

Cuantificación Económica del Ahorro de Agua Generado a Partir de Mediciones de Humedad por Sensores Digitales

R. Ávila Cisneros[#], A. González Torres[#], B. P. Peña Revuelta[#], J. C. Chávez Novoa^{*1},
O. Pirul Mendo^{*2}, M. A. Delgado López^{*3}

[#]Departamento Académico, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

^{*}Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez,
Unidad Académica Chapala, México. Departamento Académico.

¹julio.chavez@chapala.tecmm.edu.mx, ²omar.mendo@chapala.tecmm.edu.mx,

³miguel.delgado@chapala.tecmm.edu.mx

Resumen— En el verano-otoño de 2022 se realizó una investigación con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad pinto Saltillo en las instalaciones del Centro de Investigación Básica y Aplicada (CIBA) de la UAAAN Unidad Laguna. Se implementaron 2 áreas de cultivo, cada una de 60 m², con la finalidad de comparar la producción de grano seco bajo 2 sistemas de riego; mismos que se fueron monitoreando a partir del 22 de agosto de 2022 con sensores electrónicos (Tecnología IoT) con la finalidad de seguir en tiempo real 2 variables: % de humedad y temperatura al interior del suelo en el perfil 0–30. Mediante la prueba t de Student en la comparación de medias para grupos pequeños, se analizó la hipótesis: “La producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad Pinto Villa irrigada por microaspersión genera una producción de grano seco muy competitiva y con un ahorro significativo de gasto de agua de riego”, reflejado esto a la vez en ahorros financieros. En los resultados obtenidos se logró ajustar el programa de riego en el sistema de irrigación por microaspersión de regar cada semana a regar cada 2 semanas; pues las lecturas de % de humedad de los sensores digitales en la primera semana aún promediaban un 49.5% de humedad y la segunda semana se acercaban al 20% de humedad (dato buscado para aplicar el riego de auxilio para los 2 sistemas de irrigación). Relacionado con la producción de grano seco, la $T_c < T_o$, es decir, no hubo diferencia estadística entre la producción lograda por los 2 sistemas de riego; los 2 se comportaron de manera similar. En los ahorros de agua y pagos proyectados, tomando como referencia los precios del Sistema Municipal de Agua y Saneamiento (SIMAS-Rural), se lograron ahorros por encima del 50%. La hipótesis y los objetivos de la investigación fueron validados en términos de aceptación, tomando como referencia las decisiones tomadas con el apoyo de la tecnología IoT.

espaciamiento entre hileras, etc. El uso de las tecnologías de la agricultura de precisión puede ayudar a mejorar los márgenes de utilidad, a través de un aumento del valor de rendimiento (cantidad-calidad), una reducción en la cantidad de insumos o de ambos simultáneamente”.

La necesidad de adaptación y de la posibilidad de mitigación en la agricultura imponen la integración de nuevas tecnologías. Esta última permite elaborar estrategias de crecimiento para apoyar la seguridad alimentaria de las naciones en vías de desarrollo. La agricultura inteligente implica el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) y, en particular, el Internet de las Cosas (IoT) [3]. Afortunadamente, poco a poco los actores sociales de la producción agropecuaria han podido aprovechar el desarrollo tecnológico de la tecnología IoT tal como la experiencia de la Universidad de Cuenca de la República de Ecuador que lo definen así: IoT permite la interconexión de objetos dotados de la tecnología necesaria para conectarse a internet [4].

Mora Magallanes y Rosas Pari [5] realizaron una investigación en Perú con sensores y tecnología IoT con la finalidad de monitorear factores ambientales de temperatura ambiental, humedad del ambiente, presencia de lluvia y cantidad de humo (smoke), todo ello relacionado con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); estos datos fueron enviados a la nube mediante internet con la finalidad de enviar información de manera sencilla al usuario para que se tomen decisiones en tiempo real. Lo que hicieron los autores de la investigación mencionada está referido dentro del contexto de conexión digital entre objetos de uso cotidiano con internet, es decir; tener la conexión de dispositivo de medición en forma inalámbrica.

I. INTRODUCCIÓN

Hernández Ramírez y col. [1], citando a Sabri, Hanif y Janin [2], mencionan que “la agricultura de precisión es una metodología que está en constante innovación con el pasar de los años; es el conjunto de tecnologías que se aplican al trabajo de campo, como satélites, sensores, imágenes y datos geográficos, que reúnen la información necesaria para entender las variaciones del suelo y los cultivos”. Del mismo modo, podrán analizarse el tipo y la dosis de fertilizante a aplicar, la densidad de las semillas, la fecha de siembra, el

Lo que se puede observar en las consultas anteriores es que la gama de aplicaciones del internet de las cosas para las actividades agropecuarias es bastante amplia; por lo que en esta investigación se buscan experiencias relacionadas con la aplicación de riegos y su monitoreo con sensores digitales; y es que, como lo menciona Aguilar Zavaleta [6], citando a Khokhar [7], las actividades agropecuarias demandan una

gran cantidad de agua para lograr la producción de alimentos que día a día demanda la población del mundo; y dicen: “A nivel mundial se consume un 70% de agua dulce en las actividades agrícolas; y en particular en la República de Perú, el dato de consumo alcanza un 76%”. Es decir; tenemos un área de oportunidad en la tecnología IoT para monitorear y medir en tiempo real uno de los insumos más escasos y finitos necesario para las actividades: El agua.

Mata Vigil [8] realizó la evaluación de 3 láminas de riego en suelos de diferentes texturas sembrados con frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); mediante el uso de 2 tipos de sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry) y TDR (Time Domain Reflectometry); y midió a 12 centímetros de profundidad la humedad del suelo en un experimento llevado en maceteros; la mayor variabilidad de humedad de suelo se presentó con el sensor FDR. Relacionado con experiencias de riego por goteo; método muy utilizado en la actualidad con la finalidad de eficientar el uso de agua de riego; Ugalde Acosta y col. [9] realizaron un trabajo de investigación en el cual básicamente se compararon las producciones de frijol con 2 métodos de riego: El riego tradicional de agua rodada comparado con el riego por goteo. En el primero de ellos se aplicaron 5 riegos distribuidos durante el ciclo de cultivo, para el segundo se aplicaron 16 riegos (5 días c/u) los cuales cubrieron la demanda hídrica desde la plántula hasta el llenado de vaina. En sus resultados nos comparten, entre otras cosas; que la lámina de riego acumulada para el sistema de goteo fue un 85% menor que el de riego de agua rodada. Hay coincidencia con Haynes y Swift [10] quienes mencionan que el riego por goteo de agua se tiene un gasto significativamente menor que con otros sistemas de riego.

Ahora bien; las experiencias de estudios previos sobre el coste del agua de riego parten de la comparación del Precio de Sombra que los productores y estudiosos del tema han compartido, tal como se da a conocer a continuación. Granda Ordoñez [11], citando a Zabalza-Martí [12], define el precio de sombra o precio social, llamado también como precio de cuenta así: “es una medida monetaria del cambio en pro del bienestar de una comunidad, manejado en el contexto de la Economía y de las Finanzas Públicas como el costo de la contribución a los objetivos socio-económicos de un cambio marginal del bien o factor”; y añaden “los precios comerciales no pueden ser usados para medir las consecuencias sociales de un proyecto, bajo estas circunstancias es necesario establecer otro tipo de precios que no se ajustan a los generados en el mercado”. Y es que en relación al precio de sombra es como se han establecido en diferentes regiones de México al cobrar el uso de un metro cúbico de agua se hacen las siguientes referencias: Godínez-Montoya y col. [13]; realizaron un modelo en base los modelos decrecientes (la función cuadrática) y apoyándose en las derivadas parciales basados en la productividad marginal del precio del agua de gravedad han generado un precio sombra de \$0.73 Pesos/m³ para riego por bombeo y de \$ 0.25 pesos/m³ de agua de riego por gravedad; y en una

realidad del año 2002 el costo para los usuarios era de solo \$0.05 pesos/m³. Para el año 2019 según Ramírez-Barraza y col. [14] el precio sombra logrado bajo la misma metodología de los rendimientos decrecientes (una actualización del anterior estudio) fueron: Precio para bombeo llegó a los \$1.56 pesos/m³, y para el agua de gravedad llegó a los \$0.91 pesos/m³; estos 2 estudios para el acuífero 017 de La Comarca Lagunera. Murillo Trujillo [15] en estudio para el acuífero de Acámbaro Guanajuato generó un precio real de \$1.03 pesos/m³ y el costo para los usuarios en ese año del 2021 fue de \$1.03 pesos/m³.

La Comarca Lagunera juega un papel preponderante en el sector agropecuario, dada su ubicación geográfica, la vocación agrícola y social que ha tenido la región. Se cuenta con 44 mil productores agropecuarios que son atendidos por la SAGARPA mediante tres subdelegaciones, dos distritos de Desarrollo Rural y 16 Centros de Apoyo al Desarrollo Rural [14].

Ramírez-Barraza S.A y Colaboradores [14] mencionan que “en el caso del Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera se cobra una cuota de riego de \$1 600 pesos MN ha-1 sin considerar el tipo de cultivo. Esta cuota alcanza a cubrir parcialmente los costos de operación, pero no incluye los costos de mantenimiento de los canales ni de las obras principales, así como la pérdida de agua en el proceso de conducción y distribución”; es decir el costo con algunas variaciones es de \$0.16 pesos/m² por riego de gravedad sin importar el cultivo.

- Objetivo General: Establecer un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad pinto villa bajo 2 sistemas de riego

- Objetivo específico 1: Comparar la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) pinto villa al utilizar 2 sistemas de riego: El riego por MICROASPERSIÓN y el riego por agua rodada.

- Cuantificar en términos económicos los ahorros de agua logrados en el sistema de riego por microaspersión.

Hipótesis: “La producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de la variedad pinto villa irrigada por microaspersión; genera una producción de grano seco muy competitiva y con un ahorro significativo de gasto de agua de riego”.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En el verano - otoño de 2022 se establecieron 2 superficies de siembra del frijol de la variedad pinto Villa en las instalaciones del Centro de Investigación Básica y Aplicada (CIBA) que se encuentra en los campos de cultivo de la Unidad Laguna de la UAAAN en áreas de 60 m² cada una. Una de ellas de irrigó por medio de riego por microaspersión en surcos de 10 metros lineales y la distancia entre surco fueron de .40 metros; la segunda superficie fue irrigada con agua rodada; y los surcos tuvieron las mismas características de distancia y ancho de la primera superficie.

Al interior de cada una de las áreas de trabajo se instalaron 8 sensores digitales (4 en cada una de las superficies) con la finalidad de dar seguimiento a la humedad del suelo.

Los datos de desarrollo de planta y de producción de vaina y grano seco se analizaron por medio de la Comparación de Medias de la Prueba t de student para un α del 5%.

El sistema de monitoreo estará dividido en diferentes módulos los cuales se agrupan en 3 rubros fundamentales que permiten que los trabajos de investigación se puedan llevar a cabo de forma paralela, pues aun cuando se integran para formar un producto final, estos pueden ser desarrollados y llevados a cabo por diferentes integrantes del cuerpo de investigación.

- **Módulo de Procesamiento:** Encargado de recabar los datos en el sitio de monitoreo, posteriormente procesarlos, es decir, ajustarlos y transformar las magnitudes físicas en información digital que pueda ser enviada hacia la nube.

- **Módulo de Comunicación:** El dispositivo implementa la comunicación mediante el protocolo de internet TCP, asegurando que los datos son almacenados en el servidor de forma correcta, además se utiliza un sistema de autenticación a través de tokens que proporcionan seguridad y evita que intrusos dañen o manipulen la información.

- **Módulo de Visualización:** Analizar la información recabada por los dispositivos se puede tornar difícil, debido a la gran cantidad de información, recordando que existen muestreos cada 10 minutos, por lo que se implementa un sistema que organice los datos y los visualice de forma correcta para poder interpretar los resultados de forma rápida y sencilla.

La metodología propuesta para la obtención de los resultados mediante la adquisición de datos implementó una distribución estratégica de varios dispositivos de medición, la cual cubre la mayor superficie posible como se muestra en la Figura 1. Obteniendo valores en las diferentes zonas para poder identificar los cambios de humedad y temperatura al interior del suelo. En cuanto a la extensión del área de estudio de la investigación planteada comprende 120 m² divididos en dos secciones, las cuales fueron irrigadas de manera distinta para poder contrastar los datos recabados y poder medir los comportamientos de las condiciones de los terrenos, por tal motivo los dispositivos implementados fueron separados en dos grupos específicos, con el propósito de analizar la producción de manera independiente de las dos áreas de cultivos.

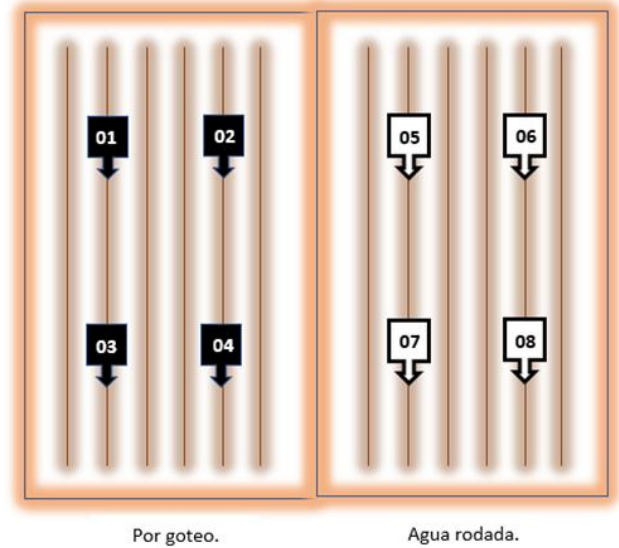


Fig. 1. Distribución de dispositivos de adquisición de datos.

El proyecto tecnológico integra sensores de humedad y temperatura, ya que estos parámetros son los indispensables para el análisis propuesto, siendo el sensor de humedad de tipo analógico por lo que proporciona la medición de los niveles de humedad de forma no analógica, necesitando la implementación de un sistema que lo convierta a digital, mientras que sensor de temperatura es de tipo digital y recaba los datos correspondientes a temperatura del suelo sin necesidad de intervenir en el proceso de adquisición; los sensores se encuentran colocados a una profundidad de 40 cm puesto que es la distancia óptima y donde se encuentra la raíz del cultivo.

Para obtener, procesar y enviar la información al cloud, se realizó el montaje y programación de un microcontrolador que incorpora un algoritmo de procesamiento y conexión al servidor para que funcionen de forma independiente, lo que permite que si existe fallo en alguno de ellos se pueda identificar de forma rápida cuál dispositivo es el que requiere atención sin entorpecer el trabajo de los demás.

En cuanto a la comunicación y transporte de los datos obtenidos de los cultivos hasta su visualización en cualquier dispositivo que disponga de un navegador web, se requiere una arquitectura de múltiples capas como se muestra en la figura 2. Los dispositivos al adquirir los datos lo hacen de forma independiente, por lo que tienen que establecer comunicación a través de internet con el servidor, para lo cual se opta por el estándar Wifi, evitando el tendido de cables sobre los cultivos; posteriormente y asegurando que existe conexión con el servidor, se verifica mediante credenciales token que el dispositivo tiene los permisos necesarios para guardar la información en la base de datos del servidor, con lo que se evita que intrusos, ya sean personas o dispositivos no registrados almacenen información y alteren los datos de las mediciones válidas.



Fig. 2 Distribución de dispositivos de adquisición de datos.

Los registros almacenados en el servidor por si solos no son funcionales, es necesario implementar un sistema informático que permita acceder de forma sencilla y ordenada a los registros para su análisis, por lo que se desarrolló un sistema de ventanas que permiten a los investigadores obtener la información almacenada en un formato adecuado, es decir, la información se observa de forma categorizada, permitiendo un entendimiento de las condiciones del terreno cultivado y sus cambios a través de tiempo

Las pruebas que se llevarán a cabo están divididas en diferentes formas o partes las cuales son de comunicación con la base, comunicación de sensores dentro del suelo para ver si están generando los datos que se requieren y así poder realizar la calibración de los mismos para un mejor comportamiento, además, se realizará la configuración de almacenamiento de la nube para registrar los datos que van llegando de los sensores en una base de datos, los cuales pueden ser accedidos a través de la petición a un web service por parte de cualquier plataforma web, stand alone o app móvil que requiera dicha información.

Para validar el óptimo funcionamiento del sistema es necesario colocar los dispositivos de censado y comunicación en el sitio y realizar mediciones manuales periódicas para corroborar que se obtienen datos precisos, pudiendo hacer los cambios pertinentes para el ajuste de los sensores en la etapa de calibración, garantizando que los reportes generados por la plataforma en la nube son confiables y corresponden a la realidad del terreno en observación.

Relacionado con los precios del agua de riego se han tomado 2 referencias:

Ramírez-Barraza S.A y Colaboradores [13] mencionan que “en el caso del Distrito de Riego 017 Comarca Lagunera se cobra una cuota de riego de \$1 600 pesos MN ha-1”; independientemente del cultivo; pero para el caso del frijol cuyo sistema radicular está dentro de los 0.30 metros; tendríamos un volumen de 3000 m³ de agua; dividiendo esta relación tenemos el valor de referencia de \$0.53 pesos/m³.

La segunda referencia es el valor de consumo del Sistema Municipal de Agua y Saneamiento (SIMAS)-Rural; cuyo precio por m³ de agua es de \$16.22 pesos (Dato del costo de un recibo de agua del 04 de Marzo de 2022; esto para el área del Suroriente de Torreón Coahuila.)

III. RESULTADOS

Se realizó un muestreo de 12 matas del frijol irrigadas por microaspersión y de 10 matas irrigadas por inundación el 3 de septiembre de 2022 cuyos resultados fueron los siguientes; tal como se ve en Tabla I:

TABLA I
PRUEBA T PARA NO PROMEDIO DE EJOTES POR MATA

Riego por Microaspersión	Riego por Inundación
MAE=35.83 ejotes	MAT=46.4
SE=14.78	ST=4.71
n1=12	n2=10
Tc= -2.21 < To= 1.7247	La Producción de ejotes de las matas muestra irrigadas por inundación no fueron mayores que las irrigadas por microaspersión

Un mes después; el 30 de octubre de 2022; tomando como referencia en número de vainas secas ss realizó la prueba t para comparar la producción de la variable arriba mencionada tal como se puede observar en la Tabla II.

TABLA II
PRUEBA T PARA NO PROMEDIO DE VAINAS SECA POR PLANTA

Riego por Microaspersión	Riego por Inundación
MAE=33.72 Vainas	MAT=30.72
SE=12.61	ST=9.54
n1=11	n2=11
Tc= 0.6302 < To= 1.7247	La Producción Promedio de Vainas Secas fue similar entre las plantas irrigadas por microaspersión y las plantas irrigadas por inundación.

El 03 de noviembre de 2022 se formaron 6 “borregos” (Montones de Plantas) para cada una de las 2 áreas de 60 m² que fueron las áreas testigo y experimento del frijol pinto villa. Tal como se puede observar en la Tabla III; la prueba t de student nos permitió determinar los siguientes datos promedio de No de plantas promedio por borrego.

TABLA III
PRUEBA T PARA NO. DE PLANTAS PROMEDIO POR “BORREGOS” DE FRIJOL.

Riego por Microaspersión	Riego por Inundación
MAE=27.5 plantas por borrego	MAT=25.6
SE=7.34	ST=7.56
n1=6	n2=6
Tc= 0.44 < To= 1.8125	Relacionado con el No de plantas por borregos; fue similar en No de Plantas para el área irrigada por microaspersión a el área irrigada por inundación-

Las plantas totales de las áreas del experimento de frijol pinto villa se pueden observar en la Tabla IV; así mismo se puede observar la producción de grano seco en gramos para la superficie irrigada por microaspersión y el área irrigada por inundación.

TABLA IV

NO. DE PLANTAS TOTALES POR SUPERFICIE Y PRODUCCIÓN DE GRANO SECO EN GRAMOS

Área de Referencia	No. De Plantas Totales	Producción de grano seco en gr/ superficie de 60 m ²	Producción de grano seco promedio por planta
Riego por Microaspersión	165	4000	4000/165= 24.26 grs
Riego por inundación	154	4094	26.58 grs

Como se observa en la Tabla V; la prueba t para comparar las medias de producción de grano seco para los “borregos” de riego por inundación y riego por microaspersión nos permiten observar que en relación a la producción de grano seco; fue la superficie de riego por inundación quien dio una Tc de 0.1422; valor menor a To de 1.8125; lo que dice que la producción de grano seco fue similar entre los 2 sistemas de producción.

TABLA V

ANÁLISIS DE LA PRUEBA T PARA COMPARAR PRODUCCIÓN DE GRANO SECO ENTRE LOS DOS SISTEMAS DE RIEGO PARA “BORREGOS” FORMADOS.

Riego por Inundación	Riego por microaspersión
MAE=716.62 grs de grano seco/ por borrego de frijol	MAT=666.6 grs de grano seco/ borrego de frijol
SE=201.65	ST=177.98
n1=6 borregos	n2=6 borregos
Tc= 0.1422 < To= 1.8125	La producción de grano seco para los 2 sistemas de riego presentó producción similar; es decir no se presentó diferencia estadística.

Realizando una proyección de producción de frijol pinto villa por hectárea se generan los siguientes resultados.

En la Tabla VI se puede observar la proyección de producción de grano seco para los 2 sistemas de riego; y un posible ingreso bruto con precio de garantía de \$16.00 pesos por Kg/Frijol.

TABLA VI

PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN DE FRIJOL/HA PARA LOS DOS SISTEMAS DE RIEGO.

Sistema de riego	Producción para 60 m ²	Para una hectárea	Ingreso bruto/ha.
Inundación	4.094 Kgs	682.3 Kgs	\$ 10 917.3
Micro aspersión	4 Kgs	666.6 Kgs.	\$ 10 666.6
DIFERENCIA:	0.094 Kgs	15.7 Kgs	\$ 251. pesos/ ha a favor del riego por inundación

Relacionado con el Consumo de agua es importante compartir los siguientes resultados.

Para el riego de auxilio ambas áreas (La de microaspersión y la de inundación) fueron irrigadas por aproximadamente 11 000 litros de agua; mientras que en los riegos de auxilio se realizaron la aplicación de los siguientes volúmenes.

- Cada riego de auxilio del área de microaspersión fue de 1500 litros (en lunes de cada semana); hasta que llegaron las lluvias de agosto, después se irrigaron cada 2 semanas; pues con la instalación de los sensores digitales que fue 24 de agosto de 2022; a la semana enviaba una lectura de entre 46 y 50%; y a las 2 semanas se llegaba al 20% de humedad; y las plantas de frijol iniciaban con síntomas de estrés hídrico.

- Para el área de riego por inundación se aplicó un volumen de 11 000 litros de agua cada 3 semanas; al llegarse ese periodo de tiempo los sensores de humedad estaban en promedio de 10% de humedad.

La diferencia entre riegos de auxilio fueron los siguientes:

- Cada 3 semanas se aplicaban en el riego por inundación 11 000 litros

- Cada semana se aplicaban 1500 litros por microaspersión x 3 = 4500 litros en las tres semanas.

- Le lograba un ahorro de 6500 litros de agua; es decir cada 3 semanas se ahorra el 59% de agua.

TABLA VII

CANTIDAD DE AGUA EN M³ Y CÁLCULOS DE COSTOS A PARTIR DE PRECIO/ M³ (SEGÚN COSTOS DE CONAGUA Y SIMAS RURAL).

a) *Riego por microaspersión para 60 m² de superficie de frijol*

Tipo de riego	Litros aplicados	No de riegos	Cantidad de agua (lts) y m ³	Costo/m ³ CONAGUA	Costo total CONAGUA	Costo/m ³ SIMAS Rural	Costo Total SIMAS R.
Pre siembra	11 000	1	11 000 = 11	\$ 0.53 pesos	\$ 5.83	\$16.22	\$178.42
Riego de auxilio	1500	11	16 500 =16.5	\$ 0.53 pesos	\$ 8.745	\$16.22	\$ 267.63
Total		12	27500= 27.5		\$14.58 pesos		\$ 446.05

TABLA VIII

CANTIDAD DE AGUA APLICADA EN M³ Y CALCULOS DE COSTOS A PARTIR DE PRECIO/ M³ (SEGÚN COSTOS DE CONAGUA Y SIMAS RURAL).

b) *Riego por inundaciones para 60 m² de superficie de frijol.*

Tipo de riego	Litros aplicados	No de riegos	Cantidad de agua (lts) y m ³	Costo/m ³ CONAGUA	Costo total CONAGUA	Costo/m ³ SIMAS Rural	Costo Total SIMAS R.
Pre siembra	11 000	1	11 000 = 11	0.53 pesos	\$ 5.83	\$16.22	\$178.42
Riego de auxilio	11 000	4	44 000 =44	0.53 pesos	\$ 23.32	\$ 16.22	\$713.68
Total		5	55 000=55		\$29.15 pesos		\$892.1

IV. CONCLUSIONES

Relacionado con la variable de producción de grano seco; la técnica de la t de student en la comparación de medias nos dio una $T_c < T_o$; es decir los 2 sistemas de riego (Por Inundación y Por microaspersión) generaron una producción similar de grano seco; no hubo diferencia estadística entre ellos. Y llevando esta reflexión a el uso de agua; el sistema de riego por inundación para la superficie del experimento fue de 55 m^3 durante todo el proceso de producción; y para el sistema de riego por microaspersión fue de 27.5 m^3 es decir; un ahorro de agua en todo el ciclo a favor de la microaspersión por encima del 50%. Y finalmente relacionado con los costos más reales que son los del SIMAS-Rural que cobra a \$16.22 pesos/ m^3 el uso de agua (tomado en cuenta que el CIBA-UAAAN UL está ya dentro de esa referencia geográfica); los costos para el sistema de riego por inundación fueron del orden de los casi \$900.00 pesos, y para el sistema de riego por microaspersión ascendieron en un orden de \$ 446 pesos; es decir un ahorro del 50% en términos económicos a favor del sistema de riego presurizado.

REFERENCIAS

- [1] L. F. Hernández Ramírez, J. L. Arce Valdez y J. A. Martínez Rivera, "Desarrollo de sistemas mecatrónicas enfocados a tecnologías de agricultura de precisión, aplicables a cultivos de frijol: Una revisión." *Electro*, Vol. 42, 2020. Disponible en: https://www.itchihuahua.mx/revista_electro/2020/13_C.pdf.
- [2] F. N. Sabri, N. H. H. M. Hanif, and Z. Janin, "Precision Crop Managemet fpr Indoor Farming," *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSIMA.2018.8688791>.
- [3] A. Espinosa, D. Ponte, S. Gibeaux y C. González, "Estudio de sistemas IoT aplicados a la agricultura inteligente," *Revista Plus Economía*, vol. 9, no. 1, pp. 33-42, 2021.
- [4] V. P. Bravo Merchán, "Evaluación de un sistema VBM384 para la aplicación técnica de internet de las cosas IoT, en el monitoreo automático de la humedad y la temperatura del suelo," Tesis de Magister, Repositorio Latinoamericano, Universidad de Cuenca, República de Ecuador, 2017. Disponible en: <https://revistas.unachi.ac.pa/index.php/pluseconomia/article/view/479>.
- [5] H. V. Mora Magallanes y J. L. Rosas Peri, "Diseño, desarrollo e implementación de una red de sensores inalámbricos (WSN) para el control, monitoreo y toma de decisiones aplicado en la agricultura de precisión basado en tecnología IoT: Caso de estudio del cultivo del frijol," Tesis profesional de Ingeniería electrónica, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2019. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/6349efe0-60a1-48cf-a04b-42f0efe4fbad>.
- [6] S. Aguilar Zavaleta, "Diseño de una solución basada en el internet de las cosas(IoT) empleando lorawar para el monitoreo de cultivos agrícolas en Perú," Tesis de licenciatura en telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Perú, 2020. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2946/Samuel%20Aguilar%20Tesis_Titulo%20Profesional_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [7] T. Khokhar. (2017). Chart: Globally, 70% of Freshwater is Used for Agriculture [En línea]. Disponible en: <https://blogs.worldbank.org/opendata/chartglobally-70-freshwater-used-agriculture>.
- [8] I. I. Mata Vigil, "Evaluación de 3 láminas de riego en suelos de diferentes texturas en el desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)," Tesis de licenciatura de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Dpto. de Ciencias Agropecuarias, Honduras, 2021. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/7104/1/CPA-2021-T068.pdf>.
- [9] F. J. Ugalde Acosta, O. H. Tosquy Valle, E. López Salinas y N. Francisco, "Productividad y rentabilidad del cultivo del frijol con fertirrigación en Veracruz México," *Revista Agronomía Mesoamericana*, vol. 22, no. 1, pp. 29-36, 2011.
- [10] R. S. Haynes y D. Swift, "Efectos de la fertirrigación por goteo en 3 formas de nitrógeno sobre el pH del suelo, los niveles de nutrientes extraíbles por debajo del emisor y el crecimiento de las plantas," *Revista Planta y Suelo*, vol. 2, no. 2, pp. 211-221, 1987.
- [11] L. E. Granda Ordoñez, "Análisis y determinación de los precios sombra en el sector del transporte," Tesis de licenciatura en Contabilidad Superior, Facultad de Ciencias de la Administración de la Universidad del Azuay, Cuenca Ecuador, 2021.
- [12] A. Zabalza Martí, El concepto del precio de sombra, Centro de estudios económicos y sociales (CSIC). Departamento de Teoría Económica de la Universidad de Barcelona. Barcelona España, 1974.
- [13] A. Godínez-Montoya, J. A. García-Salazar, M. Fortis Hernández, J. S. Mora Flores, M. A. Martínez Damian, R. Valdivia Alcalá y J. Hernández Martínez, "Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera," En *Revista Terra latinoamericana*, vol. 25, no. 1, 2007. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1438>.
- [14] B. A. Ramírez Barraza, A. González Estrada, R. Valdivia Alcalá, J. M. Salas González, J. A. García Salazar, "Tarifas eficientes para el agua de uso agrícola en La Comarca Lagunera," En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, vol. 10, no. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1295>.
- [15] J. Murillo Trujillo, A. Perales Salazar, "Precio sombra y coste real del agua para riego en Acámbaro Guanajuato," En *Revista Tecnología y Ciencia del agua*, vol. 13, no. 1, 2009. DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-13-05-09>.