

Tantoyuca, Ver., a 18 de diciembre de 2023.

Estimados Autores:

Andrés Gálvez-Rodríguez
Jimmy Felix-Armenta
Jesús-Alejandro Ayala-Aguilar
Marcos-Octavio Osuna-Armenta
Ramón Valenzuela-Edeza
Gilberto Mora-Galaviz

Con gusto les comunicamos que su artículo enviado denominado **Impacto económico en la producción de papa a través de la implementación de un sistema de autonomía de cómputo en el Valle Agrícola de Guasave, Sinaloa** después de haber sido evaluado por pares académicos bajo la modalidad doble ciego, ha sido aceptado para su publicación en la edición 2023 de la revista RIISDS, editada por el Tecnológico Nacional de México / ITS de Tantoyuca.

Como Ustedes conocen, nuestra revista se encuentra indizada en LATINDEX y publica un número al año en el mes de diciembre que podrán consultar en la dirección electrónica <https://itsta.edu.mx/revistadigital/>

Gracias por su colaboración y los invitamos a difundir nuestra revista en su comunidad científica.

Equipo Editorial**RIISDS ISSN 2448-8003****Tel. 01 789 8931680 ext. 196**<http://itsta.edu.mx/revistadigital/>

Revista indizada en

<https://www.latindex.org/latindex/ficha?folio=27412>

Dr. Horacio Bautista Santos
Editor en Jefe RIISDS



Impacto económico en la producción de papa a través de la implementación de un sistema de autonomía de cómputo en el Valle Agrícola de Guasave, Sinaloa

Economic impact on potato production through the implementation of a computing autonomy system in the Agricultural Valley of Guasave, Sinaloa

Andrés Gálvez-Rodríguez¹⁻⁵, Jimmy Felix-Armenta⁴⁻⁵, Jesús-Alejandro Ayala-Aguilar³, Marcos-Octavio Osuna-Armenta¹⁻⁵, Ramón Valenzuela-Edeza², Gilberto Mora-Galaviz⁵

¹ Tecnológico Nacional de México – ITS de Guasave, Sinaloa, México.

² Tecnológico Nacional de México – IT de los Mochis, Sinaloa, México.

³ Universidad Autónoma de Occidente, Sinaloa, México

⁴ Universidad Autónoma de Sinaloa, Sinaloa, México

⁵ Universidad Autónoma Indígena de México, Sinaloa, México.

Recibido: 30-10-2023

Aceptado: 05-12-2023

Autor corresponsal: andres.gr@guasave.tecnm.mx

Resumen.

En el período de 2017 a 2021, se implementaron técnicas de agricultura de precisión en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el Valle Agrícola de Guasave, específicamente en un lote de 72.25 hectáreas llamado "Baja" de la Agrícola Rábago. Esto fue una respuesta a los desafíos que enfrenta la producción de papa (*Solanum tuberosum*) a nivel mundial, como el cambio climático, que ha llevado a la proliferación de plagas y enfermedades, resultando en un aumento en la aplicación de agroquímicos, lo que a su vez ha elevado los costos de producción y disminuido la rentabilidad de los productos agrícolas.

La implementación de técnicas de agricultura de precisión en este lote de cultivo tuvo un impacto significativo. Ayudó a reducir los costos asociados con el riego, el control de plagas y la fertilización, lo que se tradujo en un aumento del margen de rentabilidad. En particular, se logró un beneficio costo del 32.6% en la producción, lo que significa que los ingresos generados por la producción de papa superaron considerablemente los costos involucrados en su cultivo.

Este enfoque basado en la agricultura de precisión no solo resultó en una mayor rentabilidad, sino que también contribuyó a reducir la incertidumbre en la producción de papa en la región. En un contexto donde los desafíos climáticos y las plagas son una preocupación constante, la adopción de técnicas de agricultura de precisión ofreció una solución efectiva para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de la agricultura de papa en el Valle Agrícola de Guasave.

Palabras clave: Papa, agricultura de precisión, costos, producción e impacto.

Abstract.- In the period from 2017 to 2021, precision agriculture techniques were implemented in potato (*Solanum tuberosum*) cultivation in the Agricultural Valley of Guasave, specifically in a 72.25 hectare lot called "Baja" of Agrícola Rábago. This was a response to the challenges facing potato (*Solanum tuberosum*) production globally, such as climate change, which has led to the proliferation of pests and diseases, resulting in an increase in the application of agrochemicals, which in turn has raised . production costs and decreased the profitability of agricultural products.

The implementation of precision agriculture techniques in this crop plot had a significant impact. It helped reduce costs associated with irrigation, pest control and fertilization, resulting in an increase in

profit margin. In particular, a cost of 32.6% was achieved in production, meaning that the income generated by potato production considerably exceeded the costs involved in its cultivation.

This precision agriculture-based approach not only resulted in greater profitability, but also contributed to reducing uncertainty in potato production in the region. In a context where climatic challenges and pests are a constant concern, the adoption of precision agriculture techniques offered an effective solution to improve the efficiency and profitability of potato agriculture in the Guasave Agricultural Valley.

Keywords: Potato, precision agriculture, costs, production and impact.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto del Valle Agrícola de Guasave, Sinaloa, México, el presente artículo se enfoca en un tema relevante: el impacto económico de la implementación de alternativas tecnológicas, específicamente la agricultura de precisión. Este enfoque tecnológico se ha introducido con el propósito de reducir los costos de producción y aumentar la rentabilidad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), un producto de gran importancia en el mercado agrícola local.

Es fundamental destacar que la agricultura es uno de los pilares económicos en este valle, con los distritos de riego # 63 y 75 desempeñando un papel crucial en la irrigación de estas tierras. A medida que el tiempo avanza y los mercados se vuelven cada vez más competitivos, se hace evidente la necesidad de innovación y mejora productiva en este sector (Martínez-Cebrian, 2012).

Las estadísticas revelan que un porcentaje significativo de los costos directos de producción de papa, en 2018, se destinaba a la adquisición de plaguicidas, siendo fertilizantes, insecticidas y fungicidas los principales componentes. Este hecho representa un desafío, ya que el uso indebido y excesivo de agrofarmacéuticos no solo pone en peligro la salud de los consumidores, sino que también impacta negativamente en los ingresos de los productores (Borráez, 2011).

A pesar de un aumento en las áreas de cultivo y la producción de papa (*Solanum tuberosum*), así como en su valor, durante el período estudiado, no se tradujo en mejores precios en el mercado. Esto resultó en una disminución en el margen de utilidad para los productores de papa en esta región, que se conoce como el corazón agrícola de México.

En este contexto, este trabajo de investigación se propone evaluar el impacto económico de la implementación del sistema de autonomía de cómputo, es decir, la agricultura de precisión, en el lote denominado "Baja" de la Agrícola Rábago en el Valle de Guasave. El enfoque es analizar cómo esta tecnología puede influir en los costos de producción y, en última instancia, en la rentabilidad de los agricultores, en un esfuerzo por abordar los desafíos económicos y mejorar la situación de la producción de papa en esta región.

II. DESARROLLO

La papa en México

De acuerdo a la (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER)*, 2018) el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) es uno de los más importantes de México ya que se siembran unas 62 mil hectáreas de este tubérculo, de las cuales se extraen cerca de 1.5 millones de toneladas con un valor comercial de 7 mil 276 millones de pesos. En este sentido, el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) ocupa el tercer lugar entre las hortalizas de Sinaloa con un valor anual de 441 millones de pesos, estado que aporta el 18.4% a la producción nacional de este tubérculo. (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER)*, 2018)

La papa, *Solanum tuberosum* L., es actualmente una de las fuentes de alimento más importantes a nivel mundial después del trigo, el maíz y el arroz (*Statistical Yearbook 2012 World Food and Agriculture. Food Agricultural Organization of The United Nations*, 2012). En México, los estados de Sinaloa y Sonora son los principales productores de este cultivo, que solo en Sinaloa alcanza las 13,333 has anuales (22 del área nacional) (*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER)*, 2018). Desde la implementación del entonces denominado Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) en México, hoy T-MEC, los productores de papa (*Solanum tuberosum*) han tenido que volverse más eficientes para mejorar su competitividad, reducir sus costos de producción y adaptarse a la volatilidad del mercado (Morales et al., 2011).

¿Qué es la agricultura de precisión?

Según la definición más reciente del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos, la agricultura de precisión es un conjunto de técnicas agrícolas que utilizan tecnologías de la información para adaptar el uso de semillas y agroquímicos, teniendo en cuenta la diversidad del entorno físico y biológico (*Precisión agriculture in the 21th Century*, 1997). Esto conduce a una reducción de los costos de producción y una gestión de la agricultura más respetuosa con el medio ambiente, este umbral es fundamentalmente un atractivo indiscutible. Pocos tendrían objeciones a una filosofía de gestión que trata de adaptar los insumos proporcionados precisamente a las necesidades. Además, esta filosofía encaja perfectamente con los principios científicos del manejo de suelos, plantas y plagas.

La agricultura de precisión es entendida como un sistema de cultivo que pretende equiparar la cantidad y el tipo de insumos con las necesidades de cultivo en zonas muy específicas dentro del campo

de cultivo (Bouma, 2007). Esto es, la agricultura de precisión tiene la capacidad de integrar las nuevas tecnologías surgidas en la era de la información con la industria agrícola, en donde se diferencia de la agricultura tradicional por su nivel de gestión, es decir, mientras que la tradicional considera a todo el campo de manera unitaria la de precisión se enfoca pequeñas áreas dentro del campo. Esto es, la agricultura de precisión se presenta con un mayor nivel de gestión orientado en necesidades concretas.

En un estudio realizado por (Zhang, 2021) analizan el cultivo de trigo de invierno 2005-2006 en la Estación Experimental Nacional de China. Se tomaron muestras de suelo y niveles nutrientes de cultivo y se determinaron utilizando procedimientos estándar de laboratorio. Los resultados indicaron que las zonas en función del suelo y el rendimiento son los que presentan mayores similitudes. Asimismo, los análisis estadísticos indicaron diferencias significativas entre el cultivo de nutrientes y el rendimiento en cada zona de los tres mapas.

Por su parte, (Makolu, 2020) tiene por finalidad identificar las tasas de adopción y los tipos de agricultura de precisión implementadas por los agricultores de los Estados Unidos y por países de la Unión Europea. Dentro de los resultados arrojados señala que el nivel de adopción en los EE.UU. difiere de un estado a otro, teniendo un mayor nivel de adopción las entidades del sur y la adopción general de tecnologías de agricultura de precisión alcanza aproximadamente el 91%. En tanto, referente a la Unión Europea, los países con tasas de adopción más altas son Reino Unido, Dinamarca y Alemania.

Materiales y Métodos

En el presente estudio se incluye el diseño e implementación de un sistema para análisis de información de variables agronómicas como son la temperatura, índice de humedad, estrés de la planta, conductividad eléctrica, según su variedad, entre otras, en cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), mediante la autonomía de sistemas de cómputo inteligente para predecir la aparición de plagas o enfermedades, que promedian en 26 enfermedades y plagas clasificadas en virosis, hongos, bacterias, daños fisiológicos, insectos y nematodos, basándose en las condiciones de entornos y ambientes favorables para su desarrollo.

Dicho sistema está sustentado en técnicas de agricultura de precisión, y algoritmos para deep learning (aprendizaje profundo), que se diseñó y desarrolló en el Tecnológico Nacional de México Campus Guasave, en consenso con productores de papa (*Solanum tuberosum*), para experimentar su

aplicación en tiempo inmediato y registro de información de variables e indicadores agronómicos; teniendo alternativas para su registro de patente, marca y hacer de ello un producto comercial.

Por lo anterior, se tomó como base un predio en la implementación de la AP dentro del campo agrícola propiedad de la Agrícola Rábago, en el lote denominado “Baja” ubicado en carretera Internacional México 15, a la altura de Adolfo Ruiz Cortines, Guasave, Sinaloa, sus coordenadas geográficas son $25^{\circ} 31'33.47''$ LN y $108^{\circ} 22' 47.24''$ LW.(Figura 1) y durante los ciclos agrícolas otoño-invierno 2017-2018, 2018-2019 y 2020-2021 de una superficie de 72.25 ha, La semilla de papa(*Solanum tuberosum*) utilizada fue de la variedad Fiana.

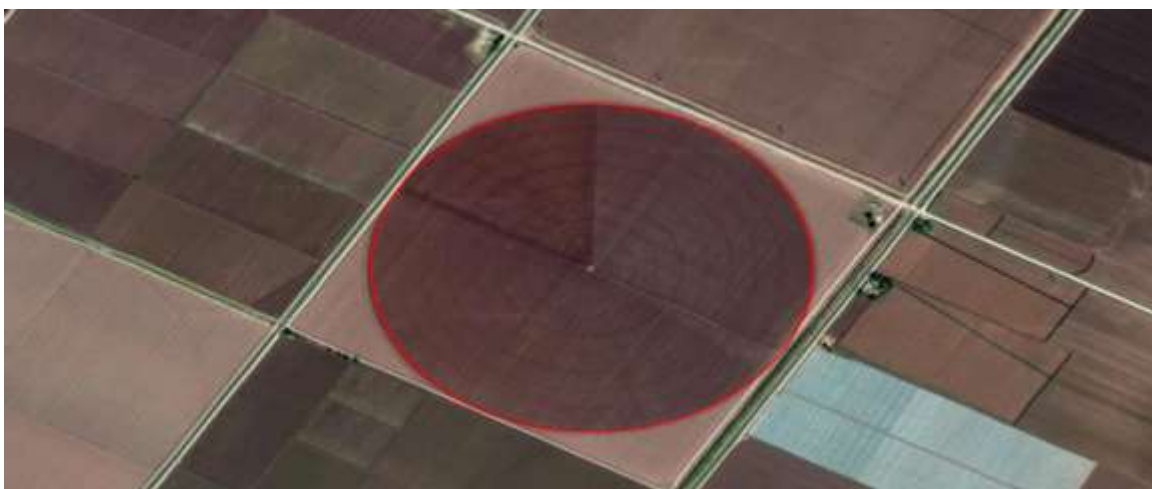


Fig. 1. Ubicación geográfica del campo “Bajas” de agrícola Rábago.

Fuente: los Autores (Google maps).

Resultados y discusión:

Como resultado de la implementación en dichos periodos en mención es entre otros lo siguiente:

- a) Se aplicó el Deep Learning, en el periodo agrícola señalado previo a prácticas culturales de siembra y asistencia técnica, monitoreando la detección para prever y aplicar insumos en tiempo oportuno y real
- b) Los sensores se colocaron estratégicamente y los datos se tomaron satelitalmente (AP).
- c) La información fue generada de forma automática, se compartió con los asesores agrónomos y directivos para abstraer, concretizar y consensar resultados para la toma de decisiones
- d) Se monitorearon las temperaturas y niveles de humedad según circunstancia y crecimiento de la planta antes de su cosecha

- e) Se detectaron anomalías en los índices de vegetación y presencia de plaga de manera anticipada antes de la generación de un daño irreversible.
- f) Se redujeron gastos y costos en el lote “Baja”

Se desarrolló un sistema que analizó información de distintas variables agronómicas en tiempo real, ya que nuestro sistema inteligente nos permitió apreciar la reducción de los costos de operación al prever e identificar síntomas y agentes causal para su aislamiento e identificación para su manejo y realizar las prácticas culturales apoyado conjuntamente de técnicas de inteligencia artificial, sistemas de adquisición de datos y sistemas embebidos. La IA (inteligencia artificial) contiene algoritmos matemáticos que permite que el software pueda aplicarse en la zona de monitoreo de interés del productor a través de la adquisición de datos de detección e identificación para realizar cálculos correspondientes, mejorando los sistemas de predicción, con el fin de proporcionar al productor datos críticos para realizar el desarrollo de cultivo, consiguiendo un equilibrio entre la utilización de agroquímicos y un control anticipado a las plagas y enfermedades en el cultivo de papa.

Dicha experiencia dada con este sistema de precisión, dan la certidumbre al productor en la toma de decisiones, como lo experimentó Agrícola Rabago, donde se permitió mejorar el control del cultivo, y en consecuencia, en el aumento de la rentabilidad y un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y de la sustentabilidad. Esto aportó como consecuencia una disminución en los costos de producción proyectados con un beneficio/costo de 32.6%, del lote de 72.25 ha, denominado “Baja” de la agrícola Rabago (figura 2); lo que llevaría a generar un impacto económico en los productores de la región de Guasave, Sinaloa para lo cual visualizamos lo siguiente:

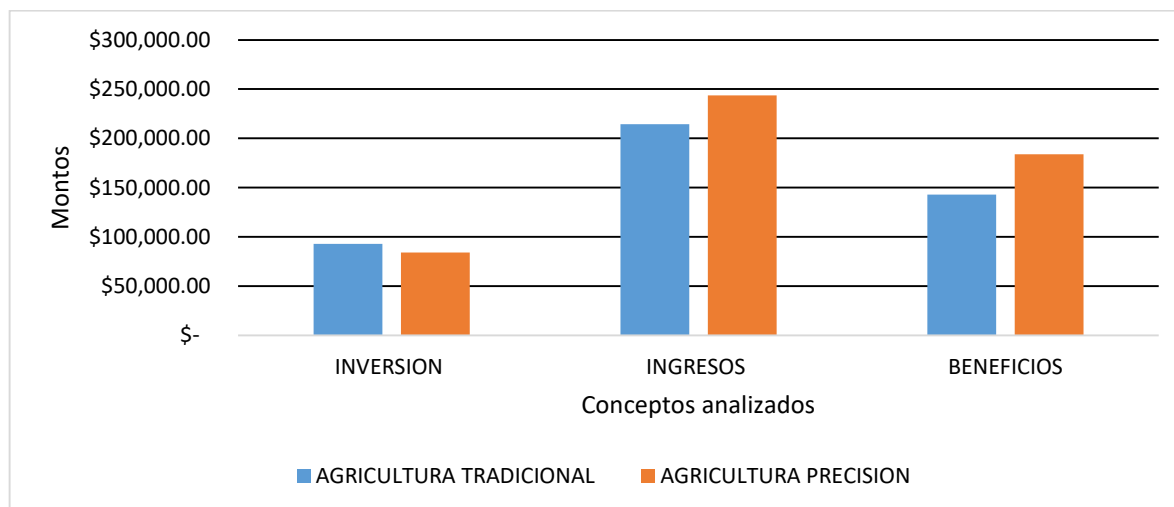


Fig. 2 Comparativo de los cultivos en inversión, ingresos y beneficios en términos económicos

Fuente: Elaboración propia

Actualmente, en Sinaloa existen cuatro municipios que concentran la producción de papa (*Solanum tuberosum*): Ahome, Guasave, El Fuerte y Sinaloa, siendo liderados por Ahome con una superficie cosechada de 7801.55 ha seguido por Guasave con 3453.19 ha durante el 2021.

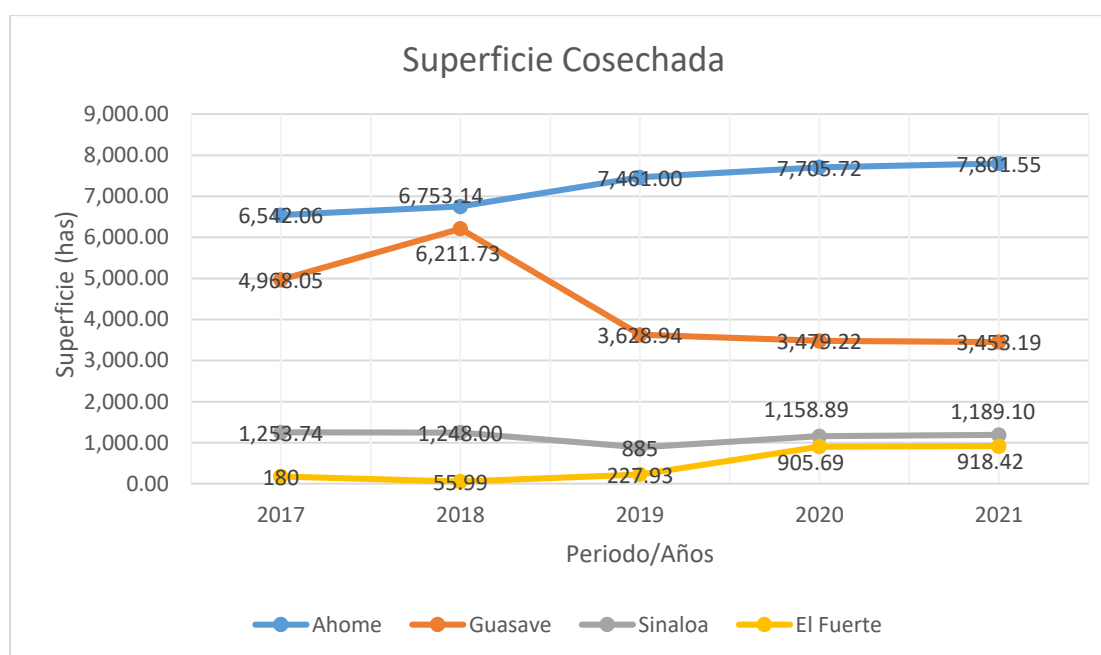


Fig. 3 Superficie cosechada por municipios de Sinaloa.

FUENTE: SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).

Todo ello ha generado una producción durante el año 2021 para los productores de papa (*Solanum tuberosum*) del valle de Guasave de 130,711.93 ton., como se aprecia en la figura 4, con un incremento en este valle en comparación con los cuatro años anteriores.

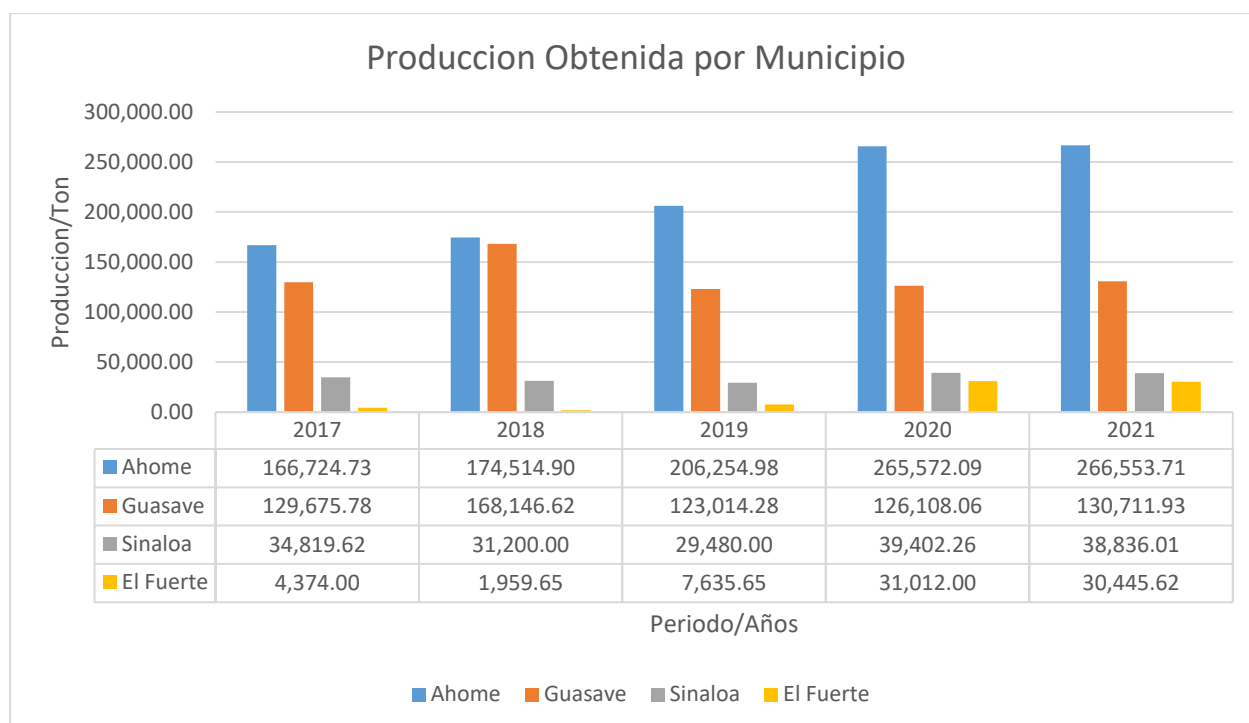


Fig. 4 Volúmenes de producción(ton) obtenida por municipio del estado(Sinaloa).

FUENTE: SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).

Como se concibe en la figura 5, la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en el valle agrícola de Guasave durante los últimos 5 años del 2017 al 2021, concentra el 34% de la producción total del estado de Sinaloa, ocupando un segundo lugar en el volumen de producción de 2021.

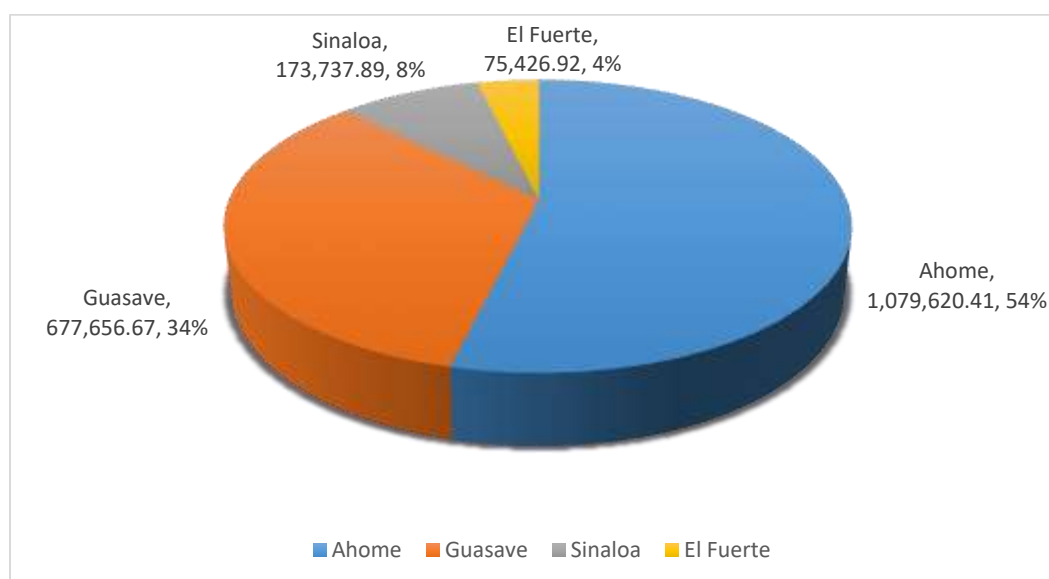


Fig. 5 Porcentaje de aportación de los municipios de Sinaloa en la producción 2017 a 2021.

FUENTE: SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).

En la figura 6 se aprecia el valor de la producción generada por la cosecha de este tubérculo. Para los productores de papa (*Solanum tuberosum*) del valle de Guasave en el año 2021 el valor de la producción fue de \$1,207,067,290.00.

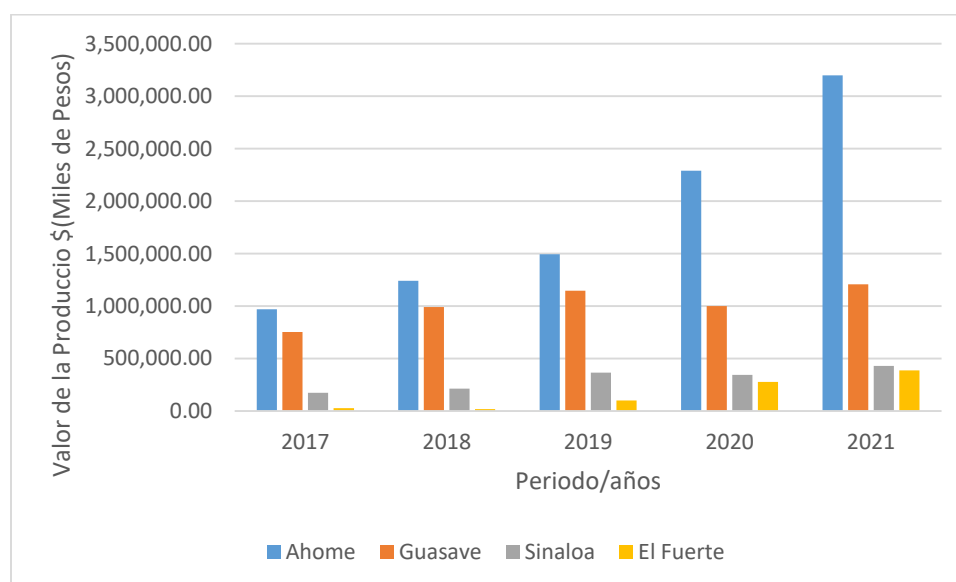


Fig. 6 Valor de la producción en los municipios del estado de Sinaloa, 2017 a 2021.

FUENTE: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Ahora se observa que los productores del valle agrícola de Guasave han tenido una disminución en la superficie sembrada y un decremento en la producción por toneladas como se ha manifestado en las figuras 3, 4 y 6, el precio se ha venido incrementando a excepción del año 2020, como lo podemos ver reflejado en la figura 7.

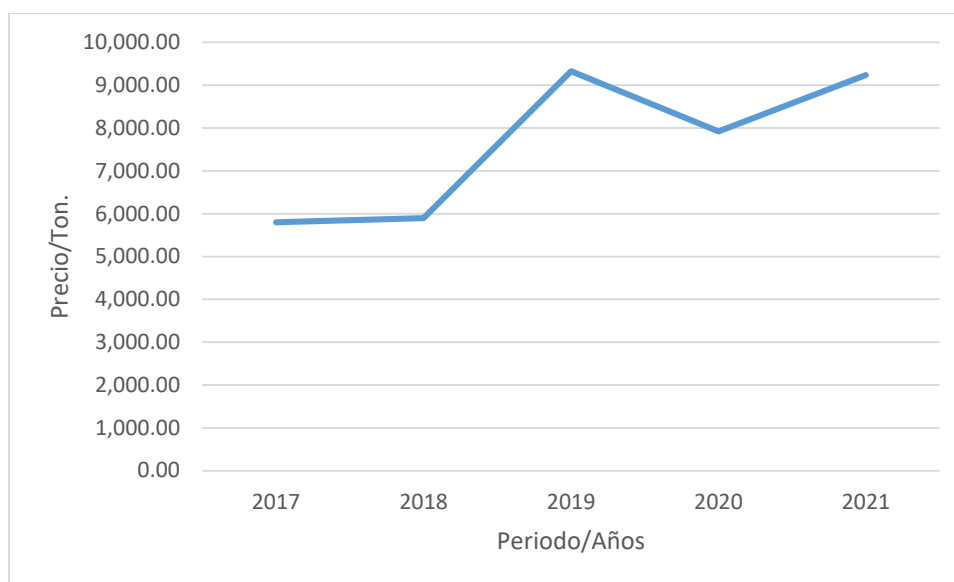


Fig. 7 Precio medio por tonelada en Sinaloa.

FUENTE: SIACON – NG (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).

Mientras que el precio de la tonelada de papa ha venido disminuyendo, los costos de producción se han incrementado gradualmente, lo mismo ha ocurrido con la inflación, dicha información se visualiza en la figura 8.

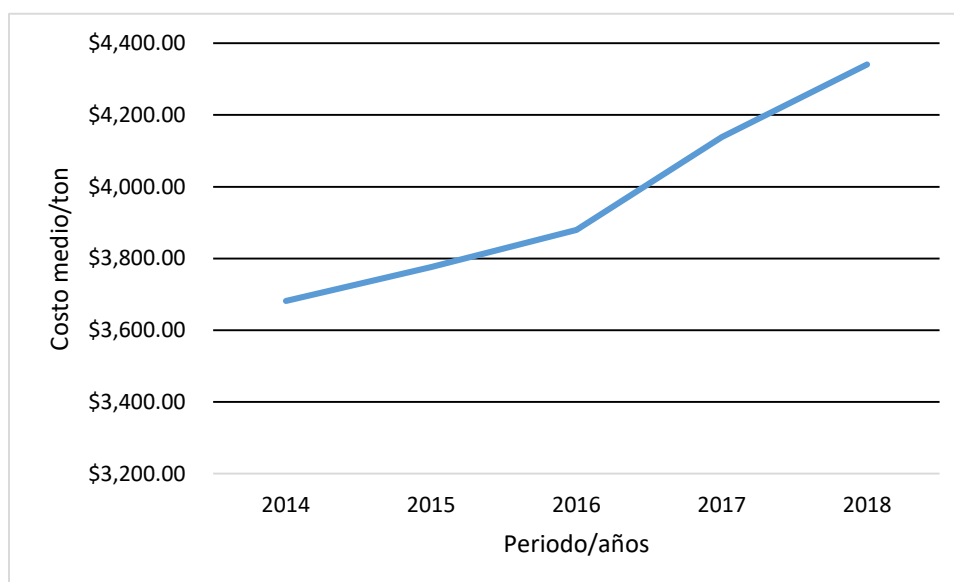


Fig. 8 Costo de Producción medio/Ton.

FUENTE: AARSP (Asociación de Agricultores del Rio Sinaloa Poniente A.C.).

Con el sistema de autonomía de cómputo para la adquisición y análisis de variables agronómicas para la agricultura de precisión, se ha podido establecer un beneficio costo de 32.6% de la producción, gracias a los mecanismos precisos para regular y controlar la maquinaria durante el trabajo de campo, adquirir información automatizada y gestionar datos a través de computadoras y bases de datos bien estructuradas, utilizar sistemas de información geográfica (SIG), utilizar sistemas de apoyo a la toma de decisiones (modelos de pronóstico del cultivo, suelo, etc.); sistemas expertos), distribuir fertilizantes y otros insumos de manera localizada y variable en función de las características del suelo en cada punto, su riqueza en nutrientes, agua y crecimiento del cultivo, aplicar en forma diferenciada los plaguicidas y agroquímicos en función de las necesidades de cada punto dentro del terreno. Lo anterior tendrá como consecuencia un incremento de un 10% en la productividad, lo cual se verá reflejado en mayores ingresos para los productores de este tubérculo y generando un impacto económico en este valle agrícola.

III. CONCLUSIONES

En el transcurso de esta investigación, hemos examinado minuciosamente el impacto económico de la agricultura de precisión en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en el valle agrícola de Guasave. La agricultura de precisión se ha revelado como una herramienta poderosa para los agricultores, permitiéndoles optimizar la gestión de insumos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas, labranza y agua de riego, lo que resulta en un aumento de rendimiento, reducción de costos y una mejora en la calidad de los cultivos, todo esto mientras se cuida del medio ambiente.

El hecho de que los ingresos generados por los productores de papa (*Solanum tuberosum*) en el valle agrícola de Guasave alcancen la significativa cifra de \$1,207,067,290.00 (según SIACON-NG, 2023) en el año 2021, refleja la importancia económica de este cultivo en la región. Sin embargo, esta prosperidad se ha visto amenazada por el aumento gradual de los insumos y, por ende, de los costos de

producción, así como por la disminución de los precios promedios de la papa (*Solanum tuberosum*) en el mercado. Esta situación ha generado incertidumbre entre los productores, quienes han tenido que replantear su viabilidad económica.

En este contexto, la agricultura de precisión emerge como una solución valiosa para los productores de esta región agrícola. Al adoptar esta tecnología, pueden competir de manera más efectiva en el mercado, lograr mejores rendimientos y mantener su rentabilidad. La agricultura de precisión no solo beneficia a los productores, sino que también contribuye a preservar el entorno natural al reducir el uso excesivo de insumos y agroquímicos.

En resumen, esta investigación demuestra que la agricultura de precisión es una alternativa prometedora para los productores de papa en el valle agrícola de Guasave, permitiéndoles enfrentar los desafíos económicos y tecnológicos, y garantizar un futuro sostenible en la producción de este importante cultivo.

Referencias

(Borráez, 2011)

Borráez, A. (2011). *Detectan exceso de químicos en cultivos de papa*. Edu.Co.

<http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/detectan-excesode-quimicos-en-cultivos-de-papa.html>

(Bouma, 2007)

Bouma, J. (2007). *En Ciba Foundation Symposium 210-Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality: 210*. John Wiley & Sons.

(de SIACON-NG, 2023)

de SIACON-NG, M. A. M. (2023). *Valor de la producción en miles de pesos del Municipio de Guasave, Sinaloa en el ciclo agrícola 2021*.

(Makolu, 2020)

Makolu, D. (2020). Adoption of precision farming technologies: USA and EU situation. *SEA Practical Applocation of Science*, VIII(1), 7–14.

(Martínez-Cebrian, 2012)

Martínez-Cebrian, M. (2012). *Incorporación de tecnologías de información territorial en una explotación agraria de secano ante la práctica de agricultura de precisión*. 25–132.

(Morales et al., 2011)

Morales, H. J. L., Hernández, M. J., & S. y Guzmán, S. E., Rebollar, R. (2011). *Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el estado de México*. *Agronomía Mesoamericana*. 22:339-349.

(*Precisión agriculture in the 21th Century*, 1997)

Precisión agriculture in the 21th Century (Vol. 149). (1997). National Academy Press.

(Roberts et al., 2000)

Roberts, R. K., English, B. C., & Mahajanashetti, S. B. (2000). Evaluating the returns to variable rate nitrogen application. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 32(1), 133–143. <https://doi.org/10.1017/s1074070800027887>

(*Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER)*, 2018)

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SADER). (2018). [Www.Gob.Mx/Siap](http://www.Gob.Mx/Siap) y Www.Infosiap.Siap.Gob.Mx.

(*Statistical Yearbook 2012 World Food and Agriculture. Food Agricultural Organization of The United Nations*, 2012)

Statistical Yearbook 2012 World Food and Agriculture. Food Agricultural Organization of The United Nations. (2012). 366.

(Zhang, 2021)

Zhang, Q. (2021). *Precision agriculture technology for crop farming* (Q. Zhang, Ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b19336>