



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA



**Cebolla Shield: Protección inteligente para cultivos de cebolla mediante el
entrenamiento de sistemas expertos.**

Juan Sebastián Martínez Romero

Fabian Andrés Urbina Forero

Especialización en Finanzas

Universidad Santo Tomás

2024

Resumen

Este artículo intenta proponer un sistema de detección temprana de enfermedades fúngicas en cultivos de cebolla cabezona basado en tecnologías como inteligencia artificial. Analizando los datos de producción y consumo de cebolla en el municipio de Samacá, Boyacá, se argumentará que la tecnología de *sistemas expertos* podría contribuir a la detección temprana de posibles infecciones fúngicas, evitando la expansión por los cultivos, así como el uso excesivo de agroquímicos que puedan afectar al cultivo y al territorio. Mediante el uso de esta tecnología, podría allanarse un camino hacia la consecución de la meta de *hambre cero*, con miras a la conquista de la soberanía alimentaria.

Palabras clave

Nutrientes, Ecosistema, Monitoreo de cultivos, Fertilización, Tecnología, Seguridad, Desarrollo Sostenible, Agricultura Inteligente, Alimentación sana, Desarrollo rural, Impacto Ambiental, Soluciones Agrícolas, Control Plagas, Bioseguridad agrícola, Tecnología agrícola.

Summary

This article attempts to propose an early detection system for fungal diseases in onion crops based on technologies such as artificial intelligence. By analyzing onion production and consumption data in the municipality of Samacá, Boyacá, it will be argued that expert systems technology could contribute to the early detection of possible fungal infections, avoiding the spread of the disease through crops, as well as the excessive use of agrochemicals that may affect the crop and the territory. By using this technology, a path could be paved towards achieving the goal of zero hunger, with a view to achieving food sovereignty.

Keywords

Nutrients, ecosystem, crop monitoring ,fertilization, technology, safety, sustainable development, smart agricultura, healthy food, rural development, environmental impact, agricultural solutions, pest control, agricultural biosafety, agricultural technology.

Contenido

Introducción.....	4
La <i>allium cepa</i> : características y posibles enfermedades	6
Sistema de detección y control de enfermedades fúngicas en la <i>allium cepa</i> apoyado en IA	9
<i>Sistemas Expertos</i> (SE) como apoyo a los planes de manejo de cultivo de <i>allium cepa</i> mediante el análisis de imágenes con <i>Landing AI</i>	13
Conclusiones	20
Bibliografía	22
Índice de imágenes.....	25
Índice de tablas	25

Introducción

En los últimos años, el concepto de soberanía alimentaria ha ido tomando cada vez más relevancia en el plano social internacional. Este concepto aparece en el marco de la apertura económica global, sea como la capacidad de subsanar las necesidades alimentarias de las personas independientemente del lugar de procedencia de los productos, sea como la posibilidad de garantizar la producción interna de un país para subsanar las necesidades alimentarias de su territorio (Mejía, 2016, págs. 15-16). Una y otra postura apelan a la solución del hambre en el mundo como un problema de producción. Sin embargo, se hace necesario agregar una arista de índole histórica a esta definición del concepto de seguridad alimentaria: cómo ha ido cambiando en las tres últimas décadas del siglo XX, pasando de una concepción puramente en el estadio de la producción como se ha mencionado, para ser añadida también la dimensión del acceso económico y físico a los alimentos, añadiendo la inocuidad de los alimentos y las preferencias culturales (PESA, 2011, págs. 2-ss).

A grandes rasgos, el concepto de soberanía alimentaria apunta a indicar las condiciones bajo las cuales el derecho a la alimentación debe presentarse para ser asegurado: no debe centrarse solamente en la escala de la producción de alimentos, ya que debe asegurarse que estos deben tener una procedencia segura, que no ponga en peligro la salud de las personas que los consumen; asimismo, estos deben gozar de un valor nutricional que asegure la supervivencia y la calidad de vida de las personas, así como se debe garantizar que estos productos se encuentren al alcance de las personas que requieren de ellos. Por ello creemos que un buen camino a la comprensión de la soberanía alimentaria, por lo menos para los términos en los que pretende dialogar el presente trabajo, es aquél en el que se tiene en cuenta, por una parte, la priorización a la producción interna, lo que implica una cercanía cultural a los alimentos

producidos, asegurando, asimismo, el acceso económico y físico a los alimentos. Teniendo en cuenta, además que:

es inevitable no pensar que, cuando se tienen precios tan altos en los alimentos a nivel interno, la mejor opción, en una primera impresión, sería claramente importarlos. No obstante, [se hace necesario] mostrar que ese comportamiento se ha dado no solo porque en Colombia hay altos costos de producción, sino que, además, no se tiene una infraestructura adecuada, tecnología de punta o subsidios —que deberían ir más allá de los créditos— para las personas que producen los alimentos necesarios para la dieta de los colombianos (Mejía, pág. 24)

En este sentido, el Ministerio de Igualdad y Equidad de la República de Colombia, ha propuesto la puesta en marcha del programa *Hambre Cero*, el cual «busca garantizar progresivamente el derecho humano a una alimentación adecuada, sostenible y culturalmente apropiada» (MinIgualdad, 2024). Este menester se propone ser alcanzado mediante cuatro objetivos: a) el acceso físico y económico a la alimentación, b) fortalecimiento de procesos de producción local, c) la disminución de la prevalencia de la desnutrición, siendo ésta un síntoma de la vulneración al derecho a la alimentación, y, finalmente, d) un trabajo articulado entre las instituciones y productores para garantizar en alguna medida la soberanía alimentaria.

En este sentido, se hace necesario entablar el diálogo con el desarrollo de tecnologías que apoyen la consecución del logro de hambre cero que pretende alcanzar la soberanía alimentaria. Se considerará que el desarrollo de inteligencias artificiales dedicadas pueden ser un buen punto de inicio para entablar tal diálogo, al contemplar el uso de sistemas expertos que concatenan datos de varios espectros del saber que intervienen en el momento de diagnosticar el estado de los cultivos, mediante la detección temprana de posibles daños a éste y su tratamiento de manera oportuna.

La *allium cepa*: características y posibles enfermedades

Ahora bien, atendiendo al contexto cultural de Colombia, habría que revisar cuales son los alimentos más consumidos por los habitantes del país. Por fortuna, el concepto de canasta básica familiar da luces sobre esta búsqueda, pues habla del coste de los productos y servicios que posibilitan el día a día de la ciudadanía; además, el concepto de canasta familiar permite establecer las asignaciones salariales básicas mediante el análisis del precio de tales productos. Según el DANE «la canasta familiar básica incluye productos como arroz, frijoles, carne, leche, huevos, pan, frutas y verduras, así como también servicios como el transporte público, la educación y la salud» (Impuestos-Gov). De acuerdo con Fariño (2018), la ingesta promedio de verdura al día por colombiano es de unos 200 gramos, aproximadamente, siendo la cebolla de bulbo (*allium cepa*) la que ocupa el segundo lugar de verduras más consumidas.

Tabla 1: Tabla nutricional de la *Allium Cepa*

SUSTANCIAS	%	CONTENIDO	CANTIDAD/ MG
CALORÍAS	33-37%	RIBOFLAVINA	0.03-0.014 MG
AGUA	86-89.9%	NIACINA	0.1-0.2 MG
PROTEINAS	1.4-1.5%	VITAMINA C	9-10 MG
GRASAS	0.1-0.6 MG	CALCIO	9-10 MG
AZUCAR	8.1%	HIERRO	0.4-0.5 MG
CARBOHIDRATOS	0.3%	MAGNESIO	17 MG
FIBRA	1.2%	FÓSFORO	31-34 MG

(Pineda, 2013)

El bajo costo de producción, el valor nutricional, sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas, hacen de la cebolla de bulbo uno de los alimentos más cultivados y

consumidos en el mundo. «El consumo mundial de cebollas de acuerdo con lo reportado por la FAO es de 11,2 kg por habitante» (MinAgricultura, 2019). Por otra parte, «La cebolla de bulbo, segunda en el puesto de preferencia de los consumidores, posee un con un rango de consumo entre 8,7 a 25,5 gr/día [en Colombia]» (MinAgricultura). Siendo este el panorama, es posible afirmar que, apostar a una producción local de cebolla podría funcionar como incentivo al consumo; además, dada la cercanía cultural con el producto, se podría apelar a la promoción de su consumo como uno de los cultivos a priorizar dentro de la política de *hambre cero* impulsada por el Ministerio de la Igualdad, que viene a trabajar en concordancia al plan nacional de desarrollo con miras a la erradicación del hambre mediante el aseguramiento de la soberanía alimenticia. Pero, para hacer esto, además de tener en claro el consumo per cápita de cebolla en el país, se hace necesario identificar los retos que conlleva el cultivo a gran escalara de cebolla de bulbo (*allium cepa*), específicamente, las enfermedades que pueden llevar a una pérdida significativa del cultivo.

Uno de estos desafíos menos conocidos es la presencia de hongos en los cultivos de cebolla, que pueden comprometer la calidad y la cantidad de cosecha, lo que a su vez puede tener un impacto indirecto en la seguridad alimentaria, pues podría causar la pérdida de una parte considerable del cultivo al necesitar su tratamiento con pesticidas, impidiendo el estándar de inocuidad del producto; así como generar sobrecostos, añadiendo al valor base de la producción, el precio del tratamiento, generando un sobrecosto al consumidor final. Teniendo en cuenta que:

En el mundo en desarrollo, más del 80% de la producción agrícola es generada por pequeños agricultores, y los informes de pérdidas de rendimiento de más del 50% debido a plagas y enfermedades son comunes. Además, la mayor proporción de personas con problemas de pobreza y hambruna (50%) vive en estas zonas productivas, lo que hace que

los pequeños agricultores sean un grupo particularmente vulnerable a las interrupciones en el suministro de alimentos derivadas de patógenos (Ortega *et al.* Pág. 420)

Imagen 1: mildiú lanoso en allium cepa



(Fuente: Invesa)

La cebolla (*allium cepa*) es un cultivo de gran relevancia económica en Colombia, y el municipio de Samacá, Boyacá, destaca como una de las principales zonas productoras. Su cultivo se da predominantemente en climas fríos, preferentemente en lugares entre los 1500 y los 3000 metros sobre el nivel del mar. Samacá, municipio situado en el altiplano cundiboyacense a una altitud de aproximadamente 2,600 msnm, tiene condiciones climáticas que favorecen el desarrollo de la *allium cepa*. Sin embargo, estas mismas condiciones también propician la proliferación de ciertas enfermedades, debido a factores como alta humedad relativa, bajas temperaturas nocturnas y lluvias frecuentes.

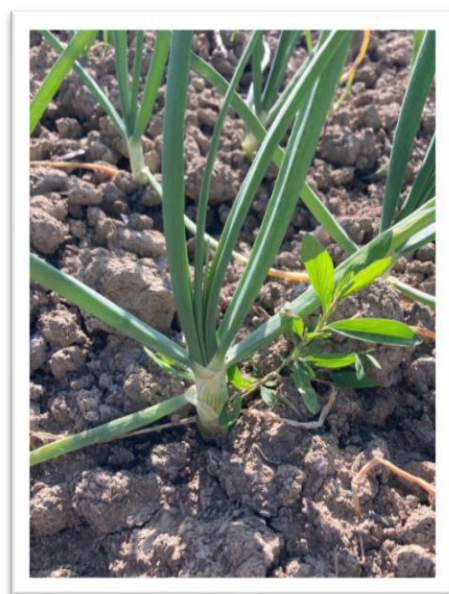
Como se mencionó anteriormente, los factores que suelen ser originadores de enfermedades de la *allium cepa*, suelen ser de carácter bacteriano, fúngico o de nematodos (plaga de gusanos). Dentro del conjunto de las enfermedades fúngicas, es posible ubicar al *Mildiú vellosa* (*Peronospora destructor*), que se caracteriza por la aparición de manchas amarillas en las hojas que progresan a un moho gris-violeta en condiciones de alta humedad. Suele aparecer a causa de una humedad relativa superior al 85% y temperaturas de 10-20 °C, siendo una de las

enfermedades más comunes en Samacá debido al clima frío y húmedo. Suele tratarse con el cultivo de variedades resistentes, rotación de cultivos y aplicaciones de fungicidas a base de cobre. Por otra parte, la *Antracnosis* (*Colletotrichum gloeosporioides*) que es una infección detectable debido a la presencia de lesiones hundidas en hojas y tallos, que eventualmente causan el colapso del tejido, apareciendo, sobre todo, en periodos prolongados de lluvias y en temperaturas entre 15-25 °C. Se suele prevenir con un buen sistema de drenaje de suelo y con la eliminación de los individuos infectados. Por último, la podredumbre blanca (*Sclerotium cepivorum*), característica de la infección que causa el amarillamiento y marchitamiento de hojas, con presencia de micelio blanco y de una masa compacta de micelios endurecidos en la base de la planta a causa de suelos con alta humedad y temperaturas bajas. Es persistente, ya que los esclerocios pueden sobrevivir varios años en el suelo, lo que requiere de una rotación de cultivos continua.

Sistema de detección y control de enfermedades fúngicas en la *allium cepa* apoyado en IA

En este contexto, este estudio pretende encontrar en la inteligencia artificial un medio que se enfoca en la detección precisa de hongos en los cultivos de cebolla, ofreciendo una contribución vital en la mejora de los alimentos (en nuestro caso la *allium cepa*) que llegan a nuestras mesas sean de la más alta calidad y estén libres de contaminantes indeseados. Estas tres enfermedades mencionadas se dispersan a través del viento y la lluvia, y se desarrollan con mayor facilidad en condiciones húmedas» (2020).

Imagen 2: Allium cepa en cultivo de Samacá, Boyacá.



(Imagen de archivo propio)

Los tratamientos a estas enfermedades varían según la gravedad de infección de la cepa. Para el caso de la mancha púrpura, la cual se caracteriza por la aparición de una mancha de apariencia húmeda, puede llegar a desprender hojas del tallo de la cebolla, se suele tratar con Brestanid 500, el cual es un fungicida bastante efectivo, pero que puede generar lesiones en los tratantes e intoxicación por ingesta. Este mismo químico se utiliza para el tratamiento del antraxosis y la podredumbre blanca. Como se mencionó más arriba, parte de las apuestas de la soberanía alimentaria apuntan a la inocuidad de los alimentos, esto con el fin de que los productos no acarreen consecuencias ni a la salud humana, ni al medio ambiente. El uso continuo y excesivo de pesticidas y fungicidas en los cultivos puede acarrear la contaminación y empobrecimiento del suelo, reducción de biodiversidad por colateralidad de uso, así como la aparición de plagas cada vez más resistentes a los tratamientos químicos (Mansilla, 2017).

Así el panorama, es posible establecer que, por una parte, siendo la cebolla el segundo alimento más consumido de la canasta familiar en el sector de las verduras, comprendiendo las

enfermedades de carácter fúngico más comunes a las cuales se hallan expuestas y comprendiendo los riesgos que el tratamiento químico puede acarrear a largo plazo, creemos que se hace necesario evaluar posibles soluciones que contribuyan al establecimiento de un cultivo de cebolla que aporte al programa Hambre Cero mediante los estándares que proponen los mayores postulados del concepto de soberanía alimentaria.

Siendo este el estado de la cuestión, se propone el uso de un modelo de *Inteligencia Artificial* que ayude a la detección temprana de enfermedades en los cultivos con la finalidad de realizar un tratamiento efectivo de éste, minimizando el uso de agroquímicos y evitando la expansión de las posibles enfermedades fúngicas que puedan al cultivo. Este estudio representa un paso adelante en la aplicación de tecnologías de vanguardia para abordar los desafíos agrícolas específicos de Samacá, y al mismo tiempo, sirve como un ejemplo de cómo la IA puede desempeñar un papel crucial en la protección de cultivos y la mejora de la producción agrícola. A través de la combinación de conocimientos fitopatológicos, análisis de datos y tecnología de vanguardia, este estudio se posiciona como un impulsor de la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la región de Boyacá, el principal productor de cebolla del país, que, según el Ministerio de Agricultura, ocupa aproximadamente el 70% de la producción de cebolla en Colombia, que es de aproximadamente de 282313 toneladas al año (MinAgricultura, 2018), de las cuales aporta el municipio de Samacá unas 500 hectáreas de cultivo al año, aproximadamente un 8% de la producción regional por hectárea.

Tabla 2: Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de cebolla de bulbo según departamento

2016-2017

Departamento	Área Sembrada (ha)		Variación (%)	Participación (%)	Área Cosechada (ha) *		Variación (%)	Participación (%)	Producción (t) *		Variación (%)	Participación (%)	Rendimiento (t)		Variación (%)
	2016	2017			2016	2017			2016	2017			2016	2017	
TOTAL	13.819	12.369	-10,5	100,0	12.004	12.446	3,7	100,0	269.469	282.313	4,8	100,0	22,45	22,68	1,0
Boyacá	6.496	5.222	-19,6	42,2	5.397	5.750	6,5	46,2	151.668	162.024	6,8	57,4	28,10	28,18	0,3
Norte de Santander	3.127	2.585	-17,3	20,9	2.840	2.557	-10,0	20,5	54.561	49.346	-9,6	17,5	19,22	19,30	0,5
Cundinamarca	2.253	2.408	6,9	19,5	2.159	2.178	0,9	17,5	43.702	44.168	1,1	15,6	20,25	20,28	0,2
Nariño	1.007	1.046	3,9	8,5	726	950	30,8	7,6	9.426	14.999	59,1	5,3	12,98	15,80	21,7
Santander	593	581	-2,0	4,7	561	574	2,3	4,6	5.873	5.411	-7,9	1,9	10,46	9,42	-9,9
Cesar	120	335	179,2	2,7	90	227	152,2	1,8	1.400	3.890	177,8	1,4	15,56	17,14	10,1
Huila	124	85	-31,5	0,7	119	110	-7,9	0,9	1.099	1.038	-5,5	0,4	9,24	9,47	2,6
Valle del Cauca	75	80	6,6	0,6	86	75	-13,1	0,6	1.390	1.065	-23,4	0,4	16,11	14,22	-11,8
Antioquia	18	23	27,8	0,2	15	20	34,2	0,2	209	280	34,2	0,1	14,00	14,00	0,0
Cauca	6	3	-56,0	0,0	6	6	-	0,0	70	90	28,6	0,0	11,67	15,00	28,6
Caldas	-	2	-	0,0	2	1	-33,3	0,0	24	2	-91,7	0,0	16,00	2,00	-87,5
Quindío	-	-	-	-	4	-	-100,0	-	48	-	-100,0	-	12,00	-	-100,0

Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Secretarías de Agricultura Departamentales. Alcaldías Municipales.

*El área cosechada y la producción de un año, provienen de las siembras del segundo semestre del año anterior y de las siembras del primer semestre del año en mención.

(MinAgricultura, 2018)

Una IA que pretenda ser utilizada para este ámbito, debería tener en cuenta, sobre todo, las condiciones ambientales bajo las cuales se hace posible la emergencia de enfermedades fúngicas en la allium cepa. Un punto en común de las infecciones fúngicas más recurrentes en los cultivos de cebolla es la exposición continua a condiciones de humedad, así como la recurrencia de cultivos persistentes. En este sentido, un sistema de control pertinente debe tener en cuenta la inspección continua de los riegos del cultivo mediante un sistema cronometrado que tenga la capacidad de medir la cantidad adecuada de metros cúbicos de agua por hectárea cultivada, que oscila entre los 2500 y los 5500 m³/ha. El manejo adecuado del agua, además de evitar el sobre costo por riego, permite controlar la humedad a la cual se encuentre expuesto el cultivo. Por otra parte, dada la persistencia de ciertas enfermedades como la podredumbre blanca, se requiere de un manejo adecuado de la tierra, en concreto, generar un calendario de rotación de cultivos, que atienda a las condiciones climáticas y de humedad, lo que propicie espacios de análisis de individuos y cepas para, mediante el cruce de especies, se puedan conseguir individuos resistentes a las infecciones fúngicas ya mencionadas

Sistemas Expertos (SE) como apoyo a los planes de manejo de cultivo de *allium cepa* mediante el análisis de imágenes con *Landing AI*

Considerando el aporte que están generando recientemente las tecnologías de la inteligencia artificial en el mundo, bajo este estudio de revisión se pretende abarcar con la ayuda de la inteligencia artificial son las enfermedades fúngicas en los cultivos de cebolla en Boyacá lo cual representa un desafío importante para el logro del objetivo del hambre cero; es necesario implementar medidas de prevención y control, así como fortalecer la capacitación de los agricultores y promover prácticas agrícolas sostenibles de esta manera se podrá mitigar los efectos negativos en la producción generando pérdidas económicas lo cual contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 2, "Hambre Cero". Así pues, ¿Cómo a través de las tecnologías de la IA se pueden minimizar los impactos de las enfermedades fúngicas en la producción de la cebolla mediante su detección y tratamiento oportuno para mitigar la expansión de éstas?

Para comenzar, se hace necesario retomar que la seguridad alimenticia global es el balance entre la creciente demanda de alimentos de la población y la producción mundial agrícola, combinada con discrepancias entre suministro y demanda a escalas regionales, nacionales y locales". Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J. N., & Hollier, C. (2012), teniendo en cuenta lo anterior es importante el resaltar que “el estado de la seguridad alimenticia global en la actualidad es alarmante y ha empeorado durante los últimos años pues, pese a los esfuerzos que se han ido implementando con miras a disminuir las tasas de desnutrición a nivel global. Se estima que a 2023, 828 millones de personas se encuentran subalimentadas en el mundo según datos de la FAO; aunando que la crisis alimenticia al 2008 ha tenido un efecto devastador en este sentido, puesto que el progresivo cambio climático, así como la crisis económica de éste año, se han presentado como obstáculos para el aseguramiento de la soberanía alimentaria, al no ofrecer la posibilidad al acceso a alimentos nutritivos, seguros y

suficientes para satisfacer las necesidades dietéticas y alimenticias de este sector de personas (McGuire, S. 2015). A lo anterior se añade que:

“las enfermedades producidas por microorganismos fitopatógenos¹, tales como bacterias, nematodos u hongos, constituyen la mayor causa de pérdida en la producción agrícola, tanto en cosecha como en post cosecha. Dentro de los distintos fitopatógenos, los hongos constituyen uno de los principales grupos tanto por la diversidad de especies existentes como por las pérdidas que originan” (Carnero *et al.*, 2013).

Como consecuencia de esto, se estima que se pueden perder en promedio entre el 10% y el 40% del total de la producción agrícola por la detección tardía de estos vectores. Este porcentaje varía de acuerdo con la severidad de la infección y el tratamiento dado a los productos, así “las pérdidas de alimentos por concepto de plagas provocan enormes prejuicios tanto a la economía como a la seguridad alimenticia global.” (Quintero-Domínguez *et al.*, 2019). En el caso de Samacá, en el cual la producción de cebolla no está en manos de grandes industrias sino de pequeños productores en cultivos transitorios. Según Camacho (2015), el municipio aporta el 25% de la producción total de *allium cepa* del departamento de Boyacá, con unas 500 hectáreas de campo de cultivo en el territorio. Teniendo en cuenta que el departamento aporta cerca al 70% de la producción de cebolla del país con unas 240mil toneladas, el municipio de Samacá aporta unas 60mil toneladas al año. Considerando, además, las hectáreas existentes de cultivo, se podría estimar que se producen unas 120 toneladas al año por hectárea cultivada, por lo que el no tratamiento a tiempo de enfermedades en el cultivo causaría la pérdida de entre 12 y 48 toneladas por hectárea cultivada.

¹ Se conocen como fitopatógenos a aquellos organismos (bacterias, hongos virus) que afectan a las plantas, afectando su metabolismo celular y pueden llegar a dañar los tejidos de éstas.

Imagen 3: Cultivo de *allium cepa* en Samacá, Boyacá.



(Imagen de archivo propio)

Así, de acuerdo con la UPRA (2021), se estima que el costo de producción de una hectárea de *allium cepa* oscila entre los 20 y los 25 millones, atendiendo a que aproximadamente el 25% de esta cantidad se destina al tratamiento por enfermedad del cultivo, con lo que se podría afirmar que:

“el impacto negativo de tales enfermedades en los cultivos incrementa los costos de producción agrícola, por la necesidad de implementar estrategias adicionales para el control del microorganismo patógeno y la disminución de sus efectos sobre las cosechas. Entre las medidas para el control de las enfermedades en las plantas se incluyen la cuarentena, la certificación de la manipulación de semillas y material vegetal, la selección de prácticas culturales apropiadas, y el uso de variedades resistentes a enfermedades, así

como de medios de control químico y biológico” (Orberá, T., de Jesús Serrat, M., & Ortega, E., 2014).

Ahora bien, ¿cómo enfrentar tal panorama? La detección temprana de infecciones fúngicas puede ser un primer aliado en la búsqueda de reducción de costos. Se estima que el uso de inteligencias artificiales en sistemas de detección temprana ayuda a evitar la expansión de enfermedades en cultivos. Según Calviño (2023) una detección temprana puede ayudar a reducir costos de agroquímicos entre un 10% y un 20%. En este sentido estos procesos de prevención, garantía de la salud y de rendimiento de los cultivos, se conocido como proceso la protección vegetal, siendo el diagnóstico de enfermedades una parte fundamental de este proceso. Según Téllez (2012), aquí se integran de manera transversal varios conocimientos tales como la fitopatología (diagnóstico y control de enfermedades en las plantas), la genética vegetal (aprovechamiento de características genéticas de las plantas que podrían ser reproducidas), la fisiología vegetal (para el entendimiento de los procesos metabólicos de las plantas), edafología (estudio del suelo en relación con las plantas y su medioambiente inmediato) ... entre otras. Tal conjunción de saberes trabajando en simultánea, afirma Téllez, tiene la finalidad de tomar decisiones acertadas al en torno a los cultivos en general. Así:

El diagnóstico de enfermedades o plagas se lleva a cabo a través del monitoreo de las plantaciones de cultivos, donde el objetivo es detectar anomalías presentes sobre las plantas, como por ejemplo tallos secos, presencia de pústulas en alguna parte de la planta, presencia de insectos nocivos, entre otros. Así, teniendo un conjunto de síntomas visibles dentro del campo de cultivo se puede realizar un diagnóstico que permita tomar las medidas para minimizar los daños. (Téllez, 2012).

Por otra parte, Quintero, Ríos *et alter* (2019) apuntan a que, desde finales de los años 50

del siglo XX, los desarrolladores de inteligencia artificial y los procesos automáticos han tenido en el radar el diagnóstico de enfermedades. Cabe mencionar que el desarrollo de las inteligencias artificiales tiene como finalidad desarrollar tecnologías en las cuales se encuentren de manera automatizadas algunas características del razonamiento. En el caso que nos compete en el presente escrito, creemos que la forma de razonamiento que puede entrar a jugar dentro de un espacio productivo, puede ser la capacidad analítica, dentro de *sistemas expertos*.

Los sistemas expertos suelen ser definidos como «sistema[s] computarizado[s] que intenta[n] modelar el conocimiento de un dominio que posee un experto humano» (Raynor, 1999). Además,

«Estos sistemas pueden ser usados en lugar de, o para asistir, expertos humanos en la toma de decisiones [...] una característica decisiva de los SE es la separación entre conocimiento (reglas, hechos) por un lado y su procesamiento por el otro. A ello se añade una interfaz de usuario y un componente explicativo» Gálvez Lío, D. (2006).

Los sistemas expertos pueden colaborar en el procesamiento de los datos recolectados de diferentes conocimientos, para poder hacer un cruce de información de los factores que intervienen en las condiciones bajo las cuales la producción de la cebolla se hace propicios, así como de aquellos que intervienen en la aparición de patógenos de carácter fúngico en los cultivos.

Así, «en fitopatología, ciencia que se encarga del estudio de las enfermedades de las plantas, se utilizan con frecuencia [los Sistemas Expertos] con fines de diagnóstico, por ejemplo, identificar la causa de una enfermedad por los síntomas y las observaciones relacionadas» (Moreno, 2005). Los sistemas expertos, en cuanto inteligencias artificiales dedicadas son entrenadas mediante la incorporación de modelos de infección en la base de datos de la

computadora que funge como núcleo de la IA. Tal alimentación de información es lo que permite la automatización del diagnóstico y el motivo por el cual el SE «puede asesorar a los productores sobre la probabilidad de ocurrencia real de la enfermedad, períodos de infección y recomendaciones sobre tipo, cantidad y momento de aplicación de pesticidas» (Moreno, 2005).

Así, una IA dedicada a la detección temprana de enfermedades fúngicas en un cultivo de cebolla podría hacer más eficiente el proceso de detección y cuidado de los cultivos, ayudando a la disminución de uso de químicos fungicidas, garantizando la inocuidad del cultivo en un mayor grado, ayudando a reducir, a la vez, una porción de entre un 5% y un 10% del costo total de agroquímicos por hectárea cultivada, al poder tomar decisiones con base a las lecturas predictivas del Sistema Experto para evitar la expansión de las infecciones fúngicas fitopatogénicas.

En este sentido, el uso de un Sistema Experto entrenado bajo las directrices de la fitopatología acompañaría todo el proceso de producción. Así, durante la preparación del suelo, se podría generar un mapeo de terreo para realizar una labranza profunda para mejorar la estructura del suelo, así como una medición de espaciado que busque una buena ventilación entre individuos, conjuntamente evitar la competencia por nutrientes; además de la consecución de un pH de suelo estable entre un 6.0 y 6.5, para la aplicación de fertilizantes (orgánicos y minerales) según análisis de suelo. Por otra parte, se requiere de un riego por goteo para mantener la humedad adecuada sin encharcar, como un método preventivo de la aparición de fitopatógenos.

Por otra parte, el sistema experto podría funcionar como un detector que permita discernir el uso de fungicidas específicos para enfermedades como el mildiu y la pudrición blanca, además de generar un cronograma de uso de suelo prolongado como guía de siembra sobre el suelo en aras de evitar un cultivo persistente. Otro uso de detector de riego, apuntaría a la detección de las hojas para la inspección de posibles enfermedades como de hojas marchitas.

cuando el 50-70% de las hojas estén secas, generaría alarmas oportunas de cosecha y seca del cultivo. Implementar estas prácticas puede ayudar a maximizar la producción y calidad de los cultivos de cebolla, así como generar un margen de salvamento del cultivo de un 40% sobre el margen de pérdidas previsto, mejorar la calidad del cultivo, así como el aumento de la vida del suelo para el cultivo.

En este sentido, se propone el uso de Landing AI², la cual, es una plataforma de inteligencia artificial que emplea redes neuronales profundas (deep learning) para analizar grandes volúmenes de datos visuales. En el ámbito agrícola, Landing AI ha sido utilizada para entrenar modelos que pueden identificar patrones específicos en imágenes de cultivos, como manchas en las hojas o daños causados por enfermedades fúngicas. Al integrar esta tecnología en la gestión de cultivos, los agricultores pueden detectar infecciones fúngicas en etapas tempranas, permitiendo una intervención más rápida y precisa. La plataforma Landing AI utiliza imágenes de alta resolución capturadas por cámaras de drones o sensores terrestres. Estas imágenes son procesadas mediante algoritmos de aprendizaje automático que identifican signos tempranos de enfermedades fúngicas que podrían pasar desapercibidos a simple vista. Al detectar las áreas afectadas, se pueden aplicar tratamientos específicos y focalizados que recomendaría la IA basándose en el tipo de hongo y el estado de la infección., reduciendo el uso innecesario de fungicidas y minimizando el impacto ambiental, tal como afirman Velazco y Vallejo (2020).

Es necesario agregar que Landing puede ser alimentado con los datos del sistema experto para convertirlo en un sistema dedicado en función al cultivo en el cual se aplique, en nuestro caso, el de la allium cepa. En Colombia, Landing cuenta con un equipo de desarrollo en Medellín, colaboradores del programa *Colombia 4.0*, el cual se encarga del fomento del uso de las IA en diferentes áreas de la industria en el país. En este sentido, se abre la posibilidad de directa capacitación del uso de la IA para agricultura de la mano de la misma empresa

² Para más información: <https://landing.ai/industries/agriculture>

desarrolladora

Conclusiones

La detección temprana y precisa de estas enfermedades es crucial para implementar medidas de control efectivas y minimizar los daños. Tradicionalmente, la identificación de enfermedades fúngicas se ha basado en la observación visual por parte de expertos, un método que puede ser subjetivo y laborioso. En los últimos años, la inteligencia artificial, especialmente el aprendizaje profundo, ha emergido como una herramienta prometedora para la detección de enfermedades en plantas (Mohanty et al., 2016). Las redes neuronales convolucionales (CNN) han demostrado una alta precisión en la clasificación de imágenes, lo que las convierte en candidatas ideales para la detección de enfermedades fúngicas en cultivos de cebolla. Estudios previos han aplicado con éxito las CNN para identificar enfermedades en una variedad de cultivos, incluyendo tomate, arroz y maíz (Ferentinos et al., 2018). Sin embargo, la aplicación de estas técnicas en cultivos de cebolla es aún limitada, lo que justifica este artículo.

El desarrollo de un sistema de detección de enfermedades fúngicas basado en inteligencia artificial puede ofrecer múltiples beneficios para los agricultores. En primer lugar, permite una detección temprana de las enfermedades, lo que facilita la implementación de medidas de control oportunas y reduce la propagación de la enfermedad. En segundo lugar, la automatización del proceso de diagnóstico reduce la carga de trabajo de los agricultores y aumenta la eficiencia de la producción. Además, la disponibilidad de datos precisos sobre la incidencia de enfermedades puede contribuir a la generación de modelos predictivos y a la toma de decisiones más informadas en el manejo de los cultivos (Pimentel et al., 2017).

Además, contemplando que la implementación de tecnologías innovadoras como la inteligencia artificial en la agricultura plantea importantes desafíos legales. En Colombia, la Ley 1450 de 2011, conocida como Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación, fomenta la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, incluyendo aquellas aplicadas al sector agropecuario (Congreso de la República de Colombia, 2011). Sin embargo, la regulación específica en cuanto al uso de inteligencia artificial en la agricultura aún es incipiente. A nivel internacional, organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han destacado la importancia de garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas a través de la innovación tecnológica (FAO, 2019). En este sentido, el uso de la inteligencia artificial en la agricultura debe cumplir con los principios de precaución, sostenibilidad y equidad.

Adicionalmente, es fundamental considerar aspectos relacionados con la propiedad intelectual, la protección de datos personales y la responsabilidad civil. La Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos establece las normas para la protección de los derechos de autor sobre software y bases de datos (Congreso de la República de Colombia, 1982). Por otro lado, la Ley 1581 de 2012, que regula la protección de datos personales, establece los requisitos para el tratamiento de datos personales, incluyendo aquellos generados por sistemas de inteligencia artificial (Congreso de la República de Colombia, 2012). En el caso de que el sistema de detección de enfermedades fúngicas genere algún tipo de daño a terceros, es importante contar con un seguro de responsabilidad civil que cubra los posibles riesgos.

Bibliografía

- Alejandra, M. (2016). *La seguridad alimentaria en Colombia: cambios y vulnerabilidades*. Bogotá: Universidad Central.
- Amaya, J. E., & Méndez, E. F. (2012). Crecimiento de cebolla (*Allium cepa* L.) var. “Roja Arequipeña” en función de la fertilización NxK. *Scientia Agropecuaria*, 7-14.
- Castellanos, M. (2019). *Proceso de producción de cebolla cabezona en Cucaita Boyacá (Tesis)*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Congreso de la República. (s.f.). *LEY 1450 DE 2011*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43101>
- Congreso de la República. (s.f.). *Ley 1581 de 2012*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=49981>
- Congreso de la República. (s.f.). *Ley 23 de 1982*. Obtenido de Función Pública: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=3431>
- Davis, R. M., & Aegerter, B. J. (2008). *Onion and garlic: Downy mildew [Cebolla y ajo: Mildiú lanoso]*. *Lineamientos de la UC sobre el Manejo de Plagas*. Universidad de California. Obtenido de <https://ipm.ucanr.edu/agriculture/onion-and-garlic/downy-mildew/#gsc.tab=0>
- Does, D. v., Reuber, L., & Esse, P. v. (2020). Genetic modification to improve disease. *New Phytologist*, 70-86.
- Fariño, L. (2018). *REPORTE DE INDUSTRIA SUBSECTOR FRUTÍCOLA (TESIS)*. Bogotá: Universidad Externado.
- Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 311-318.
- Ferro, C. M. (2017). *Impacto ambiental de la aplicación de plaguicidas en siete modelos socio-productivos hortícolas del Cinturón Verde de Mendoza*. Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- Fornaris, G., Rivera, L., Rivera, L., & alter., e. (2012). *Conjunto Tecnológico para la Producción de Cebolla*. Obtenido de <https://scholar.uprm.edu/entities/publication/627aa4e1-84d8-4853-bc5a-43c251c9b555>
- Garzón, E., & Pájaro, D. (2013). *Diagnóstico del impacto ambiental generado por el monocultivo de cebolla larga en los agricultores de Aquitania (Boyacá) debido al uso de plaguicidas inhibiciones de colinesterasa*. Bogotá: Universidad de la Salle. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/items/a82a7319-347a-47c8-8e70-e79863c05980>
- Grosso, S., & Carvajal, Á. (2016). *Sistematización y análisis de publicaciones acerca del impacto ambiental causado en el suelo producto de los cultivos de cebolla en el área*

- circundante al Lago de Tota, Departamento de Boyacá. (Trabajo de grado)*. Bogotá: Universidad Libre. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10419>
- Gutiérrez, L. Y. (2020). *Alternativas para el uso y manejo adecuado de gallinaza cruda en los cultivos de cebolla larga - Junca en el municipio de Aquitania - Boyacá (Tesis)*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/37276>
- Higuera-Sánchez, C., & Jaimes-Hernández, O. (2019). *Evaluación de indicadores de huella hídrica en la producción de un cultivo de cebolla de bulbo y papa en los municipios de Duitama y Samaca Boyacá*. Bogotá: Universidad Católica. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/ea13d112-6ef1-4b63-91f4-81649a1a42dc>
- Impuestos-Gov. (s.f.). *Cuál es la canasta familiar en Colombia*. Obtenido de Impuestos-Gov: <https://impuestos-gov.com/cual-es-la-canasta-familiar-en-colombia/#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20DANE%2C%20la%20canasta%20familiar%20b%C3%A1sica%20incluye,el%20transporte%20p%C3%ABlico%2C%20la%20educaci%C3%B3n%20y%20la%20salud>
- Krarrup, C. (1992). *Manejo post-cosecha de cebollas*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/items/0894833b-d474-47f9-b0e7-4a07cd0bf3bf>
- Kurtz, C., Pauletti, V., Fayad, J., & Neto, J. V. (2016). Crescimento e absorção de nutrientes pela cultivar de cebola Bola Precoce. *Comunicação Científica*.
- Lajoie-O'Malley, A., Bronson, K., Burg, S. v., & Klerkx, L. (2020). The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents. *Ecosystem Services*.
- Machado, A., & Suárez, R. (1999). *El mercado de tierras en Colombia: ¿una alternativa viable?* Bogotá: Tercer Mundo Editores. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/13552>
- MinAgricultura. (2018). *Cebolla de Bulbo*. Obtenido de Agronet: https://www.agronet.gov.co/Documents/11-CEBOLLA%20DE%20BULBO_2017.pdf
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. (2019). *ESTRATEGIA DE ORDENAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN: CADENA PRODUCTIVA DE LA CEBOLLA DE BULBO*. Obtenido de MinAgricultura: <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/S3707-20200602%20Plan%20OP%20Cebolla%20de%20bulbo.pdf>
- Ministerio de La Igualdad y La Equidad. (3 de Septiembre de 2024). *Hambre Cero*. Obtenido de MinIgualdad: <https://minigualdadyequidad.gov.co/portal/Secciones/Programas/383364:Hambre-Cero>

- Mohanti, S., Hughes, D., & Salathé, M. (2016). Using Deep Learning for Image-Based Plant Disease Detection. *Frontiers in Plant Science*.
- Ortega, B., Biswal, R. R., & Sánchez, E. (2019). Detección de enfermedades en el sector agrícola utilizando Inteligencia Artificial . *Research in Computing Science* , 419-427.
- PESA Centroamérica. (2011). *Seguridad Alimentaria y Nutricional: Conceptos Básicos*. Tegucigalpa: PESA Centroamérica. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f1bb882a-b059-4368-9022-c70840d77ce5/content>
- PINEDA, Y. M. (2013). *CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE TRANSFERENCIA Y PROPUESTA DE ADOPCIÓN TECNOLÓGICA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES DE CEBOLLA (Allium cepa L.) EN EL MUNICIPIO DE SAMACA (BOYACA)*. Tunja: UNAD.
- Shanmugamm, G., & Jeon, J. (2017). Drug Discovery in Plant Pathology. *Plant Pathol*, 529-542.
- Silva, M. (19 de Febrero de 2019). *La cebolla, entre globalidad gastronómica y lágrimas de sabor*. Obtenido de Agrotendencia: <https://agrotendencia.tv/agropedia/agricultura/cultivos/hortalizas/el-cultivo-de-cebolla/>
- Suarez, V. (2 de septiembre de 2019). *Medellín, epicentro para la Inteligencia Artificial*. Obtenido de El colombiano: <https://www.elcolombiano.com/negocios/economia/medellin-epicentro-para-la-inteligencia-artificial-MH11528206>
- UPRA. (2021). *Sistema productivo de cebolla junca*. Obtenido de UPRA: https://upra.gov.co/es-co/Evas_Documentos/20211216_Boletin_cebollajunca_segundosemestre_2021_final.pdf
- Yolima Velasco, F. V. (2020). *ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD A TRAVÉS DE LA TECNIFICACIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE LA PIÑA DE UN PEQUEÑO PRODUCTOR DEL SECTOR EL TIGRE EN LA CIUDAD DE PEREIRA*. Pereira: UTP.
- Zarza, H., Encizo, C., & Gozález, F. (2015). Características morfológicas y cualitativas de variedades de cebolla en tres épocas de trasplante. *Investigación Agraria*, 36-45.

Índice de imágenes

Imagen 1: mildiú lanoso en allium cepa.....	8
Imagen 2: Allium cepa en cultivo de Samacá, Boyacá.	10
Imagen 3: Cultivo de allium cepa en Samacá, Boyacá.	15

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla nutricional de la Allium Cepa	6
Tabla 2: Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de cebolla de bulbo según departamento 2016-2017	12