se necesita tener un monitor de rendimiento, y de este último dependerá la cantidad de data que se obtenga. Estos pueden ser: distancia recorrida, velocidad de avance, flujo de granos, humedad de granos, pérdidas de cosecha, etc.

Los mapas de rendimiento se obtienen a partir de los datos recolectados por una máquina cosechadora la cual incluye un GPS y un conjunto de sensores que permiten calcular la cantidad de grano cosechado por unidad de superficie.

Los tipos de sensores que se utilizan en los monitores de rendimiento son (Chartuni M. , 2014):

- Sensor de flujo de grano: determina la cantidad de grano que ingresa a la tolva de la cosechadora.
- Sensor de humedad del grano: mide las propiedades dieléctricas del grano.

- Sensor de velocidad de avance: mide mediante un sensor magnético, el número de vueltas de las llantas.
- Sensor de posición de cabezal: el sensor activa el registro de datos cuando el cabezal está en posición de cosecha, y cuando se levanta el cabezal, se detiene la toma de datos.

Se puede apreciar un ejemplo de un mapa de rendimiento en la Figura 12:

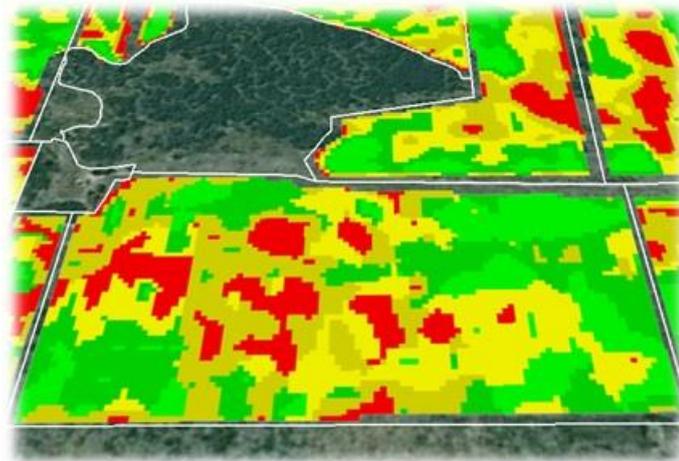


Figura 9: Mapa de rendimiento

Fuente: Asociación Geoinnova (Asociación Geoinnova, 2009)

Sistemas de riego tecnificado

Los agricultores están acostumbrados a regar en base a la experiencia que le han dado los años dedicados a los cultivos, sin embargo, ante la escasez de agua han surgido sistemas de riego que han conducido a una reducción de este recurso, obteniendo una mayor producción, y una alta calidad de la cosecha, evitando así el deterioro de las plantaciones (Inforural, 2013).

El riego tecnificado es una práctica común en el sector agrícola que utiliza diferentes dispositivos tecnológicos para un correcto aprovechamiento del agua permitiendo aplicarla de manera localizada y eficiente, obteniendo su máximo beneficio (Franquesa, 2016).

Algunas de las ventajas son (Agro, 2018):

- Disminución del consumo de agua y en consecuencia ahorro en la facturación de esta.
- Eficiencia en el uso de agua e insumos.
- Obtención de mayores volúmenes de producción.
- Mayor margen de ganancia.
- Disponibilidad de tiempo para realizar otras tareas.

El riego por goteo, aspersión y microaspersión son los más utilizados cuando se refiere a sistemas de riego tecnificado. De ellos ya se ha hablado anteriormente.

Para poder instalar un sistema de riego tecnificado, es importante considerar (Olivos, 2019):

- Las dimensiones de la zona que se pretende regar, tipo de suelo, topografía, cantidad y calidad de agua, y clima.
- Cálculo de caudales, diámetro de tuberías, sistema de bombeo y presiones.
- Demanda hidráulica, tipos y requerimiento de los cultivos.

Se puede inferir que el riego tecnificado ha sido un importante factor para el desarrollo de la agricultura de precisión, ya que, este permite canalizar toda la data obtenida de diversos sistemas de información que permiten predecir el uso adecuado de todos los recursos utilizados en la producción de los cultivos.

1.4 Internet of Things

El Internet de las cosas, internet de los objetos o con su nombre en inglés “Internet of things” (IoT) es un concepto muy escuchado hoy en día, a pesar de no haber sido creado recientemente, su origen se remonta al año 1999 como resultado de las investigaciones de campo de la identificación de radiofrecuencia en red (RFID) y las tecnologías de sensores emergentes del grupo Auto-ID Center perteneciente al Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT). No es posible darle una definición exacta al Internet de las cosas, pero entre las más escuchadas están:

- Según el Grupo de soluciones empresariales basadas en internet de Cisco (IGSG, Internet Business Solutions Group) puede definirse como: Punto en el tiempo en el que se conectaron a Internet más “cosas u objetos” que personas.
- Según la investigadora Margery Conner, puede definirse como: Interconexión digital de los objetos cotidianos con Internet (Conner, 2010).
- Y para otros investigadores se puede definir sencillamente como: Modelo que abarca a las tecnologías de comunicación inalámbrica como las redes de sensores inalámbricos, redes móviles y actuadores, con cada uno de los elementos denominados “objetos o cosas” y con una dirección única (Cama, 2012).

La definición que se usará en esta tesis será: Paradigma mediante en el cual se recopila data mediante nodos que están conectados directa o indirectamente a internet, siendo el objetivo de la recopilación de estos datos su posterior análisis y extracción de información de procesos naturales o artificiales (ECBM | Digitalisierungsberatung für den Mittelstand | IoT-Experte). Cabe destacar, que a un nodo están conectados uno o más sensores los cuales son los encargados de recopilar la data. Se puede entender más fácil este concepto con la Figura 10:

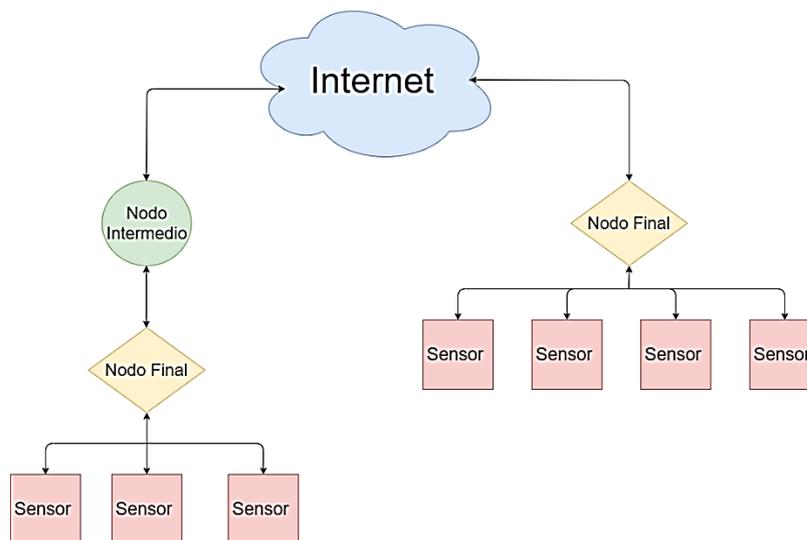


Figura 10: Diagrama funcional IoT

Fuente: Elaboración propia

1.4.1 Usos IoT

Hay innumerables usos que se le da al Internet de las cosas hoy en día, y se siguen inventando más, debido a que es una tecnología que aún sigue en desarrollo. Con el fin de dar a

entender mejor el IoT, en esta subsección se hablará sobre los usos actuales que se le da, para entender su importancia y gran popularidad.

Hogar

El IoT permite el control del equipamiento de hogar, como, por ejemplo: equipos de aire acondicionado, refrigeradoras, lavadoras de ropa, calefacciones, etc., esto con el fin de permitir un mejor control de la energía utilizada (Gubbi, Buyya, Marusic, & Palaniswami, 2013). Su funcionamiento puede entenderse mejor con la Figura 11:

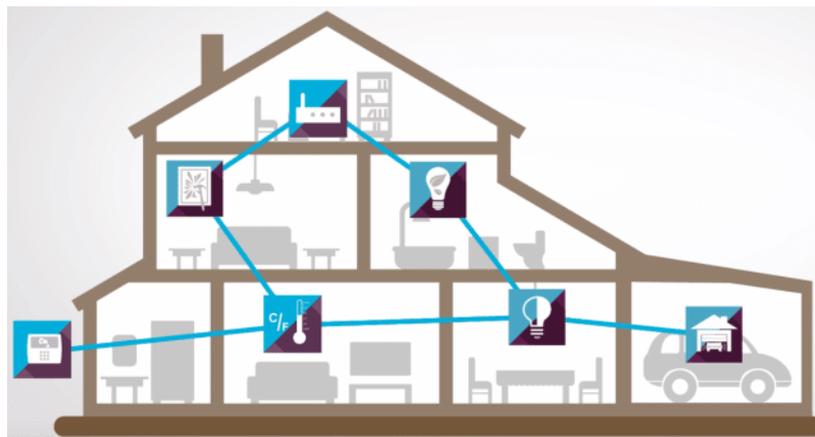


Figura 11: Hogar con IoT

Fuente: Z-Wave Alliance (*Domoticalia*, 2019)

En el diagrama se pueden observar muchos nodos finales conectados a un nodo intermedio, que en este caso es el router de Wifi, el cual es encargado de subir la data a Internet para que el usuario pueda acceder a esta desde otro lugar. En el Paper *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*, se menciona un ejemplo, en el que un usuario a través de Twitter puede leer los estados de los dispositivos de su hogar, ya que por medio de *TweetOT*, los equipos pueden “twittear” sus actuales lecturas.

Medicina

El IoT también se puede utilizar en el campo de la medicina combinada con otras tecnologías como la tecnología RFID (Identificación por Radiofrecuencia).

La tecnología RFID, como su nombre lo dice, consiste en identificar objetos de manera que se puede llevar un control de ellos, se usa en muchos campos como: en bibliotecas para el manejo de libros, en la ganadería y como el tema central de esta subsección, en la medicina, para manejo y control de materiales, pacientes, entre otros (Actum).

Ahora, la tecnología RFID permite llevar un control de objetos, pacientes, etc., mientras que el IoT la complementa permitiendo un almacenamiento, procesamiento y análisis de datos de manera eficiente. Esto se puede entender por medio de la Figura 12:

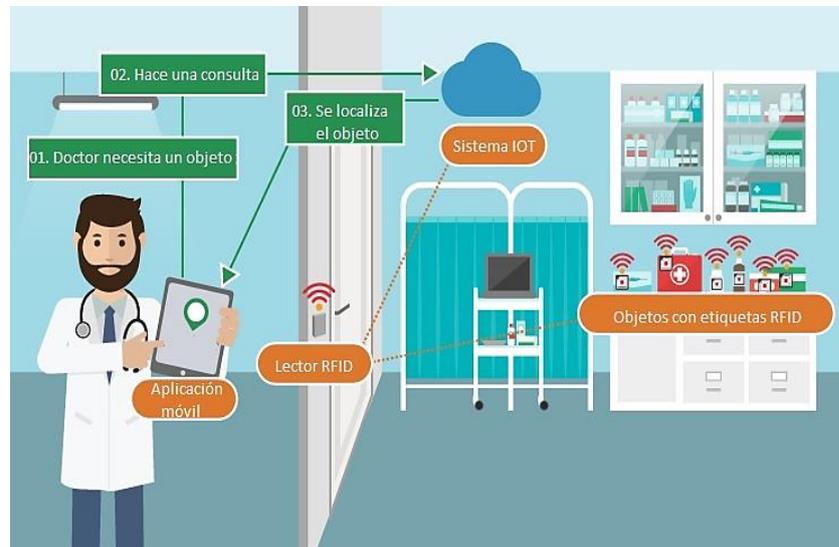


Figura 12: Hospital con IoT y RFID

Fuente: Science Soft (*Shiklo, Science soft, 2018*)

El diagrama se puede entender de la siguiente manera: en una primera instancia, los objetos son equipados con la tecnología RFID, que, por medio de su lector, con ayuda de un nodo subirán la data a Internet. Luego, cuando el personal necesite un objeto en específico, lo buscará con ayuda de una Aplicación Móvil, la cual buscará la data almacenada en Internet y dará la ubicación al personal.

La combinación de estas dos tecnologías trae consigo una serie de ventajas considerables, entre las cuales resaltan (Shiklo, RFID und IoT im Krankenhaus: Vorteile und Bedenken, 2018):

- Reducción de tiempos de búsqueda de equipos médicos, pacientes y objetos.
- Detección de “cuellos de botella” en distintos procesos hospitalarios.
- Reducción y prevención de pérdidas y robos en las instalaciones del hospital.

Manufactura

Actualmente se está introduciendo más y más el concepto de IoT en la manufactura, asociado con temas como:

- Estado de máquinas y equipos.

- Logística.
- Inventarios de piezas y productos terminados.
- Mantenimiento predictivo de activos.

El fin de introducir el IoT en la manufactura es lograr “smart factories” en las cuales las máquinas, los recursos y suministros estén conectados en una red (Mourtzis, Vlachou, & Milas, 2016). Esto se puede entender de una mejor manera con la *Figura 13*:

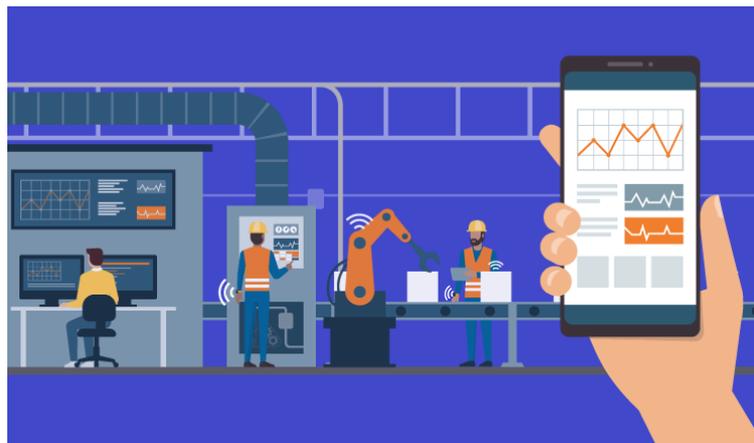


Figura 13: Planta de manufactura con IoT

Fuente: Science Soft (*Shiklo, Science soft, 2018*)

En el diagrama se pueden apreciar nodos en las máquinas, operarios y materiales los cuales subirán la data a Internet de manera directa o indirecta, para que esta sea mostrada en una aplicación o página web como se puede observar.

Agricultura

Finalmente se hablará de los usos que tiene el IoT en la agricultura, el cual es el enfoque que se quiere dar en esta tesis. Actualmente suele utilizarse IoT principalmente en invernaderos, a fin de recolectar data como: la temperatura crítica, humedad, señales del suelo, entre otros. Para esto suelen utilizarse sensores conectados a nodos que se encargan de subir la data a Internet para ser procesada y ser enviada al usuario por medio de SMS a su teléfono o por medio de una aplicación móvil o una página web (Ji-chun Zhao and Jun-feng Zhang and Yu Feng and Jian-xin Guo, 2010). A través de la Figura 14 se busca explicar el funcionamiento del IoT en la agricultura:

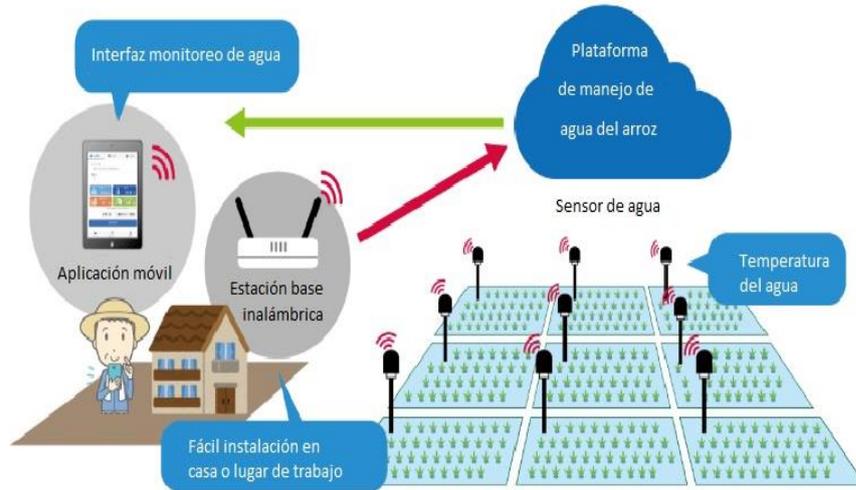


Figura 14: Agricultura con IoT

Fuente: Japan Top News (*Japan Top News*, 2019)

En la figura se pueden apreciar los distintos nodos finales, los cuales envían la data a un nodo intermedio el cual se encarga de cargar la data a Internet para ser procesada y mostrada en la aplicación como se puede observar.

1.4.2 Tecnologías de comunicación de IoT

El Internet de las cosas utiliza distintas tecnologías de comunicación inalámbrica, como son: el 3G, Bluetooth, WiFi, entre otros, cada una de las mencionadas tiene un rango y una cantidad de data que puede ser enviada respectivamente, esto se puede apreciar en la Figura 15:

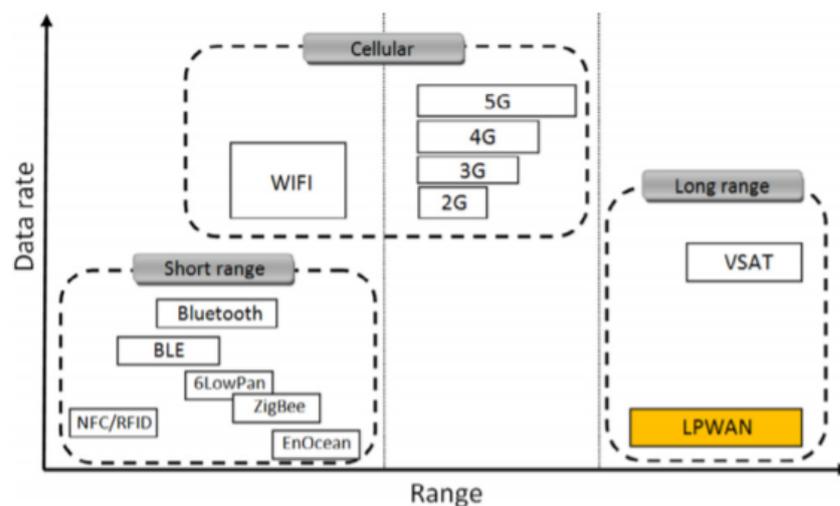


Figura 15: Comparación Data vs Rango de tecnologías de comunicación

Fuente: A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, KICS, 2017)

Debido a que el objetivo de esta investigación es aplicar el concepto de IoT a la agricultura, se optó por investigar sobre la tecnología de comunicación que tenga mayor alcance, esto debido a que la agricultura se caracteriza por abarcar grandes extensiones geográficas, es así como se eligió LPWAN.

La *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), es una tecnología de comunicación que se encarga de enviar data en un área extensa utilizando poca energía, estos son las características que lo distinguen de otras como se pudo observar en la Comparación Data vs Rango de tecnologías de comunicación. En resumen, esta tecnología posee tres características fundamentales (La Rosa, 2018):

- LPWAN envía bajas cantidades de datos de manera no constante.
- Se basa en el bajo consumo de energía de manera que se puede usar dispositivos que operan usando simples baterías de uso comercial (AA, AAA) y contar con un tiempo de vida útil de 2 a 10 años.
- Finalmente, esta tecnología se basa en el gran alcance que tienen los dispositivos que lo utilizan.

Actualmente existen muchas tecnologías LPWAN, en esta tesis se escribirán los aspectos más importantes de las tres soluciones comerciales más relevantes hoy en día. Estas son:

NB-IoT

NB-IoT o *Narrowband-IoT*, es una tecnología de grado celular que está actualmente en desarrollo solo en Europa. En esta, cada dispositivo debe conectarse a un operador con licencia para poder funcionar (Ray). La tecnología NB-IoT posee las siguientes características (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, 2019):

- Pueden enviar como máximo 200kbps por comunicación.
- Su alcance ideal en terreno urbano es de 1km.
- Su alcance ideal en terreno rural es de 10km.

- NB-IoT no permite redes privadas.

LoRaWAN

LoRa es la abreviatura de *Long Range* o Largo Alcance en español. Se trata de la tecnología propuesta por Semtech para soluciones de IoT, los dispositivos LoRa utilizan LoRaWAN que no es más que el protocolo estándar de comunicaciones. De las tres tecnologías presentadas en esta investigación, se puede afirmar que es la más popular, y se estima que para el 2023 el 43% de las conexiones LPWAN utilicen esta tecnología de comunicación (Semtech). La tecnología LoRaWAN posee las siguientes características (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, 2019):

- Pueden enviar como máximo 50kbps por comunicación.
- Su alcance ideal en terreno urbano es de 5km.
- Su alcance ideal en terreno rural es de 20km.
- LoRaWAN permite redes privadas.

Sigfox

Sigfox es la pionera de las 3 tecnologías, creada en el año 2010 y a su vez, la más económica y de fácil instalación, los dispositivos que utilizan Sigfox pueden enviar como máximo 6 mensajes por hora (Aernouts, Berkvens, Van Vlaenderen, & Weyn, 2018). Estos a su vez, poseen una comunicación bidireccional muy limitada a diferencia de las otras dos tecnologías (Ray). Sigfox posee las siguientes características (Mekki, Bajic, Chaxel, & Meyer, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, 2019):

- Pueden enviar como máximo 100bps por comunicación.
- Su alcance ideal en terreno urbano es de 10km.
- Su alcance ideal en terreno rural es de 40km.
- Sigfox no permite redes privadas.

1.4.3 Selección de tecnología de comunicación IoT (LoRaWAN)

En la sección anterior se mencionaron las características más resaltantes de las tres tecnologías de IoT. En esta sección, con el fin de ayudar a seleccionar la más conveniente para el caso planteado en esta tesis, se elaboró la Tabla 5:

Tabla 5: Comparación técnica de las tecnologías LPWAN

	NB-IoT	LoRaWAN	Sigfox
Data máxima por comunicación	200 kbps	50 kbps	100 bps
Bidireccional	Si	Si	Muy limitada
Comunicaciones diarias permitidas por el operador	Ilimitados	Ilimitados	140 por día
Rango urbano ideal	1 km	5 km	10 km
Rango rural ideal	10 km	20 km	40 km
Inmunidad a la interferencia	Baja	Alta	Alta
Autenticación y encriptación	Si (LTE)	Si (AES)	No acepta encriptación
Permite redes privadas	No	Si	No

Fuente: Elaboración propia

Ahora, una vez conocidos los aspectos técnicos de cada tecnología de comunicación, se hablará sobre el factor determinante, el cual es el costo. Los más importantes son dos: costo de espectro³ y el costo del dispositivo. Para facilitar su visualización, se han recopilado los valores del artículo *A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment* en la Tabla 6:

³ Se entiende como costo de espectro a la licencia que se debe pagar mensual o anualmente por utilizar el servicio

Tabla 6: Costos de las distintas tecnologías LPWAN

	Costo de espectro (\$)	Costo de dispositivo (\$)
NB-IoT	543 \$/MHz	>16310 \$/estación base
LoRaWAN	Gratis	>108 \$/estación base
Sigfox	Gratis	>4348 \$/estación base

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que cada tecnología tiene una estructura física diferente, pero las tres mencionadas poseen un dispositivo llamado Estación Base o *Base Station* cuya función es recibir la data enviada y subirla internet (One).

Finalmente, luego de tener conocimiento de los aspectos técnicos y tipos de costos de las distintas tecnologías LPWAN más populares, analizando el caso en el que se enfoca esta tesis, que es desarrollar un prototipo que pueda ser utilizado en el cultivo de mango y banano orgánico en Piura, se optó por LoRaWAN por ser la que mejor se adapta al entorno en el que se pretende desarrollar, su bajo consumo de alimentación, así como por los bajos costos que demanda en comparación de las otras dos tecnologías mencionadas.

Capítulo 2

Diseño del prototipo

En el presente capítulo se hablará sobre los distintos requerimientos de hardware y software para elaborar el prototipo presentado en esta tesis, además del procedimiento que se llevó a cabo para realizarlo y finalmente los resultados que se pudieron obtener con este, cabe resaltar que el prototipo se desarrolló con apoyo de la empresa alemana Enterprise Connected Business Models (ECBM).

2.1 Requerimientos

En la presente sección se hablará de los distintos requerimientos necesitados para la elaboración del prototipo de controlador agrícola con Agricultura de Precisión y LoRaWAN. Para facilitar su entendimiento, se realizó la siguiente división:

2.1.1 Hardware

El dispositivo trabajado consta de tres partes fundamentales cuyas funciones son:

- Sensor: es el encargado de recopilar la data.
- Nodo final: es el punto en el que uno o más sensores están conectados. Este puede estar conectado directamente a Internet o conectado a un Nodo intermedio.
- Nodo intermedio: es el punto en el que uno o más nodos finales están conectados. Este está conectado directamente a Internet y es el encargado de subir la data.

Cabe destacar que pueden existir sistemas en los cuales no se utilizan nodos intermedios, debido a que el nodo final tiene conexión a Internet. Ahora, una vez definidas las partes necesitadas para elaborar un sistema de IoT, se hablará ahora de las que se fueron utilizadas en el prototipo desarrollado.

Sensor

En esta oportunidad se utilizó un sensor facilitado por la empresa alemana *Enterprise Connected Business Model* (ECMB). El cual se puede apreciar en la Figura 16:

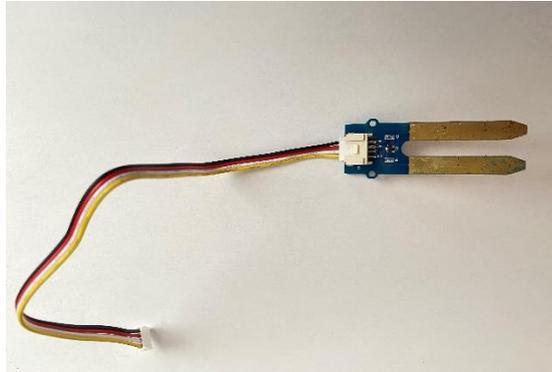


Figura 16: Sensor de humedad

Fuente: Elaboración propia

Este es un sensor de humedad, desarrollado por la empresa *Seedstudio* compatible con Arduino.

Nodo final

Se utilizó un *Marvin Board*, basado en un *Arduino* modelo Leonardo el cual contiene un chip LoRa. Este se puede apreciar en la Figura 17:

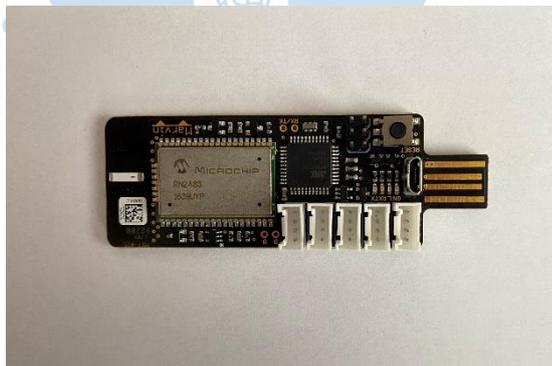


Figura 17: Nodo final

Fuente: Elaboración propia

Al igual que el sensor de humedad, el Arduino utilizado fue facilitado por la empresa ECMB.

Nodo intermedio

El nodo intermedio utilizado cuenta con dos partes, estas son:

- Raspberry Pi

Un Raspberry Pi es un ordenador de pequeñas dimensiones y bajo costo, el cual está equipado con sistema operativo Linux. Este se puede apreciar en la Figura 18:

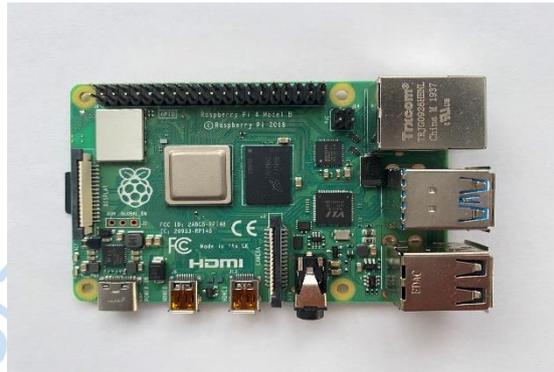


Figura 18: Raspberry Pi
Fuente: Elaboración propia

Este dispositivo fue facilitado al igual que los dos anteriores por parte de la empresa ECBM.

- Concentrador LoRa

Un concentrador es un dispositivo que no hace más que permitir la comunicación LoRa entre un nodo final y un Raspberry. Este puede apreciarse en la Figura 19:

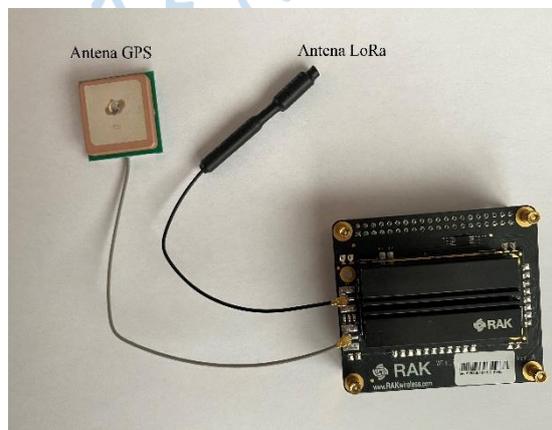


Figura 19: Concentrador LoRa
Fuente: Elaboración propia

Este dispositivo tiene dos antenas, una LoRa que recibe las señales de nodos finales, y una antena GPS que se encarga de ubicar geográficamente el nodo intermedio, estas fueron indicadas en la figura anterior. El concentrador mostrado anteriormente, fue desarrollado por la empresa RAK y fue adquirido a través de su propia página web.

Ahora, ensamblado el Raspberry Pi con el concentrador LoRa, se obtiene como resultado el nodo intermedio, el cual se muestra en la Figura 20:

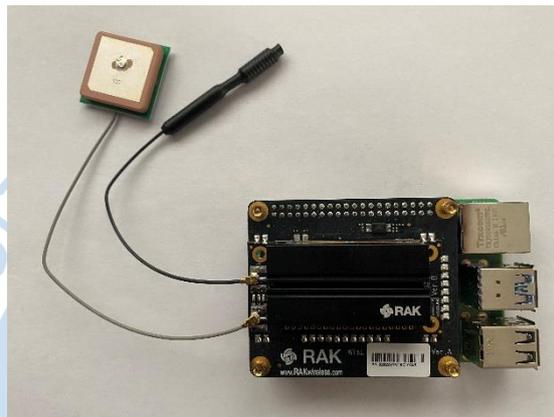


Figura 20: Nodo intermedio
Fuente: Elaboración propia

Una vez definido el Hardware utilizado para la elaboración del prototipo, se procederá a definir de la misma manera, los distintos Software utilizados.

2.1.2 Software

En esta subsección se hablará de los 3 software utilizados para la elaboración del prototipo, los cuales son *Open Source* o también llamados de código abierto, lo que significa que poseen una licencia en la que se contempla el uso sin restricción ni comisiones. Estos son:

Raspbian

Raspbian es un sistema operativo de código abierto distribuido por Linux (García, 2018). Este software fue utilizado debido a que es el sistema operativo con el funciona el Raspberry Pi del cual ya se ha hablado en la anterior sección.

ChirpStack

ChirpStack es un software de código abierto que proporciona los componentes para las redes LoRaWAN como la utilizada en este prototipo (ChirpStack, open-source LoRaWAN Network Server stack). Este software incluye una interfaz web que permite administrar dispositivos LoRaWAN.

ThingsBoard

ThingsBoard es el último software utilizado en la elaboración del prototipo y al igual que los anteriores, es de código abierto. Este se encarga de recopilar los datos, procesarlos según el nodo al que pertenecen y a través de la interfaz web que ofrece, permite elaborar paneles en los que se muestra la data recopilada por los dispositivos LoRaWAN de forma interactiva (Thingsboard).

Cabe destacar que ChirpStack permite una integración con Thingsboard, de manera que este permite al usuario organizar la data recibida de la manera que crea más conveniente. La relación y funcionamiento de estos softwares puede entenderse de una mejor manera con la Figura 21:

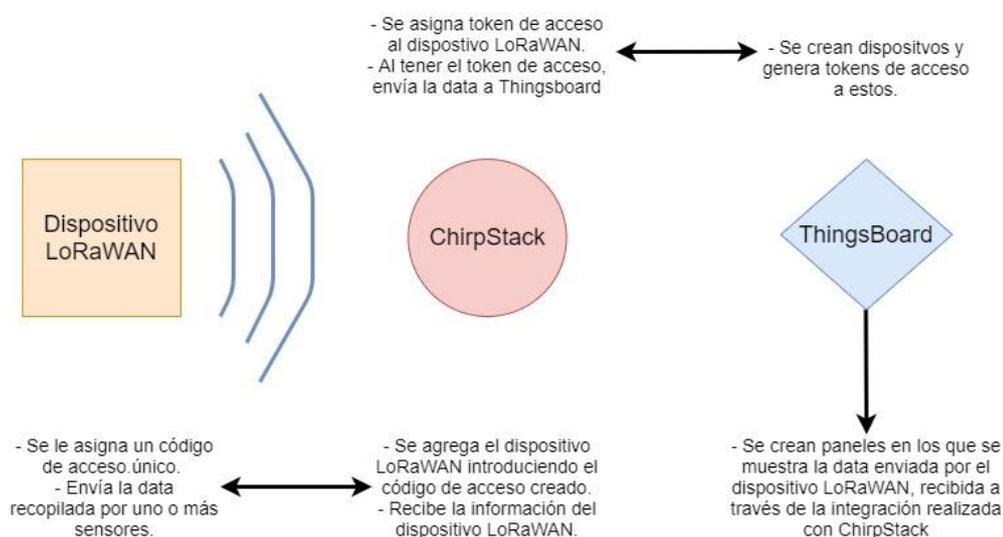


Figura 21: Diagrama de funcionamiento Chirpstack y Thingsboard

Fuente: Elaboración propia

2.2 Procedimiento

Una vez conocidos los distintos requerimientos de software y hardware, en esta sección se explicará el procedimiento realizado, cabe resaltar que no se entrará en detalles técnicos y que se recibió asesoría por parte de los ingenieros de la empresa ECBM:

1. El primer paso fue realizar un diseño basado en lo investigado anteriormente sobre el funcionamiento de un sistema de IoT. Este diseño se muestra en la Figura 22:

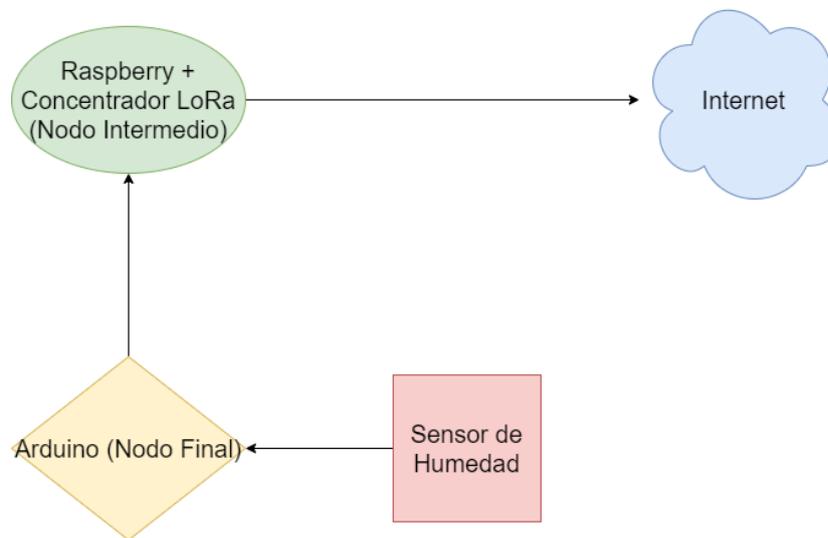


Figura 22: Diseño del prototipo

Fuente: Elaboración propia

2. Luego se pasó a configurar el nodo intermedio, para lograrlo se realizó lo siguiente:

- Se instaló el sistema operativo del Raspberry Pi, este se descargó de su página web y se instaló siguiendo los pasos mostrados en dicha página.
- Después, se procedió a acoplar el Raspberry Pi con el concentrador LoRa y sus respectivas antenas, obteniéndose el nodo intermedio mostrado en la sección anterior.
- Seguidamente, se procedió a instalar ChirpStack en el Raspberry Pi.

- A continuación, se accedió la página web de ChirpStack y se agregó un dispositivo de prueba.

- Luego, se introdujo un código Python⁴ en la consola del Raspberry Pi, este incluía una llave de acceso creada y el código se encargaba de simular valores, el fin de esto fue comprobar que el nodo intermedio recibía data.

- Una vez comprobado el funcionamiento del nodo intermedio, se procedió a instalar ThingsBoard en el Raspberry Pi, para esto se siguió la guía que su misma página web ofrece de manera gratuita.

3. Una vez comprobado el funcionamiento del nodo intermedio, se pasó a configurar el nodo final, para esto se realizó lo siguiente:

- Primero, se procedió a escribir el código que permitiría al Arduino Leonardo funcionar como un nodo final, recopilando data de humedad del suelo, para esto se consultaron diversas páginas web.

- Después, se procedió a conectar el sensor y el Arduino para finalmente colocar el sensor en una maceta.

- Finalmente, se conectaría una batería portátil para darle energía al nodo final.

4. Luego, se entró a la interfaz web de ThingsBoard, ahí se procedió a agregar el dispositivo y a copiar su token de acceso en la interfaz web de ChirpStack.

5. Finalmente, con el dispositivo agregado en ThingsBoard se elaboró el panel para poder visualizar de una mejor manera la data recopilada.

2.3 Resultados

Una vez implantado el prototipo, se mostrarán a continuación los resultados obtenidos con este. Estos se muestran en la *Figura 23* en forma de panel.

⁴ Python es un lenguaje de programación como PHP, Java o C++

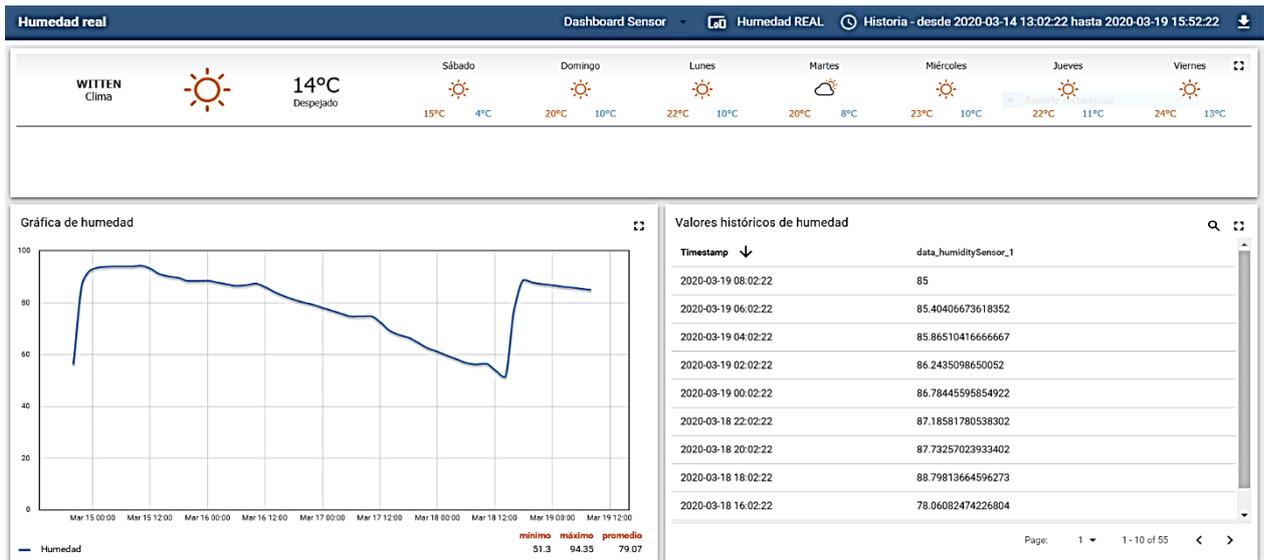


Figura 23: Panel del prototipo

Fuente: Elaboración propia

El panel mostrado anteriormente consta de tres componentes: el clima, la gráfica de humedad y los valores históricos de humedad, para facilitar su entendimiento, se hablará de ellos por separado:

- Clima

El clima se ubica en la parte superior del panel y se puede apreciar en la Figura 24.



Figura 24: Clima del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Este es importante debido a que muestra información como temperatura actual, la temperatura máxima diaria o mínima, además el estado actual del clima, el cual puede ser muy relevante para el usuario especialmente en épocas de lluvia.

Cabe destacar que, en el caso del prototipo, se muestra el clima de la ciudad de Witten en Alemania debido a que es el lugar en el que se realizó el prototipo.

- Gráfica de humedad

La gráfica de humedad se ubica en la parte inferior izquierda del panel y se puede apreciar en la Figura 25.

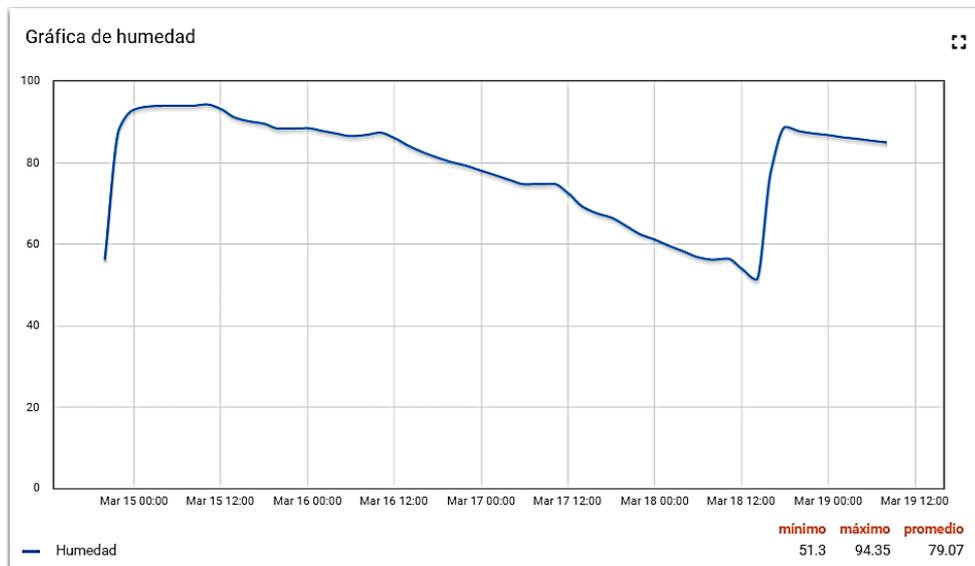


Figura 25: Gráfica de humedad del prototipo

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede apreciar la variación de la humedad del suelo en el que fue colocado el sensor. Esta es importante debido a que con la información mostrada se pueden observar los patrones de variación de agua en el suelo para saber cuál es el mejor momento para el riego.

- Valores históricos de humedad

Los valores históricos registrados por el sensor se ubican en la parte inferior derecha del panel y se pueden apreciar en la Figura 26.

Timestamp ↓	data_humiditySensor_1
2020-03-19 08:02:22	85
2020-03-19 06:02:22	85.40406673618352
2020-03-19 04:02:22	85.86510416666667
2020-03-19 02:02:22	86.2435098650052
2020-03-19 00:02:22	86.78445595854922
2020-03-18 22:02:22	87.18581780538302
2020-03-18 20:02:22	87.73257023933402
2020-03-18 18:02:22	88.79813664596273
2020-03-18 16:02:22	78.06082474226804

Page: 1 1 - 10 of 55

Figura 26: Valores históricos de humedad del prototipo

Fuente: Elaboración propia

Estos son importantes debido a que permiten llevar un control más exacto de la humedad en el suelo cuando se trata de más de un sensor.

Capítulo 3

Diseño del proyecto

Luego de conocer tanto el marco teórico, así como los factores y componentes requeridos para el diseño de un prototipo, en este capítulo se hará el planeamiento de la implementación de un sistema LoRaWAN para manejo agrícola de banano o mango orgánico. Para facilitar su entendimiento se separará en tres partes: investigación previa, estudio de costos y modelo final.

3.1 Investigación previa

3.1.1 Factores medibles importantes

El primer paso para el diseño del sistema LoRaWAN fue investigar sobre los cultivos desde el punto de vista de personas especializadas en estos, ya que cuentan con información más precisa debido a su experiencia con el banano y mango. Por esta razón, se tuvo una entrevista con un productor de banano y uno de mango, a quienes se les explicó en qué consistía este trabajo de investigación y lo que se pretendía lograr.

Una vez explicada la importancia del impacto del uso de tecnología en la agricultura, se pasó a mencionar de manera detallada algunos de los parámetros medibles en el suelo que repercuten en la productividad de sus tierras. Claramente, por la amplia experiencia, estos agricultores tenían conocimiento de lo que significaba cada uno, lo cual permitió tener un intercambio de ideas y un enriquecimiento cognitivo para ambas partes.

Como resultado de estas entrevistas se pudieron conocer los factores medibles más importantes para los agricultores de banano y mango orgánico, los cuales se explican a continuación.

Humedad del suelo

La humedad del suelo es la capacidad disponible de agua que hay en él. La cantidad de agua que posea este dependerá su textura, estructura y cantidad de materia orgánica (Zotarelli, Dukes, & y Kelly T. Morgan, 2019).

Los agricultores podrían conocer el tipo de suelo y propiedades de sus parcelas considerando los aspectos antes mencionados a través de un estudio manejado por expertos.

A grandes rasgos, según su textura, los suelos arcillosos son los que poseen una mayor capacidad de retención de agua y en cambio, en los arenosos el drenaje es más rápido debido a la presencia de macroporos, lo cual significa que la planta tendrá menos tiempo para absorber sus nutrientes.

Existen dos términos que vale mencionar, los cuales son (FAO, 2015):

- Capacidad de campo: es el límite superior de almacenamiento de agua. Es el punto en el que el suelo no puede absorber más agua, el drenaje se hace insignificante.
- Punto de marchitez: es el límite inferior de almacenamiento de agua. Es el punto en el que el contenido de humedad del suelo es tan bajo que la planta ya no tiene capacidad para absorber el agua del suelo, lo cual produce el marchitamiento del cultivo.

En la Figura 27 se puede observar la influencia del tipo de suelo según su textura en tanto en la capacidad de campo como en el punto de marchitez.

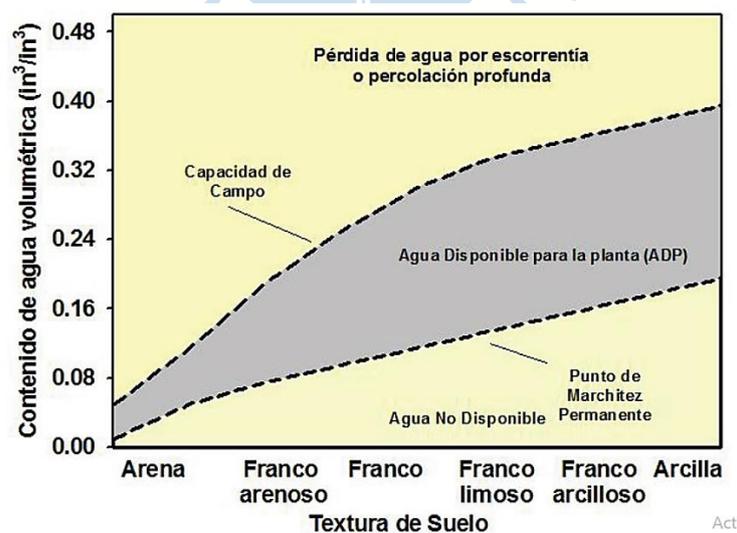


Figura 27: Contenido de agua vs textura del suelo

Fuente: Universidad de Florida (Zotarelli, Dukes, & Morgan, 2013)

En cuanto a la estructura del suelo, sin entrar en mucho detalle, esta se puede determinar según el tipo, clase y categoría de los grumos.

Para concluir, la materia orgánica es un factor importante si se quiere conocer la capacidad de absorción del suelo, pues esta puede almacenar hasta 20 veces su peso. Los agricultores pueden manejar e influir en la cantidad de esta materia, realizando prácticas agrícolas sostenibles que permitan mejorar la retención e infiltración del agua (FAO, 2015).

Tal como se puede notar, la influencia que puede ejercer el agricultor sobre sus terrenos para manejar la humedad del suelo es el riego. Por esta razón, se plantea el uso de sensores que les ayuden a tener un mejor control sobre él y les permita utilizar el agua de manera moderada conociendo los requerimientos de sus plantaciones y evitar el desperdicio.

Conductividad eléctrica

Es uno de los factores que determinan la calidad y fertilidad de un suelo es el superávit de sales en éste.

La manera en la que se miden las cantidades de sales en los terrenos agrícolas es mediante la conductividad eléctrica (CE), ya que una de las propiedades de dichas sales es precisamente su capacidad para conducir corriente eléctrica (INTAGRI, 2017).

En pocas palabras se puede decir que la CE mide la concentración de sales solubles en la solución del suelo. Esta medición de conductividad eléctrica se hace en el extracto de saturación (CEe) y sus unidades son decisiemens⁵ por metro (dS/m).

La fuerte presencia de salinidad puede dar como resultado que la planta tenga que esforzarse más para poder absorber el agua debido a la disminución del potencial osmótico del agua del suelo (Martinez, Arroyo, & Aragues, 1987).

Cabe resaltar que no se debe confundir la salinidad con la sodicidad del terreno pues son completamente distintas. Haciendo un breve paréntesis para diferenciarlas; una sal es un compuesto químico formado por iones con carga positiva enlazados a iones con carga negativa. Mientras que la sodicidad hace referencia a la alta manifestación de Sodio (Na).

⁵ Un decisiemens es la décima parte de un Siemens. Un Siemens es la unidad derivada del sistema internacional de unidades para la conductividad eléctrica, además, es la inversa de la resistencia eléctrica cuya unidad es el Ohmio

Algunas de las razones por las que puede existir un exceso de salinidad, son (INTAGRI, 2017):

- Aplicación excesiva de insumos agrícolas tales como fertilizantes, abonos o compostas.
- Baja calidad del agua de riego.
- Mal manejo del tipo riego.
- Características particulares del campo.

¿Y si la pregunta es, por qué debe evitarse este factor?

La respuesta sin duda es que cuando la planta destine más energía para absorber el agua y sus nutrientes, le quedará poca de esta energía para desarrollarse. De esta manera los efectos más comunes son (Sela, s.f.):

- Baja absorción de agua y nutrientes por las raíces.
- Disminución en la altura final de la planta.
- Retraso en el crecimiento.
- Reducción de frutos.
- Aspecto poco vigoroso en la planta.

Todos estos factores traen como resultado una retracción en la productividad. Es importante señalar que, a mayor CE, más alto será el contenido de sales y por lo tanto mayor es el problema.

Tener conocimiento del valor de CE, permitiría al agricultor determinar si se puede sembrar o no en cierto terreno, que tipo de semillas se pueden cultivar, controlar el tipo de riego, si es necesario o no adquirir un tratamiento o mejorador de suelo, y de esta manera tomar decisiones más acertadas que eviten pérdidas de terrenos y de inversiones. A continuación, en la Tabla 7 se muestra la interpretación de la CE del suelo de los cultivos.

Tabla 7: Interpretación de conductividad eléctrica en el suelo

Cee	Interpretación de la conductividad eléctrica en el suelo
<2 dS/m	Condición ideal, suelo libre de sales.
2-4 dS/m	Ligeramente salino, los rendimientos pueden verse afectados.
4/6 dS/m	Moderadamente salino, la mayor parte de los cultivos son afectados.
6-8 dS/m	Salino, suelos afectados.
8-12 dS/m	Muy salino, difícil explotación de terreno.
12 dS/m	Extremadamente salino, normalmente no crecen cultivos.

Fuente: Instituto para la Innovación en Agricultura de México (INTAGRI, 2017)

De esta manera se ha podido notar la importancia de medir la conductividad eléctrica del suelo, lo cual ayuda a tomar consciencia no solo del valor monetario que puede perderse por no conocer las propiedades del terreno sino de ser más conscientes en la sobreexplotación de las tierras y del cuidado que se debe tener sobre ella.

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo resulta ser un parámetro esencial en el florecimiento de las plantas pues es un influyente en la absorción de agua y sus nutrientes. No obstante, cada planta tiene sus propios requerimientos (Phys.org, 2018).

La reducción en la capacidad de absorción de las raíces puede producir marchitez aun cuando existe suficiente agua para satisfacer las necesidades de los cultivos (Ambientum, 2018).

Un claro ejemplo de este factor es lo que sucedió en el invierno de 2019 con el enflaquecimiento del banano orgánico que produjo un descenso en el número de cajas que se habían pronosticado, pues se necesitaba mayor cantidad de fruta para completarlas.

De esta manera, se propone monitorear también la temperatura del suelo a través de un sensor, lo cual permite tener un mejor control sobre las parcelas.

3.1.2 Partes y dispositivos

Una vez conocidos los factores medibles más importantes para las dos clases de cultivos, se buscarán los dispositivos óptimos en caso se quisiese implementar un controlador agrícola para agricultura de precisión con LoRaWAN para banano y mango orgánico. Cabe destacar que la cantidad de dispositivos a utilizar dependerá del área que se desee abarcar. En el capítulo anterior se especificaron las piezas necesarias para elaborar un prototipo, estas son similares a las que se usaría en un proyecto real:

- **Nodo final**

En el prototipo se utilizó un *Marvin Board*, basado en un *Arduino* modelo Leonardo con un chip LoRa. Ahora, luego de conocer los factores medibles importantes, se buscó el nodo final con los sensores más adecuados para el proyecto. Se eligió finalmente un nodo final con sensores que medían los 3 factores en cuestión. Este se muestra en la Figura 28.



Figura 28: Sensor DL-5TM de humedad temperatura y conductividad eléctrica

Fuente: Call Sensors

El nodo final mostrado anteriormente es desarrollado por la empresa *Decentlab*, su costo unitario es de S/.2700 y su costo al por mayor es de S/.2295 según se consultó con el proveedor *Cat Sensors*. Además, este nodo final tiene un alcance de más de 10km y sus baterías duran en promedio 10 años (DecentLab, 2018).

- **Nodo intermedio**

En el prototipo se utilizó un *Raspberry Pi* acoplado con un Concentrador LoRa el cual, por medio de un punto de acceso a la red, subía la data a internet, en esta

oportunidad debido a que se trata de un proyecto de campo, se buscó un nodo intermedio resistente a las condiciones del climáticas del campo, además de poseer conexión móvil a internet, este se muestra en la Figura 29:



Figura 29: Nodo intermedio con conexión móvil

Fuente: The things Network

El nodo intermedio mostrado anteriormente es desarrollado por la marca *The Things Industries*, su costo unitario es de S/.1366.

En la Tabla 5: Comparación técnica de las tecnologías LPWAN, se mostraron los distintos alcances rurales y urbanos de las distintas tecnologías de IoT, en esta oportunidad, se trata de un sistema LoRaWAN en una zona rural, el alcance ideal es de 20km, pero asumiendo que funcionar al 50% de su capacidad ideal, tendría un alcance de 10km. Ahora, 10km se trata de distancia, la que sería el radio del círculo que abarca un nodo intermedio, esto se puede apreciar en la Figura 30:

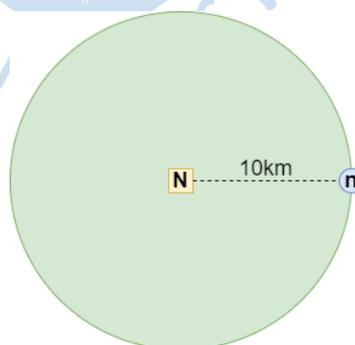


Figura 30: Diagrama de área abarcada por nodo intermedio

Fuente: Elaboración propia

Donde la "N" se trataría del nodo intermedio y la "n" del nodo final. Ahora para calcular el área abarcada se tiene que hallar el área del círculo cuyo radio es 10km:

Siendo:

A: área (metros cuadrados)

r: radio (metros)

Ahora reemplazando los valores:

Pero en la agricultura suele trabajarse con hectáreas, una de estas equivale a 10000m^2 , por lo que faltaría realizar dicha conversión:

Con esto se puede concluir que un solo nodo intermedio puede abarcar un área de 31415.9 hectáreas.

- Servidor

En el prototipo se utilizó un Raspberry Pi acoplado con un concentrador LoRa como nodo intermedio, a su vez, este funcionaba también como servidor, cuya función es tener instalados los softwares requeridos, mencionados en el capítulo anterior, además de tener almacenada la data recopilada. Debido a su eficiencia y bajo costo, nuevamente se utilizará un Raspberry Pi como servidor. Este se puede apreciar en la Figura 31:

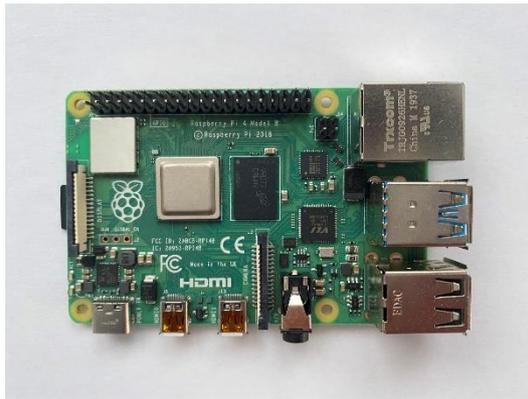


Figura 31: Raspberry Pi modelo 4

Fuente: Elaboración propia

El dispositivo mostrado anteriormente es de la marca *Raspberry Pi* y su costo unitario es de S/.144.6.

- Chip de teléfono

Finalmente, se necesita un chip de teléfono con acceso a internet para que el nodo intermedio pueda subir la data. Este depende de la compañía que se desee utilizar, el costo promedio de este es S/.35.9 por mes.

3.2 Estudio de costos

Para conocer la rentabilidad de un proyecto, suelen realizarse estudios de costos, los cuales consisten en comparar los datos reales con los que se obtendrían en caso se efectuara dicho proyecto.

Debido a la variación anual de los precios del mercado de los distintos cultivos, en esta oportunidad se calcularán los costos aproximados de implementación del controlador agrícola en cinco escenarios diferentes utilizando datos reales de la campaña de mango del presente año brindados por un fundo en Tambogrande⁶. Las situaciones fueron planteadas de manera que permitan evaluar la posición de los distintos posibles usuarios del sistema de control agrícola. Los datos brindados fueron lo siguientes:

- Inversión en sembrado: 3500 \$/ha.

⁶ Por motivos de confidencialidad no se puede revelar el nombre de la empresa que brindó los datos utilizados.

- Rendimiento del campo: 20 ton/ha.

La semana de la campaña, la cantidad de producción, el cliente y la calidad de la fruta son factores que determinan el retorno de la inversión en la industria del mango. Los distintos precios del fruto del año 2020 fueron: 0.27 \$/kg, 0.35 \$/kg, 0.45 \$/kg y 0.51 \$/kg. En esta ocasión y para facilitar los cálculos se trabajó con el promedio de estos valores.

Una vez mostrados los distintos valores que se utilizarán, a continuación, se realizará el análisis de costo de las distintas situaciones teniendo en cuenta el uso de un nodo final por hectárea y un costo de mantenimiento del 5% del costo de hardware:

Caso 1: Una hectárea

El primer caso planteado es el de un terreno de una hectárea. En la Tabla 8 se muestran los costos del hardware para el sistema de control agrícola de este caso.

Tabla 8: Costo de hardware del caso 1

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Nodo Intermedio	1	1366	1366
Nodo Final	1	2700	2700
Servidor (Raspberry Pi)	1	144.6	144.6
Costo de hardware			S/.4210.6

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los costos de hardware son elevados en relación con el área abarcada por el sistema. Una de las causas de ello es que tanto el nodo intermedio como el servidor pueden ser utilizados por muchos más nodos finales en un área más extensa como se explicó en la sección anterior lo cual supone una pérdida debido al no utilizar dichos dispositivos en toda su capacidad.

En la Tabla 9 se pueden observar los costos anuales de manera detallada teniendo en cuenta el retorno esperado y la inversión en el terreno basándose en los valores brindados por el fundo de mango mencionado anteriormente.

Tabla 9: Costos finales del caso 1

Costo	Total (S/.)
Retorno de siembra	26 465
Inversión en sembrado	(11 725)
Costo de hardware	(4210.6)
Costo de mantenimiento	(210.5)
Costo anual de internet	(474)
Capital con Proyecto	S/.9 844.9
Capital sin Proyecto	S/.14 740

Fuente: Elaboración propia

Analizando los costos finales del caso 1, la inversión significa el 33.2% respecto a los ingresos anuales. Para un pequeño agricultor podría no resultar rentable, debido a que reduce considerablemente su ganancia.

Caso 2: Diez hectáreas

En la Tabla 10 se puede notar que los costos del hardware se pueden prorratear en el número de hectáreas del área útil, por ello se van minimizando. Sin embargo, el precio del nodo final sigue siendo alto.

Tabla 10: Costo de hardware del caso 2

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Nodo Intermedio	1	1366	1366
Nodo Final	10	2700	27 000
Servidor (Raspberry Pi)	1	144.6	144.6
Costo de hardware			S/.28 510.6

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Tabla 11 con los costos finales de la implementación del sistema en un terreno de 10 hectáreas.

Tabla 11: Costos finales del caso 2

Costo	Total (S/.)
Retorno de siembra	264 650
Inversión en sembrado	(117 250)
Costo de hardware	(28 510.6)
Costo de mantenimiento	(1425.53)
Costo anual de internet	(474)
Capital con Proyecto	S/.116 989.9
Capital sin Proyecto	S/.147 400

Fuente: Elaboración propia

En este caso, implementar el sistema significa el 20.63% del total de ingresos, lo que comprueba que a medida que el área aumenta, disminuye el costo del hardware.

Debido a la extensión del terreno de las siguientes situaciones, se considerará el costo de un operador que se encargará del control del sistema, además se utilizará el precio al por mayor de los nodos finales.

Caso 3: Cincuenta hectáreas

En la Tabla 12 se puede apreciar el costo del hardware en un área de cincuenta hectáreas teniendo en cuenta las condiciones antes descritas.

Tabla 12: Costo de hardware del caso 3

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Nodo Intermedio	1	1366	1366
Nodo Final	50	2295	114 750
Servidor (Raspberry Pi)	1	144.6	144.6
Costo Hardware			S/.116 260.6

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se muestran los costos finales del caso.

Tabla 13: Costos finales del caso 3

Costo	Total (S/.)
Retorno siembra anual	1 323 250
Inversión siembra anual	(586 250)
Costo hardware	(116 260.6)
Costo de mantenimiento	(5813)
Costo anual de operario	(24000)
Costo anual de internet	(474)
Capital con proyecto	S/. 569 189.87
Capital sin proyecto	S/. 737 000

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con el patrón de los costos de los casos anteriores, la inversión supone el 19.88% de los ingresos anuales totales.

Caso 4: Cien hectáreas

Claramente al tratarse de un fundo de tal tamaño, la inversión es más alta, como se puede observar en la Tabla 14 pero a su vez, se abaratan los costos fijos necesarios en el sistema.

Tabla 14: Costo de hardware del caso 4

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Nodo Intermedio	1	1366	1366
Nodo Final	100	2295	229 500
Servidor (Raspberry Pi)	1	144.6	144.6
Costo Hardware			S./231 010.6

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se muestran los costos finales en los que se incurren en este caso. Como se mencionó anteriormente, se intuye que el costo por hectárea se minimiza cuando se amplía el área de monitoreo.

Tabla 15: Costos finales del caso 4

Costo	Total (S/.)
Retorno siembra anual	2 646 500
Inversión siembra anual	(1 172 500)
Costo hardware	(231 010.6)
Costo de mantenimiento	(11 550.5)
Costo anual de operario	(24 000)
Costo anual de internet	(474)
Capital con proyecto	S/. 1 164 439.87
Capital sin proyecto	S/. 1 474 000

Fuente: Elaboración propia

La inversión en esta situación representa el 18.11% de los ingresos de la campaña.

Caso 5: Asociación de pequeños productores

En el Perú es común hablar de pequeñas asociaciones de productores de diversos cultivos. En esta ocasión se ejemplificará con una asociación de 20 miembros que poseen 10 hectáreas cada uno, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Costo de hardware del caso 5

Dispositivo	Cantidad	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Nodo Intermedio	1	1366	1366
Nodo Final	200	2295	459 000
Servidor (Raspberry Pi)	1	144.6	144.6
Costo Hardware			S/. 460 510.6

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 17 se muestran los costos finales del caso 5, en donde se puede apreciar que los montos de inversión son bastante altos, sin embargo, el retorno sigue siendo positivo. Por lo tanto, el proyecto sí se podría realizar, pues el costo de inversión significa el 17.2% de los ingresos.

Cabe resaltar que el escenario de estas asociaciones suele ser muy variable, lo más común es que muchos pequeños productores no alcancen a tener una hectárea y que haya más que solo 20 miembros. Por esta razón es que suele ser complicado invertir en tecnología pues a pesar de los beneficios que genera, la situación económica de algunos agricultores puede verse afectada al no tener un retorno inmediato.

Tabla 17: Costos finales del caso 5

Costos	Total (S/.)
Retorno siembra anual	5 293 000
Inversión siembra anual	(2 345 000)
Costo hardware	(460 510.6)
Costo de mantenimiento	(23 025.5)
Costo anual de operario	(24 000)
Costo anual de internet	(474)
Capital con proyecto	S/. 2 638 439.87
Capital sin proyecto	S/. 2 948 000

Fuente: Elaboración propia

Gracias a las cinco situaciones anteriormente descritas se pudo observar la variación de los costos en diferentes escenarios lo cual permite identificar a los potenciales usuarios del controlador agrícola desarrollado a lo largo de esta tesis.

En esta oportunidad se utilizaron los valores de la campaña del presente año, sin embargo, hay que destacar que estos varían anualmente debido a diferentes factores como el clima, costo de insumos y la aparición de plagas (Liakos, Busato, Moshou, Pearson, & Bochtis, 2018). Si bien es cierto implementar un sistema que te permita conocer las necesidades de los cultivos supone un costo de instalación elevado, a mediano plazo significará una disminución en la utilización de recursos, insumos y mano de obra, y como resultado una reducción en los costos.

3.3 Modelo final

En la sección anterior se mostraron diferentes escenarios en los que se podría aplicar el controlador agrícola desarrollado en esta tesis. En la Figura 32 se observa el modelo de panel de información que se podría obtener como resultado en caso se implementara:

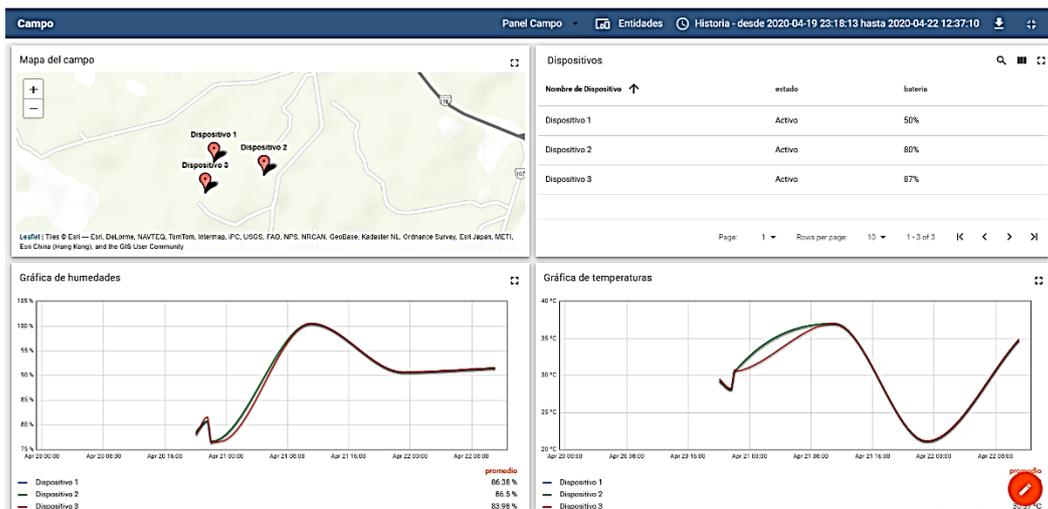


Figura 32: Panel del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

El panel mostrado anteriormente consta de cuatro componentes: mapa del campo, lista de dispositivos, gráfica de humedades y finalmente la gráfica de temperaturas. Para facilitar su entendimiento se hablará de cada una de las partes:

- Mapa del campo

El mapa del campo se ubica en la sección superior izquierda del panel de información, este muestra la ubicación de los nodos finales en el campo. Se puede apreciar en la Figura 36.

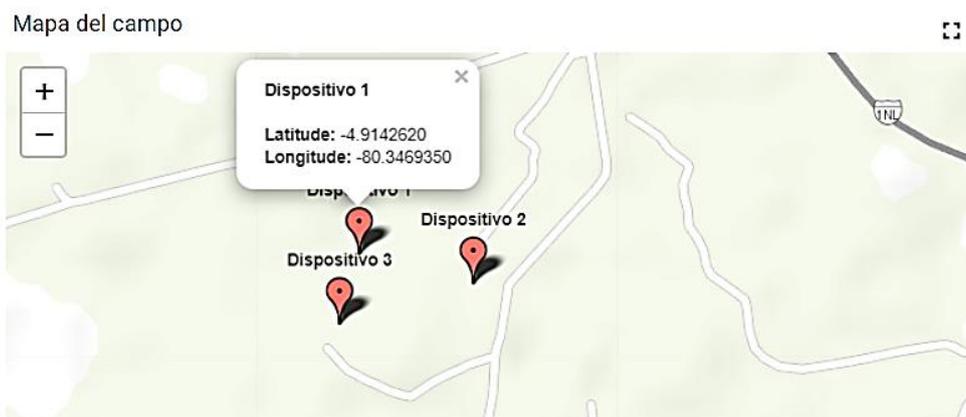


Figura 33: Mapa del campo

Fuente: Elaboración propia

Esta sección del panel es de vital importancia pues permite tener un control de la ubicación de los dispositivos especialmente en campos grandes.

- Lista de dispositivos

La lista de dispositivos se ubica en la sección superior derecha del panel de información, esta muestra: el nombre de cada instrumento, el estado en el que se encuentra⁷ y la carga de la batería de cada aparato. Esta lista se puede apreciar en la Figura 34:

Dispositivos		
Nombre de Dispositivo ↑	estado	batería
Dispositivo 1	Activo	50%
Dispositivo 2	Activo	80%
Dispositivo 3	Activo	87%

Page: 1 Rows per page: 10 1 - 3 of 3

Figura 34: Lista de dispositivos

Fuente: Elaboración propia

A su vez, se configuró un panel de información individual para cada dispositivo, el cual aparece al seleccionar su nombre en la lista, este se muestra a continuación, en la Figura 35:

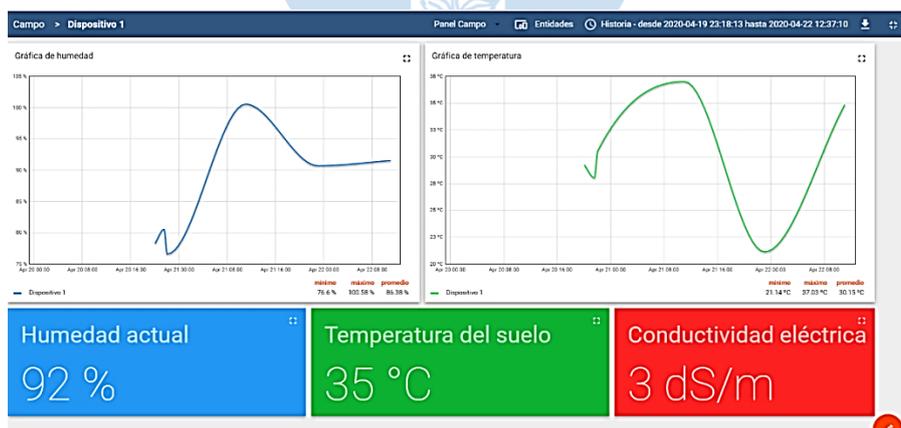


Figura 35: Panel individual de dispositivo

Fuente: Elaboración propia

⁷ Puede ser activo o inactivo entendido como si dicho dispositivo estuviese transmitiendo data o no

En el panel mostrado anteriormente se pueden apreciar tres secciones: gráfica de humedad; gráfica de temperatura y valores actuales de humedad; temperatura del suelo y conductividad eléctrica. Para facilitar su entendimiento se explicará cada sección:

- Gráfica de humedad

La gráfica de humedad se muestra en la parte superior izquierda del panel de información, esta representa la variación histórica de la humedad del suelo en el que está colocado el dispositivo, además de su valor máximo, mínimo y promedio. Esta es importante ya que con la información mostrada se pueden observar los patrones de variación de agua en el suelo para saber cuál es el mejor momento para el riego. La gráfica puede apreciarse en la Figura 36:

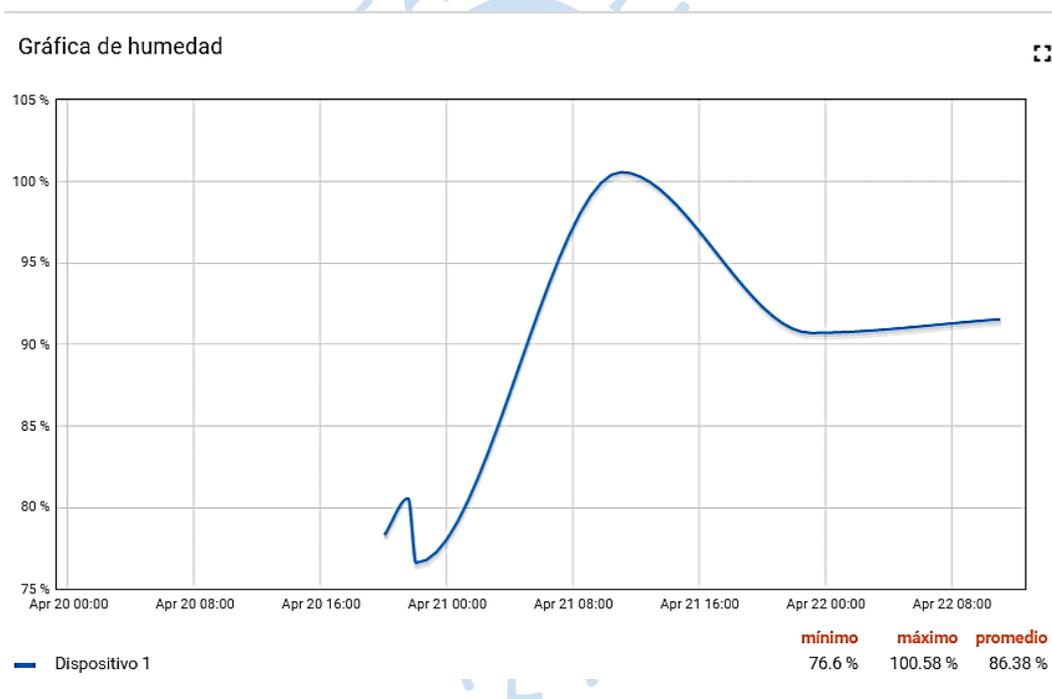


Figura 36: Gráfica de humedad de panel individual

Fuente: Elaboración propia

- Gráfica de temperatura

La gráfica de temperatura se muestra en la parte superior derecha del panel de información, esta representa la variación histórica de la temperatura del suelo en el que está colocado el dispositivo además de su valor máximo, mínimo y promedio. Esta es útil debido a que la temperatura del suelo influye directamente en la capacidad de la planta para absorber agua y sus nutrientes

como se mencionó al inicio del presente capítulo. La gráfica puede apreciarse en la Figura 37:

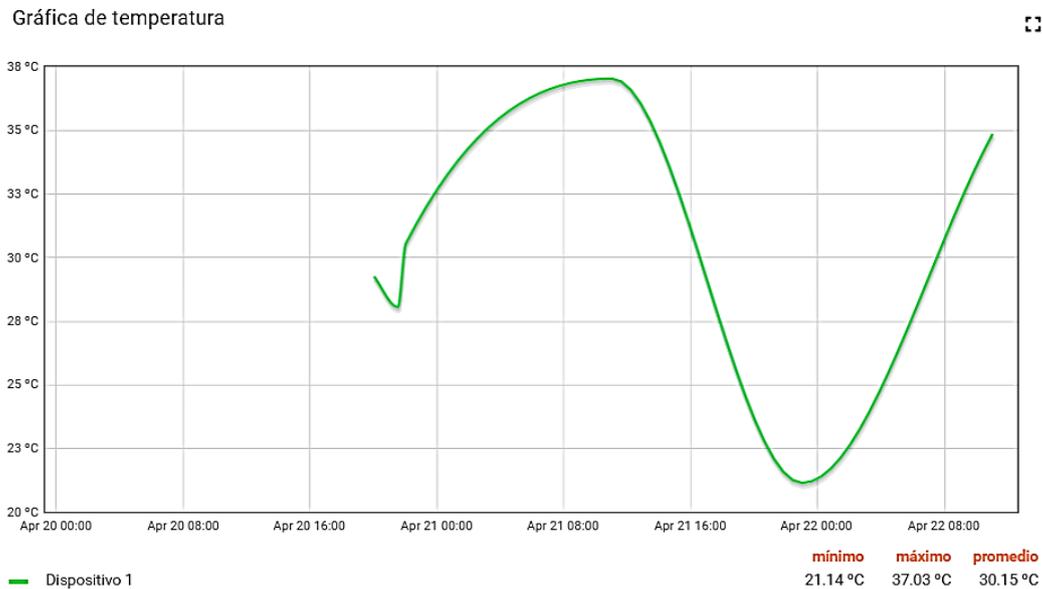


Figura 37: Gráfica de temperatura de panel individual

Fuente: Elaboración propia

- Valores actuales

Los valores actuales se encuentran en la parte inferior del panel de información, estos muestran el valor actual como su nombre lo dice de los parámetros medidos por los sensores colocados en el campo: humedad del suelo, temperatura del suelo y conductividad eléctrica. Los cuales se aprecian en la Figura 38:



Figura 38: Valores actuales de panel individual

Fuente: Elaboración propia

- Gráfica de humedades

La gráfica de humedades se encuentra en la parte inferior izquierda del panel principal, esta muestra los distintos valores de humedad registrados por los sensores.

Esta es importante porque permite una visualización rápida de la variación de la humedad del suelo en las distintas zonas en las que se colocaron sensores, de forma que se tiene conocimiento de que zonas del campo necesitan agua y cuáles no. Esta puede apreciarse en la Figura 39:

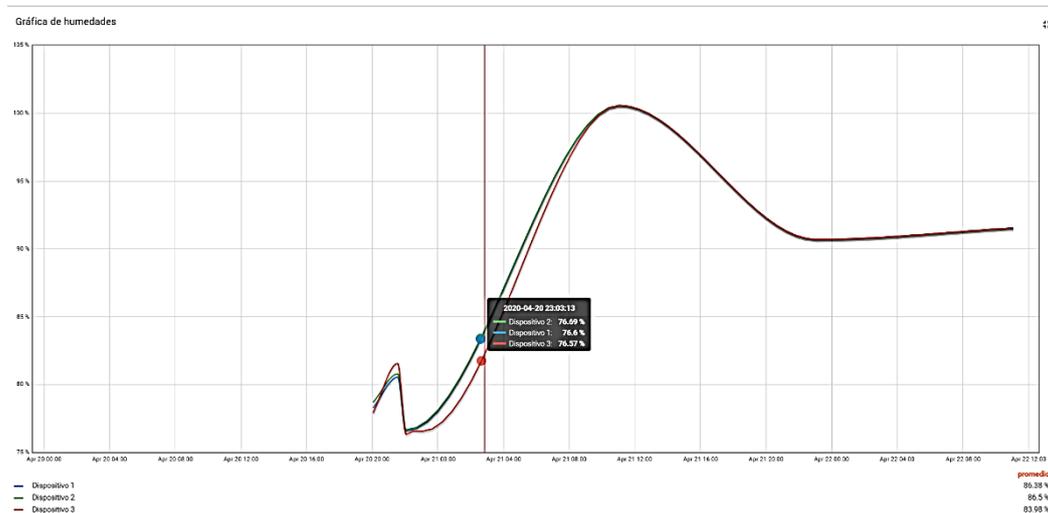


Figura 39: Gráfica de humedades

Fuente: Elaboración propia

- Gráfica de temperaturas

La gráfica de temperaturas se encuentra la parte inferior derecha el panel, esta muestra los distintos valores de temperatura registrados por los sensores. Su importancia radica en facilitar una visualización rápida de la variación de temperatura del suelo en las zonas que se encuentran sensores. Esta puede apreciarse en la Figura 40:

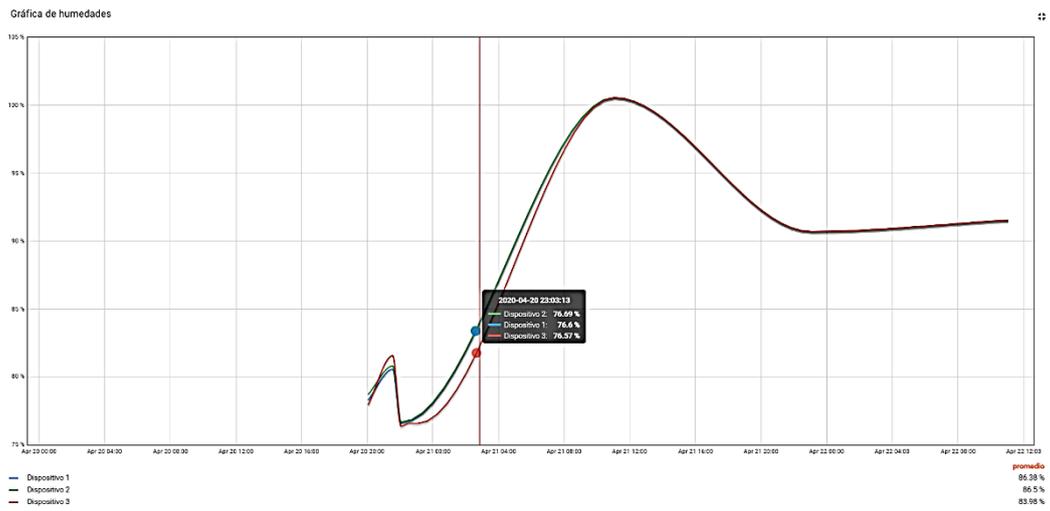


Figura 40: Gráfica de temperaturas

Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

▪ La agricultura es uno de los ejes en torno a los cuales gira la economía piurana. Por dicha razón se enfocó el trabajo en torno a ella, los cultivos representativos de esta región son el mango y el banano orgánico debido a los grandes ingresos que estos generan producto de su alta demanda en el mercado extranjero.

▪ De lo expuesto se puede concluir que en el mercado actual es de vital importancia implementar sistemas de control agrícola, ya que, estos permiten una mejor gestión del campo incrementando su productividad y reduciendo sus costos de operación.

▪ Se demostró que la mejor tecnología para desarrollar el controlador agrícola fue LoRaWAN, no solo por sus grandes beneficios en comparación a las otras tecnologías mencionadas, sino porque no se requiere de una especialización técnica y además LoRaWAN es una tecnología de código abierto.

▪ El prototipo elaborado en esta tesis demostró que se puede aplicar la tecnología LoRaWAN para la elaboración de un controlador agrícola, el cual podría relacionarse con sistemas de riego tecnificado o manejo de fertilizantes permitiendo en un futuro no solo tener un control de la situación del campo, sino una automatización de este.

▪ Debido a que el retorno económico en la agricultura es difícil de predecir, se plantearon diferentes escenarios a través de los cuales se pudo comprobar que el sistema desarrollado era conveniente para grandes productores como para pequeños productores miembros de una asociación agrícola, las cuales son muy comunes en el país.

▪ De lo investigado, se puede afirmar que es viable implementar un controlador agrícola con LoRaWAN en plantaciones de mango y banano orgánico, debido a que permitirá no solo disminuir los costos de operación, como se mencionó, sino que ayudará a tener un mejor control del campo permitiendo así una mejor calidad de los frutos.



Referencias bibliográficas

- Actum. (n.d.). ¿Qué significa RFID? ¿Qué significa RFID? Retrieved from <https://www.actum.es/preguntas-frecuentes/%c2%bfqu%c3%a9-significa-rfid>
- Aernouts, M., Berkvens, R., Van Vlaenderen, K., & Weyn, M. (2018, 4). Sigfox and LoRaWAN Datasets for Fingerprint Localization in Large Urban and Rural Areas. *Data*, 3, 13. doi:10.3390/data3020013
- Agro. (10 de 2018). Beneficios del riego tecnificado a la agricultura. Obtenido de Beneficios del riego tecnificado a la agricultura: <http://www.2000agro.com.mx/tecnologia/sistemasderiego/beneficios-del-riego-tecnificado-a-la-agricultura/>
- Ambientum. (3 de 2018). Temperatura del suelo. Obtenido de Temperatura del suelo: <https://www.ambientum.com/ambientum/agua/temperatura-del-suelo.asp>
- Andina. (3 de 2018). Estos son los cultivos peruanos de mayor demanda en el mundo. Obtenido de Estos son los cultivos peruanos de mayor demanda en el mundo: <https://andina.pe/agencia/noticia-estos-son-los-cultivos-peruanos-mayor-demanda-el-mundo-745513.aspx>
- ANPE-PERU. (2016, 8). Plan Institucional. Plan Institucional. Retrieved from <https://www.anpeperu.org/que-hacemos/plan-institucional>
- Asociación Geoinnova. (2009). geo innova. Obtenido de geo innova: <https://geoinnova.org/blog-territorio/agricultura-de-precision-en-busca-del-cultivo-mas-productivo/>
- Cama, A. (2012). Las redes de sensores inalámbricos y el Internet de las cosas. 10.
- Cei-RD. (5 de 2018). Ficha técnica del mango. Obtenido de Ficha técnica del mango: <https://www.ceird.gob.do/wp/wp-content/themes/ceird/documents/ficha-mango.pdf>
- Chartuni, E., de Assis de Carvalho, F., Marçal, & Ruz, E. (2007). Repositorio IICA. Obtenido de Repositorio IICA: file:///C:/Users/Diana/Downloads/BVE19039933e%20(5).pdf
- Chartuni, M. (1 de 2014). Manual de Agricultura de Precisión. PROCISUR.
- ChirpStack, open-source LoRaWAN Network Server stack. (s.f.). ChirpStack, open-source LoRaWAN Network Server stack. Obtenido de <https://www.chirpstack.io/>
- Conner, M. (2010, 5). EDN - Sensors empower the "Internet of Things" - Margery Conner. EDN - Sensors empower the "Internet of Things" - Margery Conner. Retrieved from <https://www.edn.com/sensors-empower-the-internet-of-things/>

- Consortio Asecal, M. C. (s.f.). Banano orgánico. Obtenido de Banano orgánico:
https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/Sites/ueperu/consultora/docs_taller/taleres_2/16.pdf
- Controlunion. (1 de 2020). Equivalencias. Obtenido de Equivalencias:
<https://www.cuperu.com/portal/en/programas-de-certificacion/organico/equivalencias>
- Córdova, C. F. (2019, 5). Certifican más de 700 has. de mango y banano orgánico en Piura. Certifican más de 700 has. de mango y banano orgánico en Piura. Retrieved from
<https://infomercado.pe/direccion-de-competitividad-agraria-certifican-mas-de-700-mil-has-de-mango-y-banano-organico-en-piura/>
- Correo, R. (2015, 6). Vraem: Muestran 20 variedades de plátanos. Vraem: Muestran 20 variedades de plátanos. Retrieved from <https://diariocorreo.pe/peru/vraem-muestran-20-variedades-de-platanos-598196/>
- Cutivalú, R. (2019, 10). Exportaciones de Piura superaron los 1400 millones de dólares en el primer semestre del 2019. Exportaciones de Piura superaron los 1400 millones de dólares en el primer semestre del 2019. Retrieved from
<https://www.radiocutivalu.org/exportaciones-de-piura-superaron-los-1400-millones-de-dolares-en-el-primer-semestre-del-2019/>
- DecentLab. (9 de 2018). DL-5TM DATASHEET. Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.
- Domoticalia. (7 de Noviembre de 2019). Domoticalia.es. Obtenido de Domoticalia.es:
domoticalia.es/blog/2019/11/07/z-wave-9-caracteristicas-que-lo-hacen-impresionante/
- ECBM | Digitalisierungsberatung für den Mittelstand | IoT-Experte. (n.d.). ECBM | Digitalisierungsberatung für den Mittelstand | IoT-Experte. Retrieved from
<https://www.ecbm.me/>
- ElPeruano. (n.d.). El reto de la agricultura. El reto de la agricultura. Retrieved from
<http://elperuano.pe/noticia-el-reto-de-agricultura-60283.aspx>
- Ezcara y Borda, I. J. (n.d.). Agricultura de precisión: Elaboración de mapas de consumo y resbalamiento. 159.
- FAO. (5 de 2015). Los suelos almacenan y filtran agua. Obtenido de Los suelos almacenan y filtran agua: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/soils-2015/docs/Fact_sheets/print_IYS_Water_es.pdf
- Franquesa, M. (8 de 2016). Descubre aquello que no sabías sobre el riego tecnificado. Obtenido de Descubre aquello que no sabías sobre el riego tecnificado:
<https://www.agroptima.com/es/blog/descubre-aquello-que-no-sabias-sobre-el-riego-tecnificado/>
- García, D. (2018, 5). ¿Qué es Ubuntu? » Linux en español. ¿Qué es Ubuntu? » Linux en español. Retrieved from <https://www.xn--linuxenespaol-skb.com/distribuciones/ubuntu/>
- Gestión, R. (2018, 8). APEM: Perú es el tercer mayor exportador de mangos en el mundo. APEM: Perú es el tercer mayor exportador de mangos en el mundo. Retrieved from

<https://gestion.pe/economia/apem-peru-tercer-mayor-exportador-mangos-mundo-241593-noticia/>

- Gestión, R. (2019, 8). Perú tiene 170,000 ha de plátano y banano orgánico en riesgo por plaga Fusarium. Perú tiene 170,000 ha de plátano y banano orgánico en riesgo por plaga Fusarium. Retrieved from <https://gestion.pe/economia/peru-tiene-170000-ha-de-platano-y-banano-organico-que-estarian-en-riesgo-de-contagio-por-plaga-fusarium-noticia/>
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29, 1645–1660. Obtenido de <http://scholar.google.de/scholar.bib?q=info:h5t3ZYhcvcJ:scholar.google.com/&output=citation&hl=de&ct=citation&cd=0>
- HablemosDeAlimentos. (2018, 8). EL MANGO: Origen, Propiedades, Características, Nutrientes y Beneficios. EL MANGO: Origen, Propiedades, Características, Nutrientes y Beneficios. Retrieved from <http://hablemosdealimentos.com/c-frutas/el-mango/>
- INEI. (2020). INEI. Obtenido de INEI: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/informe_tecnico_pbi_i_trim_2020.pdf
- Info, P. (2014). La agricultura. Obtenido de La agricultura: <https://www.peruinformation.org/la-agricultura>
- Inforural. (2 de 2013). Beneficios de un Riego Tecnificado. Obtenido de Beneficios de un Riego Tecnificado: <https://www.inforural.com.mx/beneficios-de-un-riego-tecnificado/>
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. (2014). IICA. Obtenido de IICA: <file:///E:/Diana/TESIS/Manual%20de%20Agricultura%20de%20Precisi%C3%B3n%20IICA%202014.pdf>
- INTAGRI. (2017). La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos. Obtenido de La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- Interempresas. (16 de Septiembre de 2015). Interempresas.net. Obtenido de Interempresas.net: <https://www.interempresas.net/Agricola/Articulos/144310-Agroptima-presenta-una-nueva-version-de-su-APP-agricola-con-mapas-y-geolocalizacion-GPS.html>
- Japan Top News. (27 de 12 de 2019). Japan Top News. Obtenido de Japan Top News: <https://japan.topnews.cloud/ijj-launches-paddy-water-management-iot-system-to-save-water-in-paddy-fields/>
- Ji-chun Zhao and Jun-feng Zhang and Yu Feng and Jian-xin Guo. (7 de 2010). The study and application of the IOT technology in agriculture. 2010 3rd International Conference on Computer Science and Information Technology (págs. 462–465). Chengdu: IEEE. doi:10.1109/ICCSIT.2010.5565120

- Koo, W. (24 de Febrero de 2020). Agrodata. Obtenido de Agrodata:
<https://www.agrodataperu.com/2020/02/mangos-frescos-peru-exportacion-2020-enero.html>
- Koo, W. (2 de 2020). Agrodata. Obtenido de Agrodata:
<https://www.agrodataperu.com/2020/02/platano-banano-peru-exportacion-2020-enero.html>
- La Rosa, A. (2018, 9). Qué es LPWAN: introducción al protocolo de comunicaciones de IoT. Qué es LPWAN: introducción al protocolo de comunicaciones de IoT. Retrieved from <https://pandorafms.com/blog/es/que-es-lpwan/>
- Lampadia. (7 de 2015). La agricultura peruana tiene un gran futuro. Obtenido de La agricultura peruana tiene un gran futuro: <https://www.lampadia.com/analisis/recursos-naturales/la-agricultura-peruana-tiene-un-gran-futuro/>
- Liakos, K., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018, 8). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*, 18, 2674. doi:10.3390/s18082674
- Marote, M. L. (2010, 12). Agricultura de Precisión. *Ciencia y Tecnología*, 143–167. doi:10.18682/cyt.v1i1.765
- Martinez, A., Arroyo, A., & Aragues, A. (1987). Tolerancia de la cebada a la salinidad. Obtenido de Tolerancia de la cebada a la salinidad: http://digital.csic.es/bitstream/10261/16681/1/Martinz-CobA_comunicINIA68_1987.pdf
- Media, I. (s.f.). Mango - Origen y producción. Mango - Origen y producción. Obtenido de <https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Mango.html>
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (21 de Septiembre de 2017). KICS. Obtenido de KICS:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405959517302953?token=077537A030ECB795192BF60CF29A529EC2DB25480EE3EFA6E92883E6FEF0E07D66600CB3465E11FE9CECB9127370240D>
- Mekki, K., Bajic, E., Chaxel, F., & Meyer, F. (2019, 3). A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. *ICT Express*, 5, 1–7. doi:10.1016/j.ict.2017.12.005
- Melchiori, R., Echevarría, H., & García, F. (19 de Septiembre de 2015). INTA. Obtenido de INTA: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_variabilidad-espacial__1_.pdf
- MINAGRI. (2011). Banano. Obtenido de Banano:
http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/biblioteca-virtual/ficha-tecnica-2011/ficha_banano.pdf
- Ministerio Agricultura y Riego. (1 de 2017). Guano de las islas peruanas es único en el mundo 31 de enero de 2017. Obtenido de Guano de las islas peruanas es único en el mundo 31 de enero de 2017: <https://www.agrorural.gob.pe/guano-de-las-islas-peruanas-es-unico-en-el-mundo/>

- Ministerio de Agricultura y Riego. (s.f.). Guano de las islas. Obtenido de Guano de las islas: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/SEPARATA-G12.pdf>
- MinisterioDeAgricultura. (s.f.). Perú, un campo fértil para sus inversiones y el desarrollo de sus exportaciones. Ministerio de Agricultura.
- Mourtzis, D., Vlachou, E., & Milas, N. (2016). Industrial Big Data as a Result of IoT Adoption in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 55, 290–295. doi:10.1016/j.procir.2016.07.038
- Mundial, B. (3 de 2018). Banco Mundial presenta estudio sobre agricultura en el Perú. Obtenido de Banco Mundial presenta estudio sobre agricultura en el Perú: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/03/01/banco-mundial-presenta-estudio-sobre-agricultura-en-el-peru>
- Olaya, V. (2014). icog. Obtenido de icog: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Olivos. (1 de 2019). ¿Qué es el riego tecnificado y cómo se puede implementar? Obtenido de ¿Qué es el riego tecnificado y cómo se puede implementar?: <https://www.olivos.cl/blog/que-es-el-riego-tecnificado-y-como-se-puede-implementar/>
- One, I. (n.d.). Base Station. Base Station. Retrieved from <https://www.iotone.com/term/base-station-bs/t77>
- Phys.org. (9 de 2018). Aliviar la temperatura del suelo: los cultivos de cobertura protegen el suelo de temperaturas externas. Obtenido de Aliviar la temperatura del suelo: los cultivos de cobertura protegen el suelo de temperaturas externas: <https://mundoagropecuario.com/aliviar-la-temperatura-del-suelo-los-cultivos-de-cobertura-protegen-el-suelo-de-temperaturas-extremas/>
- PQS. (16 de Noviembre de 2019). PQS. Obtenido de PQS: <https://www.pqs.pe/economia/exportacion-de-banano-organico-se-recuperara-este-ano-crecera-10>
- Ray, B. (n.d.). NB-IoT vs. LoRa vs. Sigfox. NB-IoT vs. LoRa vs. Sigfox. Retrieved from <https://www.link-labs.com/blog/nb-iot-vs-lora-vs-sigfox>
- Redagrícola. (8 de 2017). Se viene el boom del banano orgánico. Obtenido de Se viene el boom del banano orgánico: <http://www.redagricola.com/pe/se-viene-el-boom-del-banano-organico/>
- Redagrícola. (11 de 2019). Banano y mango, con altas expectativas. Redagrícola Perú S.A.C, 61.
- Sarría, F. A. (n.d.). Sistemas de Información Geográfica. 239.
- Sela, G. (s.f.). Efecto de la salinidad en el crecimiento de las plantas. Obtenido de Efecto de la salinidad en el crecimiento de las plantas: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/soil-salinity/>
- Semtech. (n.d.). Why LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech. Why LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech. Retrieved from <https://www.semtech.com/lora/why-lora>

- SENASA. (s.f.). Piura inicia campaña de exportación de mango 2019-2020 - SENASA al día. Piura inicia campaña de exportación de mango 2019-2020 - SENASA al día. Obtenido de <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/piura-inicia-campana-de-exportacion-de-mango-2019-2020/>
- Shiklo, B. (2018). RFID und IoT im Krankenhaus: Vorteile und Bedenken. RFID und IoT im Krankenhaus: Vorteile und Bedenken. Obtenido de <https://www.scnsoft.de/blog/rfid-und-iot-im-krankenhaus>
- Shiklo, B. (25 de Diciembre de 2018). Science soft. Obtenido de Science soft: <https://www.scnsoft.com/blog/iot-in-manufacturing>
- Shiklo, B. (09 de Octubre de 2018). Science soft. Obtenido de Science soft: <https://www.scnsoft.com/blog/smart-hospital-asset-tracking>
- Sistema Integral de Comunicación. (15 de Enero de 2018). Sistema Integral de Comunicación. Obtenido de Sistema Integral de Comunicación: <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=3037>
- Superfood. (3 de 2018). Variedades de mango que quizás no conozcas. Obtenido de Variedades de mango que quizás no conozcas: <https://www.frutasmontosa.com/es/20-variedades-mango-quizas-no-conozcas/>
- Thingsboard. (s.f.). ThingsBoard - Open-source IoT Platform. ThingsBoard - Open-source IoT Platform. Obtenido de <https://thingsboard.io/>
- unisima. (2016, 10). Plátano: Propiedades, Beneficios y Usos. Plátano: Propiedades, Beneficios y Usos. Retrieved from <https://unisima.com/salud/platano/>
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Kelly T. Morgan. (2 de 2019). Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad. Obtenido de Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE49600.pdf>
- Zotarelli, L., Dukes, M., & Morgan, K. (2013). IFAS. Obtenido de IFAS: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE49600.pdf>