

# Determinación de las Variables en el Diseño de un Sistema de Monitoreo Agroambiental de la *Saccharum Officinarum*, como Herramienta de Apoyo a la Toma de Decisiones Agrícolas

**Montiel-Rosales, Aarón**

[ar.chimedes@hotmail.com](mailto:ar.chimedes@hotmail.com)

Tecnológico Nacional de México / ITS de Misantla  
Tecnológico Nacional de México / ITS de Teziutlán

**Fernández-Lambert, Gregorio**

[gfernandezl@itsm.edu.mx](mailto:gfernandezl@itsm.edu.mx)

Tecnológico Nacional de México / ITS de Misantla

**Montalvo-Romero, Nayeli**

[naiemontalvor@gmail.com](mailto:naiemontalvor@gmail.com)

Tecnológico Nacional de México / ITS de Misantla  
(autor corresponsal)

**Fernández-Echeverría, Eduardo**

[eduardo.fe@zacapoaxtla.tecnm.mx](mailto:eduardo.fe@zacapoaxtla.tecnm.mx)

Tecnológico Nacional de México / ITS de Zacapoaxtla

**Murillo-Cuevas, Félix David**

[legarcias@itsm.edu.mx](mailto:legarcias@itsm.edu.mx)

Tecnológico Nacional de México / IT de Úrsulo Galván

Fecha de recepción COINI 2022: 01/07/2022

Fecha de aprobación COINI 2022: 03/10/2022

Fecha de aprobación RIII: 01/02/2024

## RESUMEN

El crecimiento y madurez adecuado del agro-producto, está en función del comportamiento de las variables agrícolas (*e.g.*, pH, carbono, nitrógeno) y ambientales (*e.g.*, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento). En condiciones en las cuales, el cultivo se desarrolla al aire libre en cercanías no próximas al productor, como lo es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), el monitoreo de estas variables se torna complejo. A partir, de esta consideración el presente artículo realiza un estudio descriptivo explicativo de las principales variables agroambientales, que deben ser consideradas para el diseño de un sistema de monitoreo de la caña de azúcar, que sirva de herramienta de apoyo a la toma de decisiones en el proceso de cultivo de esta poácea. El conocimiento oportuno del comportamiento de las condiciones del cultivo le permitirá al cañero, implementar estrategias que le permitan encauzar un desarrollo adecuado del cultivo; ya que, al ser el cultivo, un producto al que su desarrollo está en función del comportamiento de las variables agroalimentarias, su monitoreo se torna un factor de interés.

**Palabras Claves:** agricultura; agricultura de precisión; *Saccharum officinarum*; desarrollo agrícola.

**Determination of the Variables in the Design of an Agro-Environmental Monitoring System of the *Saccharum Officinarum*, as a Support Tool for Agricultural Decision Making**

**ABSTRACT**

The growth and adequate maturity of the agro-product are a function of the behavior of agricultural variables (*e.g.*, pH, carbon, nitrogen) and environmental variables (*e.g.*, air temperature, relative humidity, wind speed, and direction). In conditions where the crop takes place outdoors in a vicinity not close to the producer, such as sugar cane (*Saccharum officinarum*), monitoring these variables becomes complex. Based on this consideration, this article carries out an explanatory, descriptive study of the main agri-environmental variables, which must be considered for the design of a sugarcane monitoring system, which serves as a tool to support decision-making in the process of growing this poaceae. Timely knowledge of the behavior of the crop conditions will allow the cane grower to implement strategies that allow him to channel adequate crop development. Since, being the crop, a product to which its development is a function of the behavior of the agri-food variables, its monitoring becomes a factor of interest.

**Keywords:** agriculture; precision agriculture; *Saccharum officinarum*; agricultural development.

**Determinação das Variáveis no Desenho de um Sistema de Monitoramento Agroambiental da *Saccharum Officinarum*, como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão Agrícola**

**RESUMO**

O crescimento e maturidade adequados do produto agrícola são função do comportamento das variáveis agrícolas (por exemplo, pH, carbono, nitrogênio) e variáveis ambientais (por exemplo, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção do vento). Em condições em que a cultura é desenvolvida ao ar livre em áreas não próximas ao produtor, como é o caso da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), o monitoramento dessas variáveis torna-se complexo. Com base nesta consideração, este artigo realiza um estudo descritivo explicativo das principais variáveis agroambientais, que devem ser consideradas para o desenho de um sistema de monitoramento da cana-de-açúcar, que serve como ferramenta de apoio à tomada de decisão no processo de cultivo desta cana-de-açúcar. O conhecimento oportuno do comportamento das condições da cultura permitirá ao produtor de cana-de-açúcar implementar estratégias que lhe permitam canalizar um desenvolvimento adequado da cultura. Visto que, sendo a cultura um produto cujo desenvolvimento é função do comportamento das variáveis agroalimentares, o seu acompanhamento torna-se um fator de interesse.

**Palavras chave:** agricultura; agricultura de precisão; *Saccharum officinarum*; desenvolvimento agrícola.

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria agroalimentaria es la encargada de abastecer de alimento a las personas. La alta demanda de alimentos exige que la práctica agrícola se desarrolle empleando grandes extensiones de tierra. En donde, la calidad del fruto es determinada por el grado de madurez. Después de la cosecha el cultivo se estropea naturalmente, al ser un producto perecedero (Ahmad & Siddiqui, 2015). En tal sentido, al ser el agro-alimento una materia orgánica esta nace, se desarrolla, florece-fructifica y muere; por lo que, el comportamiento en el desarrollo del agro-producto a lo largo del ciclo vegetativo está en función de la intensidad en la radiación del sol, la velocidad del viento, el pH del suelo, la salinidad del suelo, el suministro de agua ya sea por precipitación pluvial o riego artificial, por el tipo de práctica agrícola, entre otros factores. Al cortarse el fruto, inicia una serie de procesos fisiológicos que deterioran la calidad y se generan pérdidas (Wang et al., 2021).

El agro-productor en todo instante se encuentra en monitoreo y control de parámetros, que están a su alcance; cuidando el desarrollo vegetativo. Entonces, son regulados los parámetros que permiten un buen desarrollo; *e.g.*, la falta de recurso hídrico por precipitación pluvial es incorporado sí el cultivo presenta deshidratación, esta incorporación artificial se puede realizar por aspersión, goteo, subterráneo, entre otros sistemas —inclusive, es una práctica común incorporar nutrientes en el agua irrigada al cultivo—. Esta situación, de regulación en los sistemas de producción agroalimentaria no protegida, es complicada; los factores que son necesarios para el cultivo como *e.g.*, velocidad del viento, intensidad de la radiación del sol, no pueden ser controlados a cielo abierto, y su falta o cantidad excesiva tienen afectaciones negativas sobre el cultivo; *e.g.*, retomando el caso del agua, el exceso de hidratación por precipitación pluvial ocasiona en los cultivos anegación, derivando en daños físicos para las plantas —desafortunadamente esta situación es incontrolable, un exceso puede causar deterioro degenerativo acelerado sobre el cultivo—. En los sistemas productivos protegidos, como la agricultura vertical, se pueden controlar algunos factores, pero requieren de una fuerte inversión de capital para la infraestructura (Benke & Tomkins, 2017).

A partir de lo anterior, el sistema productivo no protegido le exige al agro-productor una constante supervisión durante el proceso productivo del cultivo. Bisbis et al. (2018) mencionan que la calidad del agro-producto en el campo se ve afectado por el cambio climático, y en menor grado en aquellas cultivadas en invernadero. Valores inferiores y superiores, en los parámetros requeridos por el cultivo ocasionarán que éste carezca de un buen desarrollo. Vogel et al. (2019) estiman que entre el 20 y 49%, de las variaciones en el rendimiento del cultivo se asocia a factores climáticos, tales como temporalidad, clima medio y climas extremos. En este contexto, la calidad del producto agrícola está relacionada directamente al comportamiento tanto de las variables climáticas como de las variables del suelo-cultivo; siendo las segundas, las que pueden en mayor grado ser controladas y reguladas.

La calidad final del producto, dependerá de las condiciones del crecimiento de la planta, el cuidado y suministro adecuado en tiempo y forma de los requerimientos de los recursos del cultivo, son trascendentales para el logro de la madurez deseada, lo cual se refleja en un color uniforme, tamaño, textura, olor, sabor, entre otros rasgos (Arakeri & Lakshmana, 2016; Bhargava & Bansal, 2021; Brasil & Siddiqui, 2018; el Khaled et al., 2017; Goldenberg et al., 2018; Hameed et al., 2018; Musacchi & Serra, 2018; Nadim et al., 2015; Sanaeifar et al., 2016).

El conocimiento del valor de las variables agrícolas y ambientales —agroclimáticas—, de parte del agricultor permite asistir al cultivo. Un plan de negocios exitoso depende de la gestión de los factores que influyen en la calidad (Ahmad & Siddiqui, 2015). Considerando esto, el presente artículo aborda un estudio descriptivo explicativo de las principales variables agroclimáticas que deben ser medidas y controladas en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), con lo que se establecerán la base para el desarrollo de un sistema de monitoreo agroambiental capaz de servir como herramienta de

apoyo al proceso de toma de decisiones de la producción agrícola del cultivo bajo estudio. Puesto que, los agro-productores están modificando las prácticas agrícolas debido a las observaciones del comportamiento de las variables del clima y ambientales (Jost et al., 2016). Se considera como objeto de estudio la caña de azúcar, al ser uno de los principales cultivos perenne en el mundo y el principal en México. La caña de azúcar y sus derivados son materia prima para la industria alimenticia, del papel, de etanol, de los bio-combustibles, entre otras. El conocimiento de las variables que son de interés de observación, para el adecuado crecimiento de la caña de azúcar le permitirá al cañero desde el diseño de un sistema de monitoreo, planear y ejecutar los controles necesarios que permitan cuidar el crecimiento del cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo.

## 2. ECUACIONES, FIGURAS Y TABLAS

El presente artículo es de tipo descriptivo, explicativo, no experimental basado en un análisis e interpretación de documentos. La Figura 1, describe el enfoque metodológico empleado para identificar las variables agroclimáticas que deben ser consideradas en el monitoreo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). La metodología se conforma de cuatro fases, a saber:

Fase 1: Identificar las variables sobre las que interactúa el cultivo de la caña de azúcar.

Fase 2: Clasificar las variables en función de su tipo: agrícolas o climáticas.

Fase 3: Elegir las variables importantes que deben ser consideradas para el diseño de la estación meteorológica agroclimáticas.

Fase 4: Definir los parámetros ideales de la caña de azúcar, que permitan alcanzar el desarrollo fenológico adecuado.

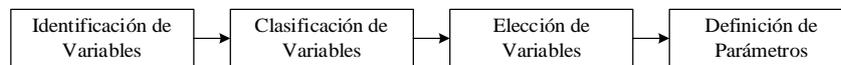


Figura 1 Metodología para la selección de variables agro-climáticas.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección son descritos y discutidos los hallazgos del estudio.

### Identificación de variables

La Figura 2, presenta algunas de las variables que se considera pueden influir en el crecimiento del cultivo. Se identifican 24 variables de forma general sin discriminación. La identificación de las variables se realiza desde lo reportado en la literatura, así como del conocimiento directo de los agricultores cañeros. Se emplearon repositorios científicos agrícolas disponibles en línea, mientras que como personal experto participaron dos personas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar. Las variables, se definieron empleando el método de pronóstico cualitativo de prospectiva Delph.

### Clasificación de variables

Las variables identificadas de la fase previa se catalogan de acuerdo a su tipo, ya sea variable agrícola o variable climática. Esto se realiza considerando la información de la literatura y el conocimiento de los cañeros. La Tabla 1, describe algunas de las variables y su clasificación según su tipo.

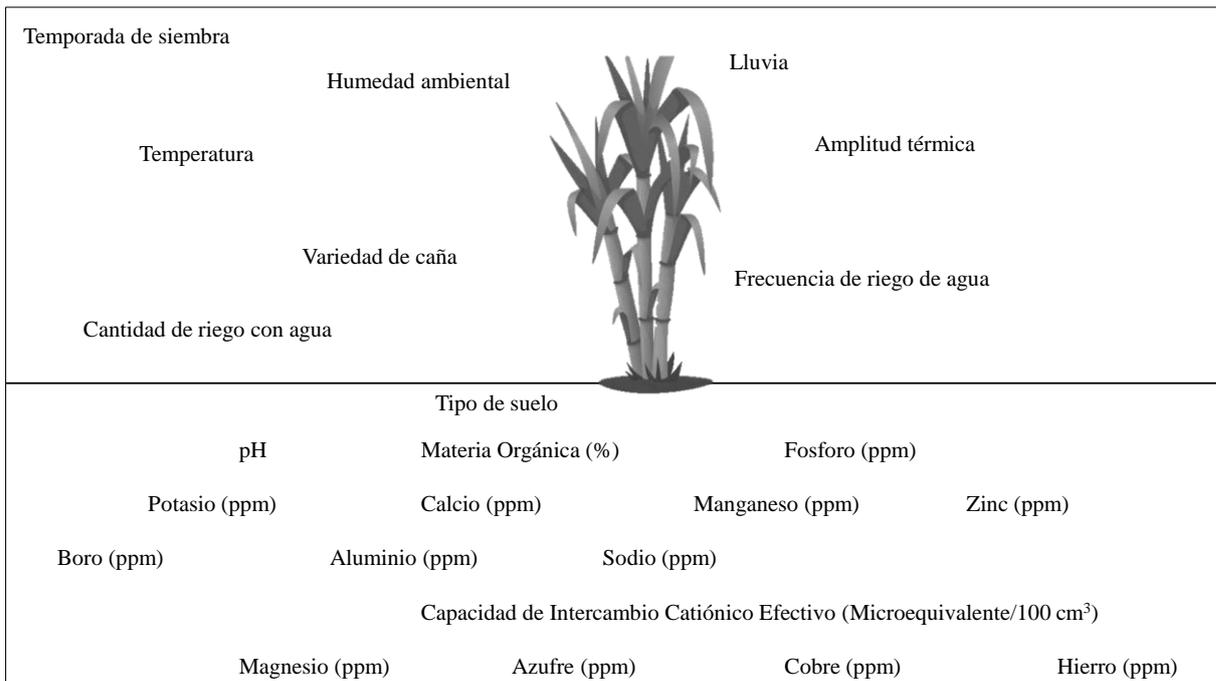


Figura 2 Variables agroclimáticas identificadas en el cultivo de la caña de azúcar.

Tabla 1 Variables Clasificadas por Tipo.

<b>Variable</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Climática</b>
pH	x	
Materia Orgánica	x	
Radiación solar		x
N	x	
Temperatura		x
Viento		x
P	x	
Humedad		x
K	x	
Conductividad Eléctrica	x	
...	...	...
Manganeso	x	

### Elección de variables

Las variables identificadas se discriminaron por su relevancia. En esta fase el conocimiento de los agricultores cañeros permitió elegir las variables preponderantes de observación durante el crecimiento de la planta. Se identificaron como parte de las variables agrícolas él: pH, materia orgánica, nutrientes (N, P, K), minerales (Zn, Mg, Ca y Al); mientras que, como variables climáticas se tiene la radiación solar, temperatura ambiental y la precipitación pluvial.

### Definición de parámetros

La Tabla 2, presenta los valores deseados para el buen desarrollo y rendimiento de la caña de azúcar.

El rendimiento de la caña de azúcar —como todo cultivo—, está en función del comportamiento de las variables agroclimáticas, descritas anteriormente. Al ser la caña de azúcar una planta con un ciclo de

vida, la calidad de esta estará en función del comportamiento de los valores de las variables que son significativas durante su ciclo de vida.

Entonces, es de suma importancia monitorear y controlar el comportamiento de las variables agroclimáticas para garantizar el logro de la calidad en el cultivo. Conocer los valores en el cultivo permitirá realizar los ajustes necesarios para el logro de la máxima calidad del agro-producto, así como lo menciona Roupael et al. (2010), la optimización de las prácticas agrícolas mejora la calidad del agro-producto.

Tabla 2 Parámetros Ideales de la Caña de Azúcar (elaboración propia a partir de (Aguilar Rivera, 2015; CONADESUCA, 2015; Joaquín et al., 2019) y de expertos cañeros).

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>	<b>Parámetro deseado</b>
pH	Agrícola	5-8.5
Materia orgánica (%)	Agrícola	3-5
N (ppm)	Agrícola	40-175
P (ppm)	Agrícola	13-20
K (ppm)	Agrícola	80-156
Zn (ppm)	Agrícola	6-36
Mg (ppm)	Agrícola	54-120
Ca (ppm)	Agrícola	500-1000
Al (ppm)	Agrícola	0-90
Radiación solar	Climática	1,500-2,550 horas.
Temperatura ambiental	Climática	32 °C y 38 °C (germinación); 32 °C (macollamiento); 27 °C (crecimiento)
Precipitación pluvial	Climática	1,500 mm (en 9 meses)

#### 4. CONCLUSIONES

En este estudio se han identificado y evaluado las variables, que según la literatura y los expertos en el cultivo de la caña de azúcar influye en su crecimiento. Los hallazgos en este estudio muestran que son 12 las variables significativas —9 agrícolas y 3 climáticas—. Estas variables identificadas permitirán el diseño de un sistema de monitoreo agroclimática que permita asistir a los cañeros en el proceso de toma de decisiones en la gestión de las necesidades del cultivo.

En este estudio no se han considerado las variables de la fauna edáfica, sería interesante considerar esta evaluación. Lo cual, se abordará como línea de investigación futura.

Finalmente, la identificación clara y precisa de las variables y sus valores, permitirá que el agro-productor cañero desde una herramienta de apoyo, permita “controlar”, el crecimiento del cultivo, logrando el máximo desarrollo desde la optimización de los recursos; con lo que, se logrará la máxima calidad del cultivo de la caña de azúcar.

#### 5. REFERENCIAS

Aguilar Rivera, N. (2015). *Ficha Técnica del cultivo de Caña de Azúcar*.

Ahmad, M. S., & Siddiqui, M. W. (2015). Factors Affecting Postharvest Quality of Fresh Fruits. In M. S. Ahmad & M. W. Siddiqui (Eds.), *Postharvest Quality Assurance of Fruits: Practical Approaches for Developing Countries* (pp. 7–32). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-21197-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-21197-8_2)

Arakeri, M. P., & Lakshmana. (2016). Computer Vision Based Fruit Grading System for Quality Evaluation of Tomato in Agriculture industry. *Procedia Computer Science*, 79, 426–433. <https://doi.org/10.1016/I.PROCS.2016.03.055>

- Benke, K., & Tomkins, B. (2017). Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13(1), 13–26. <https://doi.org/10.1080/15487733.2017.1394054>
- Bhargava, A., & Bansal, A. (2021). Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 33(3), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.06.002>
- Bisbis, M. B., Gruda, N., & Blanke, M. (2018). Potential impacts of climate change on vegetable production and product quality – A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1602–1620. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.224>
- Brasil, I. M., & Siddiqui, M. W. (2018). Postharvest Quality of Fruits and Vegetables: An Overview. *Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality*, 1–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9>
- CONADESUCA. (2015). *Ficha Técnica del Cultivo de la Caña de Azúcar (Saccharum officinarum L.)*.
- el Khaled, D., Castellano, N. N., Gazquez, J. A., García Salvador, R. M., & Manzano-Agugliaro, F. (2017). Cleaner quality control system using bioimpedance methods: a review for fruits and vegetables. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1749–1762. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.096>
- Goldenberg, L., Yaniv, Y., Porat, R., & Carmi, N. (2018). Mandarin fruit quality: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 18–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.8495>
- Hameed, K., Chai, D., & Rassau, A. (2018). A comprehensive review of fruit and vegetable classification techniques. *Image and Vision Computing*, 80, 24–44. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2018.09.016>
- Joaquín, O., Álvarez, D., & Daniel Gonzalez Villalba, J. (2019). *Guía técnica cultivo de caña de azúcar*.
- Jost, C., Kyazze, F., Naab, J., Neelormi, S., Kinyangi, J., Zougmore, R., Aggarwal, P., Bhatta, G., Chaudhury, M., Tapio-Bistrom, M.-L., Nelson, S., & Kristjanson, P. (2016). Understanding gender dimensions of agriculture and climate change in smallholder farming communities. *Climate and Development*, 8(2), 133–144. <https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1050978>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Nadim, Z., Ahmadi, E., Sarikhani, H., & Amiri Chayjan, R. (2015). Effect of Methylcellulose-Based Edible Coating on Strawberry Fruit's Quality Maintenance During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(1), 80–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.12227>
- Rouphael, Y., Schwarz, D., Krumbein, A., & Colla, G. (2010). Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.001>
- Sanaeifar, A., Bakhshipour, A., & de La Guardia, M. (2016). Prediction of banana quality indices from color features using support vector regression. *Talanta*, 148, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.10.073>
- Vogel, E., Donat, M. G., Alexander, L. v., Meinshausen, M., Ray, D. K., Karoly, D., Meinshausen, N., & Frieler, K. (2019). The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environmental Research Letters*, 14(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab154b>
- Wang, X., Feng, H., Chen, T., Zhao, S., Zhang, J., & Zhang, X. (2021). Gas sensor technologies and mathematical modelling for quality sensing in fruit and vegetable cold chains: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.073>