

Estrategias y tecnologías del sector cerealista ante la variabilidad climática. Revisión de la literatura

Strategies and technologies of cereal sector in the face of climatic variability. A literatura review

Silvia Soledad Moreno Gutiérrez¹

Alfredo Toriz Palacios²

Sócrates López Pérez³

Abraham Sánchez López⁴

Recibido el 3 de Abril de 2018. Aceptado el 14 de Junio de 2018.

Resumen

A nivel internacional los cereales son considerados alimentos de importante participación en el desarrollo económico; el maíz, el trigo y el arroz representan algunos de los cultivos de mayor consumo y producción, por lo que su participación en aspectos de seguridad alimentaria también es decisiva; no obstante, el sector cerealista enfrenta uno de los mayores retos actuales, el cambio climático, fenómeno que ha ocasionado inseguridad alimentaria debido a la pérdida de producción, rendimiento y calidad en los cultivos, situación que al año 2050, de no lograrse su adaptación y mitigación, según los pronósticos mundiales traerá consecuencias mayores. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consiste en una revisión de la literatura que ofrezca un panorama global de las tendencias relacionadas con las estrategias y tecnologías implementadas en el sector, que fortalezcan su competitividad y contribuyan a mantener su rentabilidad.

Palabras clave: Sector cerealista, estrategias, tecnologías, rentabilidad, competitividad.

Abstract

¹ Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, doctorante de Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, silvia-soledad.moreno@upaep.edu.mx

² Profesor de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, alfredo.toriz@upaep.mx

³ Profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, lopezs@uaeh.edu.mx

⁴ Profesor de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, abraham.sanchez@correo.buap.mx

At the international level, cereals are considered important foods for economic development; corn, wheat and rice represent some of the crops with the highest consumption and production, so their participation in aspects of food security is also decisive; nevertheless, the cereal sector faces one of the greatest current challenges, Climate Change, a phenomenon that has caused food insecurity due to the loss of production, yield and quality in crops; a situation that by the year 2050, if the adaptation and mitigation are not achieved, according to global forecasts will bring greater consequences. Therefore, the objective of this paper is to review the literature that offers a global overview of the trends related to the strategies and technologies implemented in the sector, which strengthen their competitiveness and contribute to maintaining profitability.

Keywords: Cereal sector, strategies, technologies, profitability, competitiveness.

Introducción

El sector cerealista por su importante participación en el desarrollo económico mundial, siendo responsable de la producción de algunos de los alimentos que son clave para la seguridad alimentaria, constituye un foco de atención; más aún, luego de las cuantiosas pérdidas que a nivel global el Cambio Climático (CC) ha representado sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de cereal básico; pérdidas que han provocado inversiones económicas cada vez más fuertes con utilidades cada vez menores (Reeves, Thomas y Ramsay, 2016).

Según las predicciones mundiales, al año 2050 y años posteriores, en caso de no existir estrategias de mitigación y de adaptación adecuadas, la temperatura continuará incrementándose y ocasionará sucesos climáticos que afectarán al medio ambiente y a la agricultura aun más, pudiendo ser catastróficos sus efectos para los cultivos básicos, con graves repercusiones sobre la seguridad alimentaria, la salud humana, la biodiversidad, los ecosistemas (IPCC, 2014) y por tanto el crecimiento económico (OCDE, 2016).

Esta amenaza climática hoy en día se ha convertido en una de las más fuertes barreras para la competitividad del sector pues ha logrado vulnerar drásticamente su rentabilidad (Field, Barros, Dokken, Mach, Mastrandrea y Bilir, 2014).

Considerando lo anterior, el número de investigadores, agricultores e instituciones interesadas en el desarrollo de una solución ha ido en aumento, al igual que el desarrollo de propuestas para respaldar al agricultor ante la complicada tarea de lograr la adaptación de sus cultivos y al mismo tiempo de mantener óptimos niveles de producción, rendimiento y calidad, no obstante, la problemática ambiental también se ha intensificado (Reeves, Thomas y Ramsay, 2016).

Por tanto, considerando la existencia de un amplio número de esfuerzos orientados a la reducción de esta problemática que, no obstante, continúa incrementándose, el presente trabajo constituye una revisión de la literatura y tiene como objetivo brindar al lector un panorama de las estrategias y tecnologías implementadas en el sector cerealista, enfatizando aquellas que priorizan la protección al medio ambiente y son denominadas sustentables, o ecológicamente sustentables, así como otras exclusivamente concentradas en el incremento de la producción a pesar del deterioro que representan para el entorno, identificadas como no sustentables.

1. Estrategias

Como resultado de la revisión de la literatura, el presente apartado menciona aquellas estrategias sustentables y no sustentables más significativas, que han sido implementadas.

1.1. Estrategias sustentables

La creación de clusters agrícolas en diversas regiones del mundo, constituye una estrategia cuyo objetivo consiste en reducir pérdidas a través del trabajo conjunto, aprovechando el conocimiento y la experiencia de las empresas participantes (Tapia, Aramendiz, Pacheco y Montalvo, 2015). Por su parte, la identificación de lagunas tecnológicas, es decir, la identificación de conocimiento equivocado o incompleto en el tema y consecuentemente su

mejoramiento, propuesta por la coordinación global de investigación agrícola, representa otra alternativa estratégica para incrementar el rendimiento de los cultivos (Reynolds, Quilligan, Aggarwal, Bansal, Cavalieri, Chapman y Jagadish, 2016).

Por sus características y objetivos, los tipos de agricultura que se mencionan a continuación, constituyen estrategias sustentables que contribuyen a mitigar la variabilidad climática. La agricultura familiar, poseedora de amplia credibilidad mundial para lograr la resiliencia de los cultivos y la mitigación del Cambio Climático (CC), es ampliamente conocida por su manejo de cultivo tradicional, basado en prácticas sustentables efectuadas desde siglos atrás, es considerada como una alternativa de seguridad alimentaria para el planeta y además para mantener la competitividad (García y Del Fabro, 2015).

De igual forma, la agricultura de conservación propuesta por Sapkota, Jat, Aryal, Jat y Khatri (2015), busca moderar los efectos de la temperatura, mantener iguales o mayores niveles de producción y reducir los costos, incrementando así la rentabilidad económica del sistema de producción. Otra estrategia consiste en la agricultura eco-eficiente y la agricultura inteligente, centradas en la creación de sistemas productivos sostenibles y en la reducción de pérdidas de cultivos de cereal (Conde, 2014).

Según Reeves, Thomas y Ramsay (2016), la conservación de los ecosistemas, basada en el modelo de la FAO “Ahorrar para crecer” en el maíz, el arroz y el trigo, con un manejo de cultivo tradicional, contribuye a mantener el rendimiento y la calidad de los cultivos. Finalmente, los sistemas de policultivos, también han sido empleados estratégicamente por su capacidad para mejorar la estabilidad económica, social, energética y ecológica, así como la productividad laboral (Roncancio, Muñoz y Sánchez, 2016).

Las estrategias mencionadas han logrado resultados favorables, en todos los casos a través de un manejo de cultivo y una trayectoria sustentable.

1.2. Estrategias no sustentables

Las estrategias no sustentables, aun cuando han logrado incrementar fuertemente la producción mundial y el rendimiento de los cultivos de cereales básicos, a diferencia de las anteriores, representan un fuerte riesgo para el medio ambiente; bajo la denominación de “revolución verde”, este conjunto de prácticas agrícolas se ha apoyado en los avances de la biotecnología, en el uso excesivo de fertilizantes y de semillas mejoradas, principalmente; no obstante, las consecuencias a corto, mediano y largo plazo han sido adversas, tales como la destrucción de la biodiversidad, daños a los ecosistemas, erosión de los suelos para cultivo, riesgo para la salud, para la vida humana y un grave deterioro ambiental (Reeves, Thomas y Ramsay, 2016).

2. Tecnologías

Ante la problemática en cuestión, el desarrollo de nuevas tecnologías apoyadas en el modelado y en las tecnologías de la información ha sido una alternativa exhaustivamente empleada por el sector del cereal; sin embargo, algunas de estas nuevas propuestas al igual que las estrategias mencionadas en el apartado anterior, son sustentables y otras no. A continuación se mencionan las más significativas.

2.1. Tecnologías sustentables

Las alternativas tecnológicas sustentables que se exponen en el presente apartado consisten en modelos que brindan información valiosa al agricultor, y que han sido desarrollados mediante

diferentes técnicas y con diferentes objetivos, cuya implementación no representa ningún riesgo para el medio ambiente ni para el planeta.

La clasificación que a continuación se muestra se realizó con base en los objetivos y características de los modelos revisados, con el propósito de ofrecer una síntesis de las alternativas disponibles. Los modelos respectivos se exponen mas adelante.

Tecnologías inteligentes

- a. Modelos de predicción
- b. Modelos de clasificación
- c. Modelos de planificación y monitoreo
- d. Modelos de estimación/optimización

Tecnologías Estadístico-Matemáticas

- e. Modelos de predicción
- f. Modelos fenológicos de predicción
- g. Modelos de simulación de cultivos

2.1.1. Tecnologías inteligentes

En el presente documento, se consideran tecnologías inteligentes aquellas propuestas que para su desarrollo hicieron uso de alguna o algunas técnicas de Inteligencia Artificial (IA). A través de la revisión de la literatura, es posible observar la clara preferencia que el sector del cereal muestra por la técnica de IA denominada Redes Neuronales Artificiales (RNA), la cual ha entregado resultados satisfactorios en todos los casos. A continuación se mencionan algunos trabajos.

a) *Modelos de predicción.*

En el sector cerealista, este tipo de modelos es el de mayor uso debido a que promueven el control en el desarrollo de los cultivos mediante el conocimiento del futuro climático, la adquisición de esta información permite al agricultor adelantarse en la construcción de planes estratégicos eficaces en caso de contingencias posibles. Los trabajos siguientes son propuestas de este tipo.

Matsumura, Gaitan, Sugimoto, Cannon y Hsieh (2015) realizan la predicción del rendimiento del maíz con base en las condiciones climáticas, Gandhi, Petkar y Armstrong (2016), rendimiento del arroz y Lv, Lei, Huang y Zhang (2015), del arroz y el maíz mediante una Red Neuronal Grey. Por su parte, Tripathi, Kalyani, Ram y Jha (2015) predicen rendimiento del trigo, al igual que Bose, Kasabov, Bruzzone y Hartono, (2016) quienes emplean Redes Neuronales de Puntaje.

Otros modelos de predicción han sido desarrollados por diversos autores, tales como:

Lal y Varma (2014), quienes clasifican la función de las proteínas en los cereales; Meher, Sahu y Rao (2016), predicen el empalme de genes de arroz; Beigi, Torki y Mahmoodi-Eshkaftaki (2016) las variaciones de humedad de los granos de arroz; Chantre, Blanco, Forcella, Van Acker, Sabbatini y Andújar (2014), la emergencia de la avena silvestre bajo condiciones de restricción en varios lugares del mundo; y por último Rojas, González y Perdomo (2016) de campos de arroz mediante imágenes aéreas.

Por su parte, Al-Mahasneh, Alkoaik, Khalil, Al-Mahasneh, El-Waziry, Fulleros y Rababah (2014), hacen predicción colectiva de isotermas de absorción de humedad para 12 cereales y

Ravari, Dehghani y Naghavi (2016), de la tolerancia del trigo a la salinidad de la tierra y variabilidad del rendimiento.

Seminar, Arkeman y Lahay (2014) construyen un sistema inteligente basado en técnicas de IA como: lógica difusa, RNA y sistemas dinámicos, para la predicción de tierras idóneas para cultivos y producción de alimentos.

b) *Modelos de clasificación.*

Golpour, Parian y Chayjan (2014), construyen un modelo para identificación de cinco cultivares de arroz, al igual que Qiongyan, Cai, Berger y Miklavcic (2014), para identificación de espigas de trigo y Khoshroo, Arefi, Masoumiasl y Jowkar, (2014) para clasificación de granos de trigo.

c) *Modelos de planificación y monitoreo.*

Constantinescu (2017), desarrolla un sistema neurodifuso capaz de proponer un híbrido de maíz, adecuado según año; por su parte, Hussein, Moaty, Nagaty y Hussein (2016), miden la calidad de la sémola de trigo, empleando RNA.

Shi, Jiao, Liang y Wang (2016), proponen un modelo de detección de plaga en el trigo durante su almacenamiento, mediante la técnica de IA de reconocimiento de patrones.

d) *Modelos de estimación / optimización.*

Para medir el contenido de proteínas en el trigo, Mao, Sun, Hui y Xu, (2014), proponen una RNA apoyada en un algoritmo de optimización de enjambre de partículas para optimizar el centro del clúster en las capas ocultas. Prabhu y Jayadeep (2016) se enfocan en la optimización de parámetros concernientes al procesamiento enzimático de salvado de arroz, la RNA es optimizada a través de algoritmos genéticos. Donné, Luong, Goossens, Dhondt, Wuyts, Inzé y Philips (2016), realizan segmentación binaria de imágenes de maíz para lograr la reconstrucción

3D de la estructura de la planta y medición de rasgos de crecimiento mediante Red Neuronal convolucional.

Yang, Gong, Shi, Du, Sun y Song (2016), crean una RNA para monitorear el contenido de Nitrogeno en la hoja de arroz y Núñez, Barchi, Ito, Escaramboni, Herculano, Mayer y Neto (2016), efectúan estudio basado en RNA y algoritmos genéticos para optimizar el medio de cultivo que maximice la producción de amilasa, obteniendo salvado de trigo con mejores resultados.

En todos los casos los modelos inteligentes obtuvieron resultados de alta precisión.

2.1.2. Tecnologías estadístico-matemáticas

Estas tecnologías son empleadas en el desarrollo de modelos capaces de analizar sistemas complejos que en la realidad sería muy complicado, se mencionan a continuación algunos utilizados en el sector cerealista.

a) Modelos de predicción.

Wallach, Nissanka, Karunaratne, Weerakoon, Thorburn, Boote y Jones (2016) predicen el impacto del calentamiento climático en el tiempo de desarrollo del arroz con énfasis en la incertidumbre de predicción y estimación del error cuadrático medio (ecm), utilizan mínimos cuadrados generalizados y análisis de ANOVA. Con base en el análisis estadístico de variables en el cultivo, la estación lluviosa y la precipitación, Covarrubias, Bustamante, Delgado e Ibarra (2014), logran crear un modelo para identificar fechas de siembra adecuadas y mantener mayores niveles de rendimiento en cultivos.

b) Modelos fenológicos de predicción.

Lv, Lei, Huang y Zhang (2015), empleando la técnica de Markov Chain Monte Carlo, crean un modelo de fenología del trigo que permite predecir progreso y desarrollo a escala regional. Bogard, Ravel, Paux, Bordes, Balfourier, Chapman y Allard (2014), realizan estudios de un modelo eco fisiológico y parametrización de genotipo de trigo para predicción, por otra parte, Sharifi, Hijmans, Hill y Linqvist (2016), mediante modelo estadístico, evalúan efecto de la temperatura dependiente del escenario en cultivos de arroz.

c) Modelos de simulación de cultivos.

Constituyen modelos que simulan el desarrollo del cultivo para posteriormente evaluarlo, tales como los siguientes.

Basche, Archontoulis, Kaspar, Jaynes, Parkin y Miguez (2016), emplean el modelo denominado Simulador de Sistemas de Producción Agrícola (APSIM) para analizar la producción de maíz en invierno; el sistema CERES, el más utilizado en cultivos de maíz y trigo, efectúa cálculos fenológicos diarios (Gallo, 2015), por su parte, el sistema HERMES realiza simulación de monocultivo y cultivo doble de maíz, con predicciones al año 2100 (Graß, Thies, Kersebaum y Wachendorf, 2015).

El modelo determinístico AquaCrop, es capaz de simular el desarrollo del cultivo de maíz en diversas regiones del mundo, considera riego total y deficitario, determina fechas óptimas de siembra, simula rendimiento según disponibilidad de agua, esta propuesto para cultivos de pequeña o media escala (Cleves, Toro y Martínez, 2017).

En todos los casos con resultados de precisión aceptables.

2.1.3. Tecnologías no sustentables

La literatura muestra algunas tecnologías que el incremento del rendimiento de cultivos, sin otorgar importancia a la sustentabilidad.

Según He, Xia, Peng y Lumpkin (2014), el empleo de germoplasma en la producción de cereales, además del uso de tecnologías moleculares y de insumos bajos, que hoy en día son utilizados, serán primordiales en la producción de cereales en el futuro, al igual que el desarrollo de nuevas especies de mayor resistencia, tales como las especies híbridas, estiman Martínez, Figueroa, Gallegos, Escobar, Barrera y Cruz (2015), sin embargo, Reeves, Thomas y Ramsay (2016) aseguran que estos desarrollos conllevan la desaparición de especies locales.

Finalmente la biotecnología, alternativa previamente mencionada como estrategia no sustentable, cuyas consecuencias desfavorables son incluso mayores a los beneficios que representa, ya que ha creado riesgos y ha ocasionado daño no solo al ambiente y a los ecosistemas, sino también para la vida humana.

2.1.4. Tendencia

El respeto social hacia el medio ambiente cobra importancia día a día, no obstante, el CC no ha sido mitigado, los cambios en los patrones climáticos continúan en aumento.

Cada vez es mayor la tendencia a desarrollar alternativas ecológicamente sustentables de apoyo al desarrollo sano del cultivo; al mismo tiempo, el uso de las tecnologías inteligentes basadas en tecnologías de la información también constituye una fuerte tendencia del sector en los últimos años.

Las estrategias y tecnologías no sustentables generadoras de riesgos para la vida, han sido plenamente identificadas por los tomadores de decisiones.

3. Discusión

Indudablemente, el CC representa un creciente fenómeno global que continúa modificando los patrones climáticos, y por tanto constituye una amenaza para el desarrollo de cualquier cultivo de cereal en el mundo, dado que el maíz, el trigo y el arroz, son considerados los alimentos más importantes para la dieta básica a nivel mundial, la supervivencia humana también se encuentra amenazada.

Los agricultores del sector cerealista muestran preocupación por la problemática del clima a nivel mundial; al mismo tiempo, experimentan la necesidad de mantener resultados satisfactorios.

Por su parte, las estrategias y tecnologías no sustentables han dado resultados inmediatos logrando incrementar la producción de cereales básicos en el mundo; sin embargo, a pesar de los beneficios que estas representan para la seguridad alimentaria a corto plazo, son altos los riesgos que conllevan a mediano y a largo plazo; por tanto, deberían dejar de practicarse.

En este punto, se observa la benevolencia de las estrategias y tecnologías sustentables, inofensivas y benéficas para el medio ambiente, capaces de alcanzar la adaptación de los cultivos y la mitigación del CC, además de contribuir a la reducción de daños ocasionados por acciones no sustentables.

Es un hecho que la problemática ambiental no ha disminuido, sin embargo, ¿por qué continuar empleando estrategias y tecnologías no sustentables, mediante un costo mayor que sus beneficios, que aún cuando resuelven aparentemente el problema no lo hacen de forma permanente?

Considerando que la rentabilidad y la competitividad del sector cerealista se basan en el desarrollo saludable de sus cultivos, en su adaptación y en la mitigación del CC, la

implementación de alternativas ecológicamente sustentables representa la vía capaz de contribuir a superar el reto global del CC.

4. Conclusiones

La revisión de la literatura expresa la presencia de un amplio número de estrategias y tecnologías implementadas en el sector cerealista, mismas que se encuentran divididas en dos tipos fundamentales denominados: sustentables y no sustentables.

Las estrategias revisadas, en su mayoría son cuidadosas con el medio ambiente desde la siembra hasta la cosecha mediante la ejecución de prácticas agrícolas tradicionales. Las tecnologías inteligentes, principalmente basadas en RNA, sobresalen por su flexibilidad al apoyar al sector a través de enfoques diversos; con alta precisión en todos los casos, el enfoque de predicción muestra mayor preferencia por parte del agricultor, debido a su capacidad para brindarle información útil y permitirle adelantarse a la realidad climática.

A pesar de que las alternativas ecológicamente sustentables han adquirido amplia aceptación y confianza por el sector, las opciones no sustentables continúan siendo utilizadas, contribuyendo al deterioro ambiental y a la pérdida de competitividad y rentabilidad del sector cerealista.

El desarrollo de nuevas tecnologías sustentables de alta precisión y eficacia es indispensable, la reducción de alternativas no sustentables también.

Referencias

REEVES, T. G., THOMAS, G., RAMSAY, G., (2016). “Ahorrar para crecer en la práctica: maíz, arroz, trigo. Guía para la producción sostenible de cereals”. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.*

- IPCC. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. (2014). “Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad”. *Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación (GTII IE5) del IPCC*
- OCDE/FAO (2016). “Perspectivas Agrícolas 2016-2025”, *OECD Publishing*, París. DOI: 10.1787/agr_outlook-2016-es
- FIELD, C., BARROS, V., DOKKEN, D., MACH, K., MASTRANDREA, M., & BILIR, T. (2014). “Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad”. *Quinto Informe de Evaluación (GTII IE5) del IPCC*.
- TAPIA, L., ARAMENDIZ, T., PACHECO, J., & MONTALVO, A. (2015). “Clusters agrícolas: un estado del arte para los estudios de competitividad en el campo”. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 113-124.
- REYNOLDS, M. P., QUILLIGAN, E., AGGARWAL, P. K., BANSAL, K. C., CAVALIERI, A. J., CHAPMAN, S. C. & JAGADISH, K. S. (2016). “An integrated approach to maintaining cereal productivity under climate change”. *Global Food Security*, (8), 9-18.
- GARCÍA, A., & DEL FABRO, L. (2015). “Experience on food purchase from family farming by Brazil´s School Lunch Program: design determining factors”. *Investigación Agraria*, 17(1), 3-17.
- SAPKOTA, T. B., JAT, M. L., ARYAL, J. P., JAT, R. K., & KHATRI-CHHETRI, A. (2015). “Climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and economic profitability of conservation agriculture: Some examples from cereal systems of Indo-Gangetic Plains”. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(8), 1524-1533.

- CONDE, C. I. C. (2014). "Cambio climático y agrobiodiversidad". *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 1(1), 72-79.
- RONCANCIO, S. S. S., MUÑOZ, J. G. C., & SÁNCHEZ, F. R. (2015). "Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia". *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), 227-237.
- MATSUMURA, K., GAITAN, C. F., SUGIMOTO, K., CANNON, A. J., & Hsieh, W. W. (2015). "Maize yield forecasting by linear regression and artificial neural networks in Jilin, China". *The Journal of Agricultural Science*, 153 (03), 399-410.
- GANDHI, N., PETKAR, O., & ARMSTRONG, L. J. (2016). "Rice crop yield prediction using artificial neural networks". In *Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2016 IEEE (pp. 105-110)*. IEEE.
- LV, H., LEI, T., HUANG, X. L., & ZHANG, Y. K. (2015). "Application of an Improved Grey Neural Network in Grain Yield Prediction". In *International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications*, 18 (15), 560-564.
- TRIPATHI, R. C., KALYANI, V. K., RAM, L. C., & JHA, S. K. (2015). "Prediction of Wheat Yield from Pond Ash Amended Field by Artificial Neural Networks". *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 19(4), 04015001.
- BOSE, P., KASABOV, N. K., BRUZZONE, L., & HARTONO, R. N. (2016). "Spiking Neural Networks for Crop Yield Estimation Based on Spatiotemporal Analysis of Image Time Series". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(11), 6563-6573.

- LAL, S. B., & VARMA, S. P. (2014). "Identification of abiotic stress related cereal proteins based on their structural composition using back propagation networks". *J. Agroecol. Natural Resour. Manage*, 1(4), 270-274.
- MEHER, P. K., SAHU, T. K., RAO, A. R., & WAHI, S. D. (2016). "Discriminating coding from non-coding regions based on codon structure and methylation-mediated substitution: An application in rice and cattle". *Computers and Electronics in Agriculture*, 129, 66-73.
- BEIGI, M., TORKI-HARCHEGANI, M., & MAHMOODI-ESHKAFTAKI, M. (2016). "Prediction of paddy drying kinetics: a comparative study between mathematical and artificial neural network modelling". *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, (00), 39-39.
- CHANTRE, G. R., BLANCO, A. M., FORCELLA, F., VAN ACKER, R. C., SABBATINI, M. R., & GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L. (2014). "A comparative study between non-linear regression and artificial neural network approaches for modelling wild oat (*Avena fatua*) field emergence". *The Journal of Agricultural Science*, 152(02), 254-262.
- AL-MAHASNEH, M., ALKOAİK, F., KHALIL, A., AL-MAHASNEH, A., EL-WAZIRY, A., FULLEROS, R., & RABABAH, T. (2014). "A generic method for determining moisture sorption isotherms of cereal grains and legumes using artificial neural networks". *Journal of Food Process Engineering*, 37(3), 308-316.
- RAVARI, S. Z., DEHGHANI, H., & NAGHAVI, H. (2016). "Assessment of salinity indices to identify Iranian wheat varieties using an artificial neural network". *Annals of Applied Biology*, 168(2), 185-194.

- B SEMINAR, K, ARKEMAN, Y. & J LAHAY, R. (2014). “An Intelligent System For Early Detection of Food Crisis And Spatial-Based Decision Making of Potential Land Evaluation For Food Production”.
- GOLPOUR, I., PARIAN, J. A., & CHAYJAN, R. A. (2014). “Identification and classification of bulk paddy, brown, and white rice cultivars with colour features extraction using image analysis and neural network”. *Czech Journal of Food Science*, **32**(3), 280-287.
- QIONGYAN, L., CAI, J., BERGER, B., & MIKLAVCIC, S. (2014). “Study on spike detection of cereal plants”. In *Control Automation Robotics & Vision (ICARCV), 2014 13th International Conference on* (pp. 228-233). *IEEE*.
- KHOSHROO, A. L. I. R. E. Z. A., AREFI, A. R. M. A. N., MASOUMIASL, A. S. A. D., & JOWKAR, G. H. (2014). “Classification of wheat cultivars using image processing and artificial neural networks”. *Agr Commun* (2) 17-22.
- CONSTANTINESCU, A. (2017). ”Neuro-fuzzy concepts applied for planning of the cereal crops: applications to the maize hybrids growing in a Romanian region”. *Journal of Biological Dynamics*, **11**(1), 1-7.
- HUSSEIN, W. B., MOATY, A. A., NAGATY, K. A., & HUSSEIN, M. A. (2016). “Non-Contact Measurement of Cereal Quality by Image Sensing and Numerical Regression Techniques”. In *MATEC Web of Conferences* (75), 01002. *EDP Sciences*.
- SHI, W., JIAO, K., LIANG, Y., & WANG, F. (2016). “Efficient detection of internal infestation in wheat based on biophotonics”. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, (155), 137-143.

- MAO, X., SUN, L., HUI, G., & XU, L. (2014). "Modeling research on wheat protein content measurement using near-infrared reflectance spectroscopy and optimized radial basis function neural network". *Journal of food and drug analysis*, 22(2), 230-235.
- PRABHU, A. A., & JAYADEEP, A. (2016). "Optimization of enzyme-assisted improvement of polyphenols and free radical scavenging activity in red rice bran: A statistical and neural network-based approach". *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 1-9.
- DONNÉ, S., LUONG, Q., GOOSSENS, B., DHONDT, S., WUYTS, N., INZÉ, D., & PHILIPS, W. (2016). "Machine learning for maize plant segmentation". In *Belgian-Dutch Conference on Machine Learning (BENELEARN)*.
- YANG, J., GONG, W., SHI, S., DU, L., SUN, J., & SONG, S. L. (2016). "Estimation of nitrogen content based on fluorescence spectrum and principal component analysis in paddy rice". *Plant Soil Environ*, (62), 178-183.
- FERNÁNDEZ NÚÑEZ, E. G., BARCHI, A. C., ITO, S., ESCARAMBONI, B., HERCULANO, R. D., MAYER, C. R. M., & DE OLIVA NETO, P. (2016). "Artificial intelligence approach for high level production of amylase using *Rhizopus microsporus* var *oligosporus* and different agro-industrial wastes". *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*.
- WALLACH, D., NISSANKA, S. P., KARUNARATNE, A. S., WEERAKOON, W. M. W., THORBURN, P. J., BOOTE, K. J., & JONES, J. W. (2016). "Accounting for both parameter and model structure uncertainty in crop model predictions of phenology: A case study on rice". *European Journal of Agronomy*, (88), 53-62.
- Íñiguez-Covarrubias, M., Ojeda-Bustamante, W., Díaz-Delgado, C., & Sifuentes-Ibarra, E. (2014). Análisis de cuatro variables del período de lluvias asociadas al cultivo maíz de temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 101-114.

- BOGARD, M., RAVEL, C., PAUX, E., BORDES, J., BALFOURIER, F., CHAPMAN, S., & ALLARD, V. (2014). "Predictions of heading date in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) using QTL-based parameters of an ecophysiological model". *Journal of experimental botany*, eru328.
- SHARIFI, H., HIJMANS, R. J., HILL, J. E., & LINQUIST, B. A. (2016). "Using Stage-Dependent Temperature Parameters to Improve Phenological Model Prediction Accuracy in Rice Models". *Crop Science*.
- BASCHE, A. D., ARCHONTOULIS, S. V., KASPAR, T. C., JAYNES, D. B., PARKIN, T. B., & MIGUEZ, F. E. (2016). "Simulating long-term impacts of cover crops and climate change on crop production and environmental outcomes in the Midwestern United States". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (218), 95-106.
- GALLO, A. (2015). "Assessment of the climate change impact and adaptation strategies on Italian cereal production using high resolution climate data".
- GRAß, R., THIES, B., KERSEBAUM, K. C., & WACHENDORF, M. (2015). "Simulating dry matter yield of two cropping systems with the simulation model HERMES to evaluate impact of future climate change". *European Journal of Agronomy* (70), 1-10.
- CLEVES, J. A., TORO, J., & MARTÍNEZ, L. F. (2017). "Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149-163.
- HE, Z., XIA, X., PENG, S., & LUMPKIN, T. A. (2014). "Meeting demands for increased cereal production in China". *Journal of Cereal Science*, 59(3), 235-244.

SALAZAR-MARTÍNEZ, J., RIVERA-FIGUEROA, C. H., ARÉVALO-GALLEGOS, S., GUEVARA-ESCOBAR, A., MALDA-BARRERA, G., & RASCÓN-CRUZ, Q. (2015). “Calidad del nixtamal y su relación con el ambiente de cultivo del maíz”. *Revista fitotecnia mexicana*, 38(1), 67-73.